

**STUDI KELAYAKAN PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA SAMPAH (PLTSa) di TPA SUPIT URANG KOTA MALANG**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

DEDY ALFILIANTO

NIM. 115060300111045

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2016

LEMBAR PENGESAHAN
STUDI KELAYAKAN PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA SAMPAH (PLTSa) DI TPA SUPIT URANG
KOTA MALANG

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



DEDY ALFILIANTO

NIM. 115060300111045

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 27 Juni 2016

Dosen Pembimbing I

Ir. Teguh Utomo, M.T.
NIP. 19650913 199103 1 003

Dosen Pembimbing II

Ir. Mahfudz Shidiq, M.T.
NIP. 19580609 198703 1 003

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19741203 200012 1 001

JUDUL SKRIPSI:

STUDI KELAYAKAN PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA SAMPAH (PLTsa) DI TPA SUPIT URANG KOTA MALANG

Nama Mahasiswa : Dedy Alfianto
NIM : 115060300111045
Program Studi : Teknik Elektro
Konsentrasi : Teknik Energi Elektrik

KOMISI PEMBIMBING :

Ketua : Ir. Teguh Utomo, M. T.

Anggota : Ir. Mahfudz Shidiq, M.T.

TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji I : Ir. Hery Purnomo, M.T.

Dosen Penguji II : Dr. Rini Nur Hasanah, S.T, M.Sc

Dosen Penguji III : Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph. D

Tanggal Ujian : 23 Juni 2016

SK Penguji : 782/UN10.6/SK/2016

Handwritten signatures of the supervisory committee members and examiners, corresponding to the names listed in the text.

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas didalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 27 Juni 2016

Mahasiswa,



Dedy Alfianto

NIM. 115060300111045

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

*Teriring Ucapan Terima Kasih Kepada:
Ayahanda dan Ibunda Tercinta*





RINGKASAN

Dedy Alfilianto, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juni 2016, *Studi Kelayakan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) di TPA Supit Urang Kota Malang*, Dosen Pembimbing: Ir. Teguh Utomo, M.T dan Ir. Mahfudz Shidiq, M.T

Volume sampah domestic dan industry di kota Malang rata-rata setiap harinya mencapai 600 ton hingga 700 ton. Banyaknya volume sampah di kota Malang ini merupakan sebuah potensi baru untuk menciptakan peluang sumber energy terbarukan terutama di bidang energi listrik. Untuk itu diperlukan kajian akan potensi pemanfaatan sampah di TPA Supit Urang untuk dikonversi menjadi energi listrik dengan menggunakan pembangkit listrik tenaga sampah dari sisi penilaian kelayakan investasi proyek.

Pada penelitian ini dilakukan pengkajian potensi energi listrik yang dapat dihasilkan dari sampah yang masuk di TPA Supit Urang dengan *sanitary landfill*. Pengkajian potensi energi listrik di TPA Supit Urang dimulai dengan memprediksikan jumlah sampah yang masuk dan ditimbun di TPA, selanjutnya dikaji besarnya gas metan yang dapat dihasilkan dengan menggunakan software *Landgem*. Setelah diketahui besarnya produksi gas metan, dapat dikonversi ke energi listrik menggunakan tabel konversi Charles Banks. Terakhir dilakukan kajian kelayakan dari sisi investasi meliputi perhitungan *Net Present Value (NPV)*, *Internal Rate of Return (IRR)*, *Payback Period (PP)*, dan *Benefit Cost Ratio (BCR)*.

Hasil dari perhitungan menggunakan software *landfill gas emission model (landgem)* didapatkan bahwa potensi gas metana yang dapat dihasilkan oleh sampah di TPA Supit Urang Kota Malang mencapai 14.070.000 m³/tahun dengan potensi daya listrik yang dapat dihasilkan oleh pembangkit sebesar 3,6 MWe. Potensi energi listrik yang dapat dihasilkan oleh pembangkit mencapai 31.658.640 kWh dengan potensi energi yang dapat dijual ke PLN mencapai 26.909.844 kWh. Besarnya perkiraan biaya investasi yang dibutuhkan untuk pembangunan PLTSa ini adalah Rp 124.406.583.404. Dari analisis kelayakan proyek didapatkan nilai NPV adalah Rp 33.612.209.114, nilai BCR adalah 1,27, nilai IRR adalah 19,24%, dan Payback Period adalah 10 tahun 8,7 bulan. Dikarenakan dari keseluruhan kriteria kelayakan investasi proyek terpenuhi maka dapat disimpulkan bahwa proyek pembangunan PLTSa di TPA Supit Urang Kota Malang layak untuk dilaksanakan.

Kata kunci: gas metan, daya listrik, energi listrik, *LandGEM*, kelayakan investasi

SUMMMARY

Dedy Alfilianto, Electical Engineering Department, Engineering Faculty, Brawijaya University, June 2016, *Feasibility Study of Waste Power Plant (PLTSa) Development in Supit Urang Landfill Malang*, Advisor lecture: Ir. Teguh Utomo,M.T and Ir. Mahfudz Shiddiq, M.T

Domestic and industrial waste volume in Malang on average per day to 600 tons to 700 tons. The amount of volume of waste in the Malang city is a new potential for creating opportunities of renewable energy sources, especially electrical energy. For it is necessary to study the potential use of waste in the Supit Urang landfill to be converted into electrical energy using waste power plant with project investment eligibility analysis.

In this research, assessment of the potential electrical energy that can be produced from waste entering Supit Urang landfill with sanititary landfill. To assess the potential of electrical energy in the landfill Supit Urang starts with predicting the amount of incoming waste and dumped in landfill, then assessed the amount of methane gas that can be generated using Landgem software. Having in mind the amount of methane production, can be converted into electrical energy using Charles Banks conversion table. Recently conducted a feasibility study of the investment includes the calculation of Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Payback Period (PP), and Benefit Cost Ratio (BCR).

The result using software landfill gas emission model (*LandGEM*) found that the potential methane gas produced by waste in the Supit Urang landfill Malang reached $14.070.000 \text{ m}^3 / \text{year}$ with potential electric power generated by the power plant of 3,6 MWe. Potential of electrical energy that can be generated by power plants reached 31.658.640 kWh with the potential energy that can be sold to PLN reached 26.909.844 kWh. In terms of the amount of investment that is known of the estimated cost of the investment required for the development of PLTSa is Rp 124.406.583.404. From project feasibility analysis obtained NPV value of Rp 33.612.209.114, BCR value of 1,27, the value of IRR is 19,24%, and a payback period of 10 years 8,7 months, which of the overall project investment eligibility criteria are met so that PLTSa development projects in the Supit Urang Landfill Malang is feasible.

Key words: methane, electric power, electric energy, *LandGEM*, investment feasibility

PENGANTAR

Alhamdulillah rabbi ‘alamin. Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. Karena hanya dengan berkat dan rahmat dan hidayah-Nya lah penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik yang berjudul "**Studi Kelayakan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) di TPA Supit Urang Kota Malang**".

Penulisan skripsi ini tidak dapat terselesaikan dengan baik dan lancar tanpa dukungan dan bantuan dan berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Secara khusus penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Ibunda tercinta Krismi Natalina, Ayahanda Totok Subagio, dan juga tak lupa Nenek saya Rumini yang dengan penuh kasih sayang dan kesabaran telah mengasuh, membesarkan, mendidik dan memberikan pelajaran hidup yang tak ternilai harganya. Dan tak lupa juga untuk adik saya Fapriela Kartika Sari.

Selain itu tak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dan mendukung dalam penyelesaian skripsi ini. Oleh karena pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.T. Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
2. Bapak Hadi Suyono, S.T. M.T.. Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Ali Mustofa. S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
4. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah. ST., M.Sc selaku KKDK konsentrasi Teknik energi elektrik Teknik Elektro.
5. Bapak Ir. Teguh Utomo, M.T dan Bapak Ir. Mahfud Shiddiq, MT selaku dosen pembimbing skripsi yang selalu membimbing dengan penuh kesabaran dan memberi pengarahan penulis dalam penelitian ini.
6. Kepala Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Malang beserta seluruh staf dan jajaran di Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Malang yang telah memberikan kesempatan dan membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Elektro angkatan *Inverter* 2011, khususnya rekan-rekan mahasiswa konsentrasi (A) Teknik Energi Elektrik.
8. Seluruh Civitas Akademika Teknik Elektro Universitas Brawijaya yang telah banyak memberi bantuan dan dukungan selama penulis menempuh studi di Teknik Elektro Universitas Brawijaya dan selama penyelesaian skripsi.

9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna, karena keterbatasan ilmu dan kendala-kendala lain yang terjadi selama pengerjaan penelitian ini. Oleh karena itu saran dan kritik mengenai penelitian ini diharapkan oleh penulis agar penelitian ini dapat menjadi karya tulis yang lebih baik dan berguna. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

Malang, 27 Juni 2016

Penulis

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

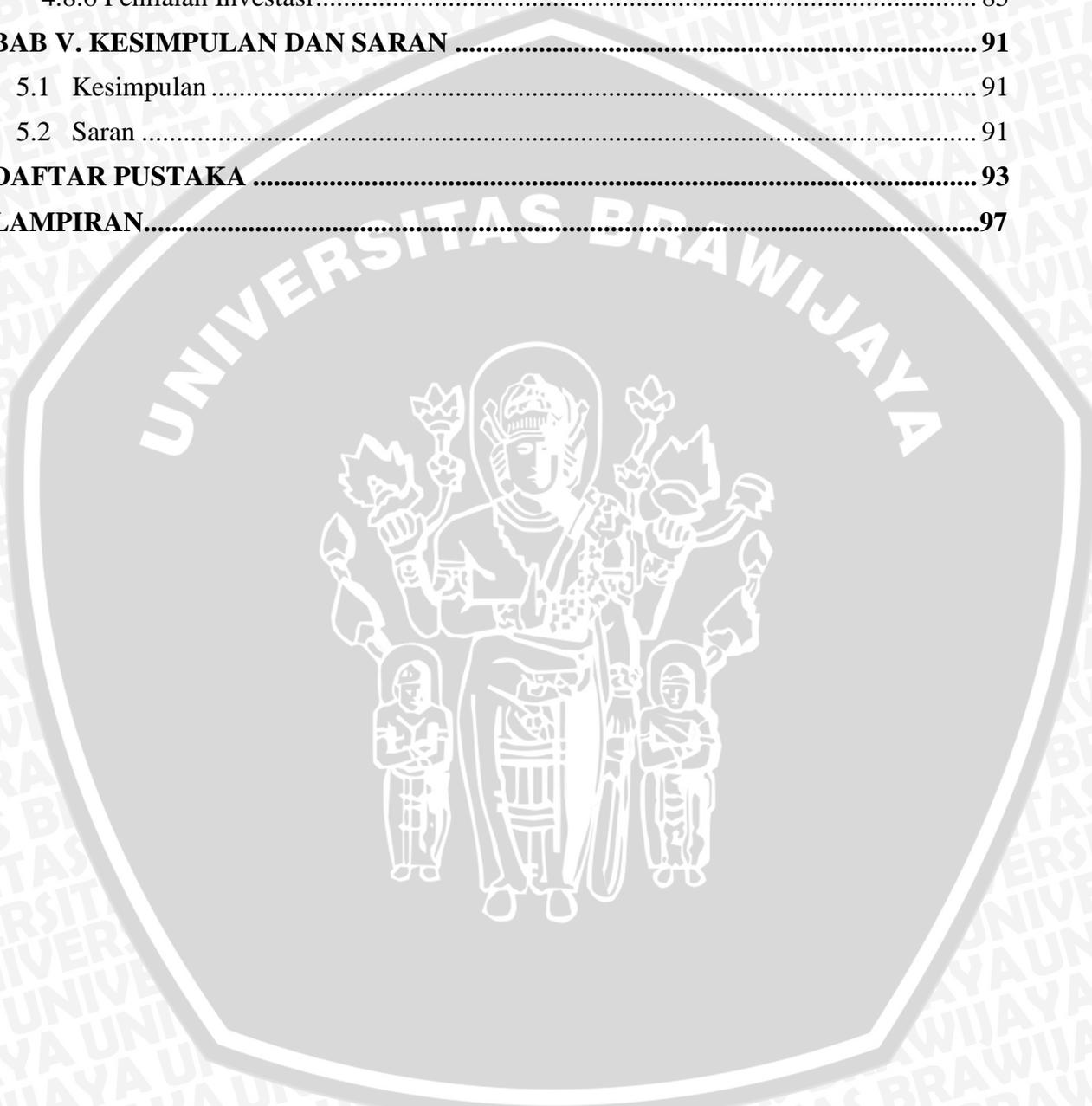


DAFTAR ISI

RINGKASAN.....	i
SUMMARY.....	ii
PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
DAFTAR ISTILAH.....	xii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sampah.....	5
2.1.1 Asal Sampah.....	5
2.1.2 Jenis Sampah dan Lama Penguraiannya	5
2.2 <i>Landfill Gas</i>	6
2.2.1 Proses Terbentuknya Landfill Gas (LFG)	7
2.3 Konversi Energi Dari Sampah Ke Listrik (Pembangkit Listrik Tenaga Sampah).....	8
2.3.1 Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa)	10
2.3.1.1 Sumur Gas Vertikal.....	10
2.3.1.2 Capping (Penutup Landfill).....	12
2.3.1.3 Kondensator	12
2.3.1.4 Chiller.....	12
2.3.1.5 Blower & Flare.....	13
2.3.1.6 Filtrasi/Pemurnian Gas	14
2.3.1.7 Pembangkit Listrik (Electricity Generation).....	15
2.4 Generator Set (GENSET)	20
2.5 Sanitary Landfill	21

2.6 LandGEM (Landfill Gas Emissions Model)	25
2.7 Prediksi Jumlah Sampah.....	27
2.8 Analisis Ekonomi / Penilaian Investasi	28
2.9 Depresiasi (Penyusutan)	30
BAB III. METODE	33
3.1 Studi Literatur.....	33
3.2 Mencari Informasi dan Data	34
3.3 Perhitungan	34
3.3.1 Menghitung Prakiraan Jumlah Timbulan Sampah Yang Masuk ke TPA Supit Urang Kota Malang tahun 2016- 2030	34
3.3.2 Menghitung Prakiraan Jumlah Timbulan Sampah Yang Ditimbun di TPA Supit Urang Supit Urang Kota Malang tahun 2016- 2030.....	35
3.3.3 Menghitung Prakiraan Produksi Gas Metan.....	37
3.3.4 Menghitung Prakiraan Potensi Energi Listrik Yang Dapat Dihasilkan.....	37
3.4 Melakukan Analisis Ekonomi/Penilaian Investasi	38
3.4.1 Menghitung Asumsi Biaya Investasi	38
3.4.2 Menghitung Perkiraan Penerimaan Biaya	38
3.4.3 Menghitung Asumsi Biaya Operasional dan Pemeliharaan.....	39
3.4.4 Perhitungan Perkiraan Depresiasi	39
3.4.5 Menentukan Asumsi Cashflow	39
3.4.6 Penilaian Investasi	39
3.5 Pengambilan Kesimpulan	39
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Supit Urang Kota Malang	41
4.2 Prakiraan Jumlah Timbulan Sampah Yang Masuk Ke TPA Supit Urang Kota Malang tahun Malang Tahun 2016- 2030.....	42
4.3 Menghitung Prakiraan Jumlah Timbulan Sampah Yang Ditimbun di TPA Supit Urang Kota Malang tahun 2016- 2030	46
4.4 Prakiraan Potensi Produksi Gas Metan di TPA Supit Urang Kota Malang tahun 2016-2030.....	51
4.5 Prakiraan Potensi Daya Listrik yang Dapat Dihasilkan di TPA Supit Urang Kota Malang	56
4.6 Perhitungan Landfill	63
4.6.1 Perhitungan Kebutuhan Lahan <i>Sannitary Landfill</i> di TPA Supit Urang	63
4.6.2 Perencanaan Zonasi <i>Cell Landfill</i> di TPA Supit Urang	63
4.7 Teknologi Konversi LFG ke Energi Listrik	66
4.8 Analisis Ekonomi	70

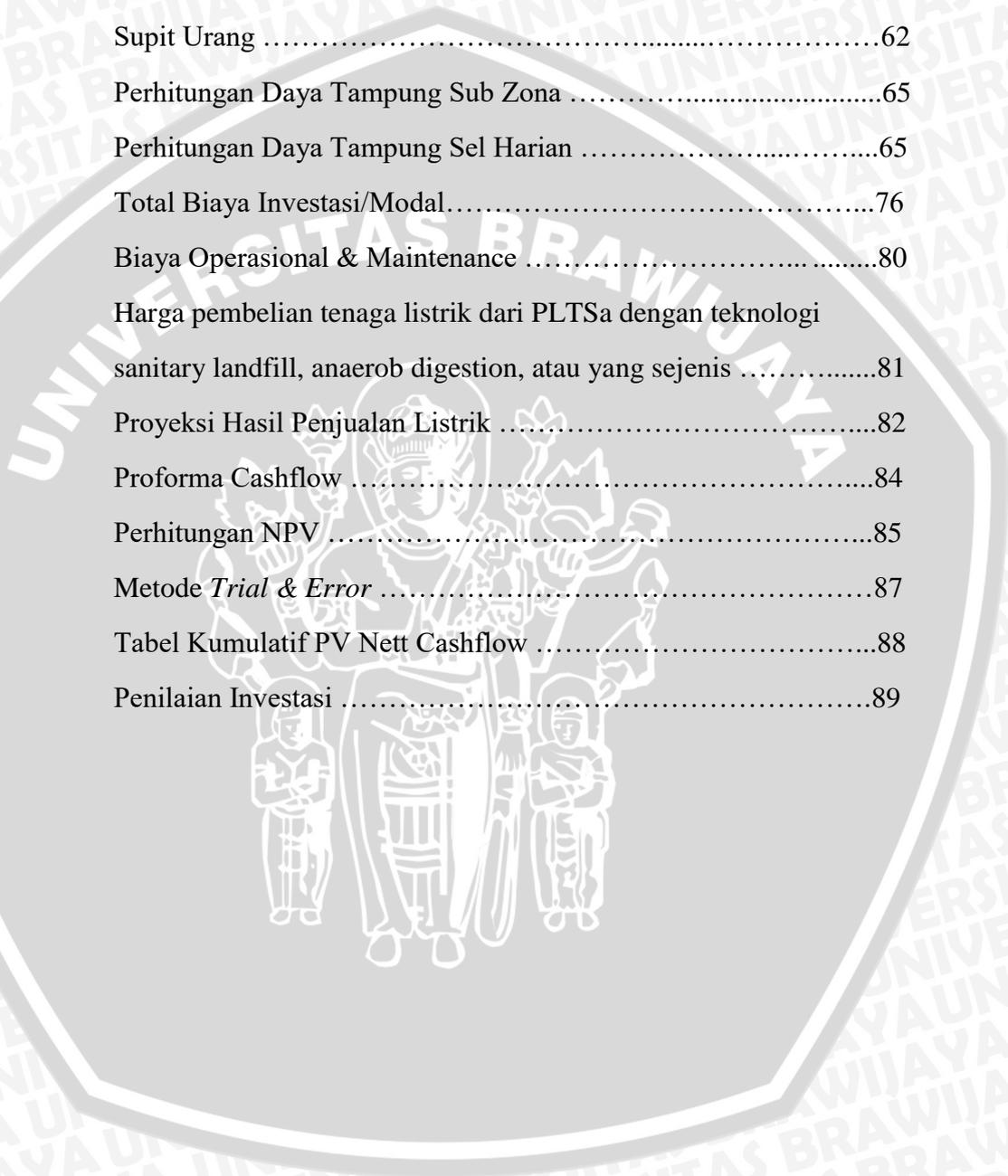
4.8.1 Menghitung Asumsi Biaya Investasi	70
4.8.2 Menghitung Asumsi Biaya <i>Operational & Maintenance</i>	77
4.8.3 Menghitung Perkiraan Penerimaan Biaya.....	81
4.8.4 Perhitungan Depresiasi.....	82
4.8.5 Penyusunan Cashflow	84
4.8.6 Penilaian Investasi.....	85
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	91
5.1 Kesimpulan	91
5.2 Saran	91
DAFTAR PUSTAKA	93
LAMPIRAN.....	97



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Lama Penguraian Sampah Per Jenis.....	6
Tabel 2.2	Komposisi Gas pada landfill	7
Tabel 2.3	Data Konversi Energi	27
Tabel 3.1	Prakiraan jumlah sampah yang masuk ke TPA Supit Urang Kota Malang tahun 2016-2030	35
Tabel 3.2	Berat sampah organik dan anorganik yang ditimbun di TPA Supit Urang	36
Tabel 3.3	Hasil perhitungan produksi gas metan di TPA Supit Urang.....	37
Tabel 3.4	Rekapitulasi Potensi Energi Listrik Yang Dihasilkan di TPA Supit Urang.....	38
Tabel 4.1	Jumlah sampah yang masuk ke TPA Supit Urang Kota Malang 2004-2013	42
Tabel 4.2	Evaluasi Akurasi Peramalan dengan Metode <i>Linear Regressions/Least Square</i>	43
Tabel 4.3	Peramalan Jumlah Sampah Masuk TPA Supit Urang dengan Metode <i>Linear Regressions/Least Square</i> Tahun 2016-2030.....	46
Tabel 4.4	Komposisi sampah di TPA Supit Urang	47
Tabel 4.5	Berat masing-masing jenis sampah di TPA Supit Urang.....	49
Tabel 4.6	Berat sampah organik dan anorganik yang ditimbun di TPA Supit Urang	50
Tabel 4.7	Nilai k mengacu pada jenis iklim	52
Tabel 4.8	Perhitungan nilai k	53
Tabel 4.9	Input jumlah sampah ditimbun dan akumulasi sampah ditimbun di TPA Supit Urang	54
Tabel 4.10	Hasil perhitungan potensi gas metan di TPA Supit Urang.....	55
Tabel 4.11	Hasil perhitungan potensi gas metan berdasarkan nilai efisiensi <i>collection system</i> di TPA Supit Urang	56
Tabel 4.12	Data Konversi Energi	56
Tabel 4.13	<i>Electrical Conversion Efficiency</i>	57
Tabel 4.14	Daya listrik yang bisa dibangkitkan (P_e (kW)) dari potensi	

	gas yang ada di TPA Supit Urang Kota Malang	58
Tabel 4.15	Energi listrik yang dapat dihasilkan oleh pembangkit ($E_{el (kWh)}$).....	59
Tabel 4.16	Energi listrik untuk pemakaian sendiri ($E_{parasitic (kWh)}$).....	60
Tabel 4.17	Energi listrik yang dapat dijual ke PLN.....	62
Tabel 4.18	Rekapitulasi Potensi Energi Listrik Yang Dihasilkan di TPA Supit Urang	62
Tabel 4.19	Perhitungan Daya Tampung Sub Zona	65
Tabel 4.20	Perhitungan Daya Tampung Sel Harian	65
Tabel 4.21	Total Biaya Investasi/Modal.....	76
Tabel 4.22	Biaya Operasional & Maintenance	80
Tabel 4.23	Harga pembelian tenaga listrik dari PLTSa dengan teknologi sanitary landfill, anaerob digestion, atau yang sejenis	81
Tabel 4.24	Proyeksi Hasil Penjualan Listrik	82
Tabel 4.25	Proforma Cashflow	84
Tabel 4.26	Perhitungan NPV	85
Tabel 4.27	Metode <i>Trial & Error</i>	87
Tabel 4.28	Tabel Kumulatif PV Nett Cashflow	88
Tabel 4.29	Penilaian Investasi	89



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	PLTSA dengan Metode <i>Sanittary Landfill</i>	9
Gambar 2.2	Pipa pada sumur gas di landfill	10
Gambar 2.3	Chiller	13
Gambar 2.4	Blower	14
Gambar 2.5	Gas Engine Jenbacher J320GS	16
Gambar 2.6	Prinsip Kerja Motor Bakar	16
Gambar 2.7	Sistem Pembangkit Listrik Gas Engine	18
Gambar 2.8	Turbin Gas Engine	19
Gambar 2.9	Generator Set (GENSET) Biogas	20
Gambar 2.10	Prinsip Kerja Generator	21
Gambar 2.11	Sanittary Landfill	24
Gambar 2.12	Nilai Konversi Metan dan Kalori Pada <i>Landfill Gas</i>	27
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	33
Gambar 4.1	Lay Out TPA Supit Urang	41
Gambar 4.2	Komposisi sampah di TPA Supit Urang Kota Malang	47
Gambar 4.3	Perencanaan Zona Landfill	64
Gambar 4.4	Lapisan Landfill	66
Gambar 4.5	Lapisan Geomembran	67
Gambar 4.6	Proses Pemasangan Sumur Gas	67
Gambar 4.7	Proses Pemasangan Capping	68
Gambar 4.8	Proses Pemasangan Pemipaan	68
Gambar 4.9	Aliran Gas Pada Proses Pembangkitan Listrik	69

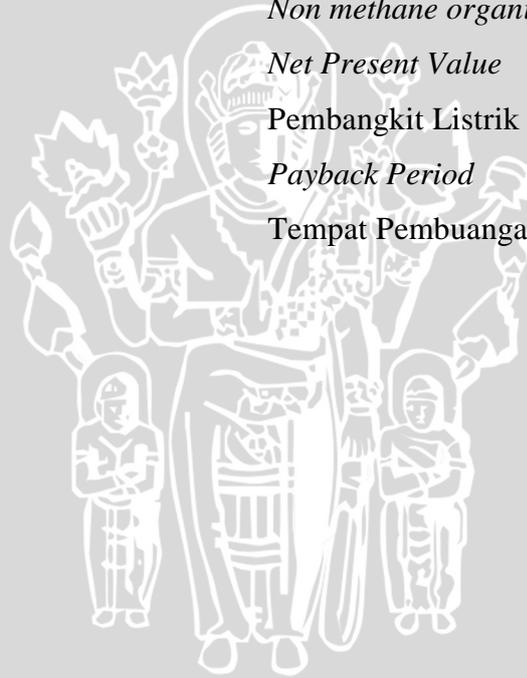
DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Jumlah Sampah Yang Masuk di TPA Supit Urang Kota Malang	97
Lampiran 2.	Komposisi Sampah di TPA Supit Urang Kota Malang	100
Lampiran 3.	Perhitungan Emisi Gas Metan Dengan Software <i>Landgem v.3.02</i>	101
Lampiran 4.	Perhitungan Pajak.....	107
Lampiran 5.	Perhitungan Akurasi Peramalan.....	109
Lampiran 6.	Techincal Spesification Gas Engine Jenbacher.....	112
Lampiran 7.	Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya mineral (ESDM) nomor 44 tahun 2015.....	115
Lampiran 8.	Tabel Discount Factor.....	116



DAFTAR ISTILAH

Singkatan	Keterangan
AMDAL	Analisis mengenai dampak lingkungan
BCR	<i>Benefit Cost Ratio</i>
IRR	<i>Internal Rate of Return</i>
LandGEM	<i>Landfill Gas Emissions Model</i>
LFG	<i>Landfill Gas</i>
MAD	<i>Mean Absolute Deviation</i>
MAPE	<i>Mean Absolute Percentage Error</i>
MSE	<i>Mean Squared Error</i>
NMOC	<i>Non methane organic compound</i>
NPV	<i>Net Present Value</i>
PLT _{Sa}	Pembangkit Listrik Tenaga Sampah
PP	<i>Payback Period</i>
TPA	Tempat Pembuangan Akhir



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Malang merupakan kota terbesar ke 2 di Jawa Timur setelah Kota Surabaya. Kota ini memiliki luas wilayah 252,10 km². Bersama dengan Kabupaten Malang dan Kota Batu, Kota Malang merupakan bagian dari kesatuan wilayah yang dikenal dengan Malang Raya (Wilayah Metropolitan Malang). Jumlah penduduk Kota Malang sendiri per 29 februari 2016 adalah 883.810 jiwa. Jumlah itu belum termasuk puluhan ribu mahasiswa dari luar Malang yang menetap di Malang. Hal ini dikarenakan Malang dikenal sebagai salah satu kota tujuan pendidikan terkemuka di Indonesia karena banyak universitas dan politeknik negeri maupun swasta yang terkenal hingga seluruh Indonesia dan menjadi salah satu tujuan pendidikan berada di kota ini, beberapa di antaranya yang paling terkenal adalah Universitas Brawijaya, Universitas Negeri Malang, dan Universitas Muhammadiyah Malang. Di lain sisi hal ini memunculkan masalah baru, dimana banyaknya penduduk ini bisa berdampak terhadap semakin banyaknya volume sampah di Kota Malang. Volume sampah domestic dan industry di kota Malang rata-rata setiap harinya mencapai 600 ton hingga 700 ton. Bahkan ketika memasuki bulan Ramadhan, volume sampah di kota Malang menyentuh angka fantastis yakni mencapai 1000 ton sampah per hari (sumber: www.madiunpos.com). Padahal kapasitas TPA di kota Malang yakni TPA Supit Urang hanya mampu menampung 420 ton sampah per hari. Tentunya hal ini akan menjadi bom waktu seandainya tidak segera ditangani dengan baik.

Di lain pihak, masyarakat selama ini menganggap sampah sebagai barang sisa yang tidak berguna. Sampah diidentikkan dengan bibit penyakit dan sumber pencemaran lingkungan. Namun akhir-akhir ini mulai banyak komponen masyarakat yang mulai memanfaatkan sampah menjadi sebuah produk yang memiliki nilai ekonomis. Salah satunya di bidang energy. Banyaknya volume sampah di kota Malang ini merupakan sebuah potensi baru untuk menciptakan peluang sumber energy terbarukan di bidang kelistrikan. Saat ini upaya pembangkitan listrik sebagian besar masih menggunakan bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbaharui dan tidak ramah lingkungan. Padahal potensi sumber energi terbarukan (*renewable energy*) yang tersedia sangat melimpah namun hingga kini belum tergarap secara optimal. Di TPA Supit Urang sendiri sebenarnya telah dilakukan usaha pengolahan sampah menjadi gas metan. Namun dalam perkembangannya seharusnya TPA Supit Urang bisa

dikembangkan lagi untuk menghasilkan energy listrik. Sebenarnya hal ini sejalan dengan keinginan pemkot Malang untuk membuat pembangkit listrik tenaga sampah di TPA Supit Urang. Tentunya dibutuhkan kajian mendalam mengenai kelayakan pembangunan PLTSa di TPA Supit Urang ini. Untuk itulah penulis mencoba untuk melakukan kajian / studi kelayakan pembangunan pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa) di TPA Supit Urang Kota Malang didasarkan pada potensi sampah yang tersedia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang di atas maka pembahasan dalam skripsi ini ditekankan pada:

1. Bagaimana potensi produksi *Landfill Gas* (LFG) pada tahun 2016-2030 yang terdapat pada TPA Supit Urang yang nantinya dikembangkan menjadi pembangkit listrik tenaga sampah menggunakan Model *LandGEM*
2. Bagaimana potensi energy listrik yang dihasilkan oleh PLTSa di TPA Supit Urang yang dapat dijual ke PLN
3. Bagaimana kelayakan pembangunan pembangkit listrik tenaga sampah di TPA Supit Urang Malang Berdasarkan Analisis Penilaian Investasi Kelayakan Proyek

1.3 Batasan Masalah

Permasalahan dalam penulisan skripsi ini dibatasi dengan batasan masalah sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian adalah di TPA Supit Urang Kota Malang
2. Metode pembuangan sampah yang dipergunakan adalah metode *Sanittary Landfill*
3. Perhitungan penilaian investasi meliputi *Net Present Value* (NPV), *Payback Period* (PP), *BeBenefit Cost Ratio* (BCR), dan *Internal Rate of Return* (IRR)
4. Dalam penelitian ini tidak membahas kajian AMDAL
5. Teknologi pembangkitan adalah teknologi Gas Engine Generator Set
6. Perhitungan potensi gas menggunakan model perhitungan *LandGEM*
7. Sampah yang digunakan dalam perhitungan landfill gas adalah sampah organik dan samsampah anorganik yang tidak termanfaatkan (ditimbun)

1.4 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan kajian kelayakan dalam pembangunan pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa) di TPA Supit Urang Kota Malang. Kajian ini meliputi kajian potensi laju produksi LFG pada TPA Supit Urang yang nantinya akan dikembangkan menjadi pembangkit listrik tenaga sampah. Kajian juga meliputi prakiraan

besaran energy listrik yang dapat dihasilkan serta kajian kelayakan berdasarkan penilaian investasi pembangunan PLTSA Supit Urang.

1.5 Manfaat

Terdapat beberapa manfaat dari pembuatan skripsi ini, antara lain bagi penulis sendiri adalah dapat memberikan pengalaman dalam melakukan proses studi kelayakan pembangunan suatu pembangkit listrik, serta dapat mengimplementasikan ilmu yang didapat selama perkuliahan. Sedangkan bagi Pemerintah Kota Malang/Investor adalah dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam rencana pembangunan pembangkit listrik tenaga sampah di TPA Supit Urang Kota Malang.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dari skripsi ini adalah sebagai berikut :

Bab I : Pendahuluan

Berisi tentang uraian latar belakang, tujuan, identifikasi masalah, batasan masalah, rumusan masalah serta sistematika penulisan.

Bab II : Tinjauan Pustaka

Berisi tinjauan pustaka atau dasar teori yang digunakan untuk dasar penelitian yang dilakukan dan untuk mendukung permasalahan yang diungkapkan.

Bab III : Metode Penelitian

Berisi metode penelitian yang akan dilakukan, meliputi studi literature, objek penelitian, variabel, metode penelitian, metode pengumpulan data, dan metode analisis data.

Bab IV : Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini menguraikan tentang hasil penelitian dan pembahasan dari data yang telah diperoleh.

Bab V: Penutup

Berisi kesimpulan dari tujuan skripsi yang akan dibuat serta saran dari penulis



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sampah

Sampah merupakan barang sisa yang tidak termanfaatkan lagi dari hasil pembuangan sampah rumah tangga, pasar, dll. Berdasarkan UU No 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, definisi sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia atau proses alam yang berbentuk padat atau semi padat berupa zat organik atau anorganik bersifat dapat terurai atau tidak dapat terurai yang dianggap sudah tidak berguna lagi dan dibuang kelilingan.

2.1.1 Asal Sampah

Sampah berasal dari beberapa tempat, yakni :

a). Sampah dari pemukiman penduduk

Sampah yang berasal dari pemukiman penduduk biasanya sebagian besar berupa sampah organik. Sampah dapur yang berupa sisa makanan biasanya mendominasi pada sampah yang berasal dari permukiman penduduk. Selain itu dari sampah yang berasal dari pemukiman penduduk ini juga dihasilkan sampah lain seperti plastik, dll.

b). Sampah dari tempat-tempat umum dan perdagangan

Seperti kita ketahui bahwa tempat umum maupun tempat yang berupa fasilitas umum biasanya dikunjungi banyak orang. Semakin banyak orang yang terdapat pada tempat umum tersebut biasanya diimbangi dengan semakin banyak pula timbulan sampah yang mereka bawa. Jenis sampah yang berasal dari tempat umum ini bermacam-macam seperti sisa makanan, bungkus makanan, plastik, kaleng, dll.

