

**ANALISIS PENANAMAN MODAL DALAM PEMANFAATAN GAS  
LAHAN TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR (TPA)**

**SKRIPSI**

**VISKY KATERINA PUTRI  
0806338121**



**UNIVERSITAS INDONESIA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
DEPOK  
JANUARI 2011**

**ANALISIS PENANAMAN MODAL DALAM PEMANFAATAN  
GAS LAHAN TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR (TPA)**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana**

**VISKY KATERINA PUTRI  
0806338121**



**UNIVERSITAS INDONESIA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
DEPOK  
JANUARI 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip dan dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Visky Katerina Putri  
NPM : 0806338121  
Tanda Tangan :   
Tanggal : 18 Desember 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Visky Katerina Putri  
NPM : 0806338121  
Program Studi : Teknik Industri  
Judul Skripsi :

**“ANALISIS PENANAMAN MODAL DALAM PEMANFAATAN GAS  
LAHAN TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR (TPA)”**

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Farizal, Ph.D (.....)

Penguji : Ir. Amar Rachman, MEIM (.....)

Penguji : Armand Omar Moeis, ST, MSc (.....)

Penguji : Sumarsono, ST, MT (.....)

Penguji : Romadhani Ardi, ST, MT (.....)

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal :

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT, Tuhan Yang Maha Penyayang, atas kasih sayang-Nya lah sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik dan tepat pada waktunya. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka melengkapi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penyusunan skripsi ini, yakni :

1. Kedua orang tua atas segala dukungan yang diberikan untuk selalu berjuang menyelesaikan skripsi ini walaupun tidak berada dekat dengan penulis
2. Bapak Farizal, PhD selaku pembimbing skripsi yang telah memberikan banyak dukungan, bimbingan , arahan dan berbagai cerita dalam penulisan skripsi ini.
3. Bundo Lia, atas segala kesabaran dan bantuan dalam kehidupan mahasiswa penulis
4. Rosi Arca, Putri Karbelani dan Putri El-zahra yang selalu memberikan keceriaan di saat-saat terburuk dalam perjuangan menyelesaikan tugas penelitian dan semua bantuan yang telah diberikan
5. Para staf pengajar di Departemen Teknik Industri Universitas Indonesia yang telah memberikan banyak masukan dan pengetahuan
6. Seluruh staf karyawan Departemen Teknik Industri Universitas Indonesia terutama mbak Willy dan bu Har, yang telah banyak memberikan bantuan kepada penulis
7. Seluruh pihak yang telah membantu penyelesaian skripsi ini, baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik

Akhirnya, penulis berharap agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya dan bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 1 Januari 2011

Penulis



## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

---

Sebagai civitas akademik Universitas Indonesia, saya bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Visky Katerina Putri  
NPM : 0806338121  
Program Studi : Teknik Industri  
Departemen : Teknik Industri  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan pada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**“ANALISIS PENANAMAN MODAL DALAM PEMANFAATAN GAS LAHAN  
TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR (TPA)”**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/ formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada Tanggal : Desember 2011  
Yang menyatakan,



Visky Katerina Putri

## ABSTRAK

Nama : Visky Katerina Putri  
Program Studi : Teknik Industri  
Judul : Analisis Penanaman Modal dalam Pemanfaatan Gas Lahan Tempat Pembuangan Akhir (TPA)

Gas lahan tempat pembuangan akhir (TPA) merupakan salah satu potensi energi alternatif yang belum dimanfaatkan secara optimal. Oleh karena itu, diperlukan analisis untuk mengetahui potensi pemanfaatan gas lahan TPA sehingga dapat menghasilkan keuntungan yang maksimal. Namun, ketersediaan modal kerap kali menjadi kendala dalam usaha untuk mengembangkan solusi ini. Hasil penelitian dari empat skenario kemungkinan pemanfaatan menunjukkan bahwa apabila modal yang tersedia tidak terbatas maka pilihan penanaman modal akan optimal apabila digunakan sebagai pembangkit listrik dengan menggunakan mesin pembakaran internal dengan nilai *Net Present Value* (NPV) sebesar 3.191.351 rupiah. Namun apabila terdapat keterbatasan modal, dengan model matematika *integer programming* prinsip *lower bound* maka pemanfaatan gas lahan TPA optimal bila digunakan sebagai pengganti bahan bakar kendaraan..

Kata kunci : Gas Lahan TPA, Modal, NPV, Riset Operasi

## ABSTRACT

Name : Visky Katerina Putri  
Study Program : Industrial Engineering  
Tittle : Capital Investment Analysis for Landfill Gas Utilization