2.1.2 Jenis Sampah dan Lama Penguraiannya

Jenis sampah bermacam-macam. Berdasarkan sifat kimianya, sampah padat dapat digolongkan sebagai berikut (Gelbert, dkk, 1996):

- Sampah Organik
- Sampah Anorganik

a). **Sampah Organik**

Sampah organik merupakan sampah yang berasal dari alam dan mudah diuraikan oleh alam. Bahan penyusun sampah organik sebagian besar berasal dari sampah rumah tangga. Bahan-bahan yang sering dijumpai dan termasuk sampah organik, misalnya sampah dari dapur, sisa tepung, sayuran, kulit buah, dan daun.

b). Sampah Anorganik

Sampah anorganik merupakan sampah yang berasal dari sumber daya alam tak terbarui atau biasanya dibuat dalam proses industri. Beberapa contoh dari sampah anorganik ini antara lain besi, plastik, dll. Hampir sebagian besar sampah anorganik tidak dapat diuraikan, walaupun dapat diuraikan memakan waktu yang sangat lama hingga berpuluh-puluh tahun. Akan tetapi beberapa jenis sampah anorganik seperti kertas, koran, dan karton merupakan perkecualian. Berdasarkan asalnya, kertas, koran, dan karton termasuk sampah organik. Tetapi karena kertas, koran, dan karton dapat didaur ulang seperti sampah anorganik lain (misalnya gelas, kaleng, dan plastik), maka dimasukkan ke dalam kelompok sampah anorganik.

Sedangkan lama penguraian sampah pada setiap jenis sampah ditunjukkan pada tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Lama Penguraian Sampah Per Jenis

Lama Penguraian	Contoh Jenis Sampah
Di bawah 6 bulan	Sampah organik, sampah dapur, dan kertas karton
10-12 tahun	Filter rokok
10-20 tahun	Kantong plastik
25-40 tahun	Bahan dari kulit binatang, tas, sepatu
30-40 tahun	Pakaian dari <i>nylon</i>
50-80 tahun	Plastik tebal
80-100 tahun	Alumunium
Tidak terurai	<i>Styrofoam</i>

Sumber: Mediastika C.E, 2013

2.2 Landfill Gas

Landfill gas (LFG) merupakan gas yang dihasilkan dari suatu proses fermentasi metana dari bahan-bahan organik pada sampah. Kandungan dari LFG sebagian besar adalah berupa gas metan (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2) serta sebagian kecil *Non Methane Organic Component* (NMOC).

Gas *landfill* adalah gas yang dihasilkan oleh limbah padat yang dibuang ke *landfill*. Metode yang digunakan biasanya berupa *sannitary landfill*, yang mana sampah ditimbun dan dipadatkan secara berlapis lapis dan dipadatkan dengan tanah. Karena kondisinya menjadi anaerobik, maka sampah organik yang terdapat dalam *landfill* terurai dan gas *landfill* dihasilkan. Hamburg (1988) menyatakan bahwa LFG yang dihasilkan dari pembusukan bahan organik dengan cara anaerob, merupakan campuran dari beberapa gas. Komposisi gas yang dihasilkan tergantung pada bahan baku sampah, kemampuan penampung pengolahan, keadaan kesehatan mahluk pencerna, dan berbagai parameter lainnya, seperti

suhu, kelembaban, kadar air, keasaman, dll. Untuk gas yang berasal dari landfill, biasanya memiliki konsentrasi sebesar 60% untuk gas metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂). Berikut adalah gas yang dihasilkan dari landfill dengan proses anaerobik:

Tabel 2.2 Komposisi Gas pada landfill

Komponen	Kandungan Gas (%)
Metan (CH ₄)	45 – 60
Karbon Dioksida	40 – 60
Nitrogen	2,0 – 5,0
Oksigen	0,1 – 1,0
Ammonia	0,1 – 1,1
Hidrogen	0 – 0,2
Karbon Monoksida	0 – 0,2

Sumber: Tchobagnolous (1993)

Dari tabel 2.2 dapat diketahui bahwa kandungan terbesar yang dihasilkan dari landfill adalah gas metan, yaitu sebesar 45%-60% dan berikutnya adalah karbon dioksida sebesar 40%-60%.

2.2.1 Proses Terbentuknya Landfill Gas (LFG)

Hadi (2000) menyebutkan bahwa sampah yang terdapat pada landfill akan mengalami proses biologis, kimiawi, dan fisik. Pada reaksi biologis, bahan organik diubah menjadi gas dan cairan. Pada saat proses penguraian biologis secara aerobik akan berlangsung dalam waktu yang singkat hingga kadar oksigen mengalami penurunan. Selama proses penguraian secara aerobik, dihasilkan gas CO₂. Kemudian terjadi penguraian secara anaerobik, dimana bahan organik tersebut diubah menjadi gas CO₂, CH₄, amoniak, dan hidrogen sulfida. Selanjutnya dapat dijelaskan bahwa pada proses kimiawi yang terjadi pada landfill yaitu terlarutnya kembali hasil penguraian secara biologis bersamaan dengan senyawa lain, terutama senyawa organik. Gas-gas yang terbentuk dari proses kimiawi tadi dapat lepas ke udara apabila tidak dilakukan penanganan dengan baik. Gas-gas yang bersifat polutan seperti CO₂ dan Gas Methane sangat berbahaya apabila lepas ke atmosfer karena dapat mengganggu kestabilan lapisan ozon.

Tchnobanologlous et al (1993) menyebutkan bahwa pembuangan sampah pada *landfill* akan menghasilkan gas maupun air lindi (*leachate*) sebagai output.

Proses *anaerobic* yang akan menghasilkan gas metan dan karbondioksida berlangsung dalam empat tahap sebagai berikut (Herawati Budiastuti, 2014):

a). **Proses *hydrolysis***

Merupakan Suatu proses yang memecah molekul organik kompleks menjadi molekul organik yang sederhana.

b). **Proses *acidogenesis***

Merupakan suatu proses yang mengubah molekul organik sederhana menjadi asam lemak.

c). **Proses *acetogenesis***

Merupakan suatu proses yang mengubah asam lemak menjadi asam asetat dan terbentuk gas-gas seperti gas H₂, CO₂, NH₄, dan S.

d). **Proses *methanogenesis*,**

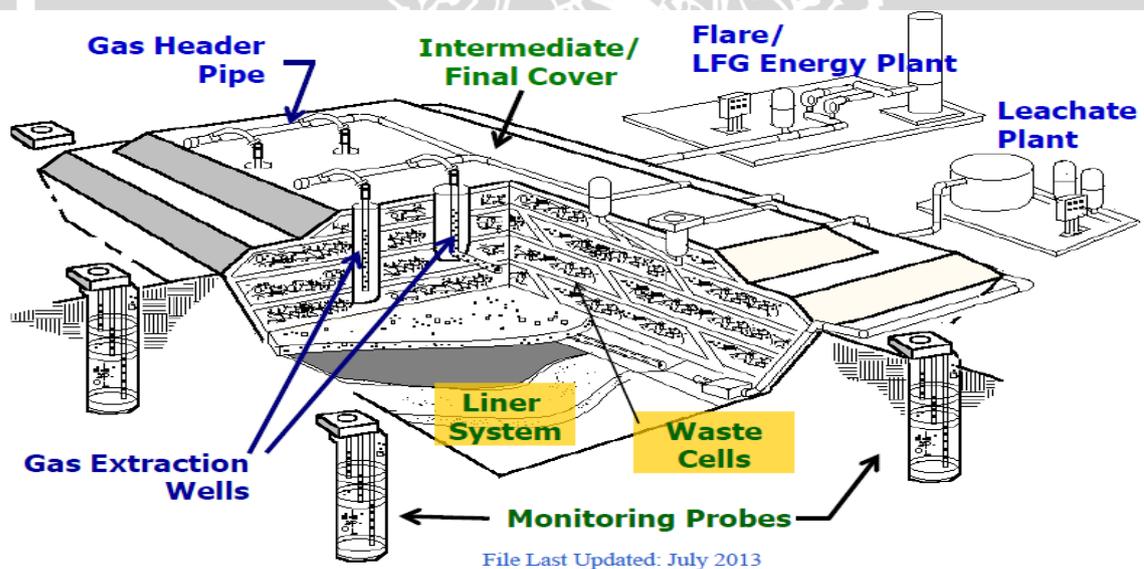
Merupakan suatu proses yang mengubah asam asetat dan gas-gas yang dihasilkan pada proses acetogenesis menjadi gas CH₄ dan CO₂.

Gas yang dihasilkan oleh *landfill* memiliki kecenderungan akan terus menurun, hal ini dapat dijelaskan karena semakin lama sampah yang diurai oleh mikroorganisme akan habis dan membusuk. Sampah organik akan lebih cepat membusuk dibandingkan dengan sampah non organik. Oleh karena itu, jumlah sampah organik sudah mulai berkurang karena sudah membusuk, dan gas metana yang dihasilkan akan masih ada namun dengan jumlah yang sedikit.

2.3 Konversi Energi Dari Sampah Ke Listrik (Pembangkit Listrik Tenaga Sampah)

PLTSA (Pembangkit Listrik Tenaga Sampah) merupakan sebuah pembangkit listrik yang memanfaatkan bahan bakar dari sampah. PLTSA ini adalah pembangkit yang memanfaatkan gas dari *landfill* hasil penguraian sampah, yang kemudian akan dimanfaatkan gas metana yang terkandung didalamnya sebagai bahan bakar generator (*gas engine*), yang kemudian akan menghasilkan listrik. Landfill adalah sebuah metode pemrosesan sampah dimana sampah ditimbun dan diberikan treatment sehingga mengurangi dampak polutan yang dapat dihasilkan dari sampah. Terdapat 3 jenis metode landfill yang sudah dikenal yaitu *open dumping*, *controlled landfill* dan *sanitary landfill*. Metode yang paling modern hingga saat ini adalah Sanitary Landfill. *Sanitary Landfill* adalah sistem pengolahan sampah yang menggunakan lahan cekungan dengan syarat tertentu yang mana sistem ini sudah digunakan secara luas oleh dunia internasional. Umumnya batuan landasan yang digunakan di lahan pembuangan adalah lempung atau pelapisan dengan geotekstil. Sistem ini merupakan metode TPA yang paling mutakhir, dimana perlakuan terhadap sampah yakni tiap harinya sampah akan ditutup/ dilapisi tanah. Pembuatan ketinggian dan lebar sel sampah juga

diperhitungkan. Pada dasar tempat pembuangan, dibuat pipa-pipa pengalir air lindi yang kemudian diolah menjadi energi. Diantara sel-sel sampah juga dipasang pipa-pipa penangkap gas metan yang kemudian diolah menjadi energi. Sanitary landfill ini memiliki fasilitas lebih lengkap dan mahal karena sepadan dengan resiko kerusakan lingkungan yang dapat diminimalkan. Selain itu, jenis sanitary ini merupakan jenis TPA yang diakui secara internasional (Rachmawati, 2013). Biasanya dalam upaya mengkonversi gas metan menjadi energi listrik disebuah TPA dibangun instalasi pembangkit listrik nya. Berbagai macam teknologi pembangkitan yang digunakan biasanya bergantung pada karakteristik sampah didaerah tersebut. Secara umum teknologi dalam pengkonversian sampah menjadi energi listrik terbagi menjadi 2 yakni teknologi pembakaran dan fermentasi metana. Teknologi pembakaran ini dikenal sebagai teknologi insinerator. Sedangkan pada teknologi fermentasi metana biasanya yang dimanfaatkan adalah gas metan yang dihasilkan oleh sampah yang diberikan perlakuan khusus di TPA dan dikonversi menggunakan generator dengan mesin yang berbahan bakar gas. Pada gambar 2.1 dibawah ini menunjukkan desain PLTSa dengan sistem pengolahan sampah *sannitary landfill*.



Gambar 2.1 PLTSa dengan Metode *Sanittary Landfill*

Sumber: www3.epa.gov

Gambar 2.1 diatas menunjukkan pemanfaatan gas dari sampah untuk pembangkit listrik dengan teknologi *sanitary landfill* yang mana gas yang dihasilkan dari landfill yakni berupa *Landfill Gas* (LFG). Seperti diketahui bahwa *Landfill Gas* (LFG) merupakan produk sampingan dari proses penguraian dari timbunan sampah yang terdiri dari unsur 50% gas metan (CH₄), 50% gas karbon dioksida (CO₂) dan <1% non-methane organic compound (NMOCs). Dapat kita lihat dari gambar bahwa langkah awal yang dilakukan adalah dengan

menimbun sampah hingga berlapis-lapis. Sampah dipadatkan lalu ditimbun dan diberi lapisan penutup setiap hari nya. Pengontrolan air lindi juga sangat diperhatikan disini. Salah satu hal yang perlu diperhatikan juga adalah LFG harus dikontrol dan dikelola dengan baik karena karena potensi terjadinya kabut gas beracun, pemanasan global dan kemungkinan terjadi ledakan gas bisa saja terjadi seandainya pengelolaanya tidak sesuai standar.

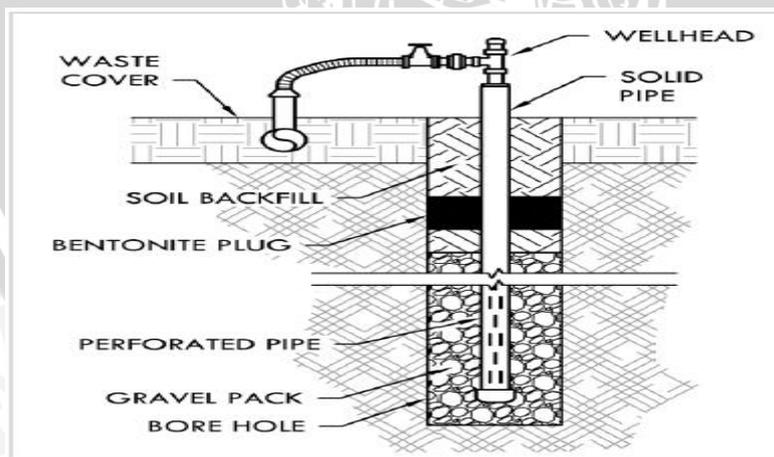
Untuk memanfaatkan gas yang sudah terbentuk, proses selanjutnya adalah memasang instalasi pipa-pipa penyalur untuk mengeluarkan gas atau biasa disebut sumur gas. Gas ini nantinya akan dialirkan menuju ke pembangkit listrik. Tapi biasanya sebelum menuju ke pembangkit gas-gas ini akan dilakukan treatment terlebih dahulu. Dalam penerapan sistem sanitary landfill yang perlu diperhatikan adalah, luas area harus mencukupi, tanah untuk penutup harus gembur, permukaan tanah harus dalam dan agar ekonomis lokasi harus dekat dengan sampah sehingga biaya transportasi untuk mengangkut tanah tidak terlalu tinggi.

2.3.1 Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA)

Beberapa komponen teknologi yang dipergunakan dalam upaya untuk menghasilkan listrik dari bahan bakar LFG yaitu:

2.3.1.1 Sumur Gas Vertikal

Pada instalasi pipa penangkapan gas *landfill*, teknologi yang mulai dikembangkan adalah dengan menggunakan sumur gas *vertical*. Gambar sumur vertikal ditunjukkan pada gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2 Pipa pada sumur gas di landfill

Sumber: www.globalmethane.org

Sumur gas *vertical* ini ditanam di dalam *landfill*. Instalasi pipa ini digunakan cara pengeboran langsung ditempat pembuangan akhir. Pipa tersebut biasanya ditanam dengan kedalaman kurang lebih 15 meter atau bisa disesuaikan dengan kedalaman masing-masing

landfill yang ada. Fungsi dari sumur gas vertikal ini sangat vital karena terkait dengan sistem pengumpul gas. Oleh karena itu, untuk menjangkau semua gas yang ada di dalam *landfill* tersebut, diperlukan suatu pipa gas yang mampu mencapai dasar dari *landfill*. Desain pipa dari sumur gas vertikal ini biasanya memiliki lubang-lubang yang digunakan untuk menghisap gas *landfill*. Melalui pori-pori ini, gas tersebut dihisap dan masuk kedalam pipa, kemudian disalurkan menuju sistem perpipaan yang telah disediakan untuk kemudian menuju *power house*. Untuk meminimalisir tercampurnya gas *landfill* dengan gas-gas yang tidak diharapkan seperti oksigen (O₂) dan juga air, maka pori-pori tersebut terdapat 3 meter dari atas permukaan *capping* bagian atas sampai didasar permukaan *landfill* untuk menjaga konsentrasi gas CH₄ yang akan dihasilkan. Jarak antar sumur gas yakni 1 sumur gas vertikal tiap 1 acre (0,405 hektar). Hal ini didasari pada kapasitas atau kemampuan pipa tersebut dapat menghisap gas *landfill*. Oleh karena itu, untuk mengoptimalkan kinerja dari pipa tersebut maka dipasang sesuai jarak tersebut. Sumur vertikal biasanya dipasang di daerah dimana *landfill* tersebut telah berhenti menerima sampah atau di mana tidak diisi sampah selama setahun. Namun, dapat juga sumur gas ini diinstal dan dioperasikan dimana penimbunan sampah masih terus dilakukan namun penempatan akan menghasilkan peningkatan biaya operasi dan kebutuhan pemeliharaan. (U.S EPA).

Penempatan dan jarak sumur vertikal di *landfill* tergantung pada berbagai parameter spesifik lokasi, termasuk diantaranya adalah:

- a). Kedalaman timbunan sampah
- b). Kedalaman sumur
- c). Tingkat lindi
- d). Kapadatan sampah
- e). Jenis penutup harian (jika digunakan)
- f). Keberadaan penutup akhir
- g). Tujuan dari proyek LFG

Beberapa keuntungan dari penggunaan sumur gas vertikal ini dibandingkan penggunaan sumur gas horizontal antara lain sebagai berikut:

- Kemungkinan gangguan pada saat operasi sangat kecil
- Sumur gas vertikal ini adalah yang paling banyak digunakan dalam proyek LFG
- Handal dan dapat dilakukan pemeriksaan secara mudah dan handal dalam operasi pemompaan

2.3.1.2 Capping (Penutup Landfill)

Untuk mengantisipasi lepasnya gas yang dihasilkan oleh landfill ke atmosfer maka digunakanlah capping yang terbuat dari bahan geomembran. Capping merupakan teknologi penahan yang membentuk penghalang antara kontaminan pada landfill dengan permukaan landfill sehingga melindungi manusia dan lingkungan dari efek berbahaya dari gas yang bermigrasi dan dihasilkan dari landfill. Capping pada landfill tidak mengurangi toksisitas, mobilitas, maupun volume limbah berbahaya, tetapi hanya membatasi migrasi dari gas landfill agar tidak lepas ke atmosfer (cpeo.org). Capping pada landfill juga dapat digunakan sebagai penghalang agar tidak ada air yang masuk ke dalam landfill. Pada intinya capping paling pokok digunakan untuk mencegah efek rumah kaca yang dapat ditimbulkan oleh gas pada landfill yang sebagian besar berupa gas CH₄ dan CO₂.

2.3.1.3 Kondensator

Kondensator adalah alat yang digunakan untuk memisahkan antara gas yang telah dihasilkan oleh *landfill* dengan air atau uap air. Kondensat mengacu pada kelembaban atau cairan yang terbentuk ketika LFG diekstrak LFG. Ada banyak faktor yang mempengaruhi kuantitas kondensat yang dihasilkan termasuk suhu dan volume LFG. Selain itu, kondisi iklim di landfill juga dapat mempengaruhi jumlah uap air yang terbentuk di LFG. Kondensasi dapat membatasi atau benar-benar menghalangi aliran LFG dalam sistem perpipaan. Setelah LFG dikumpulkan dari timbunan sampah, perlu untuk mengatasi kelembaban dan partikulat yang terdapat pada gas landfill. Treatment terhadap kelembaban dan partikulat diperlukan untuk mengurangi sifat abrasif dan korosif dari LFG untuk melindungi blower dan memastikan LFG akan membakar secara efektif dalam flare atau perangkat pembakaran lainnya. Partikulat biasanya dikeluarkan melalui penggunaan filtrasi. (U.S EPA, 2012).

2.3.1.4 Chiller

Chiller merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk mendinginkan suhu gas lfg. Seperti diketahui bahwa suhu lfg mencapai sekitar 60 derajat celcius di landfill. Kemudian dengan chiller diturunkan suhu nya menjadi sekitar 23-27 derajat celcius agar tidak berbahaya. (Syarifuddin, 2012). Gambar chiller sendiri ditunjukkan pada gambar 2.3 dibawah ini.



Gambar 2.3 Chiller
Sumber: thermax-europe.com

2.3.1.5 Blower & Flare

Blower adalah bagian penting dari pembangkit listrik tenaga sampah. Blower menyediakan vakum yang digunakan untuk mengumpulkan LFG dari timbunan sampah. Hal ini digunakan untuk memberikan tekanan yang diperlukan untuk mendorong LFG ke flare atau ke perangkat pembangkit listrik. Sebuah sistem pembakaran digunakan untuk membakar LFG dan dalam banyak kasus diperlukan untuk mengontrol bau atau mengurangi masalah lingkungan atau kesehatan lainnya. Jika memungkinkan, blower dan flare system harus terletak dekat sistem pengumpulan LFG atau dekat perangkat pembangkitan listrik. Sistem flare harus dipasang jauh dari pohon, tiang listrik, atau benda lain yang bisa dinyalakan oleh api atau rusak oleh panas. LFG biasanya melewati sistem metering untuk mengukur laju aliran LFG yang dikumpulkan. Sistem metering dasar meliputi volumetrik flow meter. Namun, sistem pemantauan metana terus menerus juga akan diperlukan untuk mengukur laju aliran massa metana di LFG. Jenis dan dinilai kapasitas blower dan flare sistem ditentukan berdasarkan aliran gas lfg. Flare digunakan untuk semua proyek LFG, sering dikombinasi dengan proyek pemanfaatan energi. Flare dapat terus berjalan dalam kasus ketika proyek telah mengumpulkan jumlah gas lebih dari energi yang dibutuhkan atau saat digunakan terutama saat *startup* atau *downtime*. (U.S EPA,2012). Gambar blower ditunjukkan pada gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 2.4 Blower
Sumber: www.unisonsolutions.com

2.3.1.6 Filtrasi/Pemurnian Gas

Biogas mengandung unsur-unsur yang tidak diperlukan dalam pembakaran khususnya air (H_2O) Karbondioksida (CO_2) dan hidrogen sulfida (H_2S). Kandungan dari zat biogas H_2S yang memiliki bau khas bahan organik (kotoran hewan) jika dikembangkan lebih lanjut maka kandungan zat H_2S ini akan mengakibatkan korosi aliran pipa untuk disebarkan disetiap pengguna energi biogas ini dan jika dikembangkan untuk industri sebagai bahan bakar pembangkit listrik atau menjalankan generator maka sangat dikhawatirkan dampak yang terjadi.

Kemurnian biogas menjadi pertimbangan yang sangat penting karena berpengaruh terhadap nilai kalor/panas yang dihasilkan sehingga biogas yang dihasilkan perlu dilakukan pemurnian terhadap biogas. Pemisahan atau pemurnian biogas terdapat berbagai teknologi yang dikembangkan, yaitu:

a). Adsorbsi

Metode Adsorbsi secara fisik maupun kimiawi efektif untuk laju aliran gas yang rendah dimana biogas dioperasikan pada kondisi normal. Salah satu metode yang sederhana dan murah yaitu menggunakan air bertekanan sebagai absorben (Shannon dkk, 2006)

b). Kriogenik

Pemisahan secara kriogenik merupakan metode pemurnian yang melibatkan campuran gas dengan kondensasi fraksional dan destilasi pada temperatur rendah. Proses ini diawali dengan *crude* biogas ditekan hingga mencapai 80 bar, proses kompresi ini berjalan secara *multistage* dengan *intercooler*. Biogas bertekanan kemudian dikeringkan untuk menghindari terjadinya pembekuan selama proses pendinginan berlangsung. Kemudian didinginkan oleh *chiller* dan *heat exchanger* hingga $-45^{\circ}C$, CO_2 yang terkondensasi dihilangkan di dalam separator. Melalui proses ini gas metana yang dihasilkan mencapai kemurnian 97% (Huang, 2005)

c). **Pemisahan dengan Membran**

Metode ini beberapa komponen atau campuran dari gas ditransportasikan melalui lapisan tipis membran. Transportasi tiap komponen dikendalikan oleh perbedaan tekanan parsial pada membran dan permeabilitas tiap komponen dalam membran. Pencapaian gas metana dengan kemurnian yang tinggi harus diikuti pula dengan permeabilitas yang tinggi. Membran padat dapat disusun dari polimer selulosa asetat yang mempunyai permeabilitas yang untuk CO₂ dan H₂S mencapai 20 dan 60 kali berturut-turut lebih tinggi dibanding permeabilitas CH₄. Tekanan sebesar 25-40 bar diperlukan untuk proses membran tersebut (Huang, 2005)

2.3.1.7 Pembangkit Listrik (Electricity Generation)

2.3.1.7.1 Gas Engine Generator Set

LFG dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk reciprocating engine/gas engine yang pada akhirnya dapat memutar generator untuk menghasilkan listrik. Gas engine yang menggunakan LFG sebagai bahan bakar tersedia sebagai unit modular atau paket generator paralel lengkap dengan output listrik mulai dari 0,5 MW hingga 3,0 MW per unit. Beberapa instalasi telah dibangun dengan kapasitas lebih besar dari 30 MW. Gas Engine memiliki biaya modal yang relatif rendah per kW nya dan efisiensi yang lebih tinggi daripada kebanyakan turbin gas. Sifat modular sistem gas engine memberikan fleksibilitas untuk ekspansi tambahan yang mungkin diperlukan karena perkembangan teknologi LFG di masa depan. (Rajaram Vasudevan, 2011)

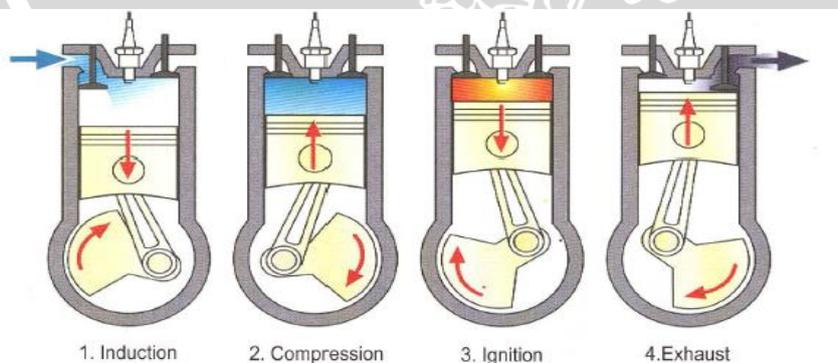
Manfaat lain untuk menggunakan gas engine adalah potensi untuk menggunakan panas dari mesin untuk dimanfaatkan dengan konverter panas untuk aplikasi pemanas. Perbaikan teknologi oleh beberapa produsen mesin terus ditingkatkan untuk menjamin kinerja dan daya tahan mesin gas engine berbahan bakar gas LFG. Mesin ini secara khusus dirancang untuk menahan korosi dan memberikan kinerja yang lebih tinggi dari bahan bakar dengan BTU rendah seperti LFG. Komponen mesin telah dimodifikasi untuk membantu mengurangi pengaruh kontaminan yang ditemukan di LFG pada mesin. Perbaikan desain seperti menurunkan tingkat bahan bakar yang mungkin diperlukan dan mengurangi *downtime*, memperpanjang interval servis, dan memberikan output daya yang lebih konsisten dengan emisi yang lebih rendah. Mesin pembakaran yang tersedia untuk aplikasi pembangkit listrik dalam ukuran mulai dari beberapa kilowatt hingga lebih dari 5 MW. Gas engine memiliki efisiensi listrik lebih tinggi dari turbin gas dengan ukuran yang sebanding. Efisiensi listrik dari mesin gas berkisar dari 30% hingga 40%.

Salah satu contoh *gas engine* yang digunakan adalah tipe Jenbacher J320 GS. Penggunaan gas dapat digunakan tanpa perlu adanya pemurnian dari gas-gas tersebut, yang tetap dapat membangkitkan listrik. Namun, gas tersebut harus memiliki kandungan metan sekitar 27-60%. Atau sekitar 600 m³ per jam lfg untuk dapat menghasilkan listrik sebesar 1MW. Gambar 2.5 berikut menunjukkan gambar gas engine Jenbacher J320GS.



Gambar 2.5 Gas Engine Jenbacher J320GS
Sumber: www.powergen.gepower.com

Dalam membangkitkan listrik, *gas engine* bekerja seperti mesin motor bakar yang lainnya. Pada sistem motor bakar perubahan LFG menjadi energi listrik dilakukan dengan memasukkan LFG kedalam *conversion kit* yang berfungsi menurunkan tekanan gas dari tabung penyimpanan sesuai dengan tekanan operasional mesin dan mengatur debit gas yang bercampur dengan udara didalam *mixer*, dari *mixer* LFG bersama dengan udara masuk kedalam mesin dan terjadilah pembakaran yang akan menghasilkan daya untuk menggerakkan generator yang menghasilkan listrik. Motor bakar terdiri dari motor kerja bolak balik (*reproccating engines*), motor bensin (*otto*) dan motor diesel, dengan sistem 2 tak maupun 4 tak. Gambar 2.6 berikut menunjukkan prinsip kerja motor bakar 4 tak pada gas engine:



Gambar 2.6 Prinsip Kerja Motor Bakar
Sumber: Landfill Gas Energy Technologies, Krakow (2010)

Dari gambar 2.6 dapat dijelaskan prinsip kerja motor bakar 4 tak pada gas engine sebagai berikut: (Krakow, 2012)

a). Induction

Piston turun dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah. Menghasilkan tekanan negatif di dalam silinder. Katup intake terbuka, memungkinkan udara dan campuran bahan bakar (atau udara segar, dalam kasus direct injection) yang bisa ditarik dari sistem intake (karburator, atau single atau multi-point fuel injection) melalui port intake terletak di belakang katup intake. Campuran udara-dan-bahan bakar diinjeksikan ke dalam silinder ke ruang antara piston dan kepala silinder. Begitu piston melewati titik mati bawah maka katup intake akan menutup.

b). Compression

Piston kembali ke bagian atas silinder menekan campuran udara dan gas. Kedua katup intake dan exhaust tertutup. Di bawah tekanan yang signifikan dipres untuk (biasanya) kurang dari sepersepuluh dari volume awalnya. Pembakaran terjadi sebelum campuran udara dan bahan bakar dikompresi dengan volume minimum (1-2 mm, atau sekitar 5 derajat dari rotasi crankshaft, sebelum piston mencapai titik mati atas).

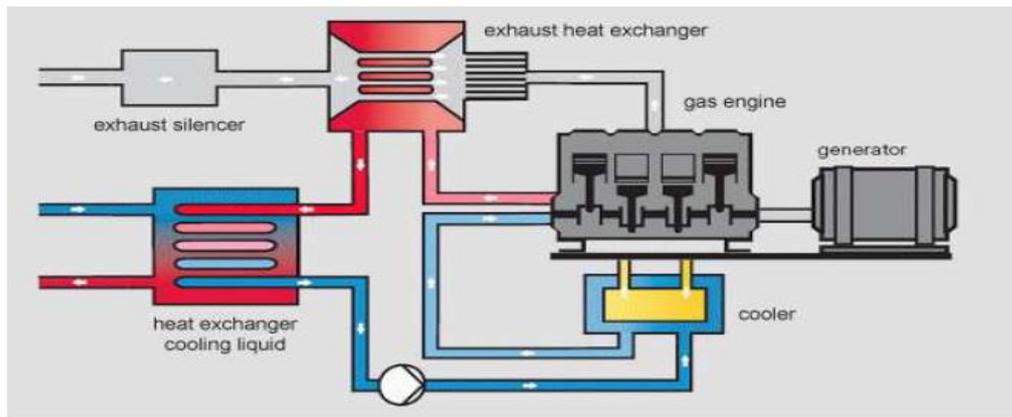
c). Combustion (Pembakaran)

Sesaat sebelum piston mencapai Titik Mati Atas, bahan bakar diinjeksikan dan spontan atau memicu pengapian terjadi. Kedua katup intake dan exhaust tertutup. Piston didorong kembali dengan kekuatan yang kuat, karena tekanan hingga 100 bar dibuat di dalam ruangan berikut pengapian. Hal ini menyebabkan piston mengarah ke titik mati bawah nya.

d). Exhaust (Pembuangan)

Piston akibat pembakaran akan terdorong hingga ke titik yang paling bawah, atau disebut Titik Mati Bawah. Sebelum piston mencapai titik mati bawah, katup buang terbuka. Piston bergerak ke atas menuju titik mati atas dan mendorong sisa gas dari silinder melalui katup buang terbuka. Setelah piston mencapai titik mati atas, katup buang ditutup, katup intake terbuka dan siklus dimulai lagi.

Didalam gas engine J320 GS ini, generator tersusun didalamnya sehingga tidak memerlukan generator lagi. Setelah mengalami proses diatas, motor bakar kemudian akan memnggerakkan generator. Sehingga energi mekanis yang dihasilkan oleh generator dapat menghasilkan listrik.

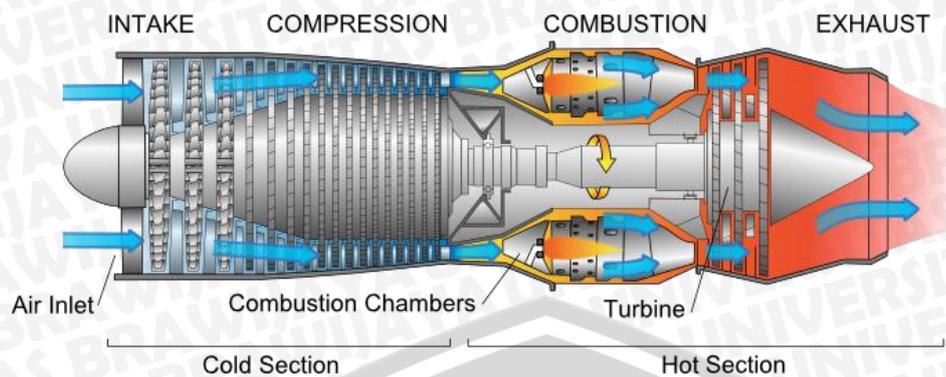


Gambar 2.7 Sistem Pembangkit Listrik Gas Engine
 Sumber: Landfill Gas Energy Technologies, Krakow (2010)

Pada gambar 2.7 dapat dijelaskan bahwa gas yang digunakan akan mengalami proses pengkompresian dan pendinginan supaya parameter tekanan gas sama dengan kebutuhan tekanan gas pada mesin. Sedangkan pada modifikasi mesin bensin yaitu dengan cara menambah conversion kit dan mixer.