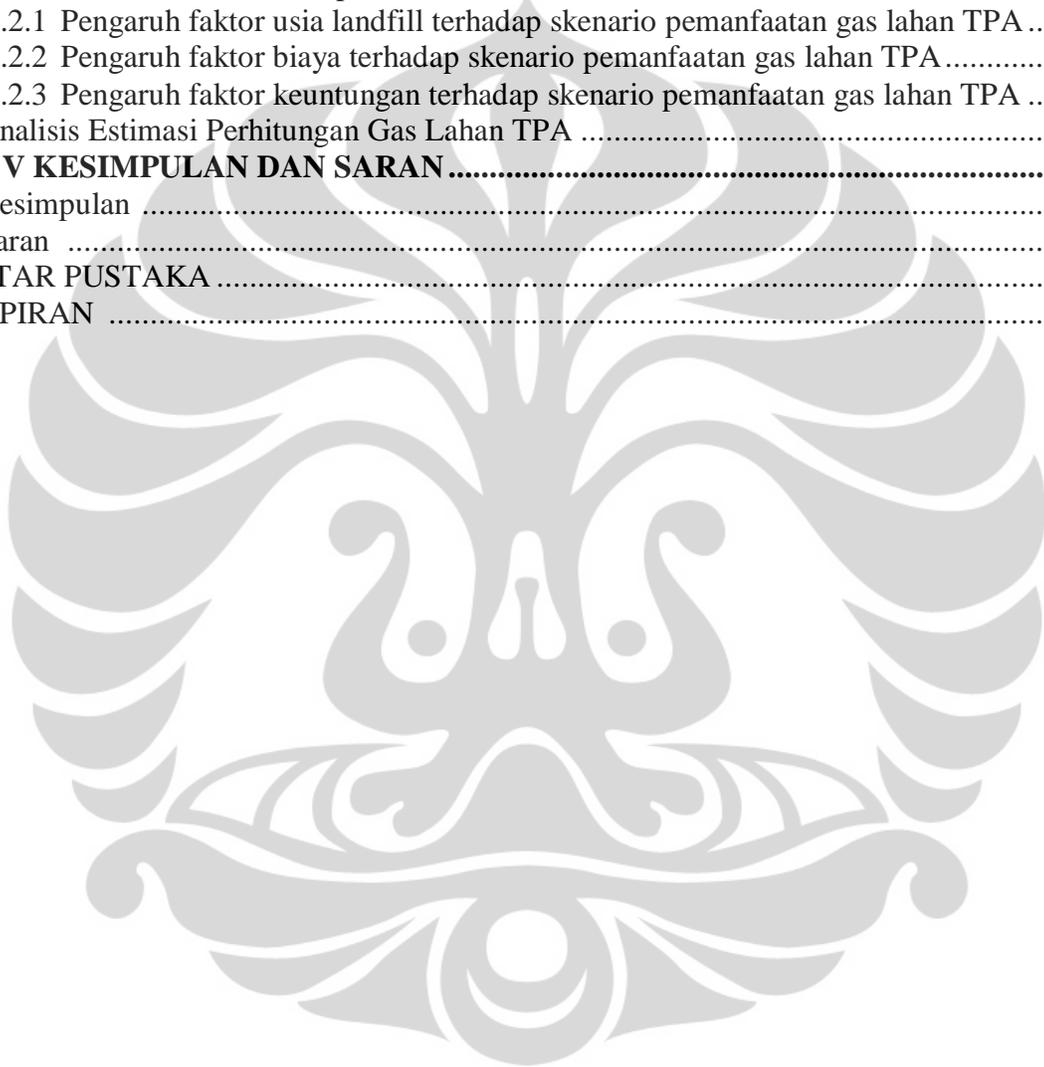
Landfill gas is one of potential energy which has not been optimally utilized. So, there is important to have an analysis to discover the potential landfill gas utilization to get the maximum revenue. However, capital budgeting is one of the obstacles to develop this solution. The result of the research from four possibilities shows if there is no capital limit, or capital is not one of essential factor, then we better have landfill gas for electricity generation with internal combustion engine, with *Net Present Value* (NPV) 3.191.351 rupiah. In other hand, if there is capital limit, then we conduct the integer programming for mathematic formula with lower bound principal, we better have landfill gas as fuel substitution.

Keywords : Landfill Gas, Capital, NPV, Operation Research

## DAFTAR ISI

	Halaman
JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR PERSAMAAN .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Diagram Keterkaitan Masalah .....	4
1.3 Rumusan Permasalahan.....	6
1.4 Tujuan Penelitian .....	6
1.5 Pembatasan Masalah .....	6
1.6 Metodologi Penelitian .....	6
1.7 Sistematika Penulisan.....	9
<b>BAB II DASAR TEORI .....</b>	<b>11</b>
2.1 Pengertian Sampah .....	11
2.2 Pengertian Gas Lahan TPA dan Pengolahannya .....	12
2.3 Pemilihan Teknologi untuk Gas Lahan TPA.....	20
2.3.1 Pemanfaatan Gas Lahan TPA sebagai Pengganti Bahan Bakar Kendaraan.....	22
2.3.2 Pemanfaatan Gas Lahan TPA sebagai Pembangkit Listrik .....	22
2.3.2.1 Penggunaan Turbin Gas .....	23
2.3.2.1 Penggunaan Mesin Pembakaran Dalam .....	26
2.4 Profil TPA Cipayung, Depok.....	26
2.5 Penerapan Ekonomi Teknik.....	28
2.6 Riset Operasi.....	30
<b>BAB III Metodologi Penelitian .....</b>	<b>36</b>
3.1 Data dari TPA Cipayung dan Estimasi Perhitungan Gas .....	36
3.2 Perancangan Skenario .....	38
3.2.1 Skenario 1 .....	39
3.2.2 Skenario 2 .....	39
3.2.3 Skenario 3 .....	40
3.2.4 Skenario 4 .....	40
3.3 Komponen Biaya dan Keuntungan .....	40
3.3.1 Komponen Biaya dan Keuntungan Skenario 1 .....	41

3.3.2	Komponen Biaya dan Keuntungan Skenario 2 .....	46
3.3.3	Komponen Biaya dan Keuntungan Skenario 3 .....	50
3.3.4	Komponen Biaya dan Keuntungan Skenario 4 .....	51
3.4	Pembuatan Model Matematika .....	51
<b>BAB IV PEMBAHASAN .....</b>		<b>56</b>
4.1	Analisis Model Matematika dan Arus Kas Proyek .....	56
4.2	Analisis Sensitivitas terhadap Arus Kas .....	57
4.2.1	Pengaruh faktor usia landfill terhadap skenario pemanfaatan gas lahan TPA ....	58
4.2.2	Pengaruh faktor biaya terhadap skenario pemanfaatan gas lahan TPA .....	60
4.2.3	Pengaruh faktor keuntungan terhadap skenario pemanfaatan gas lahan TPA ....	64
4.3	Analisis Estimasi Perhitungan Gas Lahan TPA .....	68
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>69</b>
5.1	Kesimpulan .....	69
5.2	Saran .....	70
DAFTAR PUSTAKA .....		xiv
LAMPIRAN .....		xvi

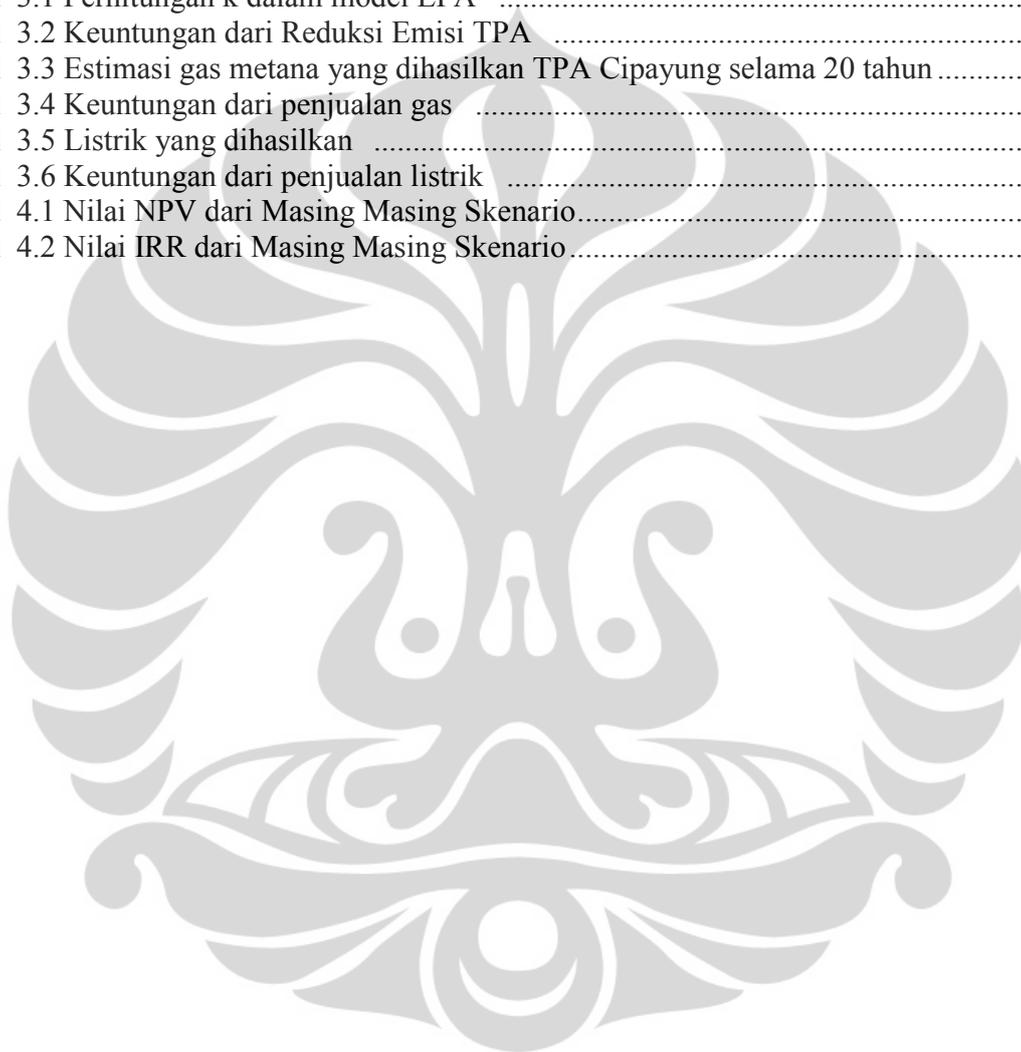


## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Estimasi Produksi Sampah di Jabodetabek .....	2
Gambar 1.2 Diagram Keterkaitan Masalah .....	5
Gambar 1.3 Diagram Alir Metodologi Penelitian .....	9
Gambar 2.1 Komposisi Gas Lahan TPA setelah Terjadi Dekomposisi .....	13
Gambar 2.2 Desain Sumur Gas Vertikal .....	18
Gambar 2.3 Sistem pengeboran untuk pemasangan pipa hisap conventional .....	18
Gambar 2.4 Pemanfaatan Gas Lahan TPA untuk Kebutuhan Energi.....	20
Gambar 2.5 Pertumbuhan Pemanfaatan Gas Lahan TPA .....	21
Gambar 2.6 Rangkaian Sistem Penangkap Metan Dan Pembangkit Listrik .....	23
Gambar 2.7 Area Lahan TPA Cipayung Depok.....	27
Gambar 2.8 Kondisi TPA Cipayung Depok .....	27
Gambar 2.9 Tahap Riset Operasi.....	31
Gambar 3.1 Komposisi Jenis Sampah di TPA Cipayung .....	36
Gambar 3.2 Pemanfaatan Gas Lahan TPA sebagai Studio Powered Glass .....	37
Gambar 3.3 Mesin Pembakaran Dalam .....	39
Gambar 3.4 Turbin yang digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik .....	40
Gambar 3.5 Penyelesaian dengan TORA .....	55
Gambar 4.1 Grafik pengaruh usia lahan terhadap NPV skenario 1 .....	58
Gambar 4.2 Grafik pengaruh usia lahan terhadap NPV skenario 2 .....	59
Gambar 4.3 Grafik Perubahan Biaya terhadap Skenario 1 .....	60
Gambar 4.4 Grafik Perubahan Biaya Instalasi Fasilitas Pemurnian .....	61
Gambar 4.5 Pengaruh Faktor Biaya dalam Skenario 2 .....	62
Gambar 4.6 Grafik Perubahan Biaya Instalasi Pembangkit Listrik .....	63
Gambar 4.7 Grafik Perubahan Keuntungan Skenario 1 .....	64
Gambar 4.8 Grafik Perubahan Keuntungan Penjualan Gas .....	64
Gambar 4.9 Grafik Perubahan Keuntungan Skenario 2 .....	65
Gambar 4.10 Grafik Perubahan Keuntungan Penjualan Listrik .....	66
Gambar 4.11 Grafik Perubahan Biaya dan Keuntungan Skenario 1 .....	67
Gambar 4.12 Grafik Perubahan Biaya dan Keuntungan Skenario 2 .....	67
Gambar 4.13 Gas Metana yang Dihasilkan .....	68