2.3.1.7.2 Turbin Gas (Gas Turbin Engine)

Turbin gas beroperasi berdasarkan pada siklus Brayton pada termodinamika. Istilah "gas" mengacu pada udara atmosfer yang diambil ke dalam mesin dan digunakan sebagai media dalam proses konversi energi. Udara atmosfer ini pertama ditarik ke dalam mesin di mana ia dikompresi, dipanaskan, dan kemudian diperluas, dengan kelebihan listrik yang dihasilkan oleh expander yang dikonsumsi oleh kompresor yang digunakan untuk pembangkit listrik. Daya yang dihasilkan oleh turbin dan dikonsumsi oleh kompresor adalah sebanding dengan suhu mutlak berlalunya gas melalui peralatan. Mayoritas turbin gas saat ini beroperasi di tempat pembuangan sampah siklus sederhana. Turbin gas membutuhkan pasokan bahan bakar tekanan tinggi di kisaran 11 sampai 14 bar. Menggunakan kompresor gas bahan bakar untuk memasok tekanan tersebut dapat mengonsumsi porsi yang signifikan dari daya yang dihasilkan. Dibandingkan dengan gas engine, efisiensi elektrik dari gas turbin ini relatif lebih rendah yakni berkisar antara 20%-28%. (Krakow, 2010)



Gambar 2.8 Turbin Gas Engine`
Sumber: www.petervaldivia.com

Pada gambar 2.8 dapat dijelaskan bahwa sebuah turbin gas memiliki komponen dasar sebagai berikut :

a). Kompresor

Kompresor mengambil di udara luar dan kemudian memadatkan dan menekan molekul udara melalui serangkaian putaran.

b). Ruang Bakar

Di ruang bakar tersebut bahan bakar ditambahkan dengan molekul udara bertekanan dan dinyalakan. Molekul-molekul dipanaskan dan bergerak dengan kecepatan tinggi ke bagian turbin.

c). Turbin

Turbin mengubah energi dari gas berkecepatan tinggi menjadi tenaga rotasi.

d). Keluaran Shaft & Gearbox

Daya rotasi dari bagian turbin dikirim ke peralatan didorong melalui poros output melalui gearbox pengurangan kecepatan.

e). Exhaust

Bagian knalpot mesin mengarahkan gas keluar dari bagian turbin dan ke atmosfer.

Pada pembangkit jenis ini, nilai efisiensinya adalah berkisar 20-28%. Pemanfaatan turbin gas cocok untuk digunakan pada sistem dengan kebutuhan daya listrik yang besar dan kontinyu. Dan polusi emisi dari mikroturbin yang sebesar 1-10% dari hasil pembakaran gas. Selain itu, mikroturbin ini mampu beroperasi dan membakar dengan kandungan metana pada LFG sebesar 35%.

2.4 Generator Set (GENSET)

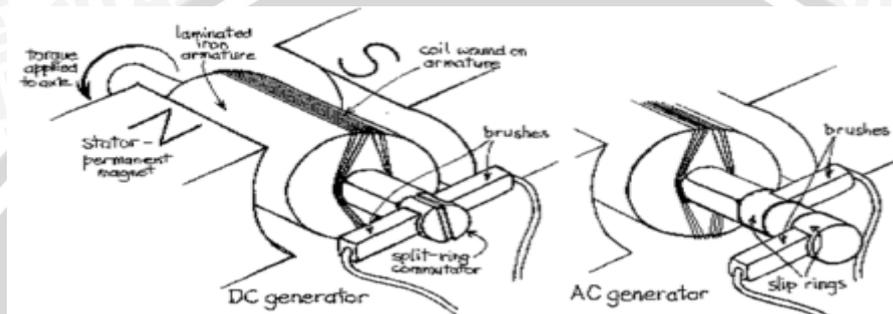
Genset (Generator set) adalah perangkat kombinasi antara pembangkit listrik (generator) dan mesin penggerak yang digabung dalam satu set unit untuk menghasilkan tenaga listrik. Mesin penggerak pada genset umumnya merupakan mesin pembakaran internal berupa motor / mesin diesel dengan bahan bakar solar dan mesin dengan bahan bakar bensin. Sedangkan generator adalah perangkat yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Prinsip kerja generator menggunakan prinsip percobaannya Faraday yaitu memutar magnet dalam kumparan atau sebaliknya, ketika magnet digerakkan dalam kumparan maka akan terjadi perubahan fluks gaya magnet (perubahan arah penyebaran medan magnet) di dalam kumparan dan menembus tegak lurus terhadap kumparan sehingga menyebabkan beda potensial antara ujung-ujung kumparan (yang menimbulkan listrik). (Trikueni Dermanto, 2014). Gambar dari genset sendiri ditunjukkan pada gambar 2.9 berikut ini.



Gambar 2.9 Generator Set (GENSET) Biogas
Sumber: www.generatorsetscn.com

Prinsip kerja genset adalah sebuah mesin pembakaran (mesin diesel atau mesin bensin) akan mengubah energi bahan bakar menjadi energi mekanik, kemudian energi mekanik tersebut diubah atau dikonversi oleh generator sehingga menghasilkan daya listrik. Generator memiliki dua tipe, yaitu generator AC atau yang biasa disebut alternator dan generator DC. Generator AC (alternator) adalah generator yang menghasilkan arus listrik bolak-balik (AC), sedangkan generator DC adalah generator yang menghasilkan arus listrik searah (DC). Sebenarnya generator AC memiliki sistem kerja yang sama dengan generator DC, yaitu menghasilkan listrik dari induksi elektromagnetik, selain itu baik generator AC maupun generator DC sebenarnya pada dasarnya sama-sama menghasilkan arus listrik

bolak-balik. Namun generator AC dan generator DC memiliki perbedaan pada desain konstruksinya. Generator DC menggunakan sebuah cincin belah (split ring) atau yang biasa disebut komutator yang bertindak sebagai penyearah (rectifier), sehingga arus yang dihasilkan generator DC adalah arus searah (DC). Sedangkan pada generator AC (alternator) menggunakan dua cincin seret (slip ring) untuk menghasilkan arus bolak-balik. (Trikueni Dermanto, 2014). Gambar dari prinsip kerja generator dapat dilihat pada gambar 2.10 berikut.



Gambar 2.10 Prinsip Kerja Generator
Sumber: trikueni-desain-sistem.blogspot.co.id

Genset (generator set) biasa digunakan untuk menghasilkan daya listrik alternatif, seperti ketika suplai pasokan daya listrik dari industri pembangkit listrik padam/off, atau keadaan dimana tidak ada pasokan jaringan listrik di daerah tersebut, atau juga biasa digunakan ketika diperlukan daya listrik tambahan.

2.5 Sanitary Landfill

Landfill adalah sebuah area yang menjadi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sampah. Secara garis besar, berdasarkan metode dan perlakuan di dalam landfill, Landfill dibagi menjadi tiga, yaitu Open Dumping, Controlled Landfill, dan Sanitary Landfill. (Rachmawati, 2013).

Sanitary landfill adalah metode TPA yang paling maju saat ini dimana sampah diurug dan dibuang secara sistematis. Setiap hari sel sampah ditutup/dilapisi dengan tanah. Pembuatan ketinggian dan lebar sel sampah juga diperhitungkan. Dari sisi kehidupan sebuah sanitary landfill akan mengalami, proses dekomposisi, secara aerob maupun anaerob ketika pertama kali material diletakkan dalam pengisian, maka proses dekomposisi mengarah pada peristiwa aerob, ketika komponen oksigen dikonsumsi, maka landfill dianggap mengalami

kondisi anaerob, lamanya tergantung pada suhu dan oksigen yang tersedia. Periode dekomposisi aerob lebih cepat dibanding dengan periode anaerob dalam proses ini. Pada dasar tempat pembuangan, dibuat pipa-pipa pengalir air lindi yang kemudian diolah menjadi energi. Di antara sel-sel sampah juga dipasang pipa-pipa penangkap gas metan yang kemudian diolah menjadi energi. Sanitary memiliki fasilitas lebih lengkap dan mahal dibanding controlled landfill. Sanitary landfill adalah jenis TPA yang diakui secara internasional.

Pada metode *sanitary landfill* satu zona terdiri dari beberapa subzona yang terdiri dari sel-sel harian yang dapat menampung sampah selama satu hari. Sel-sel harian ini akan ditutup dengan tanah penutup harian setiap akhir jam operasi. Untuk pengaturan sel perlu ditentukan lebih dahulu dimensi lebar, ketebalan dan panjang sel sebagaimana berikut : (Dirjen Cipta Karya, 1995)

- a). Lebar sel direncanakan 5,0-25,0 m, dengan pertimbangan alat berat dapat bermanuver sehingga lebih efisien.
- b). Ketebalan sel direncanakan sebesar 2,0 m. Ketebalan terlalu besar akan menurunkan stabilitas permukaan, sementara terlalu tipis akan menyebabkan pemborosan tanah penutup.
- c). Panjang sel 5,0-20,0 m, dihitung berdasarkan volume padat.

Berikut langkah-langkah pengoperasian metode *sanitary landfill* :

a). **Penimbangan sampah**

Penimbangan sampah dilakukan untuk memperoleh berat sampah yang diangkut dari sumber.

b). **Pembongkaran sampah**

Setelah melalui penimbangan selanjutnya sampah dibawa ke lokasi titik buang untuk dilakukan pembongkaran

c). **Penyebaran sampah**

Kegiatan operasi penimbunan sampah diawali dengan kegiatan penyebaran sampah yang bertujuan untuk memindahkan sampah menuju ke dalam lokasi kerja penimbunan yang terdiri sub pekerjaan pengambilan dan sub penyebaran sampah (*feeding* dan *spreading-in*). Jenis kegiatan ini dilakukan oleh alat berat *bulldozer*.

d). **Pemadatan sampah**

Proses berikutnya yang dilakukan setelah penyebaran sampah adalah pemadatan sampah. Proses ini bertujuan untuk memadatkan sampah sehingga tumpukan sampah menjadi lebih kecil. Pemadatan sampah ini juga bertujuan untuk perkerasan pondasi landfill. Pekerjaan ini harus menggunakan alat berat (*bulldozer*) untuk meratakan sampah. Pekerjaan membentuk terasering sampah dengan kemiringan maksimum 30° dengan menggunakan *Excavator*. Selain untuk meratakan sampah *bulldozer* juga sebagai alat untuk memadatkan sampah lapis demi lapis sampai mencapai ketinggian 3 m sehingga pekerjaan penutupan sampah dengan tanah merah dapat dilaksanakan dengan sempurna. Lapisan timbunan sampah dipadatkan dengan cara digiling sebanyak 5-7 kali sehingga didapatkan kepadatan optimum $600-650 \text{ kg/m}^3$. Faktor densitas perlu dimasukkan dalam perhitungan ini, karena volume sampah akan berubah sejalan dengan perubahan lokasi, wadah dan perlakuan yang digunakan.

Biasanya densitas yang digunakan adalah:

- o Sampah diukur di sumber = $0,1 - 0,2 \text{ ton/m}^3$
- o Sampah diukur di gerobak = $0,2 - 0,3 \text{ ton/m}^3$
- o Sampah di truk = $0,3 - 0,4 \text{ ton/m}^3$
- o Bahan urugan di landfill dengan dozer biasa = $0,4 - 0,6 \text{ ton/m}^3$
- o Bahan urugan di landfill dengan compactor = 1 ton/m^3

e). **Penutupan tanah**

Terdapat tiga jenis penutupan sampah dengan lapisan tanah, yaitu :

1). **Lapisan penutup harian**

Dipergunakan pada setiap hari akhir operasi. Lapisan ini mempunyai fungsi untuk kontrol kelembaban sampah, mencegah tersebarnya sampah, mencegah timbulnya bau, mencegah pertumbuhan binatang/vektor penyakit dan mencegah kebakaran. Ketebalan lapisan adalah 20-30 cm dalam keadaan padat.

2). **Lapisan penutup antara**

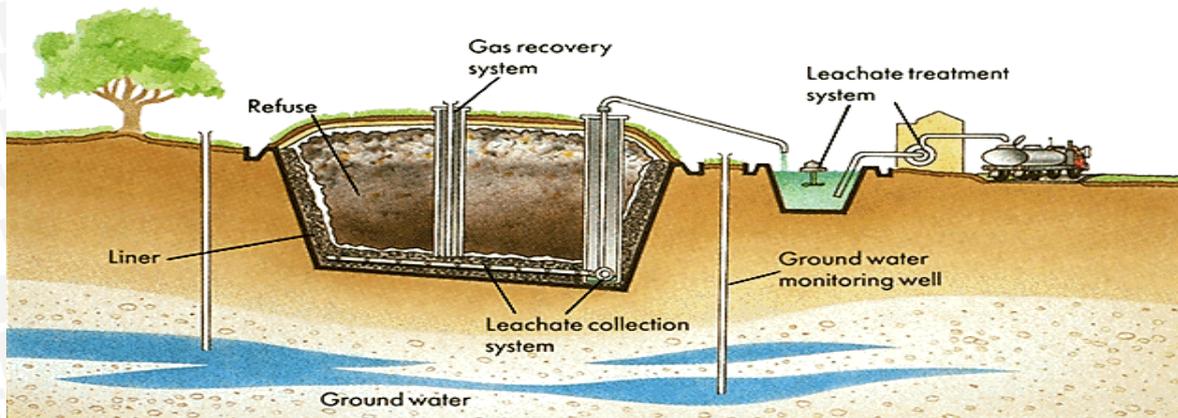
Lapisan penutup antara berfungsi sebagai jalan pelintasan kendaraan. Lapisan ini mempunyai ketebalan antara 30 cm - 50 cm dalam keadaan padat.

3). **Lapisan akhir**

Merupakan penutupan tanah terakhir setelah kapasitas terpenuhi. Ketebalan minimum yang disyaratkan adalah 50 cm dalam keadaan padat. Tanah penutup akhir

ini juga akan berfungsi sebagai tempat dari akar tumbuhan penutup. Lapisan penutup tanah akhir terdiri dari :

- Lapisan pendukung, berfungsi untuk meratakan muka tanah penutup timbunan antara sebelumnya dan memberikan kemiringan permukaan bukit. Tebal hingga 10 cm dan dapat menggunakan tanah sekitar lokasi.
- Lapisan kedap, berfungsi untuk mencegah resapan air hujan atau air permukaan lainnya. Terdiri dari tanah lempung atau bentukannya dengan persyaratan yang sama dengan pembentukan lapisan dasar. Memiliki ketebalan lapisan 50 cm.
- Lapisan penutup, berfungsi untuk menunjang perkembangan tumbuhan penutup bukit. Kualitas tanah penutup yang diharapkan adalah mudah dalam pengerjaan, ikatan partikel cukup baik dan kuat. Untuk bahan yang sesuai adalah campuran antara pasir, lanau dan lempung dengan prosentase perbandingan lanau, lempung, dan pasir yang hampir sama. Tanah ini harus memiliki kapasitas kelembaban (*moisture holding capacity*) yang tinggi. Tebal lapisan minimal 15 cm. Sebaiknya lapisan ini diberikan tambahan kandungan bahan organik (pupuk). Namun demikian, pada pasca operasi direncanakan penanaman pohon dengan akar yang dalam, maka ketebalan harus mencapai (1,5 - 2 m) agar kondisi pohon cukup kuat dan pertumbuhan akarnya tidak terganggu oleh gas yang terperangkap dalam lapisan sampah. Pada penutup akhir harus dicegah adanya cekungan-cekungan pada permukaan dan pada permukaannya dibentuk kemiringan sedemikian rupa sehingga tidak terjadi erosi (kemiringan 1-4 %). Gambar 2.11 menunjukkan tentang sanitary landfill.



Gambar 2.11 Sanitary Landfill
Sumber: www.internationalrivers.org

Metode ini umumnya terdiri atas beberapa komponen, yaitu (Juliansyah, 2010):

- a). *Lining System*
Berfungsi untuk mencegah masuknya *leachate* ke dalam tanah yang akan mengakibatkan pencemaran tanah. Pada umumnya *Lining System* berupa *compacted clay*, *geomembrane*, atau campuran tanah dengan *bentonite*.
- b). *Leachate Collection System*
Berada dan dibuat di atas *Lining System* yang berfungsi untuk mengumpulkan dan memompa *leachate* ke luar permukaan tanah.
- c). *Cover* atau *Cap System*
Berfungsi untuk mengurangi cairan yang diakibatkan oleh hujan yang masuk ke dalam *landfill*. Berkurangnya cairan yang masuk akan mengurangi *leachate*.
- d). *Gas Ventilation System*
Berfungsi untuk mengatur dan mengontrol aliran dan konsentrasi gas di dalam *landfill* sehingga bisa mencegah terjadinya ledakan yang diakibatkan oleh tidak terkendalinya aliran gas.
- e). *Monitoring System*
Berfungsi untuk mengawasi atau sebagai peringatan dini apabila terjadi kebocoran atau bahaya kontaminasi di lingkungan sekitar

2.6 LandGEM (Landfill Gas Emissions Model)

Selain pengukuran langsung terdapat perangkat lunak untuk menghitung laju emisi gas TPA secara teoritis, salah satunya adalah LandGEM. LandGEM adalah perangkat lunak yang dikeluarkan oleh *United States Environmental Protection Agency* pada tahun 2005. Laju pembentukan metan dalam LandGEM didasarkan pada persamaan orde pertama dekomposisi, dimana digunakan untuk memprakirakan emisi tahunan berdasarkan periode waktu yang ditentukan (Alexander, Burklin, & Singleton, 2005).

Perhitungan jumlah landfill gas (LFG) yang dihasilkan menggunakan rumusan sebagai berikut:

$$Qt = 2 \times Lo \times Mo \times (e^{k \times ta} - 1) \times e^{-k \times t} \quad (2-1)$$

Dimana:

Qt = Jumlah gas yang dihasilkan pada tahun ke t dalam m /tahun

Lo = Potensi nilai metan yang dihasilkan m / tahun;

m = Rata – rata jumlah sampah solid yang diterima, m / tahun ;

k = konstanta rata – rata metan yang dihasilkan, tahun ;

t = Umur landill , tahun;

ta = total tahun aktif landill , tahun

Dimana nilai total Gas metan yang terdapat pada Landfill Gas (LFG) adalah 50% dari

Qt .

Atau dapat dihitung volume gas methan dengan rumusan berikut:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 kL_o \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_{ij}} \quad (2-2)$$

Dimana:

Q_{CH_4} = Laju pembentukan metan pada tahun perhitungan (m^3/thn)

i = Kenaikan 1 tahun

n = (Tahun perhitungan) – (Awal tahun penerimaan)

j = Kenaikan 0,1 tahun

k = Konstanta emisi gas landfill

L_o = Potensi pembentukan metan (m^3/ton)

M_i = Berat sampah yang diterima pada tahun ke i (ton)

t_{ij} = umur sampah bagian ke j pada penerimaan tahun ke i
(dalam desimal contoh: 3,2 tahun)

Sedangkan untuk menentukan potensi daya yang dihasilkan dari landfill digunakan persamaan berikut:

$$Pg = \frac{Qt \times Ho}{3600} \quad (2-3)$$

Dimana: Pg = Daya yang dihasilkan (kW)

Qt = Produksi LFG (m^3/jam)

Ho = Nilai kalori LFG (kJ/ m^3)

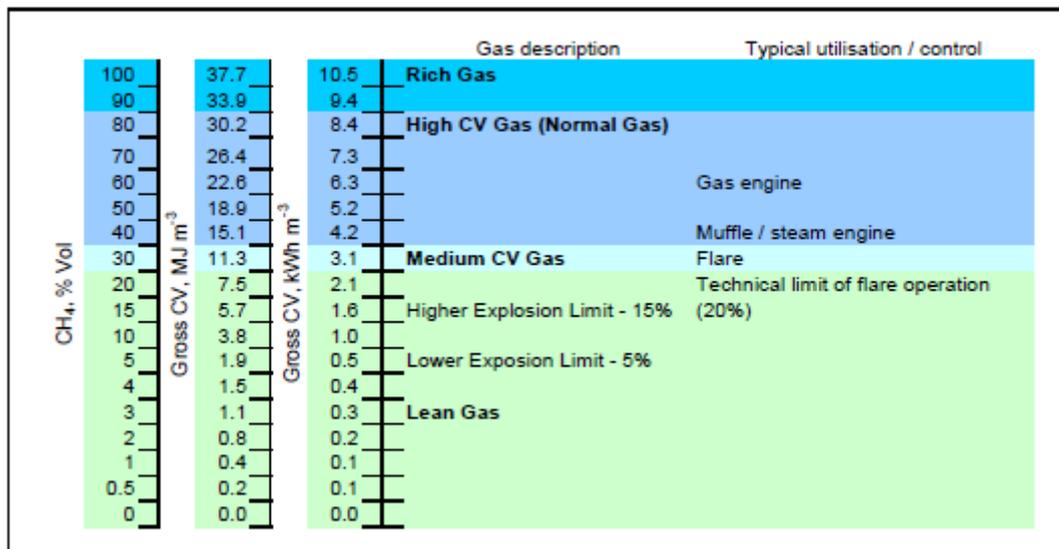
Atau dapat langsung menggunakan data konversi energi dari Charles Bank (2009) (dimuat dalam buku *From Landfill Gas to Energy – Technologies & Challenges*, CRC Press, 2011) pada tabel 2.3 dibawah ini:

Tabel 2.3 Data Konversi Energi

Data Konversi Energi	
1 kWh	$3,6 \times 10^6$ J
1 m^3 Gas Metan	$3,6 \times 10^7$ J
1 m^3 Gas Metan	10 kWh

Sumber: Charles Banks (2009)

Dapat juga mengacu pada referensi pada gambar 2.12 berikut ini.



Gambar 2.12 Nilai Konversi *Landfill Gas* ke Energi Listrik dan Kalori Pada *Landfill Gas*
Sumber: www.environment-agency.gov.uk

2.7 Prediksi Jumlah Sampah

Prediksi jumlah sampah adalah memperkirakan jumlah sampah pada tahun yang akan datang dengan mengacu pada pertumbuhan jumlah sampah pada tahun-tahun sebelumnya. Untuk memprediksikan jumlah sampah pada tahun yang akan datang digunakan rumus metode persamaan *least square regression*. *Least square regression* atau *linier trend line* adalah sebuah metode yang digunakan untuk memprediksi atau meramalkan sesuatu dimasa yang akan datang berdasarkan variabel waktu. *Least square regression line* menghubungkan satu variabel terikat dengan satu variabel bebas dalam bentuk persamaan linier sebagai berikut:

$$Y_t = a + bX_t \quad (2-4)$$

dengan:

$$a = \frac{\sum \text{data aktual } (Y)}{n}$$

$$b = \frac{\sum XY}{\sum X^2}$$

dimana:

Y_t = Ramalan jumlah sampah masuk TPA untuk tahun t

X_t = Nilai X pada tahun t

2.8 Analisis Ekonomi / Penilaian Investasi

Menurut Husnan dan Suwarsono (2000) ada lima metode yang bisa dipertimbangkan untuk dipakai dalam penilaian investasi, diantaranya: *Average Rate of Return*, *Payback Period* (PP), *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR) dan *Profitability Index/Benefit Cost Ratio* (BCR). Namun disini yang akan dibahas meliputi 4 metode saja yakni NPV, BCR, IRR, dan PP.

a). *Net Present Value* (NPV)

Metode *Net Present Value* (NPV) adalah metode untuk menghitung selisih antara nilai investasi dengan nilai penerimaan kas bersih yang telah di *present value* kan. Hal pokok yang harus diperhatikan adalah nilai discount rate yang dipakai harus relevan dengan keadaan yang ada. Syarat kelayakan yang terdapat pada metode ini adalah apabila nilai NPV adalah positif maka proyek ini dikatakan menguntungkan sehingga dapat memenuhi persyaratan untuk dilaksanakan. Sedangkan apabila NPV negatif, proyek ditolak karena tidak menguntungkan (Husnan dan Suwarsono, 2000).

NPV adalah selisih antara *benefit* (penerimaan) dengan *cost* (pengeluaran) yang telah di *present value* kan. Kriteria ini mengatakan bahwa proyek akan dipilih apabila $NPV > 0$.

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{NB_i}{(1+i)^n} = \sum_{i=1}^n \bar{B}_i - \bar{C}_i \quad (2-5)$$

Dengan: *NPV* = *Net Present Value* (Rp)
NB = *Net Benefit* = *Benefit* – *Cost*
Bi = *Benefit* yang telah didiskon
Ci = *Cost* yang telah didiskon
n = tahun ke-
i = diskon faktor (%)

b). *Profitability Index* atau *BC Ratio*

Profitability Index atau *Benefit and Cost Ratio* (*BC Ratio*) merupakan metode menghitung perbandingan antara *present value* penerimaan kas bersih dengan investasi. Syarat kelayakan dari metode ini adalah apabila $BCR > 1$, maka proyek dapat dikatakan menguntungkan, akan tetapi jika nilai $BCR < 1$ maka proyek tersebut dapat dikatakan tidak layak untuk dilaksanakan. Sama seperti pada metode NPV bahwa nilai discount rate harus

ditentukan terlebih dahulu. Nilai discount rate yang digunakan haruslah relevan. (Husnan dan Suwarsono, 2000).

Dalam kasmir dan jakfar (2003), Rumus yang digunakan untuk mencari PI atau BC ratio adalah sebagai berikut:

$$PI: \frac{\sum PV_{netBenefit}}{\sum PV_{Investasi}} 100\% \quad (2-6)$$

c). *Internal Rate of Return (IRR)*

Metode *Internal Rate of Return (IRR)* adalah suatu metode yang tujuannya adalah untuk mencari tingkat bunga yang menyebabkan nilai ekivalen antara benefit dengan cost adalah sama. (Husnan dan Suwarsono, 2000). Biasanya metode yang digunakan adalah metode coba-coba atau *trial and error*. Apabila tingkat bunga ini lebih besar dari pada tingkat bunga relevan (tingkat keuntungan yang disyaratkan), maka investasi dikatakan menguntungkan, kalau lebih kecil dikatakan merugikan.

Menurut Rianto (1995), bahwa IRR dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$IRR = P_1 - C_1 \frac{P_2 - P_1}{C_2 - C_1} \quad (2-7)$$

Dimana: *IRR* = internal reat of return yang dicari

P_1 = tingkat bunga ke-1

P_2 = tingkat bunga ke-2

C_1 = NPV ke-1

C_2 = NPV ke-2

Dalam Husnan dan Suwarsono,(1999). Rumus dari IRR sebagai berikut :

$$IRR = i' \frac{NPV'}{NPV' - NPV''} \times (i'' - i') \quad (2-8)$$

Keterangan :

i' = tingkat suku bunga pada interpolasi pertama (lebih kecil)

i'' = tingkat suku bunga pada interpolasi kedua (lebih besar)

NPV' = nilai NPV pada discount rate pertama (positif)

NPV'' = nilai NPV pada discount rate kedua (negatif)

d). *Payback Period (PP)*

Menurut Husnan dan Suwarsono (2000), mengemukakan bahwa Payback Period merupakan metode yang mencoba mengukur seberapa cepat investasi bisa kembali. Hasil dari perhitungan estimasi lama nya waktu pengembalian investasi dihitung dalam satuan tahun dan bulan. Persyaratan kelayakan investasi dari metode ini ialah apabila metode ini menghasilkan nilai payback period adalah lebih cepat dibandingkan umur ekonomis proyek maka dapat dikatakan proyek dapat dilaksanakan, namun sebaliknya apabila nilai payback period adalah tidak layak untuk dilaksanakan..

Metode ini mengukur seberapa cepat suatu investasi bisa kembali, maka dasar yang digunakan adalah aliran kas, bukan laba: untuk itu kita hitung dulu aliran kas dari proyek tersebut.

Menurut Kasmir dan Jakfar (2003), model perhitungan yang digunakan dalam menghitung masa pengembalian modal investasi yaitu:

Apabila kas bersih tiap tahun sama:

$$PP = \frac{\text{investasi}}{\text{kas bersih/tahun}} \times 1 \text{ tahun} \quad (2-9)$$

2.9 Depresiasi (Penyusutan)

Depresiasi atau penyusutan dalam akuntansi adalah alokasi sistematis jumlah yang dapat disusutkan dari suatu aset selama umur manfaatnya. Penerapan depresiasi akan memengaruhi laporan keuangan, termasuk penghasilan kena pajak suatu perusahaan.

Penyusutan adalah alokasi yang sistematis atas nilai suatu aset tetap yang dapat disusutkan (*depreciable assets*) selama masa manfaat aset yang bersangkutan. Penyusutan merupakan penyesuaian nilai yang terus menerus sehubungan dengan penurunan kapasitas suatu aset, baik penurunan kualitas, kuantitas, maupun nilai. Penurunan kapasitas terjadi karena aset digunakan dalam operasional suatu entitas. Penyusutan dilakukan dengan mengalokasikan biaya perolehan suatu aset menjadi beban penyusutan secara periodik sepanjang masa manfaat aset. Tanah dan konstruksi dalam pengerjaan merupakan dua jenis aset tetap yang tidak disusutkan.

Terdapat tiga jenis metode penyusutan yang dapat dipergunakan menurut PP No.71/2010, yaitu:

- Metode Garis Lurus (*Straight Line Method*)
- Saldo Menurun Ganda (*Double Declining Balance Method*)
- Unit Produksi (*Unit of Production Method*)

a). Metode Garis-lurus:

$$\text{Depresiasi} = \frac{(\text{Harga Perolehan} - \text{Estimasi Nilai Sisa})}{\text{Estimasi Masa Manfaat}} \quad (2-10)$$

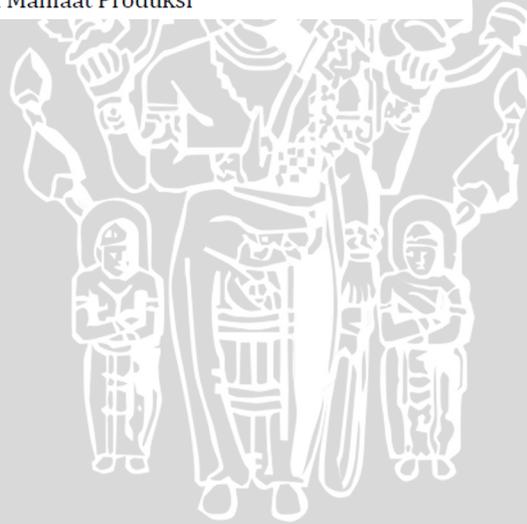
b). Metode Saldo Menurun Ganda

$$\text{Depresiasi} = \frac{100\%}{\text{Estimasi Masa Manfaat}} \times 2 \times \text{Harga Perolehan} \quad (2-11)$$

c). Metode Unit Produksi

Metode unit produksi menghasilkan perhitungan alokasi jumlah beban penyusutan periodik yang berbeda-beda tergantung jumlah penggunaan aset tetap dalam produksi. Metode ini menghitung penurunan nilai aset dengan rumus:

$$\text{Depresiasi} = \frac{\text{Harga Perolehan} - \text{Estimasi Nilai Sisa}}{\text{Estimasi Manfaat Produksi}} \times \text{Produksi tahun ini} \quad (2-12)$$

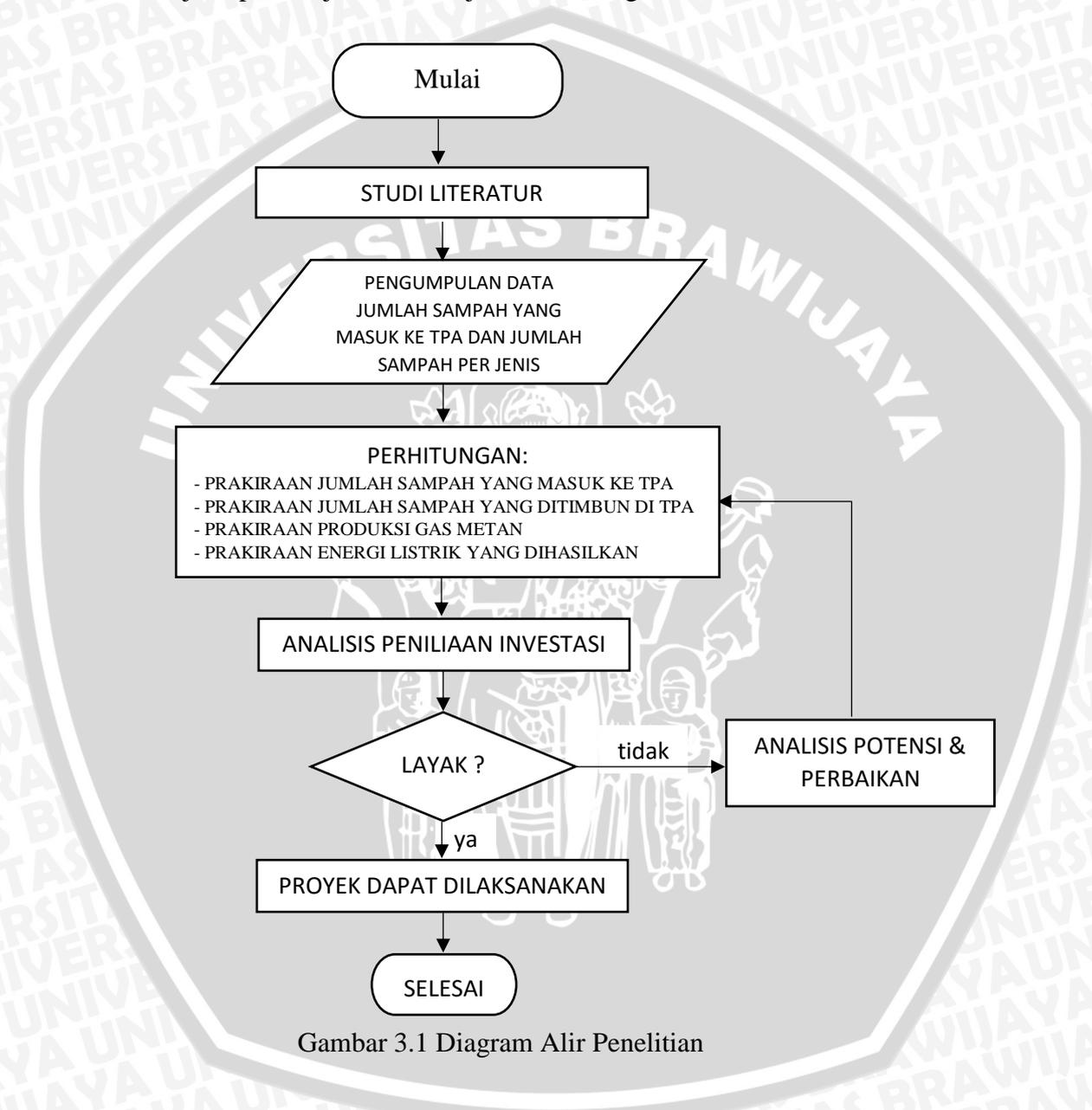




BAB III

METODE

Metode penelitian yang digunakan untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan pada kajian ini ditunjukkan dalam gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.1 Studi Literatur

Studi literature yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk mencari teori-teori yang menunjang penelitian ini. Sumber pustaka yang didapat adalah melalui jurnal, buku, maupun dari internet. Teori yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain:



- a). Teori mengenai sampah
- b). Teori mengenai Landfill Gas
- c). Teori mengenai konversi energy dari sampah ke listrik (Pembangkit Listrik Tenaga SamSampah)
- d). Teori mengenai *Sanitary Landfill*
- e). Teori mengenai metode *Landfill Gas Emission Model (LandGEM)*
- f). Teori mengenai metode peramalan jumlah sampah
- g). Teori mengenai perhitungan energy listrik yang dihasilkan dari sampah
- h). Teori analisis ekonomi meliputi perhitungan *Net Present Value, Benefit Cost Ratio, InteInternal Rate of Return, Payback Period*

3.2 Mencari Informasi dan Data

Dalam tahapan ini terdiri dari beberapa proses, yakni:

a). Menentukan daerah penelitian

Pencarian data pada penelitian ini dilakukan di Kota Malang. Hal ini terkait dengan titel kota Malang sebagai kota terbesar kedua di Jawa Timur yang dalam kenyataannya berkontribusi linier dengan produktivitas volume sampah yang besar di Kota Malang, dan bahkan hingga menyebabkan terjadinya overload pada TPA yang dimiliki Kota Malang. Dan penelitian ini sejalan dengan keinginan pemkot Malang yang akan melakukan pengolahan sampah menjadi energy listrik dari potensi sampah yang besar di Kota Malang.

b). Permintaan data volume sampah Kota Malang di Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Malang

Data volume sampah yang dibutuhkan pada penelitian ini meliputi:

- a). data volume sampah yang masuk TPA Supit Urang kota Malang tahun 2004-2013
- b). data volume sampah per jenis (organic & anorganic) kota Malang

3.3 PERHITUNGAN

3.3.1 Menghitung Prakiraan Jumlah Timbulan Sampah Yang Masuk ke TPA Supit Urang Kota Malang tahun 2016- 2030

Setelah memperoleh data yang dibutuhkan, maka tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan volume sampah yang masuk ke TPA Supit Urang Kota Malang untuk tahun 2016 hingga 2030. Kemudian dari data volume sampah yang telah diperoleh diolah menggunakan metode *least square regression*. Hasil dari perhitungan lalu dimasukkan kedalam tabel 3.1.