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1 Suplai dari Energi Primer di Indonesia .....	4
Tabel 3.1 Perhitungan k dalam model EPA .....	36
Tabel 3.2 Keuntungan dari Reduksi Emisi TPA .....	44
Tabel 3.3 Estimasi gas metana yang dihasilkan TPA Cipayung selama 20 tahun .....	45
Tabel 3.4 Keuntungan dari penjualan gas .....	46
Tabel 3.5 Listrik yang dihasilkan .....	48
Tabel 3.6 Keuntungan dari penjualan listrik .....	49
Tabel 4.1 Nilai NPV dari Masing Masing Skenario .....	56
Tabel 4.2 Nilai IRR dari Masing Masing Skenario .....	57



## DAFTAR PERSAMAAN

	Halaman
Persamaan 3.1 .....	52
Persamaan 3.2 .....	52
Persamaan 3.3 .....	52
Persamaan 3.4 .....	52
Persamaan 3.5 .....	53
Persamaan 3.6 .....	53
Persamaan 3.7 .....	53
Persamaan 3.8 .....	53
Persamaan 3.9 .....	53
Persamaan 3.10 .....	53
Persamaan 3.11 .....	53
Persamaan 3.12 .....	53
Persamaan 3.13 .....	53
Persamaan 3.14 .....	53
Persamaan 3.15 .....	53
Persamaan 3.16 .....	53
Persamaan 3.17 .....	54
Persamaan 3.18 .....	54
Persamaan 3.20 .....	54
Persamaan 3.21 .....	54
Persamaan 3.22 .....	54
Persamaan 3.23 .....	54
Persamaan 3.24 .....	54
Persamaan 3.25 .....	54

## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang Masalah**

##### **1.1.1 Potensi Pemanfaatan Sampah di Indonesia**

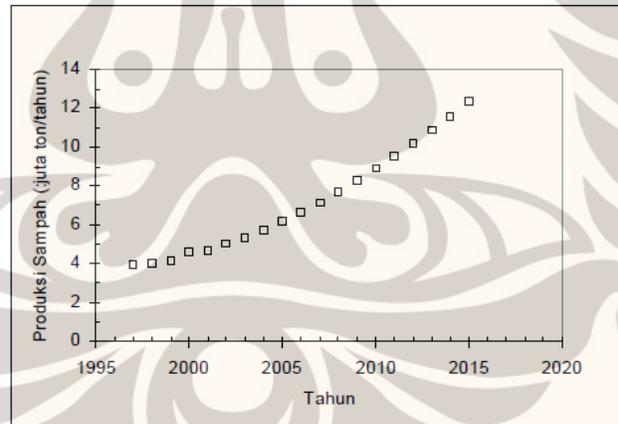
Menurut Status Lingkungan Hidup Indonesia tahun 2007, pertumbuhan rata-rata massa sampah di Indonesia adalah 2-4% per tahun, bahkan di kota-kota besar seperti Jakarta, Bandung dan Surabaya, pertumbuhan sampah mencapai 29% per tahunnya. Besarnya penduduk dan keragaman aktivitas di kota-kota metropolitan di Indonesia seperti Jakarta, mengakibatkan munculnya persoalan dalam pelayanan prasarana perkotaan, seperti masalah sampah. Pertumbuhan sampah yang pesat dengan tidak diimbangnya pengolahan yang baik dapat menimbulkan dampak yang buruk baik bagi lingkungan dan masyarakat di sekitarnya. Contohnya genangan air, bau busuk dan pencemaran lingkungan yang ditimbulkan oleh sampah. Diperkirakan hanya sekitar 60 % sampah di kota-kota besar di Indonesia yang dapat terangkut ke TPA, yang operasi utamanya adalah pengurugan. Banyaknya sampah yang tidak terangkut kemungkinan besar tidak terdata secara sistematis, karena biasanya dihitung berdasarkan ritasi truk menuju TPA. Hal ini juga disebabkan kapasitas dan pengolahan TPA yang belum maksimal terhadap sampah.

Menurut penelitian dari Indartono, 2005, sampah padat kota sebagian besar terdiri dari bahan-bahan hayati, terutama biomassa sekitar 74% yang pada umumnya dalam keadaan basah dengan kadar air 20 -40%, kandungan kertas 9 - 10% dalam keadaan basah atau kering. Kedua komponen tersebut mudah terbakar, menentukan jumlah kandungan karbon di dalam sampah dan sangat menentukan dalam pemanfaatannya sebagai sumber energi.

Hasil studi dari Suprihatin pada tahun 2003 mengindikasikan bahwa setiap tahun sekitar 5 juta ton atau 25 juta m<sup>3</sup> sampah dihasilkan di wilayah Jabotabek, dan sekitar 60-80 persen dikumpulkan dari rumah tangga dan diangkut dan ditimbun di TPA. Dengan asumsi bahwa laju produksi rata-rata gas metana adalah 235 L per kg sampah dan 80 persen sampah ditimbun di TPA, sebanyak 0,5 juta ton metana (setara 12,8 juta ton CO<sub>2</sub>) dihasilkan dari TPA. Gas metana adalah gas

yang timbul dari proses fermentasi anaerobik (tanpa udara) dari bahan organik seperti limbah kotoran ternak, sampah, maupun limbah pertanian. Diantara komponen yang menyusun gas lahan TPA (biogas), yang paling dominan adalah gas metana (54-70%) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yakni sebesar 27-45% (Hilman, 2006).

Volume produksi sampah dapat diperkirakan dari jumlah penduduk dan produksi sampah spesifik. Dari studi yang dilakukan Suprihatin, 2003 teridentifikasi bahwa rata-rata produksi sampah spesifik di Jabotabek adalah 0,6 kg/orang.hari atau 214 kg/orang.tahun. Hampir separuh sampah (40-50 %) diproduksi di Jakarta, walaupun area untuk pembuangan sampahnya sangat terbatas. Porsi bahan organik dalam sampah di wilayah studi sangat tinggi, yaitu mencapai 60-65 %. Bahan anorganik mencakup kertas, kayu, karet, plastik, logam dan gelas. Kandungan kertas dan plastik mencapai 20 % dari limbah tersebut. Variasi komposisi sampah mungkin terjadi terutama karena kondisi sosial, tingkat pendapatan perkapita, tingkat urbanisasi dan industrialisasi, pola makan, dan iklim.



**Gambar 1.1 Estimasi produksi sampah di Jabodetabek**

(Suprihatin, 2003)

Menurut SNI 19-3964-1995, bila pengamatan lapangan belum tersedia, maka untuk menghitung besaran sistem, dapat digunakan angka timbulan sampah sebagai berikut:

- Satuan timbulan sampah kota besar = 2 – 2,5 L/orang/hari, atau = 0,4 – 0,5 kg/orang/hari

- Satuan timbulan sampah kota sedang/kecil = 1,5 – 2 L/orang/hari, atau = 0,3 – 0,4 kg/orang/hari

Besarnya volume sampah yang harus diolah menuntut alternatif lain dari sekedar pengolahan sampah. Potensi kandungan gas yang dimiliki sampah yang mencemarkan lingkungan harusnya dapat dimanfaatkan untuk kepentingan masyarakat yang lebih luas. Hal ini sekaligus bertujuan untuk mengurangi polusi terhadap lingkungan dan menjaga kesejahteraan masyarakat. Namun, kendala yang dialami oleh pemerintah adalah kurangnya modal investasi, teknologi dan sumber daya untuk menunjang pengolahan dan pemanfaatan sampah yang baik.

#### 1.1.2 Kondisi Cadangan Energi di Indonesia

Pertumbuhan penduduk di dunia semakin meningkat, berdasarkan hasil sensus penduduk di Indonesia tahun 2010, rata-rata laju pertumbuhan penduduk di Indonesia sebesar 1,49% per tahun, ledakan penduduk tersebut menimbulkan semakin banyaknya kebutuhan konsumsi akan energi sehingga krisis energi akan menjadi isu yang hangat pada saat semua sumber energi minyak bumi dan batubara sudah mulai kritis persediannya. Melalui masalah tersebut, energi terbarukan (alternatif) dapat dijadikan sebagai solusi untuk mengatasi krisis energi yang akan melanda di semua negara, tidak terkecuali Indonesia. Negara-negara di dunia berlomba-lomba dalam mengeksplorasi potensi energi terbarukan di negaranya masing-masing. Menurut kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral pemakaian bahan bakar fosil masih mendominasi di Indonesia yaitu sebesar 96% dimana hanya 4% yang merupakan pemakaian dari nonfosil yaitu energi baru terbarukan. Dengan ini, Indonesia tertinggal dari Filipina yang telah lebih banyak menggunakan energi baru terbarukan sebanyak 24,1% berdasarkan laporan International Energy Annual 2006 yang dikeluarkan oleh Energy Information Agency (Amerika Serikat). Hal ini tentu menyedihkan mengingat potensi energi terbarukan di Indonesia sangat melimpah namun tidak dapat menggunakannya dengan maksimal. Salah satu energi alternatif yang belum dimanfaatkan secara optimal di Indonesia adalah pemanfaatan gas metana CH<sub>4</sub> pada lahan TPA.

Type of Energy	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Crude Oil and Fuel Export/ Import	59.64	57.20	56.62	53.16	57.08	55.07	51.31	49.60	51.29	49.84
Coal	12.91	15.43	15.36	19.20	17.37	19.37	22.89	27.01	22.68	23.56
Natural Gas and Export/ Import (LPG&LNG)	22.66	22.28	23.61	23.76	21.49	21.33	21.86	19.21	21.34	22.21
Hydropower	3.47	3.80	3.13	2.67	2.79	3.02	2.70	2.98	3.21	2.88
Geothermal	1.32	1.29	1.28	1.21	1.27	1.22	1.24	1.20	1.48	1.51

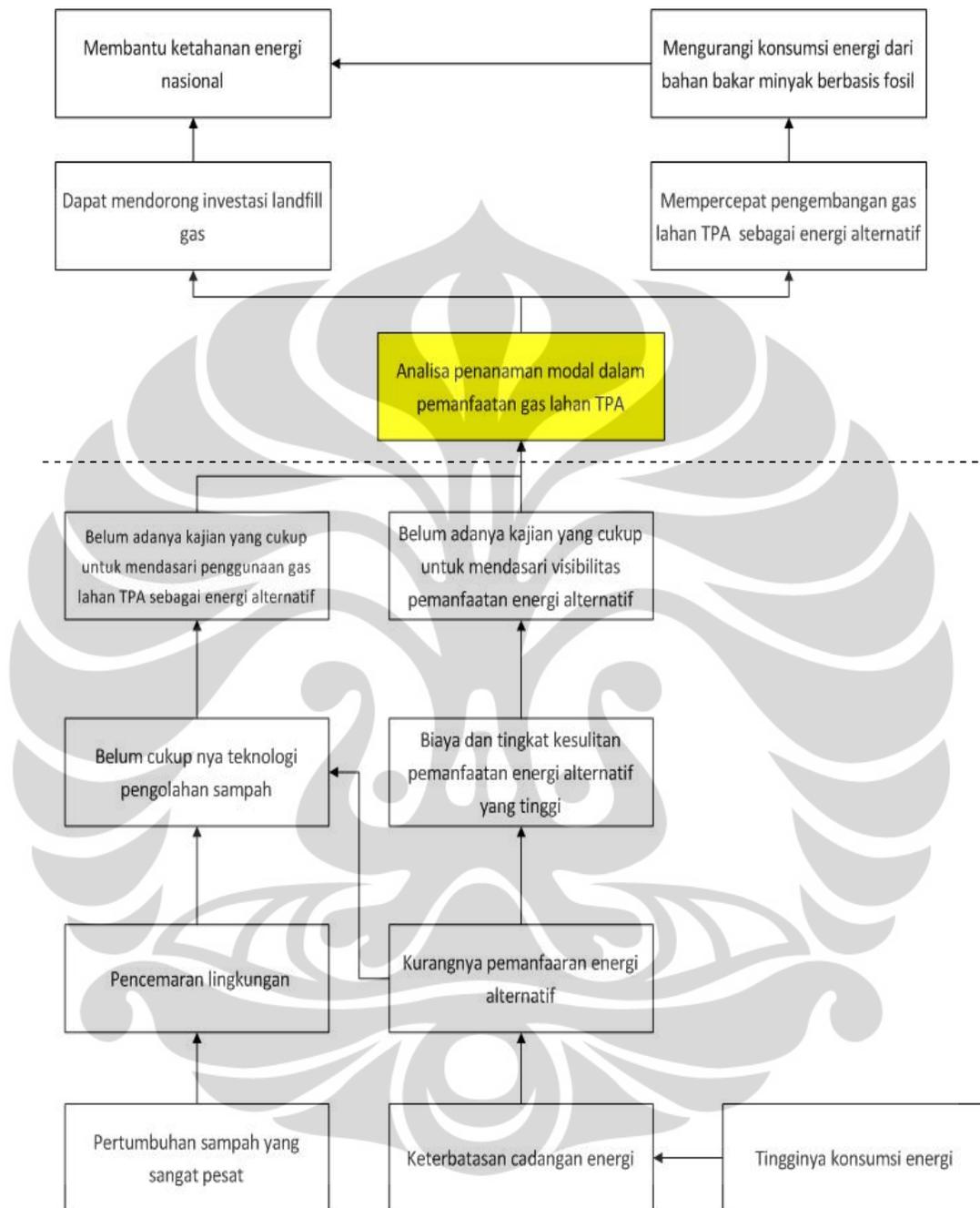
**Tabel 1.1 Suplai dari Energi Primer di Indonesia**