Tabel 3.1 Prakiraan jumlah sampah yang masuk ke TPA Supit Urang Kota Malang tahun 2016-2030

Tahun	Prediksi Jumlah Sampah Masuk TPA Tahunan (ton)
2016	
2017	
2018	
2019	
2020	
2021	
2022	
2023	
2024	
2025	
2026	
2027	
2028	
2029	
2030	

3.3.2 Menghitung Prakiraan Jumlah Timbulan Sampah Yang Ditimbun di TPA Supit Urang Kota Malang tahun 2016- 2030

Kemudian langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan jumlah sampah yang tidak termanfaatkan yang nantinya akan ditimbun. Hasilnya dimasukkan kedalam tabel 3.2

Tabel 3.2 Berat sampah organik dan anorganik yang ditimbun di TPA Supit Urang

Tahun	Prediksi Jumlah Sampah Masuk TPA Tahunan (ton)	Jumlah Sampah Ditimbun (ton)											Jumlah Sampah Organik + Anorganik Ditimbun (ton)	
		Organik	Anorganik											
			Kertas & Kardus	Plastik	Kaca	Metal	Tekstil	Karet	Tulang	Hazardous Waste	Sampah Inert	Sampah Residu		Total Sampah Anorganik
2016														
2017														
2018														
2019														
2020														
2021														
2022														
2023														
2024														
2025														
2026														
2027														
2028														
2029														
2030														

3.3.3 Menghitung Prakiraan Produksi Gas Metan

Setelah menghitung prakiraan volume sampah yang masuk ke TPA Supit Urang, maka tahap selanjutnya adalah melakukan proses perhitungan prakiraan produksi Gas Metan. Pada penelitian ini digunakan metode LandGEM (*Landfill Gas Emissions Model*) version 3.02 yang dipublikasikan oleh Environmental Protection Agency (EPA) di Amerika Serikat. Persamaan matematis dari metode LandGEM tersebut ditunjukkan pada persamaan 2.2. Nantinya dari prakiraan tersebut akan didapat prakiraan produksi *Landfill Gas* (LFG) hingga dalam jangka waktu 15 tahun ke depan. Hasil dari prakiraan ini akan dimasukkan kedalam table 3.3.

Tabel 3.3 Hasil perhitungan produksi gas metan di TPA Supit Urang

Tahun ke-	Tahun	Aliran Gas Metana		
		m ³ /tahun	m ³ /hari	m ³ /jam
0	2016			
1	2017			
2	2018			
3	2019			
4	2020			
5	2021			
6	2022			
7	2023			
8	2024			
9	2025			
10	2026			
11	2027			
12	2028			
13	2029			
14	2030			
15	2031			

3.3.4 Menghitung Prakiraan Potensi Energi Listrik Yang Dapat Dihasilkan

Setelah didapatkan data hasil prakiraan jumlah produksi gas metan, maka tahapan selanjutnya adalah menghitung prakiraan energi listrik yang dapat dihasilkan dengan menggunakan konversi pada tabel 2.3. Hasil dari perhitungan dimasukkan kedalam table 3.4.

Tabel 3.4 Rekapitulasi Potensi Energi Listrik Yang Dihasilkan
di TPA Supit Urang

Tahun	Total Aliran Gas Metan (m ³ /jam)	Daya listrik yang bisa dibangkitkan (P_e (kWe))	Energi listrik yang dapat dihasilkan oleh pembangkit (E_{el} (kWh)) (kWh)	Energi listrik untuk pemakaian sendiri ($E_{parasitic}$ (kWh)) (kWh)	Energi listrik yang dapat dijual ke PLN (E_{el} dijual (kWh)) (kWh)
2016					
2017					
2018					
2019					
2020					
2021					
2022					
2023					
2024					
2025					
2026					
2027					
2028					
2029					
2030					
2031					

3.4 Melakukan Analisis Ekonomi/Penilaian Investasi

3.4.1 Menghitung Asumsi Biaya Investasi

Perhitungan asumsi biaya investasi meliputi biaya pengadaan peralatan yang digunakan dalam proses pembangkitan meliputi sarana pendukung dan biaya lain yang terkait dengan proses pembangkitan serta pajak yang harus dibayarkan.

3.4.2 Menghitung Perkiraan Penerimaan Biaya

Perkiraan penerimaan biaya diasumsikan bahwa penyaluran tenaga listrik adalah 100% dari daya yang dijual ke PLN sesuai dengan harga yang merujuk pada Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya mineral (ESDM) nomor 44 tahun 2015 tentang Pembelian Tenaga Listrik Oleh PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) Dari Pembangkit Listrik Berbasis Sampah Kota, dimana disitu disebutkan bahwa PT. PLN (persero) wajib membeli listrik dari TPA dengan pengelolaan *Sanitary Landfill* sebesar 16,55 cent USD /kWh (untuk tegangan menengah) dan 20,16 cent USD/kWh (untuk tegangan rendah) jika terinterkoneksi dengan jaringan PT. PLN

3.4.3 Menghitung Asumsi Biaya Operasional dan Pemeliharaan

Perhitungan asumsi biaya operasional dan pemeliharaan meliputi biaya operasional dan pemeliharaan sistem pengumpul gas, sistem pembangkitan, dan gaji pegawai serta biaya operasional TPA.

3.4.4 Perhitungan Perkiraan Depresiasi

Perkiraan depresiasi digunakan untuk menentukan nilai ekonomis/nilai residu yang bernilai 10% dari nilai investasi awal dalam umur ekonomis yang ditentukan yakni 15 tahun kemudian didapatkan nilai depresiasi nya dengan menggunakan persamaan 2.10.

3.4.5 Menentukan Asumsi Cashflow

Asumsi Cashflow meliputi:

- Discount Rate
- Umur Ekonomis Pembangkit
- Pajak

3.4.6 Penilaian Investasi

Penilaian investasi yang diperhitungkan dan dikaji antara lain meliputi nilai *Net Present Value (NPV)*, *Benefit Cost Ratio (BCR)*, *Internal Rate of Return (IRR)*, *Payback Period (PP)*.

3.5 Pengambilan Kesimpulan

Kesimpulan diambil berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan. Jika hasil yang didapatkan memenuhi kriteria kelayakan yang ditentukan, maka dianggap bahwa proyek layak untuk dijalankan. Namun sebaliknya jika perhitungan tidak memenuhi kriteria kelayakan proyek, maka dianggap bahwa proyek tidak layak untuk dijalankan.



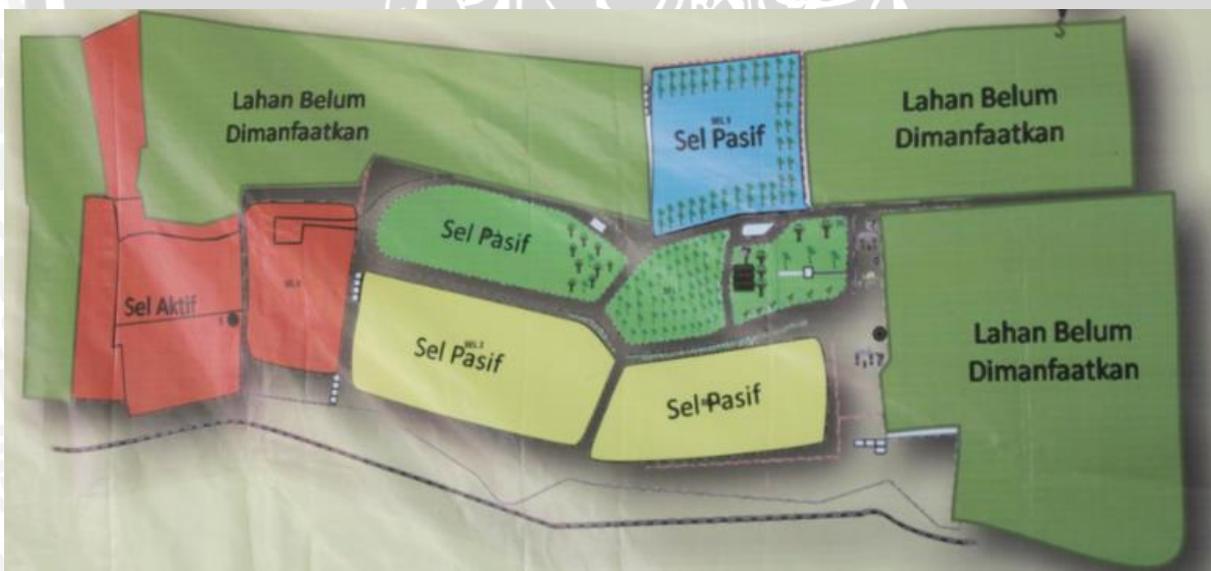
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Supit Urang Kota Malang

Data Existing:

- | | |
|---|------------|
| a). Luas lahan TPA Supit Urang | : 31,25 ha |
| b). Terpakai | : 15,20 ha |
| b1). Sel Aktif | : 3,20 ha |
| b2). Sel Pasif | : 8,25 ha |
| b3). IPLT | : 1,00 ha |
| b4). Kantor, Taman, Jalan | : 2,75 ha |
| c). Lahan Persediaan/Belum Dimanfaatkan | : 16,05 ha |
| d). Pembangunan TPA tahun 1991 | |
| e). Mulai Operasional tahun 1993 | |



Gambar 4.1 Lay Out TPA Supit Urang

Sumber: UPT TPA Supit Urang

Dari data dan gambar layout pada gambar 4.1 diatas dapat diketahui titik lahan yang dapat dimanfaatkan untuk PLTSa adalah sebesar 16,05 hektare. Lahan yang dapat dimanfaatkan untuk pembangunan PLTSa adalah lahan yang merupakan lahan persediaan (Lahan belum termanfaatkan). Namun nantinya dalam perkembangannya apabila lahan

yang dibutuhkan untuk PLTSa kurang maka pihak Pemerintah Kota Malang dapat mengusahakan pembukaan lahan baru disekitar area kompleks TPA Supit Urang.

4.2 Prakiraan Jumlah Timbunan Sampah Yang Masuk Ke TPA Supit Urang Kota Malang tahun 2016- 2030

Dari data yang didapatkan dari Dinas Kebersihan dan Pertamanan, jumlah sampah yang masuk ke TPA Supit Urang pada tahun 2004 – 2013 tercantum dalam tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Jumlah sampah yang masuk ke TPA Supit Urang Kota Malang 2004-2013

Tahun	Jumlah Sampah Masuk ke TPA (m ³)	Densitas	Jumlah Sampah Masuk ke TPA (ton)
2004	290.162	0,34	98.655
2005	279.029	0,34	94.870
2006	259.832	0,34	88.343
2007	256.396	0,34	87.175
2008	251.490	0,34	85.507
2009	277.656	0,34	94.403
2010	279.108	0,34	94.897
2011	280.558	0,34	95.390
2012	409.601	0,34	139.264
2013	324.474	0,34	110.321

Sumber: Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Malang

Selanjutnya akan dicari prakiraan jumlah timbunan sampah yang masuk ke TPA Supit Urang Kota Malang tahun 2016-2030. Dikarenakan data yang didapatkan bersifat fluktuatif, maka metode proyeksi yang dipilih adalah metode proyeksi *Linear Regressions/Least Square* yang mana dipakai pada kondisi dimana bobot data pada periode yang satu berbeda dengan data pada periode sebelumnya (fluktuatif). Pemilihan metode *Linear Regressions/Least Square* ini diawali dengan pengujian akurasi peramalan dengan metode ini yang tertulis pada tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Evaluasi Akurasi Peramalan dengan Metode *Linear Regressions/Least Square*

Tahun	Jumlah sampah masuk TPA aktual (ton) (Y)	Nilai (X)	X ²	XY	Hasil Peramalan (ton)	Error	Absolute Error	Kuadrat Error	% error
2004	98.655	-5	25	-493.275	86.092	12.563	12.563	157.824.401	12,73
2005	94.870	-4	16	-379.480	88.650	6.220	6.220	38.685.347	6,56
2006	88.343	-3	9	-265.029	91.208	-2.865	2.865	8.209.996	3,24
2007	87.175	-2	4	-174.350	93.766	-6.591	6.591	43.446.194	7,56
2008	85.507	-1	1	-85.507	96.324	-10.817	10.817	117.016.929	12,65
2009	94.403	1	1	94.403	101.441	-7.038	7.038	49.527.302	7,45
2010	94.897	2	4	189.794	103.999	-9.102	9.102	82.839.619	9,59
2011	95.390	3	9	286.170	106.557	-11.167	11.167	124.694.986	11,71
2012	139.264	4	16	557.056	109.115	30.149	30.149	908.977.001	21,65
2013	110.321	5	25	551.605	111.673	-1.352	1.352	1.827.412	1,23
Jumlah	988.825	0	110	281.387	988.825	0	97.864	1.533.049.188	94
MAD (Mean Absolute Deviation)	9,786								
MSE (Mean Squared Error)	153.304.918,81								
MAPE (Mean Absolute Percentage Error) (%)	9,44								

Cara untuk mengevaluasi akurasi teknik peramalan menurut Render dan Heizer (2004) ada 3 yakni dengan menilai Deviasi rata-rata absolute atau *Mean Absolute Deviation* (MAD), Kesalahan rata-rata kuadrat atau *Mean Squared Error* (MSE), dan Kesalahan persen rata-rata absolute atau *Mean Absolute Percent Error* (MAPE). Nilai-nilai MAD, MSE, dan MAPE yang kecil dapat dikatakan bahwa metode peramalan yang dipakai cukup akurat dimana dengan hasil peramalan yang berkisar dari bagus (nilai MAPE 10-20%) hingga sangat bagus (nilai MAPE di bawah 10%). Dari data diatas diketahui bahwa nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) dari metode *Linear Regressions/Least Square* yang dipakai untuk melakukan *forecasting* dalam kasus ini dinilai sangat bagus yakni 9,44% sehingga metode ini yang dipilih untuk melakukan peramalan/*forecasting* jumlah sampah yang masuk ke TPA Supit Urang untuk tahun-tahun selanjutnya.

Selanjutnya dengan metode *Linear Regressions/Least Square* dapat dilakukan peramalan/*forecast* jumlah sampah yang masuk ke TPA Supit Urang untuk tahun 2016-2030 dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Y_t = a + bX_t$$

dengan:

$$a = \frac{\sum \text{data aktual } (Y)}{n}$$

$$b = \frac{\sum XY}{\sum X^2}$$

dimana:

Y_t = Ramalan jumlah sampah masuk TPA untuk tahun t

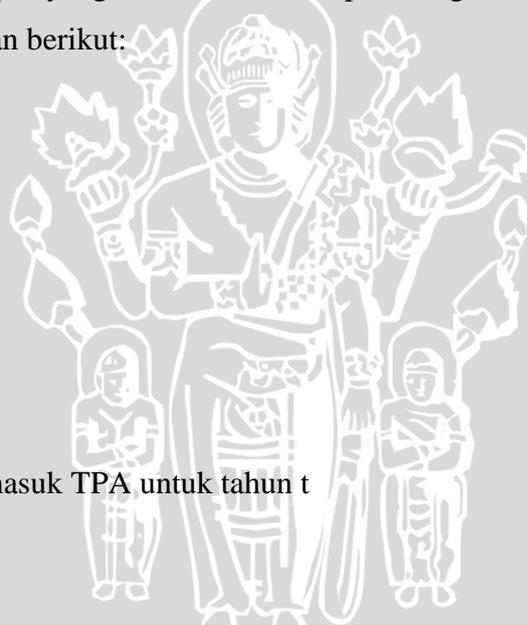
X_t = Nilai X pada tahun t

Dengan persamaan diatas dapat dihitung peramalan jumlah sampah masuk ke TPA Supit Urang Kota Malang untuk tahun 2016-2030 sebagai berikut.

$$a = \frac{\sum \text{data aktual } (Y)}{n}$$

$$= \frac{988.825}{10}$$

$$= 98.883$$



$$\begin{aligned} b &= \frac{\sum XY}{X^2} \\ &= \frac{281.387}{110} \\ &= 2.558 \end{aligned}$$

setelah nilai a dan b diketahui maka dapat dihitung peramalan/prediksi jumlah sampah masuk ke TPA Supit Urang sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Y_{2018} &= 98.883 + 2.558 (X_{2018}) \\ &= 98.883 + 2.558 (8) \\ &= 119.347 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_{2019} &= 98.883 + 2.558 (X_{2019}) \\ &= 98.883 + 2.558 (9) \\ &= 121.905 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_{2020} &= 98.883 + 2.558 (X_{2020}) \\ &= 98.883 + 2.558 (10) \\ &= 124.463 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_{2021} &= 98.883 + 2.558 (X_{2021}) \\ &= 98.883 + 2.558 (11) \\ &= 127.021 \text{ ton} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama dapat dicari perhitungan hingga tahun 2030. Tabel 4.3 berikut merupakan rekapitulasi peramalan/prediksi jumlah sampah masuk TPA Supit Urang tahun 2016-2030.

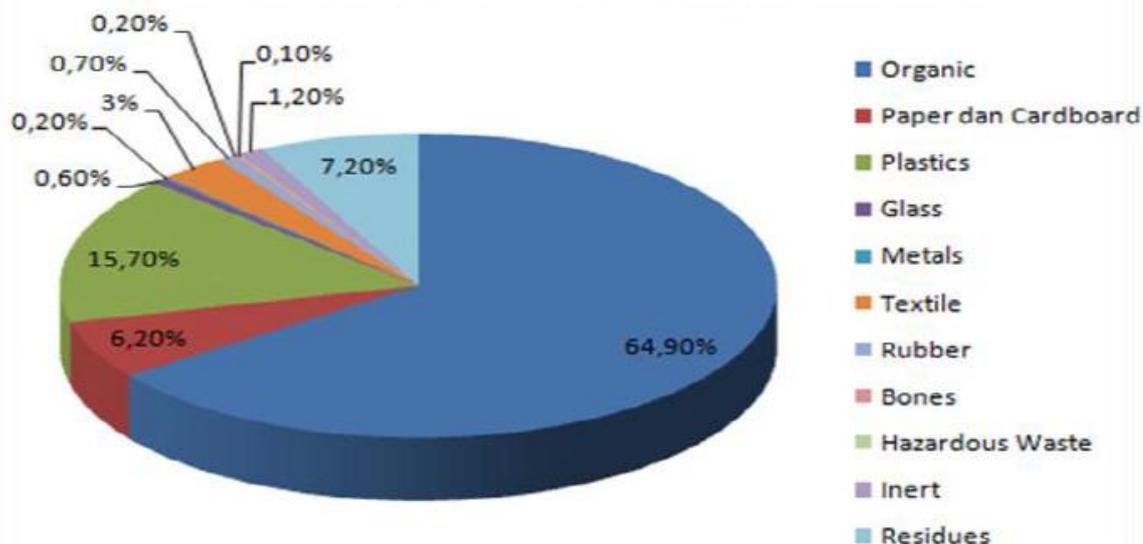
Tabel 4.3 Peramalan Jumlah Sampah Masuk TPA Supit Urang dengan Metode *Linear Regressions/Least Square* Tahun 2016-2030

Tahun	Prediksi Jumlah Sampah Masuk TPA (ton)
2016	119.347
2017	121.905
2018	124.463
2019	127.021
2020	129.579
2021	132.137
2022	134.695
2023	137.253
2024	139.812
2025	142.370
2026	144.928
2027	147.486
2028	150.044
2029	152.602
2030	155.160

Data pada tabel 4.3 menunjukkan prediksi jumlah sampah yang masuk ke TPA dari tahun 2016 hingga tahun 2030. Pada perhitungan tersebut dianggap bahwa sampah yang masuk ke TPA Supit Urang mengalami kenaikan dari tahun ke tahun.

4.3 Menghitung Prakiraan Jumlah Timbunan Sampah Yang Ditimbun di TPA Supit Urang Kota Malang tahun 2016- 2030

Dari data pada peramalan jumlah sampah masuk TPA Supit Urang diatas kemudian dapat dicari besarnya jumlah sampah organik dan sampah anorganik yang tidak dapat dimanfaatkan lagi yang nantinya akan ditimbun. Pemilahan jenis sampah ini memanfaatkan tenaga pemulung dan alat pemisah sampah otomatis. Dari prediksi jumlah sampah yang masuk ke TPA Supit Urang yang dapat dilihat pada tabel 4.3, besarnya prosentase sampah organik di TPA Supit Urang ditetapkan sebesar 64,9% dari total sampah yang masuk di TPA Supit Urang (data dimuat dalam jurnal Anggit Suko Rahajeng, “the effect of alternative energy utilization from landfill on methane emission reduction”,2014, dan telah divalidasi oleh Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Malang).



Gambar 4.2 Komposisi sampah di TPA Supit Urang Kota Malang
Sumber: Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Malang

Tabel 4.4 Komposisi sampah di TPA Supit Urang

No	Jenis Sampah	Komposisi Sampah (%)
A	Organik	64,90
B	Anorganik	35,10
B1	Kertas dan Kardus	6,20
B2	Plastik	15,70
B3	Kaca	0,60
B4	Metal	0,20
B5	Tekstil	3,00
B6	Karet	0,70
B7	Tulang	0,10
B8	Limbah Berbahaya (Hazardous Waste)	0,20
B9	Sampah Inert	1,20
B10	Sampah Residu	7,20

Dari gambar 4.2 dan tabel 4.4 dapat diketahui besarnya prosentase masing-masing komposisi sampah. Sebagian besar sampah yang masuk ke TPA Supit Urang adalah jenis sampah organik dengan prosentase sebesar 64,9%. Sedangkan sisanya adalah sampah anorganik yakni sebesar 35,10%. Dari keterangan pihak TPA Supit Urang, sampah anorganik yang masih dapat didaur ulang atau dimanfaatkan kembali itu antara lain meliputi material kertas dan kardus, plastik, kaca, metal, tekstil, dan karet. Namun karena belum terdapat fasilitas pemilahan sampah secara otomatis, hingga saat ini proses pemilahan

sampah di TPA hanya memanfaatkan keberadaan pemulung dimana pemulung ini hanya mampu mereduksi tidak lebih dari 3,1% dari volume total sampah yang masuk di TPA, atau tidak lebih dari 11,7 % dari volume total sampah anorganik yang masih dapat diolah (kertas & kardus, plastik, kaca, metal, tekstil, dan karet), sehingga masih cukup banyak sampah anorganik yang sebenarnya masih bisa dimanfaatkan namun ikut ditimbun karena keterbatasan fasilitas pemilahan. Namun dengan rencana pengadaan alat pemilah sampah otomatis dan pengoptimalan pemilahan sampah yang dimulai dari sumber, TPS, dan terakhir di TPA maka diasumsikan jumlah sampah anorganik yang masih bisa dimanfaatkan dapat direduksi hingga tinggal 50% dari sampah anorganik yang bisa dimanfaatkan kembali. Sedangkan sampah anorganik yang tidak dapat dimanfaatkan kembali meliputi sampah inert (sampah buangan konstruksi dan pembongkaran, kotoran, batu, puing-puing), sampah tulang, sampah limbah berbahaya (cat, bahan kimia, ban, baterai, lampu, peralatan listrik, lampu neon,dll), dan sampah residu (popok bayi, pembalut, dan sampah sisa lain yang tidak dapat dimanfaatkan kembali) akan ditimbun juga. Sedangkan untuk sampah organik dari 64,9% komposisi yang masuk ke TPA hanya 1% yang dimanfaatkan untuk compositing dan sisanya akan ditimbun karena keterbatasan fasilitas compositing di TPA Supit Urang. Berikut adalah tabel yang menunjukkan berat masing-masing jenis sampah pada tahun 2016-2030 yakni pada tabel 4.5 dan tabel yang menunjukkan jumlah sampah organik dan anorganik yang ditimbun yakni pada tabel 4.6.



Tabel 4.5 Berat masing-masing jenis sampah di TPA Supit Urang

Tahun	Prediksi Jumlah Sampah Masuk TPA Tahunan (ton)	Jenis Sampah											
		Organik	Anorganik										Total Sampah Anorganik
			Kertas & Kardus	Plastik	Kaca	Metal	Tekstil	Karet	Tulang	Hazardous Waste	Sampah Inert	Sampah Residu	
2016	119.347	77.456,20	7.399,51	18.737,48	716,08	238,69	3.580,41	835,43	119,35	238,69	1.432,16	8.592,98	41.890,80
2017	121.905	79.116,35	7.558,11	19.139,09	731,43	243,81	3.657,15	853,34	121,91	243,81	1.462,86	8.777,16	42.788,66
2018	124.463	80.776,49	7.716,71	19.540,69	746,78	248,93	3.733,89	871,24	124,46	248,93	1.493,56	8.961,34	43.686,51
2019	127.021	82.436,63	7.875,30	19.942,30	762,13	254,04	3.810,63	889,15	127,02	254,04	1.524,25	9.145,51	44.584,37
2020	129.579	84.096,77	8.033,90	20.343,90	777,47	259,16	3.887,37	907,05	129,58	259,16	1.554,95	9.329,69	45.482,23
2021	132.137	85.756,91	8.192,49	20.745,51	792,82	264,27	3.964,11	924,96	132,14	264,27	1.585,64	9.513,86	46.380,09
2022	134.695	87.417,06	8.351,09	21.147,12	808,17	269,39	4.040,85	942,87	134,70	269,39	1.616,34	9.698,04	47.277,95
2023	137.253	89.077,20	8.509,69	21.548,72	823,52	274,51	4.117,59	960,77	137,25	274,51	1.647,04	9.882,22	48.175,80
2024	139.812	90.737,99	8.668,34	21.950,48	838,87	279,62	4.194,36	978,68	139,81	279,62	1.677,74	10.066,46	49.074,01
2025	142.370	92.398,13	8.826,94	22.352,09	854,22	284,74	4.271,10	996,59	142,37	284,74	1.708,44	10.250,64	49.971,87
2026	144.928	94.058,27	8.985,54	22.753,70	869,57	289,86	4.347,84	1.014,50	144,93	289,86	1.739,14	10.434,82	50.869,73
2027	147.486	95.718,41	9.144,13	23.155,30	884,92	294,97	4.424,58	1.032,40	147,49	294,97	1.769,83	10.618,99	51.767,59
2028	150.044	97.378,56	9.302,73	23.556,91	900,26	300,09	4.501,32	1.050,31	150,04	300,09	1.800,53	10.803,17	52.665,44
2029	152.602	99.038,70	9.461,32	23.958,51	915,61	305,20	4.578,06	1.068,21	152,60	305,20	1.831,22	10.987,34	53.563,30
2030	155.160	100.698,84	9.619,92	24.360,12	930,96	310,32	4.654,80	1.086,12	155,16	310,32	1.861,92	11.171,52	54.461,16

Tabel 4.6 Berat sampah organik dan anorganik yang ditimbun di TPA Supit Urang

Tahun	Prediksi Jumlah Sampah Masuk TPA Tahunan (ton)	Jumlah Sampah Ditimbun (ton)												Jumlah Sampah Organik + Anorganik Ditimbun (ton)
		Organik	Anorganik											
			Kertas & Kardus	Plastik	Kaca	Metal	Tekstil	Karet	Tulang	Hazardous Waste	Sampah Inert	Sampah Residu	Total Sampah Anorganik	
2016	119.347	76.262,73	3.699,76	9.368,74	358,04	119,35	1.790,21	417,71	119,35	238,69	1.432,16	8.592,98	26.136,99	102.399,73
2017	121.905	77.897,30	3.779,06	9.569,54	365,72	121,91	1.828,58	426,67	121,91	243,81	1.462,86	8.777,16	26.697,20	104.594,49
2018	124.463	79.531,86	3.858,35	9.770,35	373,39	124,46	1.866,95	435,62	124,46	248,93	1.493,56	8.961,34	27.257,40	106.789,25
2019	127.021	81.166,42	3.937,65	9.971,15	381,06	127,02	1.905,32	444,57	127,02	254,04	1.524,25	9.145,51	27.817,60	108.984,02
2020	129.579	82.800,98	4.016,95	10.171,95	388,74	129,58	1.943,69	453,53	129,58	259,16	1.554,95	9.329,69	28.377,80	111.178,78
2021	132.137	84.435,54	4.096,25	10.372,75	396,41	132,14	1.982,06	462,48	132,14	264,27	1.585,64	9.513,86	28.938,00	113.373,55
2022	134.695	86.070,11	4.175,55	10.573,56	404,09	134,70	2.020,43	471,43	134,70	269,39	1.616,34	9.698,04	29.498,21	115.568,31
2023	137.253	87.704,67	4.254,84	10.774,36	411,76	137,25	2.058,80	480,39	137,25	274,51	1.647,04	9.882,22	30.058,41	117.763,07
2024	139.812	89.339,87	4.334,17	10.975,24	419,44	139,81	2.097,18	489,34	139,81	279,62	1.677,74	10.066,46	30.618,83	119.958,70
2025	142.370	90.974,43	4.413,47	11.176,05	427,11	142,37	2.135,55	498,30	142,37	284,74	1.708,44	10.250,64	31.179,03	122.153,46
2026	144.928	92.608,99	4.492,77	11.376,85	434,78	144,93	2.173,92	507,25	144,93	289,86	1.739,14	10.434,82	31.739,23	124.348,22
2027	147.486	94.243,55	4.572,07	11.577,65	442,46	147,49	2.212,29	516,20	147,49	294,97	1.769,83	10.618,99	32.299,43	126.542,99
2028	150.044	95.878,12	4.651,36	11.778,45	450,13	150,04	2.250,66	525,15	150,04	300,09	1.800,53	10.803,17	32.859,64	128.737,75
2029	152.602	97.512,68	4.730,66	11.979,26	457,81	152,60	2.289,03	534,11	152,60	305,20	1.831,22	10.987,34	33.419,84	130.932,52
2030	155.160	99.147,24	4.809,96	12.180,06	465,48	155,16	2.327,40	543,06	155,16	310,32	1.861,92	11.171,52	33.980,04	133.127,28
JUMLAH														1.766.452,12

Dari data jumlah timbunan sampah yang ditimbun pada tabel 4.6 diatas akan digunakan untuk perhitungan lebih lanjut untuk mendapatkan hasil perhitungan jumlah timbunan landfill gas (LFG) yang dapat dihasilkan dalam proses anaerob.

4.4 Prakiraan Potensi Produksi Gas Metan di TPA Supit Urang Kota Malang tahun 2016- 2030

Penulis mengklasifikasikan 2 bagian besar dalam penelitian ini, yaitu biaya yang diperlukan dan manfaat yang dihasilkan. Untuk mengetahui manfaat yang dihasilkan dari PLTSa, sebelumnya penulis melakukan perhitungan untuk mengetahui berapa besar potensi yang dihasilkan dari LFG yang dihasilkan oleh *sanitary landfill*. Potensi LFG sangat menjanjikan, dimana gas metan yang terkandung dalam LFG sangat besar yaitu sekitar 50%.-60 %. Perhitungan potensi jumlah gas metan yang dihasilkan dalam suatu *Sanitary landfill* dihitung menggunakan model U.S Environmental Protection Agency's (EPA) yang digunakan dalam berbagai skenario *Sanitary landfill* di Amerika Serikat. Perhitungan jumlah gas metan yang dihasilkan menggunakan rumusan Landfill Gas Emisions Model (Landgem 3.02) yang memiliki rumus dasar sebagai berikut:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 kL_o \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-kj_{i,i}} \quad (2-2)$$

Q_{CH_4} = Laju pembentukan metan pada tahun perhitungan (m³/thn)

i = Kenaikan 1 tahun

n = (Tahun perhitungan) – (Awal tahun penerimaan)

j = Kenaikan 0,1 tahun

k = Konstanta emisi gas landfill

L_o = Potensi pembentukan metan (m³/ton)

M_i = Berat sampah yang diterima pada tahun ke i (ton)

t_{ij} = umur sampah bagian ke j pada penerimaan tahun ke i (dalam desimal contoh: 3,2 tahun)

Dalam penelitian ini, L_o diperoleh dari penelitian Komslip Wang Yao yang dilakukan di Thailand. Nilai L_o yang dipakai adalah 110 m³ / ton yang mana dapat diaplikasikan di negara yang memiliki karakteristik sama dengan Thailand dimana nilai ini dipakai oleh Prayuth Tanomboon (2015) untuk melakukan analisis produksi gas di Bantan Sanitary Landfill dan Tanjung Pinang Sannitary Landfill Indonesia.

Menurut model perhitungan EPA, dalam melakukan estimasi potensi gas yang dihasilkan *landfill* (LFG), diperlukan nilai (konstanta rata-rata metan yang dihasilkan).