(Kementerian ESDM)

Dengan potensi energi baru terbarukan yang melimpah di Indonesia baik dari pemanfaatan biogas, geotermal dan tenaga angin seharusnya Indonesia bisa tumbuh dengan lebih baik dalam pemanfaatan energi baru terbarukan dibanding negara-negara lain. Oleh karena itu dengan adanya potensi sampah dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sebagai sumber penghasil gas metana yang belum dimanfaatkan dan kebutuhan energi yang terus meningkat adalah alternatif yang baik untuk mengkaji potensi pemanfaatan gas lahan TPA untuk memenuhi kebutuhan energi di Indonesia. Pemanfaatan gas lahan TPA sendiri dapat digunakan untuk berbagai alternatif teknologi dengan keuntungan dan biaya yang bervariasi pula sehingga apabila dapat menganalisa kondisi TPA dengan pemanfaatan yang sesuai dengan kebutuhan dan persyaratan yang ada, hal ini dapat membantu Indonesia dalam membangun ketahanan energi yang lebih cepat dengan meningkatkan penggunaan energi baru terbarukan.

## 1.2 Diagram Keterkaitan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, terlihat bahwa terdapat beberapa faktor yang memiliki keterkaitan. Oleh karena itu dari penjabaran tersebut, dapat dibuat sebuah diagram keterkaitan masalah yang dapat memvisualisasikan permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini secara lebih jelas dan sistematis. Diagram keterkaitan masalah dari penelitian ini ditampilkan sebagai berikut :



**Gambar 1.2 Diagram Keterkaitan Masalah**

### **1.3 Rumusan Permasalahan**

Berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan sebelumnya, maka permasalahan yang menjadi fokus dalam penelitian ini adalah pentingnya untuk mengoptimalkan penggunaan modal dalam pemanfaatan gas lahan TPA.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan yang ingin dicapai oleh penulis dalam penelitian ini adalah untuk memperoleh suatu analisis penanaman modal yang berkaitan dengan rentang modal yang dibutuhkan dan pemilihan teknologi yang digunakan dalam pemanfaatan gas lahan TPA.

### **1.5 Pembatasan Masalah**

Dalam penelitian ini terdapat beberapa pembatasan ruang lingkup agar penelitian dapat terfokus dan memperoleh hasil yang sesuai dengan tujuan pelaksanaan. Ruang lingkup ini juga dilakukan sebagai keterbatasan yang dimiliki oleh penulis. Adapun ruang lingkup dari penelitian ini antara lain sebagai berikut :

1. Umur TPA diasumsikan selama 20 tahun
2. Mengambil studi kasus dari TPA Cipayung untuk kebutuhan model
3. Dalam proyek ini belum memasukkan faktor kebijakan pemerintah ataupun yang berkaitan dengan regulasi yang berlaku di Indonesia terkait dengan biaya yang akan dikeluarkan

### **1.6 Metodologi Penelitian**

Metodologi penelitian yang digunakan dalam penelitian ini secara sistematis dilakukan dalam enam tahapan utama, yaitu :

1. Perumusan masalah

Pada tahap ini peneliti melakukan identifikasi masalah sesuai dengan topik yang akan dibahas dan menentukan data-data yang dibutuhkan. Adapun topik penelitian didapatkan melalui diskusi dengan dosen pembimbing, dimana topik penelitian ini adalah melakukan analisis penanaman modal dalam pemanfaatan gas lahan TPA.

2. Pemahaman dasar teori

Dalam tahap pemahaman dasar teori ini, penulis menentukan dan menyusun dasar teori yang dapat mendukung penelitian yang dilakukan. Teori yang dibahas dalam penelitian ini adalah kondisi TPA, profil TPA Cipayung, prinsip ekonomi teknik dan riset operasi.

### 3. Pengumpulan data

Pada tahap ini, kebutuhan data untuk menyelesaikan tujuan dari penelitian ini akan diidentifikasi pada awal tahap pengumpulan data. Data data dan keterangan yang dibutuhkan secara :

- Kuantitatif, yaitu dengan menggunakan data sekunder, dengan membaca referensi dari jurnal, buku yang berhubungan dengan obyek yang akan diteliti dan beberapa data dikumpulkan dari sumber yang bersangkutan
- Kualitatif, yaitu dengan menggunakan sistem wawancara dengan pihak yang terkait dengan obyek yang akan diteliti

### 4. Pengolahan data

Dalam tahap pengolahan data, akan dilakukan estimasi perhitungan gas yang dapat diperoleh dari lahan TPA Cipayung, kemudian pembuatan arus kas dari tiap skenario yang akan menjadi pilihan terhadap penanaman modal ini. Adapun arus kas terdiri dari komponen biaya dan komponen keuntungan yang didapat dari tiap skenario. Kemudian dilakukan uji sensitivitas terhadap masing masing skenario yang ada untuk mengetahui respon dari suatu stimulus perubahan.

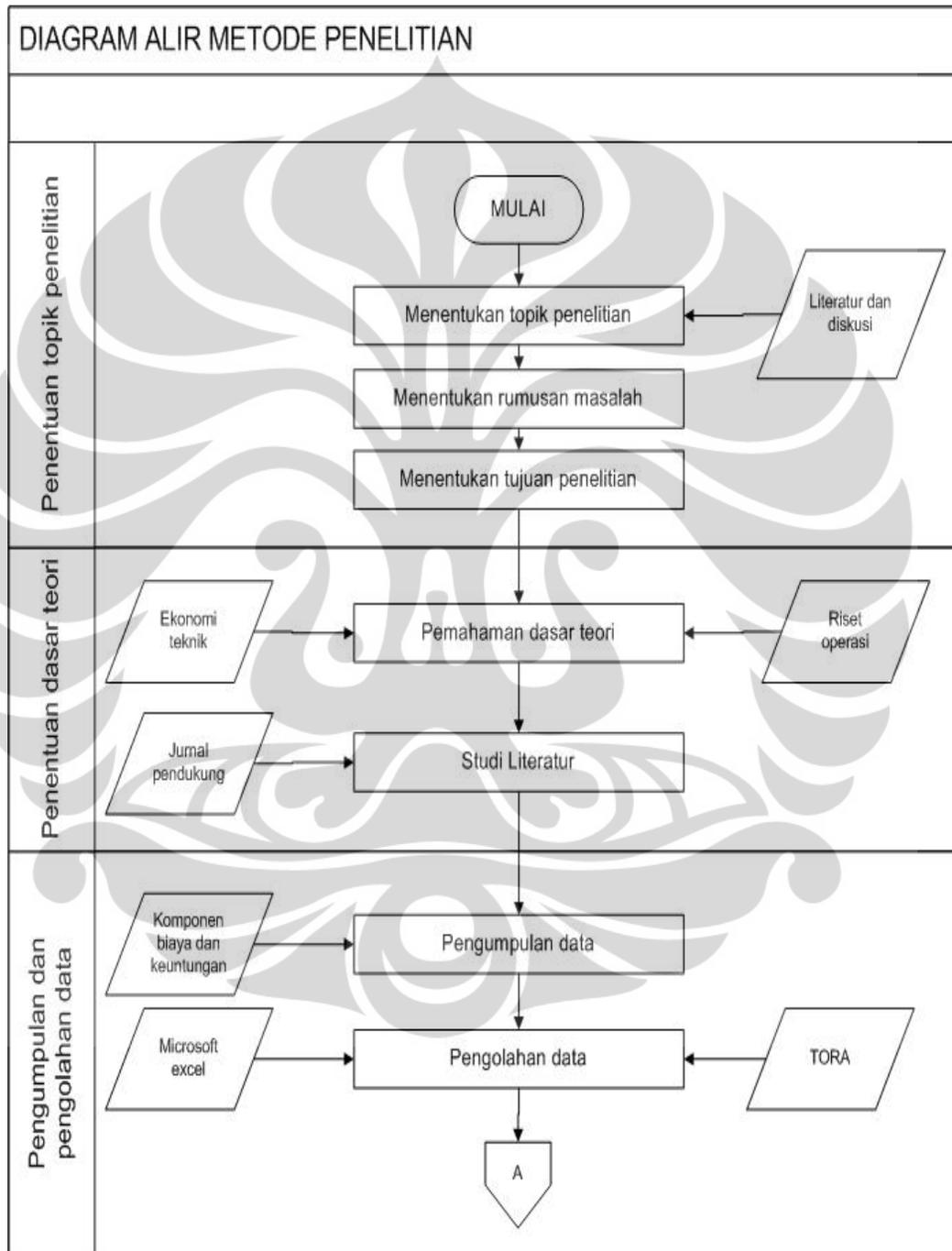
### 5. Analisis hasil

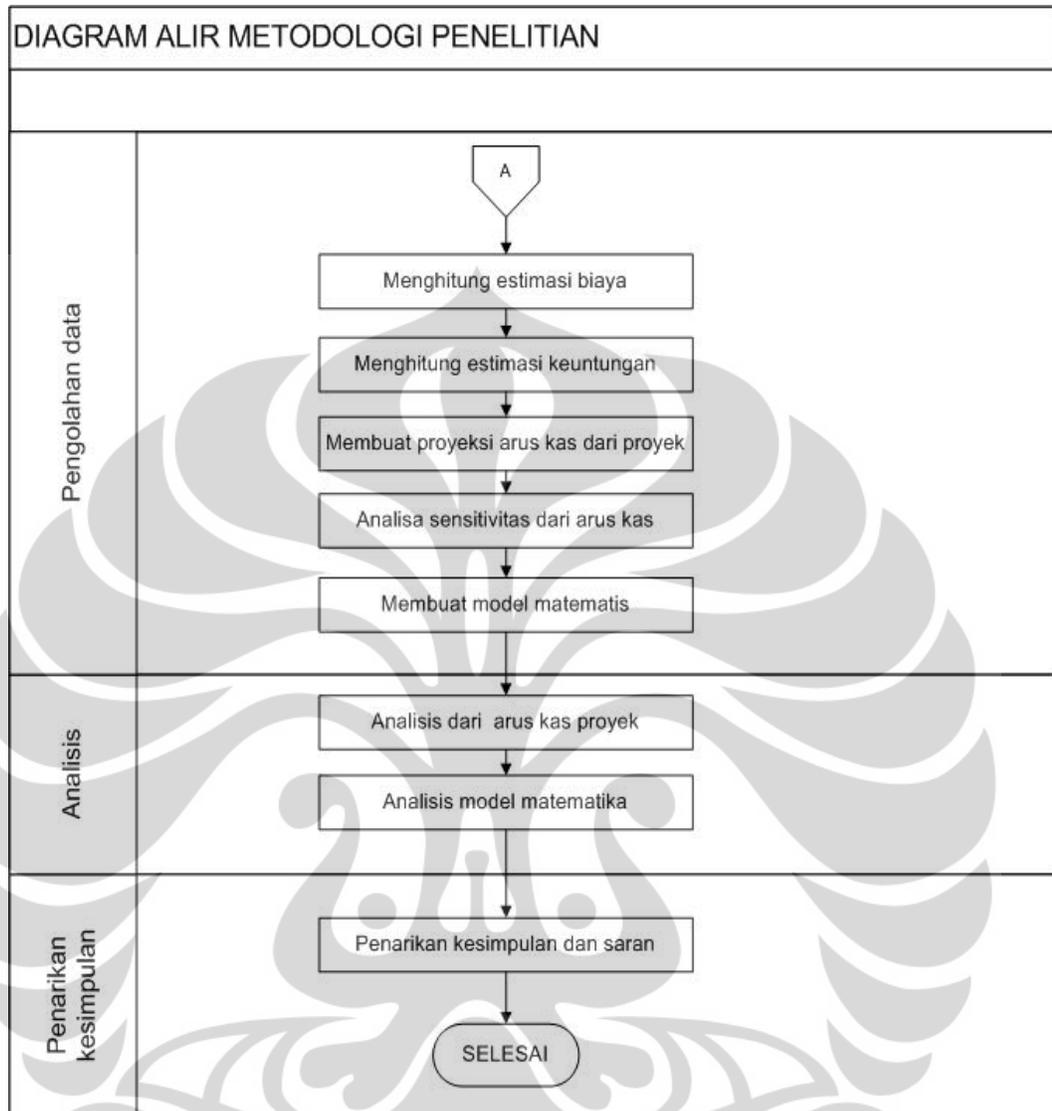
Pada tahap ini, dilakukan analisis terhadap hasil evaluasi dari seluruh perhitungan yang telah dilakukan. Hal ini meliputi analisis estimasi perhitungan gas, arus kas yang telah dibuat, analisis uji sensitivitas dan analisis terhadap model matematika

### 6. Penarikan kesimpulan

Tahap ini merupakan tahap terakhir dimana penulis menarik kesimpulan hasil penelitian berdasarkan pengolahan data dan analisa yang telah dilakukan, kemudian memberikan saran untuk perbaikan penelitian ke depannya.

Berikut adalah penggambaran diagram alir dari metodologi penelitian analisis penanaman modal dalam pemanfaatan gas lahan TPA.





**Gambar 1.3 Diagram Alir Metodologi Penelitian**

### 1.7 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dalam penelitian ini terbagi menjadi 5 bab yaitu :

- Bab 1 merupakan bagian pendahuluan penelitian dimana didalamnya dijelaskan mengenai latar belakang penelitian yang menjadi acuan awal dan sumber dari ide penelitian, kemudian diagram keterkaitan masalah yang menggambarkan keterkaitan penyebab satu dan yang lainnya serta solusi yang ada, perumusan permasalahan yang

merupakan rangkuman permasalahan yang akan dipecahkan, tujuan penelitian yang akan dicapai dari penelitian ini, metodologi penelitian yang merupakan langkah kerja yang akan dilakukan selama penelitian, serta sistematika penulisan yang merupakan acuan dalam melakukan penyusunan tugas akhir ini.

- Bab 2 merupakan bagian pembahasan dasar teori yang mendasari penelitian ini. Teori yang akan diangkat berhubungan dengan subjek yang diangkat dan metode yang akan digunakan untuk pengolahan dan analisis data. Teori yang dibahas dalam penelitian ini adalah kondisi TPA, profil TPA Cipayung, prinsip ekonomi teknik dan riset operasi.