Untuk nilai k ini diperlukan konstanta masing-masing jenis sampah dalam mengalami pembusukan yang kemudian menghasilkan LFG. Semakin besar nilai bobotnya, mengindikasikan bahwa sampah jenis tersebut akan mengalami proses pembusukan yang cepat, sehingga dapat menghasilkan LFG dengan cepat pula. Nilai k, dapat mengetahui terdapat pada iklim mana TPA tersebut. Berikut pada tabel 4.7 adalah nilai k berdasarkan pada jenis iklim (Zietsmann, Project Report Prepared for U.S. EPA Methane to Markets Partnership, 2009):

Tabel 4.7 Nilai k mengacu pada jenis iklim

Nilai k	
Jenis Iklim	k
Iklim Basah	0,1 – 0,35
Iklim Lembab Medium	0,05 – 0,15
Iklim Kering	0,02 – 0,10

Sumber: Zietsmann, Project Report Prepared for U.S. EPA Methane to Markets Partnership, 2009

Sebelum menentukan nilai k harus diketahui dulu prosentase sampah yang ditimbun pada masing-masing jenis sampah. Sebagai perhitungan diambil data sampah ditimbun pada tahun 2016.

$$\begin{aligned}
 \text{Prosentase Organic Waste 2016} &= \frac{\text{Jumlah sampah organik ditimbun 2016}}{\text{Jumlah sampah total ditimbun 2016}} \times 100 \% \\
 &= \frac{76.262,73}{102.399,73} \times 100 \% \\
 &= 74,47 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Medium Decay} &= \frac{\text{Jumlah sampah kertas \& kardus ditimbun 2016}}{\text{jumlah sampah total ditimbun 2016}} \times 100\% \\
 &= \frac{3.699,76}{102.399,73} \times 100\% \\
 &= 3,61 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Slow Decay} &= \frac{\text{Jumlah sampah (plastik+kaca+metal+teksil+karet+tulang+hazardous+inert+residu) ditimbun 2016}}{\text{jumlah sampah total ditimbun 2016}} \times 100\% \\
 &= \frac{22.437,24}{102.399,73} \times 100\% \\
 &= 21,91 \%
 \end{aligned}$$

Tabel 4.8 Perhitungan nilai k

Perhitungan Nilai k			
Karakteristik	Persentase	Bobot	Nilai k
Organic Waste (Sisa Makanan, dll)	0,745	0,4	0,298
Medium Decay (kertas, dll)	0,036	0,08	0,003
Slow Decay (Plastik, dll)	0,219	0,02	0,004
Total			0,305

Dari tabel 4.8 diatas dapat diketahui besarnya nilai k pada sampah di TPA Supit Urang adalah 0,305.

Maka dengan menggunakan software *Landfill Gas Emissions Model 3.02 (Landgem 3.02)* maka dapat dicari nilai potensi Gas Metan yang dapat dihasilkan oleh landfill.

Dengan menentukan parameter sebagai berikut:

LANDFILL CHARACTERISTICS

Landfill Open Year	2016	
Landfill Closure Year (with 80-year limit)	2030	
<i>Actual Closure Year (without limit)</i>	2030	
Have Model Calculate Closure Year?	No	
Waste Design Capacity		<i>megagrams</i>

MODEL PARAMETERS

Methane Generation		
Rate, k	0,305	<i>year⁻¹</i>
Potential Methane Generation Capacity, L_0	110	<i>m³/Mg</i>
NMOC Concentration	4.000	<i>ppmv as hexane</i>
Methane Content	58	<i>% by volume</i>

GASES / POLLUTANTS SELECTED

Total landfill

Gas / Pollutant #1:	gas
Gas / Pollutant #2:	Methane
Gas / Pollutant #3:	Carbon dioxide
Gas / Pollutant #4:	NMOC

Jumlah rekapitulasi sampah organik tahunan yang ditimbun dan rekapitulasi nilai sampah organik akumulatif yang ditimbun di TPA Supit Urang adalah sebagai berikut:

Tabel 4.9 Input jumlah sampah ditimbun dan akumulasi sampah ditimbun di TPA Supit Urang Tahun 2016-2031

Tahun	Sampah Ditimbun (ton/tahun)	Akumulasi Sampah ditimbun di TPA (ton)
2016	102.399,73	0
2017	104.594,49	102.399,73
2018	106.789,25	206.994,22
2019	108.984,02	313.783,47
2020	111.178,78	422.767,49
2021	113.373,55	533.946,27
2022	115.568,31	647.319,82
2023	117.763,07	762.888,13
2024	119.958,70	880.651,20
2025	122.153,46	1.000.609,90
2026	124.348,22	1.122.763,36
2027	126.542,99	1.247.111,58
2028	128.737,75	1.373.654,57
2029	130.932,52	1.502.392,32
2030	133.127,28	1.633.324,84
2031	0	1.766.452,12

Pada tabel 4.9 diatas dapat diketahui bahwa jumlah sampah yang ditimbun dapat diakumulasikan dan jumlah akumulasinya terus bertambah setiap tahunnya. Hingga tahun 2031 perkiraan jumlah sampah ditimbun di TPA Supit Urang yang terakumulasi jumlahnya mencapai 1.766.452,12 ton.

Maka dengan software Landfill Gas Emissions Model 3.02 (Landgem 3.02) didapatkan nilai perhitungan sebagai berikut:

Tabel 4.10 Hasil perhitungan potensi gas metan di TPA Supit Urang

Tahun ke-	Tahun	Aliran Gas Metana		
		m ³ /tahun	m ³ /hari	m ³ /jam
0	2016	0	0,00	0,00
1	2017	3.006.000	8.235,62	343,15
2	2018	5.287.000	14.484,93	603,54
3	2019	7.032.000	19.265,75	802,74
4	2020	8.384.000	22.969,86	957,08
5	2021	9.444.000	25.873,97	1.078,08
6	2022	10.290.000	28.191,78	1.174,66
7	2023	10.980.000	30.082,19	1.253,42
8	2024	11.550.000	31.643,84	1.318,49
9	2025	12.040.000	32.986,30	1.374,43
10	2026	12.460.000	34.136,99	1.422,37
11	2027	12.830.000	35.150,68	1.464,61
12	2028	13.180.000	36.109,59	1.504,57
13	2029	13.490.000	36.958,90	1.539,95
14	2030	13.790.000	37.780,82	1.574,20
15	2031	14.070.000	38.547,95	1.606,16

Dari tabel 4.10 diatas dapat dilihat bahwa jumlah produksi/aliran gas metana yang dihasilkan oleh sampah yang ditimbun di TPA Supit Urang meningkat jumlahnya dari tahun ke tahun. Hal ini dikarenakan adanya sampah baru yang terakumulasi dengan sampah sebelumnya yang juga menghasilkan gas metana.

Didalam praktiknya peralatan yang digunakan untuk mengumpulkan LFG biasanya beroperasi pada efisiensi antara 50 dan 95 persen. Dan angka efisiensi yang disarankan untuk perhitungan adalah 75 persen (LFG Energy Development Handbook, EPA). Maka setelah dilakukan perhitungan didapatkan nilai yang tercantum dalam tabel 4.11 berikut:

Tabel 4.11 Hasil perhitungan potensi gas metan berdasarkan nilai efisiensi *collection system* di TPA Supit Urang

Tahun ke-	Tahun	Aliran Gas Metana		
		m ³ /tahun	m ³ /hari	m ³ /jam
0	2016	0	0,00	0,00
1	2017	2.254.500	6.176,71	257,36
2	2018	3.965.250	10.863,70	452,65
3	2019	5.274.000	14.449,32	602,05
4	2020	6.288.000	17.227,40	717,81
5	2021	7.083.000	19.405,48	808,56
6	2022	7.717.500	21.143,84	880,99
7	2023	8.235.000	22.561,64	940,07
8	2024	8.662.500	23.732,88	988,87
9	2025	9.030.000	24.739,73	1.030,82
10	2026	9.345.000	25.602,74	1.066,78
11	2027	9.622.500	26.363,01	1.098,46
12	2028	9.885.000	27.082,19	1.128,42
13	2029	10.117.500	27.719,18	1.154,97
14	2030	10.342.500	28.335,62	1.180,65
15	2031	10.552.500	28.910,96	1.204,62

Aliran gas metana yang tercantum dalam tabel 4.11 dapat digunakan untuk perhitungan lebih lanjut untuk menghitung potensi listrik yang dapat dihasilkan dari konversi gas metana ke listrik.

4.5 Prakiraan Potensi Daya Listrik yang Dapat Dihasilkan di TPA Supit Urang Kota Malang

Dalam buku *From Landfill Gas to Energy – Technologies & Challenges*, disebutkan bahwa dalam penelitian Charles Banks diketahui bahwa 1 kWh setara dengan $3,6 \times 10^6$ J dan 1 m³ gas metan setara dengan $3,6 \times 10^7$ J. Sehingga dapat diketahui bahwa konversi 1 m³ gas metana dapat menghasilkan 10 kWh energi listrik.

Dari penjelasan diatas dapat diketahui bahwa 1 m³ gas metana dapat menghasilkan energi listrik sebesar 10 kWh. Konversi energi gas metan menjadi energy listrik adalah seperti pada Tabel 4.12. Dengan Menggunakan tabel 4.12 dapat dicari potensi daya listrik (P_e) yang dapat dihasilkan oleh pembangkit di TPA Supit Urang Kota Malang.

Tabel 4.12 Data Konversi Energi

Data Konversi Energi	
1 kWh	$3,6 \times 10^6$ J
1 m ³ Gas Metan	$3,6 \times 10^7$ J
1 m ³ Gas Metan	10 kWh

Sumber: Charles Banks (2009)

Sedangkan pada tabel 4.13 ditunjukkan besaran *electrical conversion efficiency* (η_e) pada masing-masing teknologi peralatan pembangkit yang digunakan.

Tabel 4.13 Electrical Conversion Efficiency

<i>Technology</i>	<i>Preferred Plant Size (MW)</i>	<i>Electrical Conversion Efficiency (%)</i>
Internal Combustion Engines/Gas Engines Generator Set	0,8 - 3	30-40
Gas Turbine Generator Set	> 3	20-28
Microturbines Generator Set	0,03-0,25	25-30

Sumber: LFG Energy Project Development Handbook, EPA, 2015

Dengan konversi menggunakan tabel 4.12 dengan pertimbangan dan asumsi nilai *electrical conversion efficiency* (η_e) dari pembangkitan dengan teknologi *Gas Engine Generator Set* sebesar 30% maka potensi daya listrik yang bisa dibangkitkan ($P_{e(kWe)}$) dari potensi gas yang ada di TPA Supit Urang Kota Malang dapat dicari dengan rumus:

$$P_{e(tahun\ n)(kWe)} = \eta_e \times \text{Aliran Gas Metana Per Jam}_{(tahun\ n)} \times 10\text{ kWh}$$

Maka dengan rumus diatas dapat dicari daya listrik yang bisa dibangkitkan ($P_{e(kWe)}$) dari potensi gas yang ada di TPA Supit Urang Kota Malang pada tahun 2016-2031 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P_{e(kWe)(2016)} &= \eta_e \times \text{Aliran Gas Metana Per Jam}_{(2016)} \times 10\text{ kWh} \\ &= 30\% \times 0\text{ m}^3/\text{jam} \times 10\text{ kWh} \\ &= 0\text{ kWe} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{e(kWe)(2017)} &= \eta_e \times \text{Aliran Gas Metana Per Jam}_{(2017)} \times 10\text{ kWh} \\ &= 30\% \times 257,36\text{ m}^3/\text{jam} \times 10\text{ kWh} \\ &= 772\text{ kWe} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{e(kWe)(2018)} &= \eta_e \times \text{Aliran Gas Metana Per Jam}_{(2018)} \times 10\text{ kWh} \\ &= 30\% \times 452,65\text{ m}^3/\text{jam} \times 10\text{ kWh} \\ &= 1.358\text{ kWe} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{e(kWe)(2019)} &= \eta_e \times \text{Aliran Gas Metana Per Jam}_{(2019)} \times 10\text{ kWh} \\ &= 30\% \times 602,05\text{ m}^3/\text{jam} \times 10\text{ kWh} \\ &= 1.806\text{ kWe} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama dapat dihitung daya listrik yang bisa dibangkitkan ($P_{e(kWe)}$) dari potensi gas yang ada di TPA Supit Urang Kota Malang untuk tahun selanjutnya. Hasil dari perhitungan dimuat dalam tabel 4.14 berikut.

Tabel 4.14 Daya listrik yang bisa dibangkitkan (P_e (kWe))
dari potensi gas yang ada di TPA Supit Urang Kota Malang

Tahun	<i>Electrical Conversion Efficiency</i> (η_e) (%)	Aliran Gas Metana Per Jam (m3/jam)	1 m ³ gas metan = 10 kWh	Daya listrik yang bisa dibangkitkan (P_e (kWe))
2016	30	0,00	10	0
2017	30	257,36	10	772
2018	30	452,65	10	1.358
2019	30	602,05	10	1.806
2020	30	717,81	10	2.153
2021	30	808,56	10	2.426
2022	30	880,99	10	2.643
2023	30	940,07	10	2.820
2024	30	988,87	10	2.967
2025	30	1.030,82	10	3.092
2026	30	1.066,78	10	3.200
2027	30	1.098,46	10	3.295
2028	30	1.128,42	10	3.385
2029	30	1.154,97	10	3.465
2030	30	1.180,65	10	3.542
2031	30	1.204,62	10	3.614

Dari tabel 4.14 diatas dapat dilihat bahwa daya listrik yang dapat dibangkitkan (P_e (kWe)) dari potensi gas yang ada di TPA Supit Urang Kota Malang hingga sebesar 3.614 kWe pada tahun 2031.

Langkah selanjutnya setelah diketahui besarnya daya listrik yang bisa dibangkitkan oleh pembangkit (P_e (kWe)) maka dapat dihitung besarnya energi listrik yang dapat dihasilkan oleh pembangkit E_{el} (kWh) yakni dengan menggunakan rumus berikut:

$$E_{el} \text{ (kWh) (tahun } n) = P_e \text{ (kWe) (tahun } n) \times 8.760$$

Maka dengan rumus diatas dapat dihitung besarnya energi listrik yang dapat dihasilkan oleh pembangkit E_{el} (kWh) dari potensi gas yang ada di TPA Supit Urang Kota Malang pada tahun 2016-2031 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} E_{el} \text{ (kWh) (2016)} &= P_e \text{ (kWe) (2016)} \times 8.760 \\ &= 0 \text{ kWe} \times 8.760 \\ &= 0 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{el} \text{ (kWh) (2017)} &= P_e \text{ (kWe) (2017)} \times 8.760 \\ &= 772 \text{ kWe} \times 8.760 \\ &= 6.762.720 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{el} \text{ (kWh) (2018)} &= P_e \text{ (kWe) (2018)} \times 8.760 \\
 &= 1.358 \text{ kWe} \times 8.760 \\
 &= 11.896.080 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{el} \text{ (kWh) (2019)} &= P_e \text{ (kWe) (2019)} \times 8.760 \\
 &= 1.806 \text{ kWe} \times 8.760 \\
 &= 15.820.560 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama dapat dihitung besarnya energi listrik yang dapat dihasilkan oleh pembangkit $E_{el} \text{ (kWh)}$ dari potensi gas yang ada di TPA Supit Urang Kota Malang untuk tahun selanjutnya. Hasil dari perhitungan dimuat dalam tabel 4.15 berikut.

Tabel 4.15 Energi listrik yang dapat dihasilkan oleh pembangkit ($E_{el} \text{ (kWh)}$)

Tahun	Daya listrik yang bisa dibangkitkan ($P_e \text{ (kWe)}$)	Jumlah Jam Operasional (jam)	Energi listrik yang dapat dihasilkan oleh pembangkit ($E_{el} \text{ (kWh)}$) (kWh)
2016	0	8.760	0
2017	772	8.760	6.762.720
2018	1.358	8.760	11.896.080
2019	1.806	8.760	15.820.560
2020	2.153	8.760	18.860.280
2021	2.426	8.760	21.251.760
2022	2.643	8.760	23.152.680
2023	2.820	8.760	24.703.200
2024	2.967	8.760	25.990.920
2025	3.092	8.760	27.085.920
2026	3.200	8.760	28.032.000
2027	3.295	8.760	28.864.200
2028	3.385	8.760	29.652.600
2029	3.465	8.760	30.353.400
2030	3.542	8.760	31.027.920
2031	3.614	8.760	31.658.640

Namun seperti diketahui bahwa dalam prakteknya tidak semua energi yang dihasilkan dapat dijual ke PLN karena terdapat energi yang akan digunakan untuk pemakaian sendiri ($E_{parasitic} \text{ (kWh)}$). Besarnya energi yang akan digunakan untuk pemakaian sendiri diasumsikan bernilai 15% dari energi listrik yang dihasilkan ($E_{el} \text{ (kWh)}$) dengan rincian 7% untuk pemakaian sendiri untuk *compression & treatment system* (*Landfill Gas Energy Cost Model*, EPA, 2014), untuk fasilitas mesin pemilah sampah sebesar 5%, dan untuk penerangan serta kelistrikan di TPA diasumsikan sebesar 3% dari energi yang dihasilkan pembangkit. Jadi rumusan untuk menghitung besarnya energi yang digunakan untuk pemakaian sendiri ($E_{parasitic} \text{ (kWh)}$) adalah sebagai berikut: $E_{parasitic} \text{ (kWh)} \text{ (tahun } n) = E_{el} \text{ (kWh)} \text{ (tahun } n) \times 15\%$

Maka dengan menggunakan rumus diatas dapat dihitung besarnya energi yang akan digunakan untuk pemakaian sendiri ($E_{\text{parasitic (kWh)}}$) yakni sebesar:

$$E_{\text{parasitic(kWh)}} (2016) = E_{\text{el (kWh)}} (2016) \times 15\%$$

$$= 0 \text{ kWh} \times 15\%$$

$$= 0 \text{ kWh}$$

$$E_{\text{parasitic(kWh)}} (2017) = E_{\text{el (kWh)}} (2017) \times 15\%$$

$$= 6.762.720 \text{ kWh} \times 15\%$$

$$= 1.014.408 \text{ kWh}$$

$$E_{\text{parasitic(kWh)}} (2018) = E_{\text{el (kWh)}} (2018) \times 15\%$$

$$= 11.896.080 \text{ kWh} \times 15\%$$

$$= 1.784.412 \text{ kWh}$$

$$E_{\text{parasitic(kWh)}} (2019) = E_{\text{el (kWh)}} (2019) \times 15\%$$

$$= 15.820.560 \text{ kWh} \times 15\%$$

$$= 2.373.084 \text{ kWh}$$

Dengan cara yang sama dapat dihitung besarnya energi yang akan digunakan untuk pemakaian sendiri ($E_{\text{parasitic (kWh)}}$) di TPA Supit Urang Kota Malang untuk tahun selanjutnya. Hasil dari perhitungan dimuat dalam tabel 4.16 berikut.

Tabel 4.16 Energi listrik untuk pemakaian sendiri ($E_{\text{parasitic (kWh)}}$) (kWh)

Tahun	Energi listrik yang dapat dihasilkan oleh pembangkit (E_{el} (kWh)) (kWh)	Percentage of Parasitic Uses (%)	Energi listrik untuk pemakaian sendiri ($E_{\text{parasitic}}$ (kWh)) (kWh)
2016	0	15	0
2017	6.762.720	15	1.014.408
2018	11.896.080	15	1.784.412
2019	15.820.560	15	2.373.084
2020	18.860.280	15	2.829.042
2021	21.251.760	15	3.187.764
2022	23.152.680	15	3.472.902
2023	24.703.200	15	3.705.480
2024	25.990.920	15	3.898.638
2025	27.085.920	15	4.062.888
2026	28.032.000	15	4.204.800
2027	28.864.200	15	4.329.630
2028	29.652.600	15	4.447.890
2029	30.353.400	15	4.553.010
2030	31.027.920	15	4.654.188
2031	31.658.640	15	4.748.796

Maka setelah diketahui besarnya potensi energi yang dapat dihasilkan oleh pembangkit dan energi yang akan digunakan untuk pemakaian sendiri, dapat ditentukan besaran potensi energi listrik yang dapat dijual ke PLN ($E_{el \text{ dijual (kWh)}}$) yakni dengan menggunakan rumusan sebagai berikut :

$$E_{el \text{ dijual (kWh) (tahun n)}} = E_{el \text{ (kWh) (tahun n)}} - E_{parasitic(kWh) (tahun n)}$$

Maka dengan menggunakan rumus diatas dapat dihitung besarnya energi listrik yang dapat dijual ke PLN ($E_{el \text{ dijual (kWh)}}$) yakni sebesar:

$$\begin{aligned} E_{el \text{ dijual (kWh) (2016)}} &= E_{el \text{ (kWh) (2016)}} - E_{parasitic(kWh) (2016)} \\ &= 0 \text{ kWh} - 0 \text{ kWh} \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{el \text{ dijual (kWh) (2017)}} &= E_{el \text{ (kWh) (2017)}} - E_{parasitic(kWh) (2017)} \\ &= 6.762.720 \text{ kWh} - 1.014.408 \text{ kWh} \\ &= 5.748.312 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{el \text{ dijual (kWh) (2018)}} &= E_{el \text{ (kWh) (2018)}} - E_{parasitic(kWh) (2018)} \\ &= 11.896.080 \text{ kWh} - 1.784.412 \text{ kWh} \\ &= 10.111.668 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{el \text{ dijual (kWh) (2019)}} &= E_{el \text{ (kWh) (2019)}} - E_{parasitic(kWh) (2019)} \\ &= 15.820.560 \text{ kWh} - 2.373.084 \text{ kWh} \\ &= 13.447.476 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama dapat dihitung besarnya energi listrik yang dapat dijual ke PLN ($E_{el \text{ dijual (kWh)}}$) dari proses pembangkitan di TPA Supit Urang Kota Malang untuk tahun selanjutnya. Hasil dari perhitungan dimuat dalam tabel 4.17 berikut.

Tabel 4.17 Energi listrik yang dapat dijual ke PLN

Tahun	Energi listrik yang dapat dihasilkan oleh pembangkit (E_{el} (kWh)) (kWh)	Energi listrik untuk pemakaian sendiri ($E_{parasitic}$ (kWh)) (kWh)	Energi listrik yang dapat dijual ke PLN (E_{el} dijual (kWh)) (kWh)
2016	0	0	0
2017	6.762.720	1.014.408	5.748.312
2018	11.896.080	1.784.412	10.111.668
2019	15.820.560	2.373.084	13.447.476
2020	18.860.280	2.829.042	16.031.238
2021	21.251.760	3.187.764	18.063.996
2022	23.152.680	3.472.902	19.679.778
2023	24.703.200	3.705.480	20.997.720
2024	25.990.920	3.898.638	22.092.282
2025	27.085.920	4.062.888	23.023.032
2026	28.032.000	4.204.800	23.827.200
2027	28.864.200	4.329.630	24.534.570
2028	29.652.600	4.447.890	25.204.710
2029	30.353.400	4.553.010	25.800.390
2030	31.027.920	4.654.188	26.373.732
2031	31.658.640	4.748.796	26.909.844

Dari perhitungan yang telah dilakukan maka dapat dihipunkan ke dalam tabel 4.18 berikut ini:

Tabel 4.18 Rekapitulasi Potensi Energi Listrik Yang Dihasilkan di TPA Supit Urang

Tahun	Total Aliran Gas Metan Per Jam (m ³ /jam)	Daya listrik yang bisa dibangkitkan (P_e (kWe))	Energi listrik yang dapat dihasilkan oleh pembangkit (E_{el} (kWh)) (kWh)	Energi listrik untuk pemakaian sendiri ($E_{parasitic}$ (kWh)) (kWh)	Energi listrik yang dapat dijual ke PLN (E_{el} dijual (kWh)) (kWh)
2016	0,00	0	0	0	0
2017	257,36	772	6.762.720	1.014.408	5.748.312
2018	452,65	1.358	11.896.080	1.784.412	10.111.668
2019	602,05	1.806	15.820.560	2.373.084	13.447.476
2020	717,81	2.153	18.860.280	2.829.042	16.031.238
2021	808,56	2.426	21.251.760	3.187.764	18.063.996
2022	880,99	2.643	23.152.680	3.472.902	19.679.778
2023	940,07	2.820	24.703.200	3.705.480	20.997.720
2024	988,87	2.967	25.990.920	3.898.638	22.092.282
2025	1.030,82	3.092	27.085.920	4.062.888	23.023.032
2026	1.066,78	3.200	28.032.000	4.204.800	23.827.200
2027	1.098,46	3.295	28.864.200	4.329.630	24.534.570
2028	1.128,42	3.385	29.652.600	4.447.890	25.204.710
2029	1.154,97	3.465	30.353.400	4.553.010	25.800.390
2030	1.180,65	3.542	31.027.920	4.654.188	26.373.732
2031	1.204,62	3.614	31.658.640	4.748.796	26.909.844

Dari tabel 4.18 bisa dilihat bahwa potensi daya listrik yang dapat dihasilkan oleh pembangkit mencapai 3.614 kWe (Pada tahun 2031) dan potensi energi listrik yang dapat dihasilkan mencapai 31.658.640 kWh (pada tahun 2031). Sedangkan secara umum dapat disimpulkan bahwa energi listrik yang dapat dihasilkan dari tahun ke tahun terus mengalami peningkatan mengikuti peningkatan aliran gas metan dari sampah yang ditimbun.

4.6 Perhitungan Landfill

4.6.1 Perhitungan Kebutuhan Lahan *Sannitary Landfill* di TPA Supit Urang

Perhitungan kebutuhan lahan TPA adalah sebagai berikut:

Tinggi Timbunan Rencana	: 14 m
Umur Rencana	: 15 tahun
Faktor Padat	: 0,6 ton / m ³ (pemadatan dengan dozer)
Volume Daya Tampung TPA yang dibutuhkan	: 1.766.452 ton
Luas Lahan Urugan Minimal Yang Dibutuhkan	: 2.944.087 m ³ : 14 m
	: 210.292 m ²
	: 210.292 m ² : 10.000 = 21,03 ha

Dari perhitungan diatas dapat diketahui bahwa dengan ketersediaan lahan saat ini yang luasnya 16,05 hektar belum dapat memenuhi jumlah luas lahan minimum untuk urugan yang dibutuhkan untuk sannitary landfill hingga 15 tahun ke depan yakni 21,03 ha. Kekurangan lahan yang dibutuhkan untuk lahan urugan adalah kurang 4,98 ha lagi. Namun yang perlu digaris bawahi bahwa karena itu hanya perhitungan kebutuhan lahan urugan saja dan belum termasuk lahan yang dibutuhkan untuk area penunjang serta area instalasi peralatan pembangkit dan lain-lain serta jumlah sampah yang bersifat fluktuatif maka seharusnya luas lahan minimum harus ditambah lebih dari itu.

4.6.2 Perencanaan Zonasi *Cell Landfill* di TPA Supit Urang

Direncanakan lahan TPA ini dibagi menjadi 3 zona timbunan dengan 15 sub zona timbunan, dimana setiap sub zona terdiri dari beberapa sel harian yang masing-masing sel nya mampu untuk menampung 7 lapis timbunan sampah. Gambar perencanaan pembagian zona landfill dapat dilihat pada gambar 4.3. Tinggi setiap lapis timbunan sampah harian ditentukan setinggi 2 m, dengan asumsi panjang dan lebar masing-masing sub zona adalah sesuai pada tabel , namun panjang dan lebar sub zona dapat juga mengikuti keadaan site sesungguhnya. Luas total keseluruhan zona timbunan adalah sebesar 210.292 m² dengan

ketinggian timbunan sampah pada tiap zona sebesar 14 m sehingga didapatkan total kapasitas sampah sebesar 2.944.087 m³ atau setara dengan 1.766.452 ton. Untuk membuat zona timbunan sampah dilakukan penggalian pada site yang telah ditentukan.

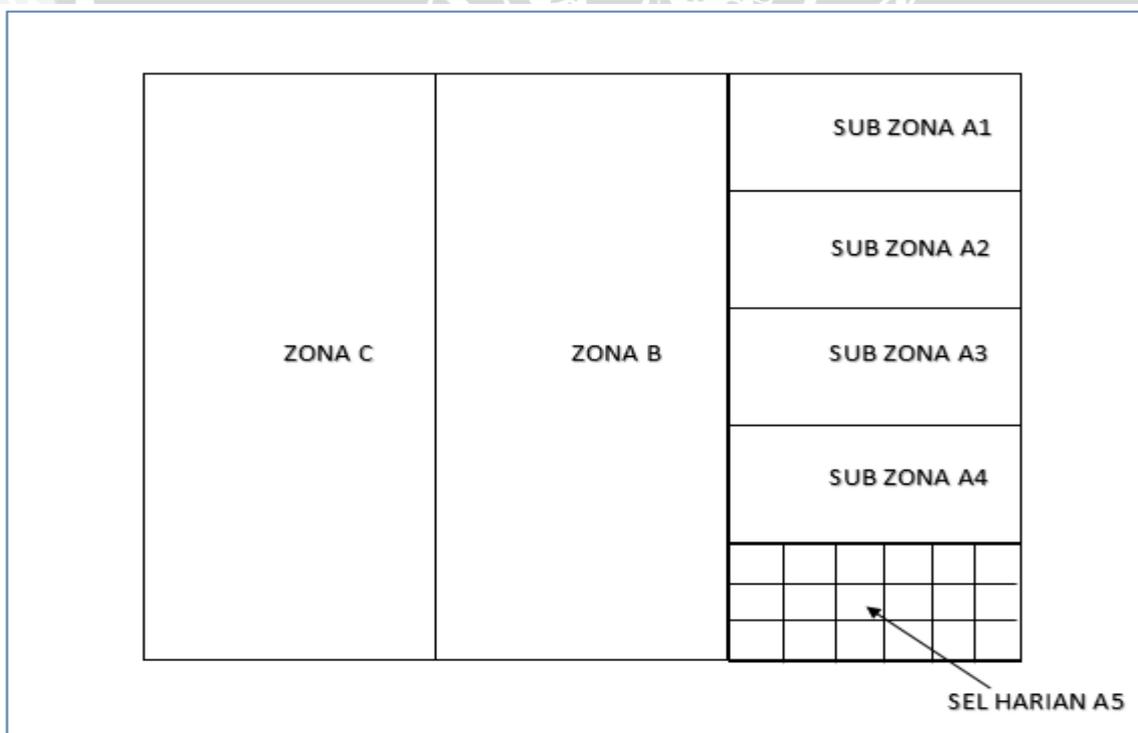
Dengan mengasumsikan bahwa Lahan di TPA Supit Urang dibagi menjadi 3 zona yakni zona A, Zona B, dan Zona C dengan masing-masing zona seluas 7 hektar, maka dapat dihitung sebagai berikut:

Zona A : Luas 7 hektar = 70.000 m²

Zona B : Luas 7 hektar = 70.000 m²

Zona C : Luas 7 hektar = 70.000 m²

Dari masing-masing zona yang memiliki luas 7 hektar dilakukan pembagian lagi menjadi 5 sub zona untuk setiap zona. Masing masing zona diasumsikan memiliki 5 sub zona yang masing-masing sub zona memiliki panjang, lebar, dan tinggi sesuai pada tabel 4.19. Tiap Sub Zona didesain untuk mampu menampung sampah dalam 1 tahun. Demikian pula pada Zona B dan C juga dilakukan dengan perhitungan yang sama. Selain itu didalam sub zona terdapat sel harian yang didesain dimana 1 sel harian dapat untuk menampung sampah dalam waktu 7 hari. Gambar perencanaan pembagian zona landfill dapat dilihat pada gambar 4.3



Gambar 4.3 Perencanaan Zonasi Landfill

Perhitungan daya tampung sub zona dan daya tampung sel harian berturut-turut ditunjukkan pada tabel 4.19 dan tabel 4.20

Tabel 4.19 Perhitungan Daya Tampung Sub Zona

Tahun	Jumlah Sampah (ton)	Jumlah Sampah (m ³)	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Luas (m ²)	Luas (Acre)	Kapasitas Sub Zona (m ³)
2016	102.400	170.666	100	122	14	12.190	3,01	170.666
2017	104.594	174.324	100	125	14	12.452	3,07	174.324
2018	106.789	177.982	100	127	14	12.713	3,14	177.982
2019	108.984	181.640	100	130	14	12.974	3,20	181.640
2020	111.179	185.298	100	132	14	13.236	3,27	185.298
2021	113.374	188.956	100	135	14	13.497	3,33	188.956
2022	115.568	192.614	100	138	14	13.758	3,40	192.614
2023	117.763	196.272	100	140	14	14.019	3,46	196.272
2024	119.959	199.931	100	143	14	14.281	3,53	199.931
2025	122.153	203.589	100	145	14	14.542	3,59	203.589
2026	124.348	207.247	100	148	14	14.803	3,66	207.247
2027	126.543	210.905	100	151	14	15.065	3,72	210.905
2028	128.738	214.563	100	153	14	15.326	3,78	214.563
2029	130.933	218.221	100	156	14	15.587	3,85	218.221
2030	133.127	221.879	100	158	14	15.848	3,91	221.879

Tabel 4.20 Perhitungan Daya Tampung Sel Harian

Tahun	Jumlah Sampah (ton)	Jumlah Sampah (m ³)	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi lapisan harian (m)	Kapasitas Lapisan Harian (m ³)	Luas Sel Harian (m ²)	Tinggi Sel Harian (m)	Kapasitas Sel Harian (m ³)
2016	281	468	14	17	2	468	234	14	3.273
2017	287	478	14	17	2	478	239	14	3.343
2018	293	488	14	17	2	488	244	14	3.413
2019	299	498	14	18	2	498	249	14	3.484
2020	305	508	14	18	2	508	254	14	3.554
2021	311	518	14	18	2	518	259	14	3.624
2022	317	528	14	19	2	528	264	14	3.694
2023	323	538	14	19	2	538	269	14	3.764
2024	329	548	14	20	2	548	274	14	3.834
2025	335	558	14	20	2	558	279	14	3.904
2026	341	568	14	20	2	568	284	14	3.975
2027	347	578	14	21	2	578	289	14	4.045
2028	353	588	14	21	2	588	294	14	4.115
2029	359	598	14	21	2	598	299	14	4.185
2030	365	608	14	22	2	608	304	14	4.255

Pada setiap sub zona terdapat 7 lapisan sampah yang telah dipadatkan dan ditutup dengan tanah penutup setebal 15-20 cm setiap harinya yang dapat digambarkan pada gambar berikut. Tinggi setiap lapisan sampah yang ditentukan dalam perencanaan ini adalah masing-masing 2 m. Lapisan paling atas diberikan capping. *Capping* terbuat dari bahan *geomembran* yang berfungsi untuk mengurung gas di dalam *sanitary landfill* sehingga gas tersebut tidak keluar ke alam bebas. Berikut pada gambar 4.4 adalah ilustrasi lapisan pada landfill.



Gambar 4.4 Lapisan Landfill

4.7 Teknologi Konversi LFG ke Energi Listrik

Proses pemanfaatan sampah di TPA diawali dengan melakukan pengurugan lahan yang nantinya digunakan untuk menimbun sampah sehingga membentuk sanitary landfill. Nantinya sampah yang masuk setiap hari dipilah terlebih dahulu oleh mesin pemilah sampah baru kemudian sampah yang tidak termanfaatkan akan ditimbun. Sampah ditumpuk-tumpuk sehingga membentuk lapisan-lapisan. Apabila sampah telah mencapai ketinggian yang ditentukan, maka langkah selanjutnya adalah dilakukan instalasi *gas collection system* yang nantinya berguna untuk menangkap dan mengalirkan gas metana yang dihasilkan oleh sampah yang ada di landfill menuju pembangkit. Langkah-langkah instalasi *gas collection system* ini meliputi pengeboran sumur gas, pemasangan lapisan dasar/geomembran, instalasi pengumpul lindi, serta melakukan instalasi pemipaan.

Proses pemasangan geomembran pada bagian dasar landfill bertujuan untuk mencegah pencemaran air lindi terhadap tanah. Pada gambar 4.5 merupakan proses instalasi lapisan geomembran dan dapat dilihat bahwa lapisan geomembran digunakan untuk melindungi lapisan tanah agar air lindi tidak meresap ke dalam tanah.



Gambar 4.5 Lapisan Geomembran
 Sumber: www.jualgeotextile.com

Proses selanjutnya adalah pengeboran sumur gas yang bertujuan untuk menangkap dan mengalirkan gas metana yang dihasilkan oleh landfill. Sesuai standar internasional disebutkan bahwa setiap 1 Acre atau 0,405Ha dipasang 1 sumur gas dengan kedalaman ditentukan sepanjang 11 meter dimana kedalaman sumur gas ini menyesuaikan dengan ketinggian landfill. Pada gambar 4.6 berikut menunjukkan proses pemasangan sumur gas.



Gambar 4.6 Proses Pemasangan Sumur Gas

Setelah dilakukan instalasi sumur gas maka tahap selanjutnya adalah melakukan instalasi *capping*. *Capping* merupakan lapisan penutup yang terbuat dari bahan geomembran. Gambar 4.7 berikut menunjukkan proses pemasangan *capping*. Untuk TPA Supit Urang Kota Malang, *Capping* dipasang seluas 21,03 Hektar. Tujuan daripada instalasi *capping* adalah supaya gas-gas yang dihasilkan didalam *landfill* tidak lepas ke atmosfer sehingga mencemari udara di sekitar yang mana dapat menyebabkan timbulnya efek rumah kaca. Selain itu fungsi utama dari pemasangan lapisan *capping* ini adalah untuk mencegah masuknya air dari luar permukaan *landfill* kedalam *landfill*.



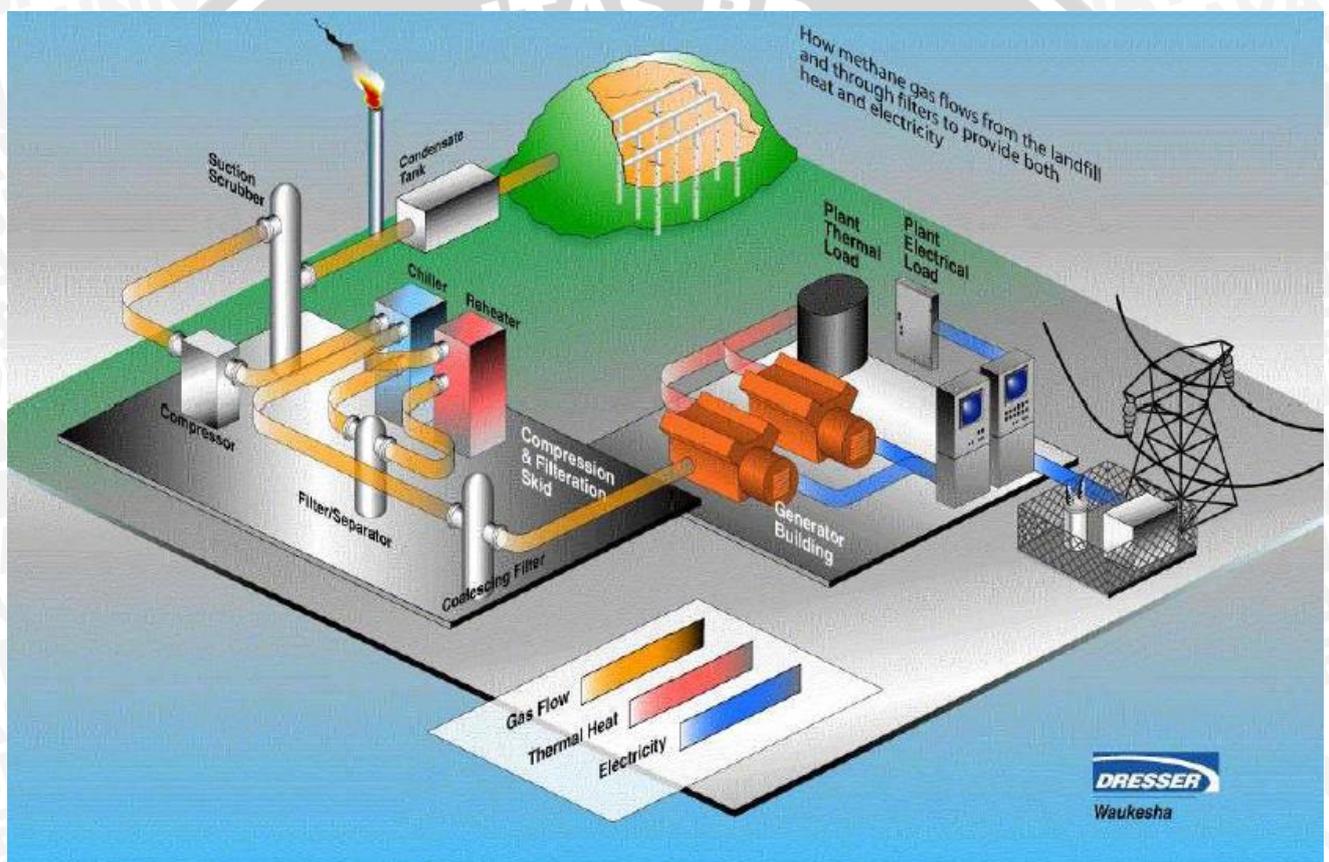
Gambar 4.7 Proses Pemasangan Capping
Sumber: www.priorityconstruction.ie

Tahap selanjutnya adalah dilakukan instalasi sistem pemipaan gas seperti terlihat pada gambar 4.8 dibawah. Fungsi dari pemasangan pipa ini adalah untuk mengalirkan gas hasil tangkapan di *landfill* yang akan dialirkan menuju pembangkit listrik



Gambar 4.8 Proses Pemasangan Pemipaan
Sumber: www.priorityconstruction.ie

Setelah dilakukan pemasangan semua fasilitas yang terkait dengan sanitary landfill dan sistem pengumpulan gas maka langkah selanjutnya adalah melakukan upaya agar gas-gas yang terdapat didalam landfill dapat dialirkan menuju tempat pembangkit listrik. Sebelum digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik, LFG mengalami beberapa proses/treatment antara lain nantinya gas-gas tersebut akan melewati beberapa peralatan treatment seperti kondensator dan chiller yang memiliki fungsi tertentu. Pada gambar 4.9 berikut adalah proses-proses yang dilakukan untuk menjadikan LFG menjadi bahan bakar pembangkit listrik serta proses untuk mengalirkan gas dari landfill menuju ke pembangkit listrik.



Gambar 4.9 Aliran Gas Pada Proses Pembangkitan Listrik
Sumber: www3.epa.gov

Dari gambar 4.9 dapat diketahui bahwa treatment yang pertama kali dilakukan adalah bahwa gas-gas landfill tersebut akan melewati kondensator yang berfungsi untuk memisahkan antara gas yang telah dihasilkan oleh *landfill* dengan air atau uap air sehingga nantinya menjadi gas murni yang terdiri dari CH₄, CO₂, Nitrogen, dan O₂. Treatment terhadap kelembaban dan partikulat diperlukan untuk mengurangi sifat abrasif dan korosif

dari LFG untuk melindungi blower dan memastikan LFG akan membakar secara efektif dalam flare atau perangkat pembakaran lainnya. Selanjutnya seperti diketahui bahwa kedalaman landfill yang cukup dalam maka dibutuhkan bantuan alat untuk menyedot gas yang ada di dalam landfill. Maka disinilah dibutuhkan mesin blower untuk menyedot gas-gas yang ada didalam landfill tersebut. Dengan mesin blower maka gas-gas dapat disedot dan dialirkan menuju ke pembangkit listrik. Seperti diketahui bahwa suhu gas landfill yang mencapai suhu 60°C harus didinginkan terlebih dahulu agar tidak berbahaya. Suhu gas tersebut harus diturunkan suhunya menjadi sekitar $23^{\circ} - 27^{\circ}\text{C}$ sehingga gas tersebut aman dan tidak berbahaya. Untuk mendinginkan suhu gas landfill tersebut digunakan mesin *chiller*. Setelah melalui treatment-treatment yang telah dijelaskan sebelumnya maka tahap selanjutnya adalah gas dialirkan menuju ke pembangkit listrik (*gas engine*). Dipilihnya teknologi pembangkitan menggunakan *gas engine* ini adalah dengan pertimbangan bahwa dengan teknologi mesin ini memiliki biaya modal yang relatif rendah per kWnya dan efisiensi yang lebih tinggi daripada kebanyakan turbin gas. Seperti sudah dibahas pada bab sebelumnya bahwa *gas engine* memiliki efisiensi listrik lebih tinggi dari turbin gas dengan ukuran yang sebanding. Efisiensi listrik dari *gas engine* ini berkisar dari 30% hingga 40%. Setelah gas masuk ke pembangkit listrik dan dikonversi menjadi energi listrik maka dibutuhkan trafo dan saluran interkoneksi agar energi listrik yang telah dihasilkan dapat langsung dijual ke PLN.

4.8 Analisis Ekonomi

4.8.1 Menghitung Asumsi Biaya Investasi

Dari pembahasan perhitungan potensi gas dan energi listrik yang dapat dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSA) di TPA Supit Urang Kota Malang pada pembahasan sebelumnya, maka tahap selanjutnya dilakukan perhitungan biaya investasi yang dibutuhkan untuk pembangunan, pemeliharaan, dan pengembangan pada PLTSA di TPA Supit Urang Kota Malang. Pada biaya investasi ini mencakup dua bagian yakni modal tetap dan modal kerja. Definisi modal tetap yakni biaya-biaya langsung yang berkaitan dengan pengadaan peralatan dan sarana penunjang PLTSA. Sedangkan modal kerja yang dimaksud adalah meliputi biaya tak terduga, biaya perancangan, dan biaya pengawasan. Biaya-biaya ini mengacu pada standar internasional yang termuat didalam "*Landfill Gas Energy Cost Model (LFGcost-Web) Version 3.0*", EPA.

Berikut ini adalah biaya investasi yang dibutuhkan untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSA) di TPA Supit Urang Kota Malang.

a). Sistem Pengumpul Gas dan Flare

Biaya yang termasuk kedalam klasifikasi collection system ini antara lain adalah biaya sumur ekstraksi gas vertikal, blower, kondensator, pipa gas, sumur gas bagian atas ,flare, pengeboran & pemasangan pipa, serta biaya engineering, survei, dan perizinan. Seperti diketahui bahwa jumlah sumur gas yang dipasang adalah 1 sumur gas tiap 1 acre. Nilai 1 Acre adalah 0,405 Ha, maka dengan kebutuhan lahan minimum di TPA yang telah diperhitungkan diatas yakni seluas 21,03 Ha, maka dapat dikonversi kedalam satuan Acre yakni sebesar 51,92 Acre dan dibulatkan menjadi 52 Acre atau 52 sumur gas. Jadi jumlah biaya yang dibutuhkan untuk investasi Sistem Pengumpul Gas dan Flare di PLTSA Supit Urang Kota Malang mengacu pada perhitungan yang ditetapkan oleh EPA pada “*Landfill Gas Energy Cost Model (LFGcost-Web) Version 3.0*”, biaya tersebut adalah mengacu pada kurs dollar AS tahun 2013, untuk itu dilakukan penyesuaian dengan memperhatikan nilai kumulatif inflasi mata uang dollar AS di tahun 2016 yang besarnya adalah 1,8% (data dari US government CPI data per maret 2016, diakses dari usinflationcalculator.com) yang dihitung sejak tahun 2013 yang kemudian langsung dikonversi ke kurs rupiah dimana nilai kurs rupiah terhadap dollar AS adalah Rp 13.116 (Kurs BI tanggal 21 April 2016), maka hasilnya adalah sebagai berikut:

Yang pertama adalah perhitungan biaya investasi untuk sumur gas vertikal. Data yang dibutuhkan adalah ketinggian timbunan sampah. Dalam desain yang ditentukan peneliti bahwa ketinggian sampah adalah 14 m. Apabila dikonversi kedalam satuan feet maka didapatkan hasil ketinggian timbunan sampah adalah 45,93 ft. Selanjutnya dilanjutkan dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya modal pemasangan sumur ekstraksi gas vertikal} &= (\text{rata-rata ketinggian timbunan sampah (ft)} \\
 &\quad - 10 \text{ ft}) \times \$ 85/\text{ft} \times \text{jumlah sumur gas} \\
 &= (45,93 \text{ ft} - 10 \text{ ft}) \times \$ 85 \times 52 \\
 &= \$ 158.811 + (1,8\% \times \$ 158.811) \\
 &= \$ 161.669 \\
 &= 161.669 \times \text{Rp } 13.116 \\
 &= \text{Rp } 2.120.450.604
 \end{aligned}$$

Yang kedua dilakukan perhitungan biaya investasi untuk kepala sumur dan sistem pipa pengumpul gas. Data yang dibutuhkan adalah jumlah sumur gas yang direncanakan akan di install. Jumlah sumur gas yang akan diinstal direncanakan berjumlah 52 sumur gas. Maka biaya investasi untuk kepala sumur (*wellhead*) dan sistem pipa pengumpul gas dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Biaya modal kepala sumur dan sistem pipa pengumpul gas} &= \$17,000 * \text{jumlah sumur gas} \\ &= \$17,000 \times 52 \\ \text{Penyesuaian nilai uang terhadap inflasi} &= \$ 884.000 + (1,8\% \times \$ 884.000) \\ &= \$ 899.912 \\ &= 899.912 \times \text{Rp } 13.116 \\ &= \text{Rp } 11.803.245.792 \end{aligned}$$

Yang ketiga yakni dilakukan perhitungan biaya investasi untuk kondensator, blower, dan flare. Data yang dibutuhkan adalah jumlah aliran gas maksimum. Jumlah aliran gas maksimum pada perhitungan sebelumnya adalah 1.606,16 m³ /jam. Apabila dikonversi kedalam satuan ft³/min dimana (1m³ = 35,31 ft³) maka didapatkan hasil yakni 945,35 ft³/min. Maka biaya investasi untuk sumur gas bagian atas dan sistem pipa pengumpul gas dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Biaya modal untuk blower, kondensator dan sistem flare} &= (\text{ft}^3/\text{min})^{0.61} \times \$4,600 \\ &= (945,35)^{0.61} \times \$4,600 \\ \text{Penyesuaian nilai uang terhadap inflasi} &= \$ 300.517 + (1,8\% \times \$ \\ 300.517) &= \$ 305.926 \\ &= 305.926 \times \text{Rp } 13.116 \\ &= \text{Rp } 4.012.525.416 \end{aligned}$$

Yang keempat yakni dilakukan perhitungan biaya investasi untuk biaya teknik, survei, dan perizinan. Data yang dibutuhkan adalah jumlah sumur gas yang direncanakan akan di install. Jumlah sumur gas yang akan diinstal direncanakan berjumlah 52 sumur gas. Maka biaya investasi untuk biaya teknik, survei, dan perizinan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Biaya teknik, survei, dan perizinan} &= \$ 700 \times \text{jumlah sumur gas} \\ &= \$ 700 \times 52 \\ \text{Penyesuaian nilai uang terhadap inflasi} &= \$ 36.400 + (1,8\% \times \$ 36.400) \\ &= \$ 37.055 \\ &= \$ 37.055 \times \text{Rp } 13.116 \end{aligned}$$

$$= \text{Rp } 486.013.380$$

Yang kelima yakni dilakukan perhitungan biaya investasi untuk pengeboran dan pisanisasi serta untuk mobilisasi pekerja untuk melakukan pekerjaan tersebut. Biaya untuk investasi di bagian ini ditentukan biayanya yakni sebesar \$ 20.000 atau jika mempertimbangkan nilai sekarang berdasarkan nilai inflasinya yang sebesar 1,8% yakni \$ 20.360 dikonversi kedalam mata uang rupiah besarnya adalah Rp 267.041.760.

Yang keenam yakni dilakukan perhitungan biaya investasi untuk *dehydration unit* yang harganya yakni \$ 40.000 per unit (Dehumidifier, DNGZ-8500/0,7). Apabila dikonversi kedalam rupiah maka biaya investasi untuk *dehydration unit* ini adalah sebesar: $\$ 40.000 \times \text{Rp } 13.116 = \text{Rp } 524.640.000$

Total keseluruhan biaya yang termasuk kedalam komponen Collection System & Flaring adalah sebagai berikut:

Biaya modal Sistem pengumpul gas dan flare (termasuk instalasi) = Biaya modal pemasangan sumur ekstraksi gas vertikal + Biaya modal kepala sumur dan sistem pipa pengumpul gas + Biaya modal untuk blower, kondensator dan sistem flare + Biaya teknik, survei, dan perizinan + biaya investasi untuk pengeboran dan pisanisasi serta untuk mobilisasi pekerja + *dehydration unit*

$$= \text{Rp } 2.120.450.604 + \text{Rp } 11.803.245.792 + \text{Rp } 4.012.525.416 + \text{Rp } 486.013.380 + \text{Rp } 267.041.760 + \text{Rp } 524.640.000$$

$$= \text{Rp } 19.213.916.952$$

b). Pembangkit Listrik

Dari studi kelayakan ini ditentukan bahwa mesin yang digunakan untuk pembangkitan adalah *Internal Combustion Engines/Gas Engine*. Biaya electricity generation ini mencakup peralatan pembangkit beserta sistem interkoneksi dan juga mencakup lahan kerja, perumahan pembangkit, fasilitas keteknikan, desain teknik, dan perizinan. Biaya investasi pengadaan pembangkit listrik ini sesuai dengan yang tertera didalam "*Landfill Gas Energy Cost Model (LFGcost-Web) Version 3.0*", EPA. Biaya tersebut adalah mengacu pada kurs dollar AS tahun 2013, untuk itu dilakukan penyesuaian dengan memperhatikan nilai kumulatif inflasi mata uang dollar AS di tahun 2016 yang besarnya adalah 1,8% (data dari US government CPI data per maret 2016, diakses dari usinflationcalculator.com) yang dihitung sejak tahun 2013 yang kemudian langsung dikonversi ke kurs rupiah dimana nilai kurs rupiah terhadap dollar AS adalah Rp 13.116 (Kurs BI tanggal 21 April 2016). Penentuan besarnya kapasitas pembangkit dalam kasus ini direncanakan kapasitas pembangkit yang di install

di TPA Supit Urang yakni sebesar 3.614 kWe atau dibulatkan menjadi 3,6 MWe. Maka biaya investasi untuk electricity generation ini dapat dihitung sebagai berikut:

Biaya investasi *Gas Engine Generator Set &* (lahan kerja, perumahan pembangkit, fasilitas keteknikan, desain teknik, dan perizinan) = $((\$1.300 \times \text{kapasitas kW}) + \$1.100.000) -$

(Biaya modal sistem pengumpul gas dan flare)

$$= (\$1.300 \times 3.600) + \$1.100.000 - \text{Rp } 19.213.916.952$$

$$= \$ 5.780.000 - \text{Rp } 19.213.916.952$$

Penyesuaian inflasi = $(\$ 5.780.000 + (1,8\% \times \$ 5.780.000)) - \text{Rp } 19.213.916.952$

$$= \$ 5.884.040 - \text{Rp } 19.213.916.952$$

$$= (\$ 5.884.040 \times \text{Rp } 13.116) - \text{Rp } 19.213.916.952$$

$$= \text{Rp } 77.175.068.640 - \text{Rp } 19.213.916.952$$

$$= \text{Rp } 57.961.151.688$$

Sedangkan biaya untuk sistem interkoneksi ditentukan biaya nya adalah sebesar \$250,000 yang apabila disesuaikan dengan tingkat inflasi yakni 1,8% maka nilai nya adalah \$ 254.500 atau jika dikonversikan kedalam rupiah adalah sebesar Rp 3.338.022.000

Jadi total keseluruhan biaya yang termasuk kedalam komponen Pembangkit Listrik adalah sebagai berikut:

Biaya investasi pembangkit listrik = Biaya investasi *Gas Engine Generator Set &* (lahan kerja, perumahan pembangkit, fasilitas keteknikan, desain teknik, dan perizinan) + Biaya Sistem Interkoneksi

$$= \text{Rp } 57.961.151.688 + \text{Rp } 3.338.022.000$$

$$= \text{Rp } 61.299.173.688$$

c). *Capping*

Seperti diketahui bahwasannya setelah lahan landfill penuh maka selanjutnya harus ditutup capping yang terbuat dari bahan fiber / geomembran agar gas yang berada di dalam landfill tidak lepas ke atmosfer. Biaya pengadaan capping beserta instalasi capping adalah \$ 5/m² atau jika disesuaikan dengan nilai sekarang nilainya adalah \$ 5,09/m². Jika luas lahan landfill yang ada di TPA Supit Urang adalah 21,03 Ha, maka luasan capping yang dibutuhkan adalah sesuai dengan luas lahan landfill yakni 21,03 Ha atau 210.292 m². Maka biaya yang dikeluarkan untuk pengadaan capping dan instalasinya yakni sebesar:

Biaya Investasi Capping = 210.292 m² x \$ 5,09

$$= \$ 1.070.386$$

Jika dikonversi kedalam mata uang rupiah sesuai nilai tukar rupiah terhadap dollar per tanggal 21 April 2016 di Bank Indonesia (BI) maka didapatkan biaya investasi untuk capping adalah sebesar:

$$\begin{aligned}\text{Biaya Investasi Capping} &= 1.070.386 \times \text{Rp } 13.116 \\ &= \text{Rp } \mathbf{14.039.182.776}\end{aligned}$$

d). Mesin Pemilah Sampah

Dalam pembangkit listrik tenaga sampah berbasis sanitary landfill dibutuhkan instalasi mesin pemilah sampah untuk memisahkan antara sampah organik dan sampah anorganik. Pemilahan secara manual hanya dengan menggunakan tenaga para pemulung tidak memungkinkan untuk dilakukan karena jumlah sampah yang cukup banyak sehingga memerlukan bantuan mesin pemilah sampah. Biaya pengadaan pemilah sampah adalah sebagai berikut:

Biaya Investasi Mesin Pemilah Sampah Otomatis: \$ 630.000 (BESTON WJR-400)

Jika di rupiahkan maka besarnya biaya investasi mesin pemilah sampah otomatis adalah sebesar: \$ 630.000 x RRp 13.116 = **Rp 8.263.080.000**

Total biaya modal/investasi pada proyek ini tercantum dalam tabel 4.21 dibawah ini.



Tabel 4.21 Total Biaya Investasi/Modal

Komponen	Item	Biaya Investasi (USD)	Nilai Tukar Rupiah Terhadap USD	Biaya Investasi (Rupiah)	
Sistem Pengumpul Gas dan Flare	Sumur ekstraksi gas vertikal	161.669	13.116	2.120.450.604	
	Kepala sumur (wellhead) dan sistem pipa pengumpul gas	899.912	13.116	11.803.245.792	
	Blower	305.926	13.116	4.012.525.416	
	Flare				
	Sistem Kondensator				
		Biaya teknik, perizinan, dan survei	37.055	13.116	486.013.380
		Pengeboran dan pipanisasi serta untuk mobilisasi pekerja	20.360	13.116	267.041.760
		Dehydration Unit	40.000	13.116	524.640.000
Pembangkit Listrik	Gas engine dan generator (termasuk peralatan kontrol motor, switch-gear, radiator, knalpot peredam suara, dan kabel);	4.419.118	13.116	57.961.151.688	
	Lahan kerja, perumahan pembangkit, fasilitas keteknikan, desain teknik, dan perizinan				
	Peralatan Interkoneksi	254.500	13.116	3.338.022.000	
Capping	Capping (Geomembran)	1.070.386	13.116	14.039.182.776	
Mesin Pemilah Sampah Otomatis	1 Set	630.000	13.116	8.263.080.000	
Biaya tak terduga	10% dari harga total	783.893	13.116	10.281.540.588	
PPN 10%				11.309.689.400	
Total Biaya Investasi				124.406.583.404	

Dari tabel 4.21 dapat diketahui bahwa besarnya prakiraan biaya investasi yang dibutuhkan untuk membangun pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSA) di TPA Supit Urang Kota Malang adalah sebesar Rp 124.406.583.404.

4.8.2 Menghitung Asumsi Biaya *Operational & Maintenance*

Dalam praktiknya setiap kegiatan operasional & produksi pada pembangkit listrik memerlukan pemeliharaan pada peralatan pembangkit. Untuk itulah maka biaya operasional dan perawatan sangat diperlukan dalam rencana pembangunan pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSA) di TPA Supit Urang Kota Malang ini. Dalam proses perhitungan besarnya biaya operasional dan perawatan yang dimuat dalam “*Landfill Gas Energy Cost Model (LFGcost-Web) Version 3.0*”, EPA, nilainya tergantung pada besarnya energi listrik yang dapat dihasilkan. Semakin besar penggunaan fasilitas pembangkitan dalam hal ini dapat dilihat dari jumlah energi listrik yang dapat dihasilkan per tahunnya, maka biaya operasional dan perawatannya juga semakin besar pula. Jadi besarnya biaya perawatan pada setiap tahun besarnya berbeda-beda. Besarnya biaya operasional dan pemeliharaan yang mencakup biaya operasional dan pemeliharaan sistem pengumpul gas & pembangkit listrik, mesin pemilah sampah, dan gaji pegawai masing masing adalah sebagai berikut:

a). Sistem Pengumpul Gas dan Flare serta Pembangkit Listrik

Dalam perhitungan yang terdapat pada “*Landfill Gas Energy Cost Model (LFGcost-Web) Version 3.0*” didapatkan rumusan besarnya biaya operasional dan pemeliharaan yang mencakup biaya operasional dan pemeliharaan sistem pengumpul gas dan pembangkit listrik per tahunnya adalah sebagai berikut:

$$\text{Annual O\&M cost} = \$0,025 \times \text{kWh generated/yr}$$

Namun dikarenakan nilai tersebut dihitung pada tahun 2013, maka disesuaikan dengan tingkat inflasi nilai dollar AS dari tahun 2013 hingga 2016 yang nilainya 1,8%, sehingga rumusan untuk biaya operasional dan pemeliharaan menjadi:

$$\text{Annual O\&M cost} = \$0,0254 \times \text{kWh generated/yr}$$

Atau jika dikonversi kedalam rupiah sesuai nilai tukar rupiah terhadap dollar per tanggal 21 April 2016 di Bank Indonesia (BI) maka didapatkan biaya operasional dan pemeliharaan sistem pengumpul gas dan flare serta pembangkit listrik adalah sebesar:

Biaya operasional dan pemeliharaan

sistem pengumpul gas dan flare

serta pembangkit listrik

$$= \$0,0254 \times \text{kWh generated/yr} \times \text{Rp } 13.116$$

$$= \text{Rp } 333 \times \text{kWh generated/yr}$$

b). Mesin Pemilah Sampah

Besarnya biaya operasional dan perawatan/pemeliharaan mesin pemilah sampah per tahunnya ditetapkan sebesar 5% dari besarnya harga beli mesin pemilah sampah. Dengan harga pembelian mesin pemilah sampah sebesar Rp 8.263.080.000 maka didapatkan biaya operasional dan perawatan mesin pemilah sampah otomatis adalah:

$$\begin{aligned} \text{Biaya operasional \& perawatan mesin pemilah sampah} &= 5\% \times \text{harga beli mesin pemilah} \\ &\text{sampah otomatis} \\ &= 5\% \times \text{Rp } 8.263.080.000 \\ &= \mathbf{\text{Rp } 413.154.000 / \text{Tahun}} \end{aligned}$$

Jadi biaya operasional dan perawatan mesin pemilah sampah ditetapkan sebesar Rp 413.154.000 / tahun.

c). Gaji Pegawai

Untuk menentukan komponen biaya ini ditentukan berdasarkan data jumlah pegawai dari dinas kebersihan dan pertamanan kota Malang dimana jumlah pegawai di UPT TPA Supit Urang saat ini mencapai 23 Orang dengan 1 kepala UPT. Namun dengan perubahan fungsi dari TPA yang semula hanya sebagai tempat pembuangan akhir kemudian akan difungsikan untuk pembangkitan listrik maka beban kerja dari pekerja juga semakin bertambah. Dengan alasan itulah maka digunakan asumsi bahwa jumlah pekerja yang dipekerjakan di TPA Supit Urang dengan adanya unit pembangkit tersebut menjadi 90 Orang staff yang didalamnya termasuk operator/engineer, staff pemeliharaan dan pekerja harian lepas, serta 1 orang kepala UPT/Supervisor. Asumsi standar gaji yang ditetapkan dalam penelitian ini untuk kategori staff pemeliharaan sebanyak 30 orang dan pekerja harian lepas sebanyak 30 orang dengan gaji per orang adalah sesuai UMK Kota Malang tahun 2016 yakni sebesar Rp 2.099.000 per bulan. Sedangkan asumsi jumlah operator/engineer adalah sebanyak 30 orang dengan standar gaji untuk operator/engineer ditetapkan berdasarkan acuan standar gaji dari pengelola TPST Bantargebang yakni PT Navigat Energy (job-like.com) yang juga sebagai pengelola pembangkit listrik di TPST Bantargebang yakni sebesar Rp 6.000.000 per bulan. Sedangkan untuk jabatan supervisor sebanyak 1 orang ditetapkan standar gajinya sebesar Rp 10.000.000 per bulan. Sehingga pengeluaran yang harus dilakukan untuk membayar gaji pegawai adalah sebagai berikut:

Staff pemeliharaan = 30 x Rp 2.099.000 x 12 = Rp 755.640.000

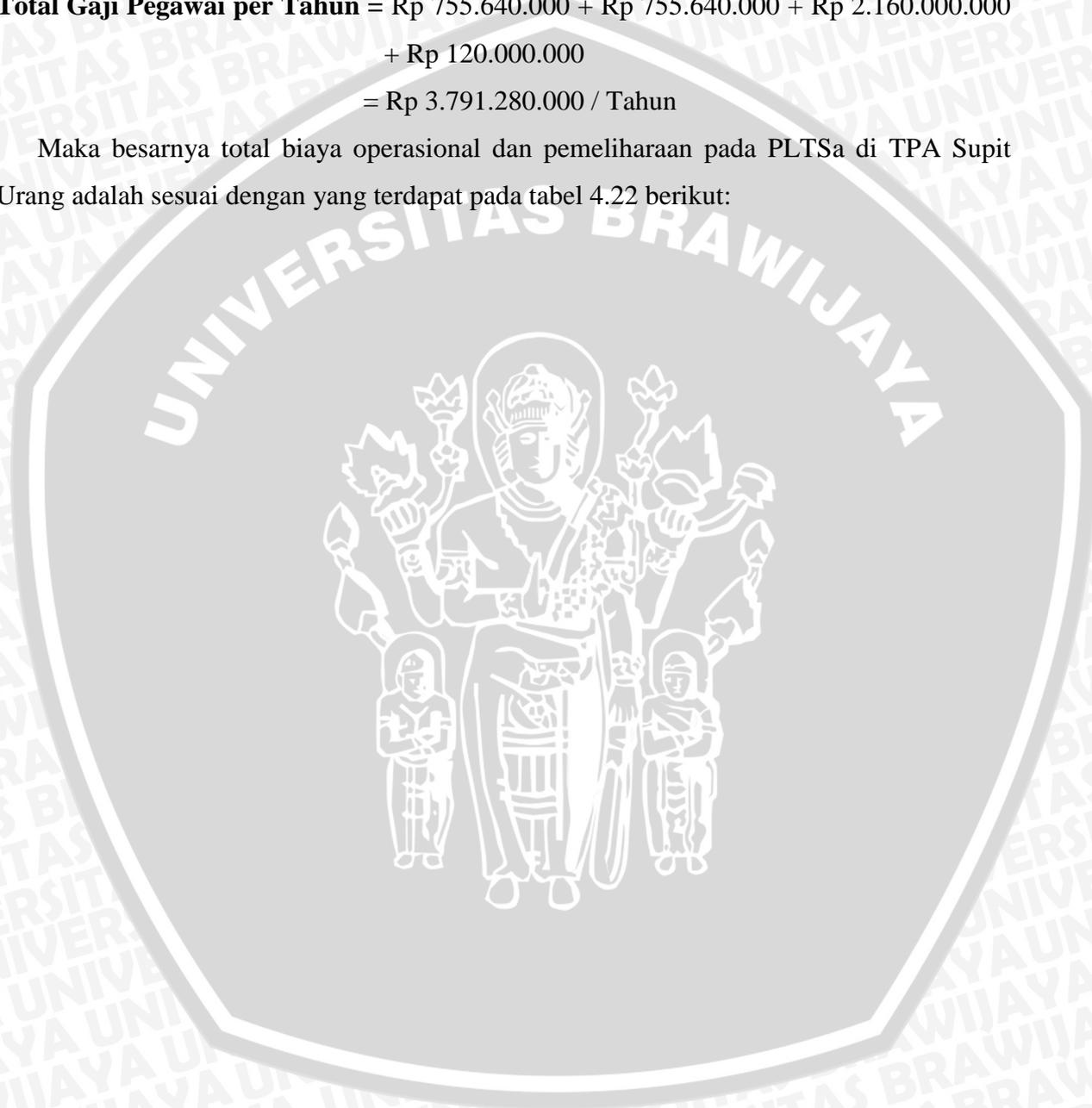
Pekerja harian lepas = 30 x Rp 2.099.000 x 12 = Rp 755.640.000

Operator/Engineer = 30 x Rp 6.000.000 x 12 = Rp 2.160.000.000

Supervisor = 1 x Rp 10.000.000 x 12 = Rp 120.000.000

Total Gaji Pegawai per Tahun = Rp 755.640.000 + Rp 755.640.000 + Rp 2.160.000.000
 + Rp 120.000.000
 = Rp 3.791.280.000 / Tahun

Maka besarnya total biaya operasional dan pemeliharaan pada PLTSa di TPA Supit Urang adalah sesuai dengan yang terdapat pada tabel 4.22 berikut:



Tabel 4.22 Biaya Operasional & Maintenance

Tahun	Energi Listrik yang dapat dihasilkan per tahun (kWh)	Biaya Operasional & Maintenance Sistem Pengumpul Gas dan Pembangkit Listrik per kWh (USD)	Biaya Operasional & Maintenance Sistem Pengumpul Gas dan Pembangkit Listrik per tahun (USD/tahun)	Nilai Tukar Rupiah terhadap dolar AS	Biaya Operasional & Maintenance Sistem Pengumpul Gas dan Pembangkit Listrik per tahun (Rupiah/tahun)	Biaya Operasional & Maintenance Mesin Pemilah Sampah per tahun (Rupiah/tahun)	Gaji Pegawai per tahun (Rupiah/tahun)	Total Biaya Operasional & Maintenance per tahun (Rupiah/tahun)
2016	0	0,0254	0	13.116	0	413.154.000	3.791.280.000	4.204.434.000
2017	6.762.720		171.773		2.252.974.668	413.154.000	3.791.280.000	6.457.408.668
2018	11.896.080		302.160		3.963.130.560	413.154.000	3.791.280.000	8.167.564.560
2019	15.820.560		401.842		5.270.559.672	413.154.000	3.791.280.000	9.474.993.672
2020	18.860.280		479.051		6.283.232.916	413.154.000	3.791.280.000	10.487.666.916
2021	21.251.760		539.795		7.079.951.220	413.154.000	3.791.280.000	11.284.385.220
2022	23.152.680		588.078		7.713.231.048	413.154.000	3.791.280.000	11.917.665.048
2023	24.703.200		627.461		8.229.778.476	413.154.000	3.791.280.000	12.434.212.476
2024	25.990.920		660.169		8.658.776.604	413.154.000	3.791.280.000	12.863.210.604
2025	27.085.920		687.982		9.023.571.912	413.154.000	3.791.280.000	13.228.005.912
2026	28.032.000		712.013		9.338.762.508	413.154.000	3.791.280.000	13.543.196.508
2027	28.864.200		733.151		9.616.008.516	413.154.000	3.791.280.000	13.820.442.516
2028	29.652.600		753.176		9.878.656.416	413.154.000	3.791.280.000	14.083.090.416
2029	30.353.400		770.976		10.112.121.216	413.154.000	3.791.280.000	14.316.555.216
2030	31.027.920	788.109	10.336.837.644	413.154.000	3.791.280.000	14.541.271.644		
2031	31.658.640	804.129	10.546.955.964	413.154.000	3.791.280.000	14.751.389.964		

4.8.3 Menghitung Perkiraan Penerimaan Biaya

Perkiraan penerimaan biaya diasumsikan bahwa penyaluran tenaga listrik adalah 100% dari daya yang dijual ke PLN sesuai dengan harga yang merujuk pada Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya mineral (ESDM) nomor 44 tahun 2015 tentang Pembelian Tenaga Listrik Oleh PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) Dari Pembangkit Listrik Berbasis Sampah Kota. Berikut pada tabel 4.23 adalah harga beli tenaga listrik oleh PLN Dari Pembangkit Listrik Berbasis Sampah Kota:

Tabel 4.23 Harga pembelian tenaga listrik dari PLTSa dengan teknologi sanitary landfill, anaerob digestion, atau yang sejenis

No	Tegangan Jaringan Listrik	Harga Pembelian (cent USD/kWh)
		Kapasitas s.d. 20 MW
1	Tegangan Tinggi	16,55
2	Tegangan Menengah	
3	Tegangan Rendah	20,16

Dari Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya mineral (ESDM) nomor 44 tahun 2015 dapat disimpulkan bahwa ada jaminan dari pemerintah bahwa produk energi listrik yang dihasilkan dari PLTSa ini dapat terjual seluruhnya. Dan dengan desain kapasitas pembangkit 3,6 MW maka PLTSa TPA Supit Urang akan terinterkoneksi pada jaringan tegangan rendah dengan harga listrik adalah 20,16 cent USD/kWh. Maka setelah dilakukan perhitungan maka didapatkan hasil penjualan listrik ke PLN adalah sebagai berikut:

Tabel 4.24 Proyeksi Hasil Penjualan Listrik

Tahun	Energi Listrik yang Dapat Dijual ke PLN (kWh)	Harga Jual Listrik per kWh ke PLN (USD)	Hasil Penjualan Listrik ke PLN (USD)	Nilai Tukar Rupiah Terhadap Dollar AS)	Hasil Penjualan Listrik ke PLN (Rupiah)
2016	0	0,2016	0	13.116	0
2017	5.748.312	0,2016	1.158.860	13.116	15.199.607.760
2018	10.111.668	0,2016	2.038.512	13.116	26.737.123.392
2019	13.447.476	0,2016	2.711.011	13.116	35.557.620.276
2020	16.031.238	0,2016	3.231.898	13.116	42.389.574.168
2021	18.063.996	0,2016	3.641.702	13.116	47.764.563.432
2022	19.679.778	0,2016	3.967.443	13.116	52.036.982.388
2023	20.997.720	0,2016	4.233.140	13.116	55.521.864.240
2024	22.092.282	0,2016	4.453.804	13.116	58.416.093.264
2025	23.023.032	0,2016	4.641.443	13.116	60.877.166.388
2026	23.827.200	0,2016	4.803.564	13.116	63.003.545.424
2027	24.534.570	0,2016	4.946.169	13.116	64.873.952.604
2028	25.204.710	0,2016	5.081.270	13.116	66.645.937.320
2029	25.800.390	0,2016	5.201.359	13.116	68.221.024.644
2030	26.373.732	0,2016	5.316.944	13.116	69.737.037.504
2031	26.909.844	0,2016	5.425.025	13.116	71.154.627.900

4.8.4 Perhitungan Depresiasi

Setelah diketahui besarnya nilai investasi yang dibutuhkan, maka dengan ketentuan umur ekonomis pembangkit adalah 15 tahun dapat diketahui nilai depresiasinya. Nilai depresiasi adalah penyusutan nilai fisik barang dengan berlalunya waktu dan penggunaan berdasarkan umur ekonomis actual asset sampai umur rencana tertentu (*useful life*) perkiraan pada akhir tahun ke 15, nilai residu dari peralatan bangunan tersebut masih tersisa 10% dari harga perolehannya.

Maka jika dihitung dapat diperoleh nilai residu dan nilai penyusutan (depresiasi) sebagai berikut:

a). Residu

$$\text{Nilai Investasi} = \text{Rp } 124.406.583.404$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Residu} &= 10\% \times \text{Nilai Investasi} \\ &= 10\% \times \text{Rp } 124.406.583.404 \\ &= \text{Rp } 12.440.658.340 \end{aligned}$$

b). Depresiasi

Nilai Investasi = Rp 124.406.583.404

Nilai Residu = Rp 12.440.658.340

Umur Ekonomis Pembangkit = 15 tahun

$$\begin{aligned} \text{Depresiasi} &= \frac{\text{Nilai Investasi} - \text{Nilai Residu}}{\text{Umur Ekonomis Pembangkit}} \\ &= \frac{\text{Rp } 124.406.583.404 - \text{Rp } 12.440.658.340}{15} \\ &= \text{Rp } 7.464.395.004 / \text{tahun} \end{aligned}$$

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



4.8.5 Penyusunan Cashflow

Tabel 4.25 Proforma Cashflow

Tahun ke-	Tahun	Biaya (a)	Manfaat/peredaran bruto (b)	Penyusutan (c)	Residu	Laba Sebelum Pajak (d= b-a-c)	Pajak	Laba Setelah Pajak (e= d - pajak)	Depresiasi (f)	Nett Cashflow (ncf= e + f)	DF (DR=15%)	PV Nett Cashflow	Kumulatif PV Nett Cashflow
0	2016	128.611.017.404	0	0	0	-128.611.017.404	0	-128.611.017.404	0	-128.611.017.404	1	-128.611.017.404	-128.611.017.404
1	2017	6.457.408.668	15.199.607.760	7.464.395.004	0	1.277.804.088	269.010.086	1.008.794.002	7.464.395.004	8.473.189.006	0,87	7.371.674.435	-121.239.342.969
2	2018	8.167.564.560	26.737.123.392	7.464.395.004	0	11.105.163.828	2.527.083.210	8.578.080.618	7.464.395.004	16.042.475.622	0,76	12.192.281.473	-109.047.061.496
3	2019	9.474.993.672	35.557.620.276	7.464.395.004	0	18.618.231.600	4.340.393.486	14.277.838.114	7.464.395.004	21.742.233.118	0,66	14.349.873.858	-94.697.187.638
4	2020	10.487.666.916	42.389.574.168	7.464.395.004	0	24.437.512.248	5.763.479.155	18.674.033.093	7.464.395.004	26.138.428.097	0,57	14.898.904.015	-79.798.283.623
5	2021	11.284.385.220	47.764.563.432	7.464.395.004	0	29.015.783.208	6.889.460.739	22.126.322.469	7.464.395.004	29.590.717.473	0,50	14.795.358.737	-65.002.924.886
6	2022	11.917.665.048	52.036.982.388	7.464.395.004	0	32.654.922.336	8.163.730.584	24.491.191.752	7.464.395.004	31.955.586.756	0,43	13.740.902.305	-51.262.022.581
7	2023	12.434.212.476	55.521.864.240	7.464.395.004	0	35.623.256.760	8.905.814.190	26.717.442.570	7.464.395.004	34.181.837.574	0,38	12.989.098.278	-38.272.924.303
8	2024	12.863.210.604	58.416.093.264	7.464.395.004	0	38.088.487.656	9.522.121.914	28.566.365.742	7.464.395.004	36.030.760.746	0,33	11.890.151.046	-26.382.773.257
9	2025	13.228.005.912	60.877.166.388	7.464.395.004	0	40.184.765.472	10.046.191.368	30.138.574.104	7.464.395.004	37.602.969.108	0,28	10.528.831.350	-15.853.941.907
10	2026	13.543.196.508	63.003.545.424	7.464.395.004	0	41.995.953.912	10.498.988.478	31.496.965.434	7.464.395.004	38.961.360.438	0,25	9.740.340.110	-6.113.601.797
11	2027	13.820.442.516	64.873.952.604	7.464.395.004	0	43.589.115.084	10.897.278.771	32.691.836.313	7.464.395.004	40.156.231.317	0,21	8.432.808.577	2.319.206.780
12	2028	14.083.090.416	66.645.937.320	7.464.395.004	0	45.098.451.900	11.274.612.975	33.823.838.925	7.464.395.004	41.288.233.929	0,19	7.844.764.447	10.163.971.227
13	2029	14.316.555.216	68.221.024.644	7.464.395.004	0	46.440.074.424	11.610.018.606	34.830.055.818	7.464.395.004	42.294.450.822	0,16	6.767.112.132	16.931.083.359
14	2030	14.541.271.644	69.737.037.504	7.464.395.004	0	47.731.370.856	11.932.842.714	35.798.528.142	7.464.395.004	43.262.923.146	0,14	6.056.809.240	22.987.892.599
15	2031	14.751.389.964	71.154.627.900	7.464.395.004	12.440.658.340	61.379.501.272	15.344.875.318	46.034.625.954	7.464.395.004	53.499.020.958	0,12	6.419.882.515	29.407.775.114

Penyusunan cashflow pada tabel 4.25 diatas didasarkan pada asumsi berikut:

Discount Rate = 15%

Pajak = Mengacu Pada pasal 17 ayat (1) huruf B Undang-undang
Nomor 36 tahun 2008 tentang pajak penghasilan

Umur Ekonomis Pembangkit = 15 tahun

4.8.6 Penilaian Investasi

4.8.6.1 Net Present Value

Salah satu metode untuk menilai investasi yang memperhatikan *time value of money* adalah *net present value*. NPV adalah selisih antara nilai sekarang dari *Nett Cash flow* dengan nilai sekarang dari investasi. Untuk menghitung NPV, pertama menghitung *present value* (PV) dari penerimaan atau *nett cash flow* dengan tingkat *discount rate* tertentu, kemudian dibandingkan dengan *present value* (PV) dari investasi. Jika selisih antara PV dari *nett cash flow* lebih besar (>) PV dari investasi atau terdapat NPV positif berarti investasi layak dilaksanakan, sebaliknya jika PV dari *nett cash flow* lebih kecil (<) PV dari investasi atau terdapat NPV negatif berarti investasi tidak layak dilaksanakan.

Seperti diketahui rumus untuk mencari nilai NPV adalah,

$$NPV = PV \text{ Nett Cashflow} - \text{Investasi}$$

Maka nilai NPV dapat dihitung menggunakan tabel 4.26 berikut:

Tabel 4.26 Perhitungan NPV

Tahun ke-	Tahun	Nett Cashflow	DF (15%)	PV Nett Cashflow
1	2017	8.473.189.006	0,87	7.371.674.435
2	2018	16.042.475.622	0,76	12.192.281.473
3	2019	21.742.233.118	0,66	14.349.873.858
4	2020	26.138.428.097	0,57	14.898.904.015
5	2021	29.590.717.473	0,50	14.795.358.737
6	2022	31.955.586.756	0,43	13.740.902.305
7	2023	34.181.837.574	0,38	12.989.098.278
8	2024	36.030.760.746	0,33	11.890.151.046
9	2025	37.602.969.108	0,28	10.528.831.350
10	2026	38.961.360.438	0,25	9.740.340.110
11	2027	40.156.231.317	0,21	8.432.808.577
12	2028	41.288.233.929	0,19	7.844.764.447
13	2029	42.294.450.822	0,16	6.767.112.132
14	2030	43.262.923.146	0,14	6.056.809.240
15	2031	53.499.020.958	0,12	6.419.882.515
TOTAL PV DARI NETT CASHFLOW				158.018.792.518
INVESTASI				124.406.583.404
NPV				33.612.209.114

Dari perhitungan diatas diketahui besarnya NPV adalah positif yakni Rp 33.612.209.114. Karena Nilai NPV > 0 maka investasi tersebut memenuhi kriteria kelayakan untuk dilaksanakan.

4.8.6.2 Benefit Cost Ratio / Profitability Index

Metode *Profitability Index* atau *Benefit Cost Ratio* merupakan metode yang memiliki hasil keputusan sama dengan metode NPV, berarti apabila suatu investasi diterima dengan menggunakan metode NPV maka akan diterima pula jika dihitung menggunakan metode *Profitability Index*. Metode PI menghitung perbandingan antara PV dari penerimaan atau *cash flow* atau *proceeds* dengan PV dari investasi. Jika PI lebih besar (>) dari 1, maka investasi layak untuk dilaksanakan. Rumus dari BCR adalah sebagai berikut:

$$BCR = \frac{\text{TOTAL PV NETT CASHFLOW}}{\text{INVESTASI}}$$

Maka dengan menggunakan rumus diatas dapat dicari nilai BCR/PI dari investasi yang direncanakan.

$$\begin{aligned} BCR &= \frac{\text{TOTAL PV NETT CASHFLOW}}{\text{INVESTASI}} \\ &= \frac{158.018.792.518}{124.406.583.404} \\ &= 1,27 \end{aligned}$$

Dari perhitungan BCR diatas dikarenakan nilai BCR adalah 1,27 atau nilai BCR > 1, maka investasi tersebut memenuhi kriteria kelayakan untuk dilaksanakan.

4.8.6.3 Internal Rate of Return (IRR)

Metode *Internal Rate of Return* (IRR) merupakan metode penilaian investasi untuk mencari tingkat bunga (*discount rate*) yang dapat menyamakan antara *present value* atau nilai sekarang dari aliran kas neto (*Present Value of Nett Cashflow*) dengan *present value* dari investasi. Metode yang digunakan dalam perhitungan ini adalah metode *trial and error*. Perhitungan trial & error dihitung menggunakan tabel 4.27 berikut ini,

Tabel 4.27 Metode *Trial & Error*

Tahun ke-	Tahun	Nett Cashflow (Rp)	DF (DR=15%)	PV Nett Cashflow (15%) (Rp)	DF (DR=20%)	PV Nett Cashflow (20%) (Rp)
1	2017	8.473.189.006	0,87	7.371.674.435	0,83	7.032.746.875
2	2018	16.042.475.622	0,76	12.192.281.473	0,69	11.069.308.179
3	2019	21.742.233.118	0,66	14.349.873.858	0,58	12.610.495.208
4	2020	26.138.428.097	0,57	14.898.904.015	0,48	12.546.445.487
5	2021	29.590.717.473	0,50	14.795.358.737	0,40	11.836.286.989
6	2022	31.955.586.756	0,43	13.740.902.305	0,34	10.864.899.497
7	2023	34.181.837.574	0,38	12.989.098.278	0,28	9.570.914.521
8	2024	36.030.760.746	0,33	11.890.151.046	0,23	8.287.074.972
9	2025	37.602.969.108	0,28	10.528.831.350	0,19	7.144.564.131
10	2026	38.961.360.438	0,25	9.740.340.110	0,16	6.233.817.670
11	2027	40.156.231.317	0,21	8.432.808.577	0,14	5.621.872.384
12	2028	41.288.233.929	0,19	7.844.764.447	0,11	4.541.705.732
13	2029	42.294.450.822	0,16	6.767.112.132	0,09	3.806.500.574
14	2030	43.262.923.146	0,14	6.056.809.240	0,08	3.461.033.852
15	2031	53.499.020.958	0,12	6.419.882.515	0,07	3.744.931.467
TOTAL PV NETT CASHFLOW				158.018.792.518		118.372.597.538
INVESTASI				124.406.583.404		124.406.583.404
NPV				33.612.209.114		-6.033.985.866

Untuk mencari nilai IRR digunakan persamaan 2-9 berikut ini:

$$IRR = i' + \frac{NPV'}{NPV' - NPV''} \times (i'' - i') \quad (2-9)$$

Maka IRR dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} IRR &= 15\% + \frac{33.612.209.114}{33.612.209.114 - (-6.033.985.866)} \times (20\% - 15\%) \\ &= \mathbf{19,24\%} \end{aligned}$$

Setelah nilai IRR ditemukan, untuk menilai apakah proyek investasi layak dilaksanakan atau tidak layak, maka nilai IRR dibandingkan dengan tingkat keuntungan yang disyaratkan atau diharapkan. Dalam hal ini tingkat keuntungan yang disyaratkan adalah 15%. Sedangkan nilai IRR adalah 19,24 %. Karena nilai IRR > keuntungan yang diharapkan berarti investasi layak dilaksanakan.

4.8.6.4 Payback Period

Payback Period merupakan suatu periode yang diperlukan untuk menutup kembali pengeluaran suatu investasi dengan menggunakan aliran kas masuk neto (*proceeds*) yang diperoleh atau yang diterima. *Payback Period* untuk mengukur lamanya dana investasi yang ditanamkan kembali seperti semula. Untuk mengetahui kelayakan suatu investasi dengan metode ini yaitu membandingkan masa *payback period* dengan target lamanya kembalian investasi. Jika *payback period* lebih kecil (<) dibanding dengan target kembalinya investasi berarti investasi layak dilakukan, sedangkan jika lebih besar (>) berarti investasi tidak layak. Perhitungan *Payback period* ditunjukkan pada tabel 4.28 berikut.

Tabel 4.28 Tabel Kumulatif PV Nett Cashflow

Tahun ke-	Tahun	Nett Cashflow	DF(DR=15%)	PV Nett Cashflow	Kumulatif Nett Cashflow
0	2016	-128.611.017.404	1	-128.611.017.404	-128.611.017.404
1	2017	8.473.189.006	0,87	7.371.674.435	-121.239.342.969
2	2018	16.042.475.622	0,76	12.192.281.473	-109.047.061.496
3	2019	21.742.233.118	0,66	14.349.873.858	-94.697.187.638
4	2020	26.138.428.097	0,57	14.898.904.015	-79.798.283.623
5	2021	29.590.717.473	0,5	14.795.358.737	-65.002.924.886
6	2022	31.955.586.756	0,43	13.740.902.305	-51.262.022.581
7	2023	34.181.837.574	0,38	12.989.098.278	-38.272.924.303
8	2024	36.030.760.746	0,33	11.890.151.046	-26.382.773.257
9	2025	37.602.969.108	0,28	10.528.831.350	-15.853.941.907
10	2026	38.961.360.438	0,25	9.740.340.110	-6.113.601.797
11	2027	40.156.231.317	0,21	8.432.808.577	2.319.206.780
12	2028	41.288.233.929	0,19	7.844.764.447	10.163.971.227
13	2029	42.294.450.822	0,16	6.767.112.132	16.931.083.359
14	2030	43.262.923.146	0,14	6.056.809.240	22.987.892.599
15	2031	53.499.020.958	0,12	6.419.882.515	29.407.775.114

$$\begin{aligned} \text{Payback Period} &= 10 \text{ tahun} + (6.113.601.797/8.432.808.577) \times 12 \text{ bulan} \\ &= 10 \text{ tahun} + 8,7 \text{ bulan} \end{aligned}$$

Untuk menentukan apakah proyek diterima atau ditolak, maka dibandingkan antara jangka waktu yang disyaratkan dengan jangka waktu pengembalian proyek yaitu selama 10 tahun 8,7 bulan. Dikarenakan umur ekonomis pembangkit yang disyaratkan adalah 15 tahun, maka *payback period* proyek ini lebih cepat daripada jangka waktu yang disyaratkan oleh investor, sehingga proyek PLTSa ini layak dilaksanakan.

4.8.6.5 Keputusan Kelayakan Proyek

Dari perhitungan Net Present Value (NPV), Benefit Cost Ratio (BCR), Internal Rate of Return (IRR), dan Payback Period (PP) diatas dapat dirangkum ke dalam tabel 4.29 berikut beserta kriteria kelayakan proyek nya.

Tabel 4.29 Penilaian Investasi

Metode Kelayakan Investasi	Nilai Perhitungan	Kriteria Kelayakan Investasi	Status Kelayakan Investasi (Layak/Tidak)
<i>Net Present Value</i> (NPV)	33.612.209.114	NPV > 0	Layak
<i>Benefit Cost Ratio</i> (BCR)	1,27	BCR > 1	Layak
<i>Internal Rate of Return</i> (IRR)	19,24	IRR > tingkat keuntungan yang disyaratkan (15%)	Layak
<i>Payback Period</i> (PP)	10 tahun + 8,7 bulan	PP < Umur Ekonomis Proyek (15 tahun)	Layak

Dari tabel 4.29 diatas dapat diketahui bahwa nilai perhitungan NPV, BCR, IRR, dan PP dari rencana proyek pembangunan pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSA) di TPA Supit Urang Kota Malang seluruhnya memenuhi kriteria kelayakan untuk investasi proyek tersebut. Sehingga dapat disimpulkan bahwa proyek pembangunan pembangunan pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSA) di TPA Supit Urang Kota Malang layak dan dapat untuk dilaksanakan.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisis data yang sudah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- TPA Supit Urang Kota Malang memiliki potensi Gas Metan sebesar 14.070.000 m³/tahun.
- Dari produksi gas metan yang dihasilkan di TPA Supit Urang Kota Malang, potensi daya listrik yang bisa dibangkitkan oleh pembangkit adalah sebesar 3.614 kWe atau dibulatkan menjadi 3,6 MWe selama 15 tahun.
- Potensi energi listrik yang bisa dihasilkan oleh pembangkit adalah sebesar 31.658.640 kWh / tahun dengan potensi energi listrik yang dapat dijual ke PLN mencapai 26.909.844 kWh / tahun.
- Biaya investasi yang dibutuhkan untuk merealisasikan pendirian pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa) di TPA Supit Urang Kota Malang diperkirakan sebesar Rp 124.406.583.404
- Dari perhitungan penilaian investasi didapatkan nilai-nilai *Net Present Value* (NPV) adalah Rp 33.612.209.114, nilai *Benefit Cost Ratio* (BCR) sebesar 1,27, nilai *Internal Rate of Return* (IRR) adalah 19,24 %, dan terakhir nilai *Payback Period* (PP) adalah 10 tahun 8,7 bulan. Dikarenakan seluruh kriteria kelayakan investasi dapat dipenuhi maka dapat disimpulkan bahwa rencana proyek pembangunan pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa) di TPA Supit Urang Kota Malang layak dan dapat untuk dilaksanakan.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya hendaknya dapat menggunakan perhitungan dengan metode yang berbeda dengan yang digunakan penulis saat ini sehingga didapatkan perbandingan hasil penelitian. Selain itu pembangkit Listrik yang bersumber dari energi baru dan terbarukan hendaknya dapat terus dikembangkan untuk mengatasi ketergantungan terhadap penggunaan bahan bakar fosil dan terutama untuk memenuhi kebutuhan energi listrik nasional. Untuk itu diperlukan dukungan dari semua pihak terutama pemerintah untuk dapat mengembangkan energi baru dan terbarukan ini.



DAFTAR PUSTAKA

- Agung Suprihatin, S. Pd; Ir. Dwi Prihanto; Dr. Michel Gelbert. 1996. *Pengelolaan Sampah*. Malang : PPPGT / VEDC Malang
- Alexander, A., Burklin, C., & Singleton, A. 2005, *Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide*, U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC.
- Artayana, Ketut Catur Budi. 2014. Pengaruh Variasi Konverter Biogas Terhadap Unjuk Kerja Pada Mesin Genset Berkapasitas 1200 Watt. Tesis Program Studi Teknik Mesin, Pascasarjana Universitas Udayana.
- Alan Nazlie Haq, Hermawan dan Karnoto, 2012, *Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah di Kota Banjarmasin*. Laporan Tugas Akhir Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro.
- Bent Sørensen. 2007. *Renewable Energy Conversion, Transmission, and Storage*. Academic Press.
- Chairil Saleh, Hendro Purnomo. 2014. *Analisis Efektivitas Instalasi Pengolahan Limbah Lindi di TPA Supit Urang Kota Malang*. Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Malang.
- Damanhuri, Enri. 2008. *Diktat Landfilling Limbah*. Bandung: FTSL ITB
- Dieter Doublein, Angelika Steinhauser. 2011. *Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction, 2nd, Revised and Expanded Edition*. Wiley-VCH
- EPA. 2012. International Best Practices Guide for Landfill Gas Energy Projects. Global Methane Initiative. U.S. EPA.
- EPA. 2015. *LFG Energy Project Development Handbook. Landfill Methane Outreach Program (LMOP), Climate Change Division*, U.S EPA. February 2015.
- Farideh Atabi, Mehdi Ali Ehyaei, Mohammad Hossein Ahmadi. 2014. *Calculation of CH₄ and CO₂ Emission Rate in Kahrizak Landfill Site with Land GEM Mathematical Model*. World Sustainability Forum 2014 – Conference Proceedings Paper.
- Hambali E., 2007. *Teknologi Bioenergi*. Bogor: PT. Agromedia Pustaka

Huang, Zhen. 2005. *Enhanced Gas Separation Properties by Using Nanostructured PES – Zeolite 4A Mixed Matrix Membranes*. Department of Packaging Engineering, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, People's Republic of China.

Husnan, S., Suwarsono, M. 2000. *Studi Kelengkapan Proyek*. Edisi ke-4. Yogyakarta : Unit Penerbit dan Percetakan.

Juliansah, Marthin Hadi. 2010. *Analisis keberadaan tempat pengolahan sampah terpadu (TPST) Bantar Gebang Bekasi*. Tesis Program Studi Magister Perencanaan dan Kebijakan Publik Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia.

Kasmir dan Jakfar. 2003. *Studi Kelayakan Bisnis*. Kencana Prenada Media Group. Jakarta.

Krakow. 2010. *Landfill Gas Energy Technologies*

Kristanto, Henry. 2011. *Prediksi Daya Tampung Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Putri Cempo di Kota Surakarta Pada Tahun 2020.*, Tugas Akhir Program D3 Infrastruktur Perkotaan Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Linus Karlsson, Tomas Linderholm Jönsson. 2012. *Pre-feasibility Study of a Waste to Energy Plant in Chisinau, Moldova*. UPPSALA Universitet.

Mahendra Gor, Ravi Dr. *Industrial Statistics and Operational Management: Forecasting Techniques*. ICFAI Bussines School. India.

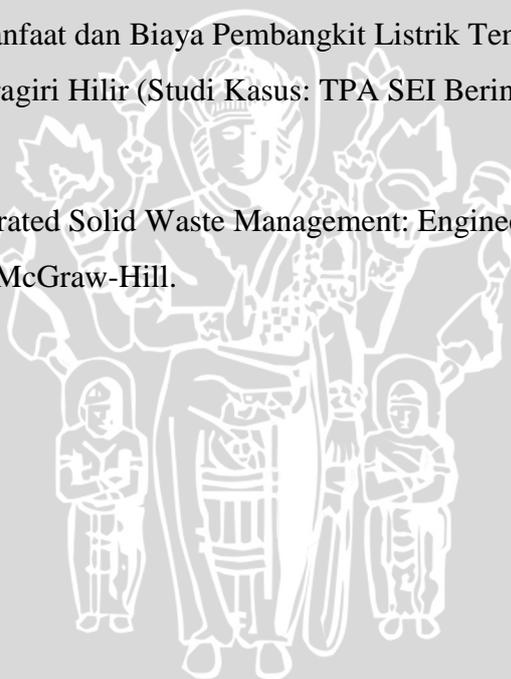
M. Dowling, S.Kibaara, S. Chowdhury, and S.P. Chowdhury, *Economic Feasibility Analysis of Electricity Generation from Landfill Gas in South Africa*. Power System

Modul Akuntansi Pemerintah Daerah Berbasis AKRUAL. Akuntansi Penyusunan Aset Tetap. Direktorat Jenderal Keuangan Daerah, Kementrian Dalam Negeri.

Pamungkas, Yan Akbar. 2015. *Pengelolaan Lingkungan TPA Supit Urang Kota Malang*. Jurusan Perencanaan Wilayah dan Kota, Universitas Brawijaya.

Puwaningsih, Murni Rahayu. 2012. *Analisis Biaya Manfaat Sosial Keberadaan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Gedebage Bagi Masyarakat Sekitar*. Jakarta: Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas)

- Rachmawati, Titi Sari Nurul. 2013. *Sistem pembuangan Landfill*. [Cited 2015 march 23]. Available from : <https://titisari04.wordpress.com/2013/05/11/sistempembuangan-landfill/>
- Rajaram, Vasudevan. 2011. *From Landfill Gas to Energy – Technologies & Challenges*. CRC Press. USA.
- Saragih, Budiman Ricardo. 2010. Analisis Potensi Biogas untuk Menghasilkan Energi Listrik dan Termal pada Gedung Komersil di Daerah Perkotaan (Studi Kasus pada Mal Bekasi). Jurusan Teknik Elektro Universitas Indonesia
- Shaazia Bhailal, Stuart Piketh, Neville Smith, and Jean Bogner. 2010. *Subsurface Gas Generation at A Landfill In Johannesburg*. Climatology Research Group, Departement of Geography Archaeology and Environmental Studies, University of the Witwatersrand, Johanesburg.
- Syarifudin. 2012. Analisis Manfaat dan Biaya Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Untuk Desa Terpencil di Indragiri Hilir (Studi Kasus: TPA SEI Beringin). Teknik Industri, Universitas Indonesia.
- Tchobagnolous. (1993). *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. McGraw-Hill.





LAMPIRAN 1. JUMLAH SAMPAH YANG MASUK DI TPA SUPIT URANG KOTA MALANG

VOLUME SAMPAH

No	Uraian	TAHUN								
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
1	Volume sampah									
	a. Terangkut (m3)	355.502,00	290.161,00	279.029,00	259.832,00	256.396,00	251.490,00	277.656,00	279.108,00	280.558,00
	b. Diolah (m3)	-	-	-	-	-	-	-	-	48.466,22
	c. Tidak terangkut (m3)	25.084,08	20.473,65	19.688,18	18.333,64	18.091,20	17.745,04	19.591,30	19.693,75	19.796,06
2	T P S (Unit)	75,0	74,0	73,0	75,0	75,0	73,0	73,0	71,0	69
3	TPA									
	- Luas Lahan TPA (Ha)	12,0	12,0	13,2	13,2	13,2	15,2	15,2	15,2	19,6



VOLUME SAMPAH TAHUN 2012

Bulan	Cont		DT		Taman		Pasar		Lain-lain		JUMLAH	
	Rit	Vol	Rit	Vol	Rit	Vol	Rit	Vol	Rit	Vol	Rit	Vol
Jan	3.116	21.812	1.431	12.879	56	504	243	2.187	28	199	4.575	34.890
Peb	2.862	20.034	1.321	11.889	50	450	219	1.971	24	201	4.207	32.124
Mar	3.116	21.812	1.431	12.879	25	225	243	2.187	28	232	4.575	34.923
Apr	3.082	21.574	1.385	12.465	54	486	235	2.115	27	223	4.494	34.262
Mei	3.136	21.952	1.423	12.807	57	513	243	2.187	34	286	4.593	35.045
Jun	3.022	21.154	1.385	12.465	54	486	235	2.115	27	214	4.434	33.833
Jul	3.136	21.952	1.423	12.807	26	234	243	2.187	29	223	4.588	34.982
Ags	3.116	21.812	1.429	12.861	25	225	243	2.187	27	214	4.572	34.887
Sep	3.000	21.000	1.373	12.357	23	207	239	2.151	17	115	4.390	33.472
Okt	2.976	20.832	1.426	12.834	31	279	247	2.223	34	185	4.436	33.851
Nop	3.000	21.000	1.373	12.357	37	333	237	2.133	18	124	4.391	33.481
Des	2.976	20.832	1.426	12.834	90	810	217	1.953	32	185	4.434	33.851
JUMLAH	36.538	255.766	16.826	151.434	528	4.752	2.844	25.596	325	2.401	53.689	409.601



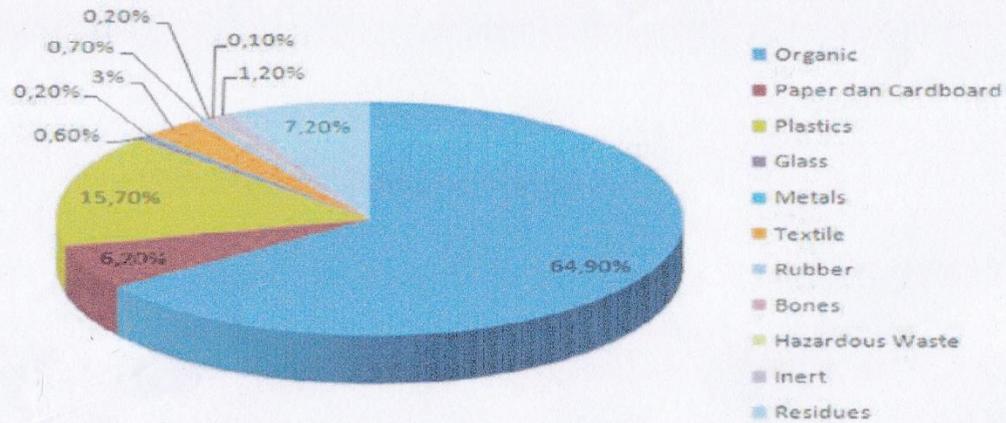
VOLUME SAMPAH TAHUN 2013

Bulan	Cont		DT		Taman		Pasar		Lain-lain		* JUMLAH	
	Rit	Vol	Rit	Vol	Rit	Vol	Rit	Vol	Rit	Vol	Rit	Vol
Jan	3.225	17.738	1.481	8.146	58	319	250	1.375	24	132	5.038	27.710
Peb	2.962	16.292	1.367	7.520	52	285	222	1.221	26	143	4.629	25.460
Mar	3.225	17.738	1.481	8.146	26	142	248	1.364	27	149	5.007	27.539
Apr	3.190	17.544	1.433	7.884	56	307	244	1.342	28	154	4.951	27.232
Mei	3.246	17.852	1.473	8.100	59	324	255	1.403	31	171	5.064	27.850
Jun	3.128	17.203	1.433	7.884	56	307	240	1.320	21	116	4.878	26.830
Jul	3.246	17.852	1.473	8.100	27	148	250	1.375	29	160	5.024	27.635
Ags	3.225	17.738	1.479	8.135	26	142	255	1.403	30	165	5.015	27.582
Sep	3.105	17.078	1.421	7.816	24	131	246	1.353	17	94	4.813	26.471
Okt	3.080	16.941	1.476	8.118	32	176	246	1.353	30	165	4.864	26.753
Nop	3.105	17.078	1.421	7.816	38	211	236	1.298	17	94	4.817	26.495
Des	3.080	16.941	1.476	8.118	93	512	217	1.194	28	154	4.894	26.918
JUMLAH	37.817	207.993	17.415	95.782	546	3.006	2.909	16.000	308	1.694	58.995	324.474



LAMPIRAN 2. KOMPOSISI SAMPAH DI TPA SUPIT URANG KOTA MALANG

KOMPOSISI SAMPAH DI TPA SUPIT URANG KOTA MALANG



No	Jenis Sampah	Komposisi Sampah (%)
A	Organik	64,90
B	Anorganik	35,10
B1	Kertas dan Kardus	6,20
B2	Plastik	15,70
B3	Kaca	0,60
B4	Metal	0,20
B5	Tekstil	3,00
B6	Karet	0,70
B7	Tulang	0,10
B8	Limbah Berbahaya (Hazardous Waste)	0,20
B9	Sampah Inert	1,20
B10	Sampah Residu	7,20



LAMPIRAN 3. PERHITUNGAN EMISI GAS METAN DENGAN SOFTWARE LANDGEM V3.02

USER INPUTS Landfill Name or Identifier: TPA SUPIT URANG KOTA MALANG

Clear ALL Non-Parameter Inputs/ Selections

1: PROVIDE LANDFILL CHARACTERISTICS

Landfill Open Year	2016	
Landfill Closure Year	2030	
Have Model Calculate Closure Year	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	
Waste Design Capacity		megagrams

Restore Default Model Parameters

2: DETERMINE MODEL PARAMETERS

Methane Generation Rate, k (*year*) User-specified k value should be based on site-specific data and data by EPA Method 2E.

User-specified User-specified value: 0,305

Potential Methane Generation Capacity, L_0 (*m*) User-specified L_0 value should be based on site-specific data and determined by waste type and

User-specified User-specified value: 110

NMOC Concentration (*ppmv as hexane*)

CAA - 4,000

Methane Content (*% by volume*)

User-specified User-specified value: 58

3: SELECT GASES/POLLUTANTS

Default pollutant parameters are currently being used by model.

Gas / Pollutant #1	Total landfill gas	Edit Existing or Add New Pollutant Parameters Restore Default Pollutant Parameters
Gas / Pollutant #2	Methane	
Gas / Pollutant #3	Carbon dioxide	
Gas / Pollutant #4	NMOC	

4: ENTER WASTE ACCEPTANCE RATES

Input Units: Mg/year

Year	Input Units (Mg/year)	Calculated Units (Short tons/year)
2016	102.399,73	112.640
2017	104.594,49	115.054
2018	106.789,25	117.468
2019	108.984,02	119.882
2020	111.178,78	122.297
2021	113.373,55	124.711
2022	115.568,31	127.125
2023	117.763,07	129.539
2024	119.958,70	131.955
2025	122.153,46	134.369
2026	124.348,22	136.783
2027	126.542,99	139.197
2028	128.737,75	141.612
2029	130.932,52	144.026
2030	133.127,28	146.440
2031		
2032		
2033		
2034		
2035		
2036		
2037		
2038		
2039		
2040		

PRODUKSI GAS METAN PER TAHUN

Year	Methane Emissions ($m^3/year$)
2017	3,006E+06
2018	5,287E+06
2019	7,032E+06
2020	8,384E+06
2021	9,444E+06
2022	1,029E+07
2023	1,098E+07
2024	1,155E+07
2025	1,204E+07
2026	1,246E+07
2027	1,283E+07
2028	1,318E+07
2029	1,349E+07
2030	1,379E+07
2031	1,407E+07

Produksi Gas Metan Per Sub Zona

SUB ZONA 1			SUB ZONA 2			SUB ZONA 3			SUB ZONA 4		
YEAR	WASTE	EMISSIONS									
0	102.400	3,006E+06									
1	102.400	2,216E+06	0	104.594	3,071E+06						
2	102.400	1,634E+06	1	104.594	2,264E+06	0	106.789	3,135E+06			
3	102.400	1,204E+06	2	104.594	1,669E+06	1	106.789	2,311E+06	0	108.984	3,200E+06
4	102.400	8,876E+05	3	104.594	1,230E+06	2	106.789	1,704E+06	1	108.984	2,359E+06
5	102.400	6,543E+05	4	104.594	9,066E+05	3	106.789	1,256E+06	2	108.984	1,739E+06
6	102.400	4,823E+05	5	104.594	6,683E+05	4	106.789	9,256E+05	3	108.984	1,282E+06
7	102.400	3,555E+05	6	104.594	4,926E+05	5	106.789	6,823E+05	4	108.984	9,447E+05
8	102.400	2,620E+05	7	104.594	3,631E+05	6	106.789	5,029E+05	5	108.984	6,963E+05
9	102.400	1,932E+05	8	104.594	2,677E+05	7	106.789	3,707E+05	6	108.984	5,133E+05
10	102.400	1,424E+05	9	104.594	1,973E+05	8	106.789	2,733E+05	7	108.984	3,784E+05
11	102.400	1,050E+05	10	104.594	1,454E+05	9	106.789	2,014E+05	8	108.984	2,789E+05
12	102.400	7,736E+04	11	104.594	1,072E+05	10	106.789	1,485E+05	9	108.984	2,056E+05
13	102.400	5,703E+04	12	104.594	7,902E+04	11	106.789	1,095E+05	10	108.984	1,515E+05
14	102.400	4,204E+04	13	104.594	5,825E+04	12	106.789	8,068E+04	11	108.984	1,117E+05

Produksi Gas Metan Per Sub Zona

SUB ZONA 5			SUB ZONA 6			SUB ZONA 7			SUB ZONA 8		
YEAR	WASTE	EMISSIONS									
0	111.179	3,264E+06									
1	111.179	2,406E+06	0	113.374	3,329E+06						
2	111.179	1,774E+06	1	113.374	2,454E+06	0	115.568	3,393E+06			
3	111.179	1,307E+06	2	113.374	1,809E+06	1	115.568	2,501E+06	0	117.763	3,457E+06
4	111.179	9,637E+05	3	113.374	1,333E+06	2	115.568	1,844E+06	1	117.763	2,549E+06
5	111.179	7,104E+05	4	113.374	9,827E+05	3	115.568	1,359E+06	2	117.763	1,879E+06
6	111.179	5,236E+05	5	113.374	7,244E+05	4	115.568	1,002E+06	3	117.763	1,385E+06
7	111.179	3,860E+05	6	113.374	5,340E+05	5	115.568	7,384E+05	4	117.763	1,021E+06
8	111.179	2,845E+05	7	113.374	3,936E+05	6	115.568	5,443E+05	5	117.763	7,524E+05
9	111.179	2,097E+05	8	113.374	2,901E+05	7	115.568	4,012E+05	6	117.763	5,546E+05
10	111.179	1,546E+05	9	113.374	2,139E+05	8	115.568	2,957E+05	7	117.763	4,088E+05

Produksi Gas Metan Per Sub Zona

SUB ZONA 9			SUB ZONA 10			SUB ZONA 11			SUB ZONA 12		
YEAR	WASTE	EMISSIONS	YEAR	WASTE	EMISSIONS	YEAR	WASTE	EMISSIONS	YEAR	WASTE	EMISSIONS
0	119.959	3,522E+06									
1	119.959	2,596E+06	0	122.153	3,586E+06						
2	119.959	1,914E+06	1	122.153	2,644E+06	0	124.348	3,651E+06			
3	119.959	1,411E+06	2	122.153	1,949E+06	1	124.348	2,691E+06	0	126.543	3,715E+06
4	119.959	1,040E+06	3	122.153	1,436E+06	2	124.348	1,984E+06	1	126.543	2,739E+06
5	119.959	7,664E+05	4	122.153	1,059E+06	3	124.348	1,462E+06	2	126.543	2,019E+06
6	119.959	5,650E+05	5	122.153	7,805E+05	4	124.348	1,078E+06	3	126.543	1,488E+06

LAMPIRAN 4. PERHITUNGAN PAJAK

Untuk wajib pajak yang peredaran bruto dalam satu tahun pajak **diatas** Rp. 4.800.000.000,- s/d Rp. 50.000.000.000,- maka perhitungan pajak terutangnya sesuai dengan pasal 17 dan 31E Undang-Undang No 36 Tahun 2008 tentang pajak penghasilan.

Dari tabel 4.25 diketahui bahwa peredaran bruto (manfaat) yang berada pada rentang Rp. 4.800.000.000,- s/d Rp. 50.000.000.000 adalah pada tahun 2017 - 2021. Maka perhitungan pajak untuk masing-masing tahun pajak menggunakan rumus sebagai berikut:

Mendapat Fasilitas = $4.800.000.000 / \text{Peredaran Bruto} \times \text{Penghasilan Kena Pajak}$

= yyyyyyyyyy

PPh yg mendapat Fasilitas = $(50\% \times 25\%) \times \text{yyyyyyyyyy}$

= zzzzzzzz

Tidak Mendapat Fasilitas = $\text{Penghasilan Kena Pajak} - \text{yyyyyyyyyy}$

= aaaaaaaa

PPh yg tidak mendapat Fasilitas = $25\% \times \text{aaaaaaaa}$

= bbbbbbbb

Total PPh Terutang = zzzzzzzz + bbbbbbbb

= cccccccc

Pajak pada tahun 2017

Mendapat Fasilitas = $4.800.000.000 / 15.199.607.760 \times 1.277.804.088$

= Rp 403.527.494

PPh yg mendapat Fasilitas = $(50\% \times 25\%) \times \text{Rp } 403.527.494$

= Rp 50.440.937

Tidak Mendapat Fasilitas = $1.277.804.088 - \text{Rp } 403.527.494$

= Rp 874.276.594

PPh yg tidak mendapat Fasilitas = $25\% \times \text{Rp } 874.276.594$

= Rp 218.569.149

Total PPh Terutang = Rp 50.440.937 + Rp 218.569.149

= Rp 269.010.086

Tahun	Manfaat/Peredaran Bruto	Penghasilan Kena Pajak	PKP Mendapat Fasilitas	PPh yang Mendapat Fasilitas	PKP Tidak Mendapat Fasilitas	PPh yang Tidak Mendapat Fasilitas	Total PPh Terutang
2017	15.199.607.760	1.277.804.088	403.527.494	50.440.937	874.276.594	218.569.149	269.010.086
2018	26.737.123.392	11.105.163.828	1.993.661.980	249.207.748	9.111.501.848	2.277.875.462	2.527.083.210
2019	35.557.620.276	18.618.231.600	2.513.315.317	314.164.415	16.104.916.283	4.026.229.071	4.340.393.486
2020	42.389.574.168	24.437.512.248	2.767.191.251	345.898.906	21.670.320.997	5.417.580.249	5.763.479.155
2021	47.764.563.432	29.015.783.208	2.915.880.506	364.485.063	26.099.902.702	6.524.975.676	6.889.460.739

Untuk wajib pajak yang peredaran bruto dalam satu tahun pajak **diatas** Rp. 50.000.000.000,- maka perhitungan pajak terutangnya sesuai dengan pasal 17 dan 31E Undang-Undang No 36 Tahun 2008 tentang pajak penghasilan. Cara menghitungnya sebagai berikut:

Penghasilan Kena Pajak x 25%

Dari tabel 4.25 diketahui bahwa peredaran bruto (manfaat) yang berada pada rentang lebih dari Rp. 50.000.000.000 adalah pada tahun 2022-2031. Maka perhitungan pajak untuk masing-masing tahun pajak adalah sesuai pada tabel berikut:

Tahun	Manfaat/Peredaran Bruto	Penghasilan Kena Pajak	Besaran Pajak (%)	Total PPh Terutang
2022	52.036.982.388	32.654.922.336	25	8.163.730.584
2023	55.521.864.240	35.623.256.760	25	8.905.814.190
2024	58.416.093.264	38.088.487.656	25	9.522.121.914
2025	60.877.166.388	40.184.765.472	25	10.046.191.368
2026	63.003.545.424	41.995.953.912	25	10.498.988.478
2027	64.873.952.604	43.589.115.084	25	10.897.278.771
2028	66.645.937.320	45.098.451.900	25	11.274.612.975
2029	68.221.024.644	46.440.074.424	25	11.610.018.606
2030	69.737.037.504	47.731.370.856	25	11.932.842.714
2031	71.154.627.900	61.379.501.272	25	15.344.875.318

LAMPIRAN 5. PERHITUNGAN AKURASI PERAMALAN

Tahun	Jumlah sampah masuk TPA aktual (ton) (Y)	Nilai (X)	X ²	XY
2004	98.655	-5	25	-493.275
2005	94.870	-4	16	-379.480
2006	88.343	-3	9	-265.029
2007	87.175	-2	4	-174.350
2008	85.507	-1	1	-85.507
2009	94.403	1	1	94.403
2010	94.897	2	4	189.794
2011	95.390	3	9	286.170
2012	139.264	4	16	557.056
2013	110.321	5	25	551.605
Jumlah	988.825	0	110	281.387

$$a = \frac{\sum \text{data aktual (Y)}}{n}$$

$$= \frac{988.825}{10}$$

$$= 98.883$$

$$b = \frac{\sum XY}{\sum X^2}$$

$$= \frac{281.387}{110}$$

$$= 2.558$$

Setelah a dan b diketahui maka untuk mencari nilai peramalan pada tahun 2004-2013 menggunakan persamaan least square regression

$$Y_{2004} = 98.883 + 2.558 (X_{2004})$$

$$= 98.883 + 2.558 (-5)$$

$$= 86.092 \text{ ton}$$

Dengan cara yang sama dicari hasil peramalan untuk tahun 2005-2013 sesuai pada tabel berikut:

Tahun	Hasil Peramalan (ton)
2004	86.092
2005	88.650
2006	91.208
2007	93.766
2008	96.324
2009	101.441
2010	103.999
2011	106.557
2012	109.115
2013	111.673

Selanjutnya untuk melakukan analisis keakurasian metode peramalan ini dilakukan perhitungan MAD, MSE, dan MAPE sebagai berikut.

Tahun	Jumlah sampah masuk TPA aktual (ton) (Y)	Nilai (X)	X ²	XY	Hasil Peramalan (ton)	Error	Absolute Error	Kuadrat Error	% error
2004	98.655	-5	25	-493.275	86.092	12.563	12.563	157.824.401	12,73
2005	94.870	-4	16	-379.480	88.650	6.220	6.220	38.685.347	6,56
2006	88.343	-3	9	-265.029	91.208	-2.865	2.865	8.209.996	3,24
2007	87.175	-2	4	-174.350	93.766	-6.591	6.591	43.446.194	7,56
2008	85.507	-1	1	-85.507	96.324	-10.817	10.817	117.016.929	12,65
2009	94.403	1	1	94.403	101.441	-7.038	7.038	49.527.302	7,45
2010	94.897	2	4	189.794	103.999	-9.102	9.102	82.839.619	9,59
2011	95.390	3	9	286.170	106.557	-11.167	11.167	124.694.986	11,71
2012	139.264	4	16	557.056	109.115	30.149	30.149	908.977.001	21,65
2013	110.321	5	25	551.605	111.673	-1.352	1.352	1.827.412	1,23
Jumlah	988.825	0	110	281.387	988.825	0	97.864	1.533.049.188	94

$$\text{MAD} = \frac{\sum (\text{absolut dari forecast error})}{n}$$

$$= 97.864 / 10$$

$$= 9.786$$

$$\text{MSE} = \frac{\sum \text{kuadrat error}}{n}$$

$$= 1.533.049.188 / 10$$

$$= 153.304.918,81$$

$$\text{MAPE} = \frac{\sum \% \text{ error}}{n}$$

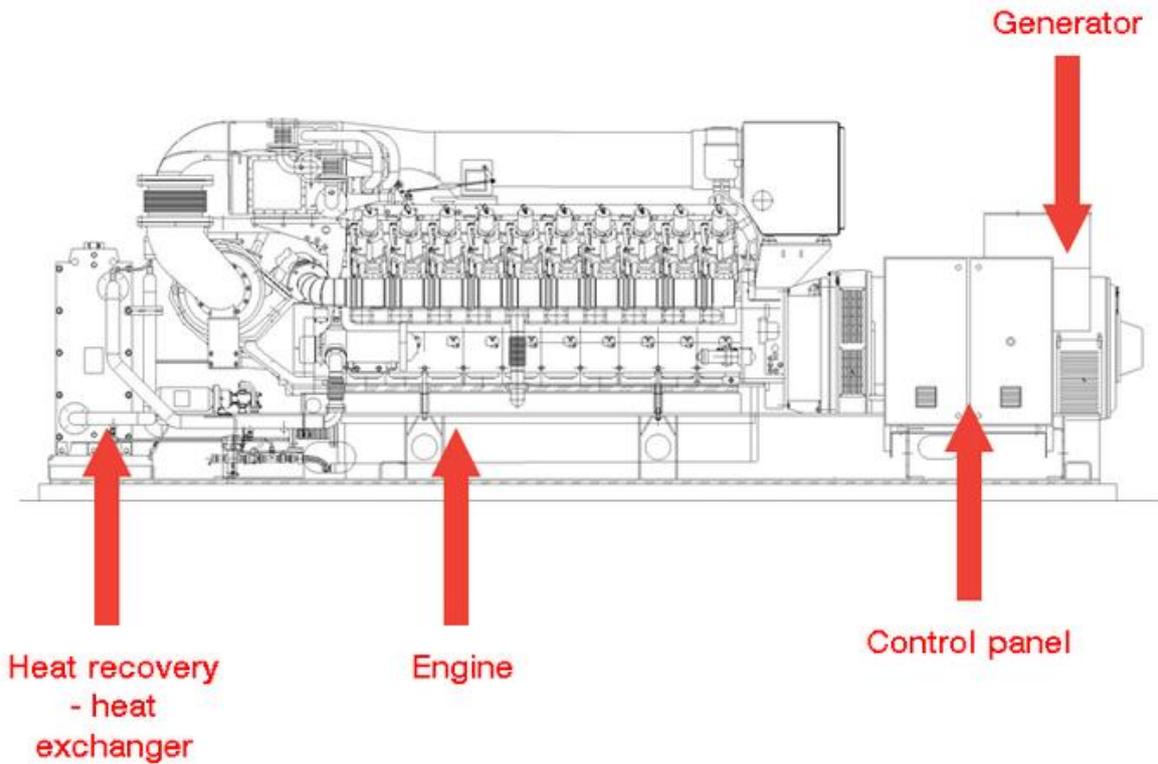
$$= 94 / 10$$

$$= 9,4 \%$$

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

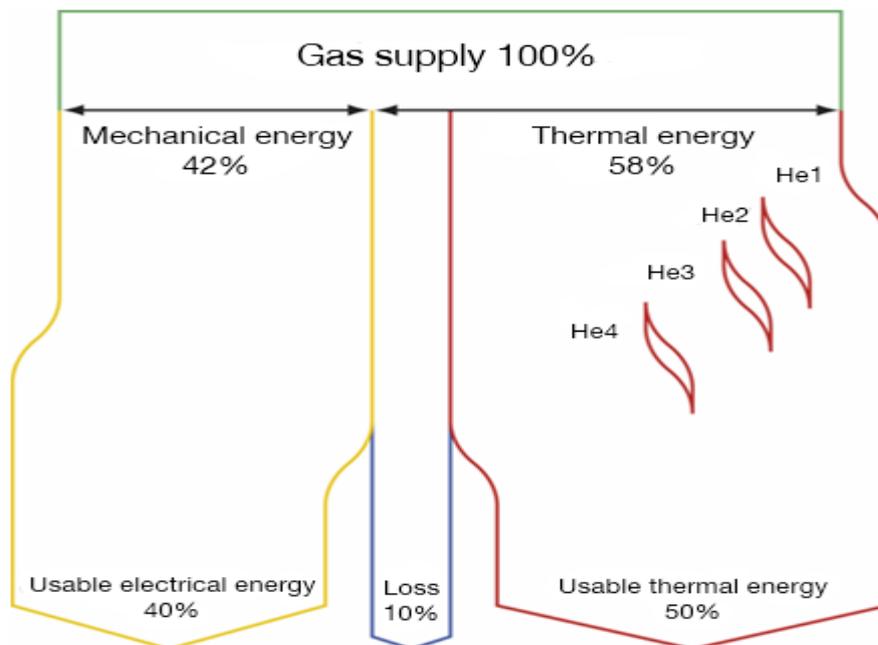


LAMPIRAN 6. TECHNICAL SPESIFICATION GAS ENGINE JENBACHER



Gas engine basic components

Gas Engine Energy Balance



Jenbacher Type 3	J312	J316	J320
Electrical Output (kW)	637	850	1067
Energy Input (kW)	1565	2086	2608
NOx	500	500	500
Thermal Efficiency	44.9%	44.8%	45.2%
Electrical Efficiency	40.7%	40.7%	40.9%
Total Efficiency	85.6%	85.6%	86.1%

Technical Specifications

J312 GS

Electrical Output

500 - 637 kWe

No. of Cylinders /arrangement:

12 / V 70°

Combustion:

Lean burn principle

Bore:

135mm (5.31 inch)

Stroke:

170mm (6.69 inch)

Speed:

1,500 rpm (50Hz)
1,200/1,800 (60Hz)

Dimensions:

4,700mm (length) x
1,800mm (width) x
2,300mm (height)

Gen-set Weight:

8,000 kg

Technical Specifications

J316 GS

Electrical Output

735 - 835 kWe

No. of Cylinders /arrangement:

16 / V 70°

Combustion:

Lean burn principle

Bore:

135mm (5.31 inch)

Stroke:

170mm (6.69 inch)

Speed:

1,500 rpm (50Hz)
1,200/1,800 (60Hz)

Dimensions:

5,200mm (length) x
1,800mm (width) x
2,300mm (height)

Gen-set Weight:

8,800 kg

Technical Specifications

J320 GS

Electrical Output

1067 kWe

No. of Cylinders /arrangement:

20 / V 70°

Combustion:

Lean burn principle

Bore:

135mm (5.31 inch)

Stroke:

170mm (6.69 inch)

Speed:

1,500 rpm (50Hz)
1,200/1,800 (60Hz)

Dimensions:

5,700mm (length) x
1,800mm (width) x
2,300mm (height)

Gen-set Weight:

10,500 kg

Technical Specifications**J412 GS****Electrical Output**889 kW_e**No. of Cylinders /arrangement:**

12 / V 70°

Combustion:

Lean burn principle

Bore:

145mm (5.71 inch)

Speed:

1,500 rpm (50Hz)

1,200 rpm (60Hz)

Dimensions:

5,400mm (length) x

1,800mm (width) x

2,200mm (height)

Gen-set Weight:

10,900 kg

Technical Specifications**J416 GS****Electrical Output**1200 kW_e**No. of Cylinders /arrangement:**

16 / V 70°

Combustion:

Lean burn principle

Bore:

145mm (5.71 inch)

Speed:

1,500 rpm (50Hz)

1,200 rpm (60Hz)

Dimensions:

6,200mm (length) x

1,800mm (width) x

2,200mm (height)

Gen-set Weight:

13,100 kg

Technical Specifications**J420 GS****Electrical Output**1500 kW_e**No. of Cylinders /arrangement:**

16 / V 70°

Combustion:

Lean burn principle

Bore:

145mm (5.71 inch)

Speed:

1,500 rpm (50Hz)

1,200 rpm (60Hz)

Dimensions:

7,100mm (length) x

1,800mm (width) x

2,200mm (height)

Gen-set Weight:

14,600 kg

Technical Specifications**J612 GS****Electrical Output:**1800 -2000 kW_e**No. of cylinders / Arrangement:**

12 / V 60°

Combustion:

Lean burn principle

Bore:

190mm (7.48")

Stroke:

220mm (8.86")

Speed:

1500 rpm (50Hz)

1500 rpm (60Hz)*

Dimensions (mm):

7,600 (length)

2,200 (width)

2,800 (height)

Gen-set weight:

19,100 kg

* with gear box

Technical Specifications**J616 GS****Electrical Output:**2435 - 2679 kW_e**No. of cylinders / Arrangement:**

16 / V 60°

Combustion:

Lean burn principle

Bore:

190mm (7.48")

Stroke:

220mm (8.86")

Speed:

1500 rpm (50Hz)

1500 rpm (60Hz)*

Dimensions (mm):

8,300 (length)

2,200 (width)

2,800 (height)

Gen-set weight:

22,400 kg

Technical Specifications**J620 GS****Electrical Output:**3047 - 3356 kW_e**No. of cylinders / Arrangement:**

20 / V 60°

Combustion:

Lean burn principle

Bore:

190mm (7.48")

Stroke:

220mm (8.86")

Speed:

1500 rpm (50Hz)

1500 rpm (60Hz)*

Dimensions (mm):

8,900 (length)

2,200 (width)

2,800 (height)

Gen-set weight:

28,000 kg

Technical Specifications**J624 GS****Electrical Output:**4000 - 4400 kW_e**No. of cylinders / Arrangement:**

24 / V 60°

Combustion:

Lean burn principle

Bore:

190mm (7.48")

Stroke:

220mm (8.86")

Speed:

1500 rpm (50Hz)

1500 rpm (60Hz)*

Dimensions (mm):

11,600 (length)

2,200 (width)

2,800 (height)

Gen-set weight:

43,000 kg

LAMPIRAN 7. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya mineral (ESDM) nomor 44 tahun 2015

LAMPIRAN I

PERATURAN MENTERI ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL
REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 44 TAHUN 2015
TENTANG
PEMBELIAN TENAGA LISTRIK OLEH PT PERUSAHAAN LISTRIK
NEGARA (PERSERO) DARI PEMBANGKIT LISTRIK BERBASIS
SAMPAH KOTA

HARGA PEMBELIAN TENAGA LISTRIK DARI PLTSA
BERDASARKAN JENIS TEKNOLOGI

- A. Melalui Pengumpulan dan Pemanfaatan Gas Metana Dengan Teknologi *Sanitary Landfill, Anaerob Digestion*, atau yang Sejenis dari Hasil Penimbunan Sampah

No.	Tegangan Jaringan Listrik	Harga Pembelian (cent USD/kWh)	
		Kapasitas s.d. 20 MW	
1.	Tegangan Tinggi	16,55	
2.	Tegangan Menengah		
3.	Tegangan Rendah	20,16	

- B. Melalui Pemanfaatan Panas/Termal Dengan Menggunakan Teknologi *Thermochemical*

No.	Tegangan Jaringan Listrik	Harga Pembelian (cent USD/kWh)		
		Kapasitas s.d. 20 MW	20 MW < kapasitas ≤ 50 MW	Kapasitas > 50 MW
1.	Tegangan Tinggi	18,77	15,95	13,14
2.	Tegangan Menengah		-	-
3.	Tegangan Rendah	22,43	-	-

MENTERI ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL
REPUBLIK INDONESIA,

ttd.

SUDIRMAN SAID

Salinan sesuai dengan aslinya
KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL
Kepala Biro Hukum,



LAMPIRAN 8. Tabel *Discount Factor*

EXHIBIT 11B-1 Present Value of \$1; $\frac{1}{(1+r)^n}$

Periods	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%	11%	12%	13%	14%	15%	16%	17%	18%	19%	20%	21%	22%	23%	24%	25%
1	0.962	0.952	0.943	0.935	0.926	0.917	0.909	0.901	0.893	0.885	0.877	0.870	0.862	0.855	0.847	0.840	0.833	0.826	0.820	0.813	0.806	0.800
2	0.925	0.907	0.890	0.873	0.857	0.842	0.826	0.812	0.797	0.783	0.769	0.756	0.743	0.731	0.718	0.706	0.694	0.683	0.672	0.661	0.650	0.640
3	0.889	0.864	0.840	0.816	0.794	0.772	0.751	0.731	0.712	0.693	0.675	0.658	0.641	0.624	0.609	0.593	0.579	0.564	0.551	0.537	0.524	0.512
4	0.855	0.823	0.792	0.763	0.735	0.708	0.683	0.659	0.636	0.613	0.592	0.572	0.552	0.534	0.516	0.499	0.482	0.467	0.451	0.437	0.423	0.410
5	0.822	0.784	0.747	0.713	0.681	0.650	0.621	0.593	0.567	0.543	0.519	0.497	0.476	0.456	0.437	0.419	0.402	0.386	0.370	0.355	0.341	0.328
6	0.790	0.746	0.705	0.666	0.630	0.596	0.564	0.535	0.507	0.480	0.456	0.432	0.410	0.390	0.370	0.352	0.335	0.319	0.303	0.289	0.275	0.262
7	0.760	0.711	0.665	0.623	0.583	0.547	0.513	0.482	0.452	0.425	0.400	0.376	0.354	0.333	0.314	0.296	0.279	0.263	0.249	0.235	0.222	0.210
8	0.731	0.677	0.627	0.582	0.540	0.502	0.467	0.434	0.404	0.376	0.351	0.327	0.305	0.285	0.266	0.249	0.233	0.218	0.204	0.191	0.179	0.168
9	0.703	0.645	0.592	0.544	0.500	0.460	0.424	0.391	0.361	0.333	0.308	0.284	0.263	0.243	0.225	0.209	0.194	0.180	0.167	0.155	0.144	0.134
10	0.676	0.614	0.558	0.508	0.463	0.422	0.386	0.352	0.322	0.295	0.270	0.247	0.227	0.208	0.191	0.176	0.162	0.149	0.137	0.126	0.116	0.107
11	0.650	0.585	0.527	0.475	0.429	0.388	0.350	0.317	0.287	0.261	0.237	0.215	0.195	0.178	0.162	0.148	0.135	0.123	0.112	0.103	0.094	0.086
12	0.625	0.557	0.497	0.444	0.397	0.356	0.319	0.286	0.257	0.231	0.208	0.187	0.168	0.152	0.137	0.124	0.112	0.102	0.092	0.083	0.076	0.069
13	0.601	0.530	0.469	0.415	0.368	0.326	0.290	0.258	0.229	0.204	0.182	0.163	0.145	0.130	0.116	0.104	0.093	0.084	0.075	0.068	0.061	0.055
14	0.577	0.505	0.442	0.388	0.340	0.299	0.263	0.232	0.205	0.181	0.160	0.141	0.125	0.111	0.099	0.088	0.078	0.069	0.062	0.055	0.049	0.044
15	0.555	0.481	0.417	0.362	0.315	0.275	0.239	0.209	0.183	0.160	0.140	0.123	0.108	0.095	0.084	0.074	0.065	0.057	0.051	0.045	0.040	0.035
16	0.534	0.458	0.394	0.339	0.292	0.252	0.218	0.188	0.163	0.141	0.123	0.107	0.093	0.081	0.071	0.062	0.054	0.047	0.042	0.036	0.032	0.028
17	0.513	0.436	0.371	0.317	0.270	0.231	0.198	0.170	0.146	0.125	0.108	0.093	0.080	0.069	0.060	0.052	0.045	0.039	0.034	0.030	0.026	0.023
18	0.494	0.416	0.350	0.296	0.250	0.212	0.180	0.153	0.130	0.111	0.095	0.081	0.069	0.059	0.051	0.044	0.038	0.032	0.028	0.024	0.021	0.018
19	0.475	0.396	0.331	0.277	0.232	0.194	0.164	0.138	0.116	0.098	0.083	0.070	0.060	0.051	0.043	0.037	0.031	0.027	0.023	0.020	0.017	0.014
20	0.456	0.377	0.312	0.258	0.215	0.178	0.149	0.124	0.104	0.087	0.073	0.061	0.051	0.043	0.037	0.031	0.026	0.022	0.019	0.016	0.014	0.012
21	0.439	0.359	0.294	0.242	0.199	0.164	0.135	0.112	0.093	0.077	0.064	0.053	0.044	0.037	0.031	0.026	0.022	0.018	0.015	0.013	0.011	0.009
22	0.422	0.342	0.278	0.226	0.184	0.150	0.123	0.101	0.083	0.068	0.056	0.046	0.038	0.032	0.026	0.022	0.018	0.015	0.013	0.011	0.009	0.007
23	0.406	0.326	0.262	0.211	0.170	0.138	0.112	0.091	0.074	0.060	0.049	0.040	0.033	0.027	0.022	0.018	0.015	0.012	0.010	0.009	0.007	0.006
24	0.390	0.310	0.247	0.197	0.158	0.126	0.102	0.082	0.066	0.053	0.043	0.035	0.028	0.023	0.019	0.015	0.013	0.010	0.008	0.007	0.006	0.005
25	0.375	0.295	0.233	0.184	0.146	0.116	0.092	0.074	0.059	0.047	0.038	0.030	0.024	0.020	0.016	0.013	0.010	0.009	0.007	0.006	0.005	0.004
26	0.361	0.281	0.220	0.172	0.135	0.106	0.084	0.066	0.053	0.042	0.033	0.026	0.021	0.017	0.014	0.011	0.009	0.007	0.006	0.005	0.004	0.003
27	0.347	0.268	0.207	0.161	0.125	0.098	0.076	0.060	0.047	0.037	0.029	0.023	0.018	0.014	0.011	0.009	0.007	0.006	0.005	0.004	0.003	0.002
28	0.333	0.255	0.196	0.150	0.116	0.090	0.069	0.054	0.042	0.033	0.026	0.020	0.016	0.012	0.010	0.008	0.006	0.005	0.004	0.003	0.002	0.002
29	0.321	0.243	0.185	0.141	0.107	0.082	0.063	0.048	0.037	0.029	0.022	0.017	0.014	0.011	0.008	0.006	0.005	0.004	0.003	0.002	0.002	0.002
30	0.308	0.231	0.174	0.131	0.099	0.075	0.057	0.044	0.033	0.026	0.020	0.015	0.012	0.009	0.007	0.005	0.004	0.003	0.003	0.002	0.002	0.001
40	0.208	0.142	0.097	0.067	0.046	0.032	0.022	0.015	0.011	0.008	0.005	0.004	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