- Bab 3 merupakan bagian yang menjelaskan metodologi penelitian yang akan menyajikan data data yang telah dikumpulkan, kemudian pengolahan data dan hasil pengumpulan keuntungan serta biaya dalam pembuatan arus kas dari masing masing skenario. Kemudian, akan ditampilkan pula model matematika yang telah dibuat untuk penelitian ini.
- Bab 4 merupakan pembahasan analisis dari hasil yang telah diperoleh sebelumnya yang meliputi analisis sensitivitas terhadap masing masing skenario, estimasi perhitungan gas dan model matematika yang telah dibuat.
- Bab 5 merupakan pembahasan tentang hasil yang telah dicapai dalam penelitian ini mencakup kesimpulan berdasarkan analisis yang telah dilakukan dan saran yang direkomendasikan.

## BAB 2 DASAR TEORI

### 2.1 Pengertian Sampah

Menurut WHO, sampah adalah sesuatu yang tidak digunakan, tidak dipakai, tidak disenangi atau sesuatu yang dibuang berasal dari kegiatan manusia dan tidak terjadi dengan sendirinya (Chandra, 2007). Sedangkan definisi sampah menurut UU-18/2008 tentang Pengelolaan Sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Definisi lainnya, dalam ilmu kesehatan lingkungan sampah sebenarnya hanya sebagian dari benda atau hal-hal yang dipandang tidak digunakan, tidak dipakai, tidak disenangi, atau harus dibuang, sedemikian rupa sehingga tidak sampai mengganggu kelangsungan hidup. Dari uraian singkat di atas maka dapat disimpulkan bahwa yang dimaksud dengan sampah ialah sebagian dari sesuatu yang tidak dipakai, disenangi atau sesuatu yang harus dibuang, yang umumnya berasal dari kegiatan yang dilakukan oleh manusia (termasuk kegiatan industri), tetapi yang bukan biologis (karena *human waste* tidak termasuk didalamnya) dan umumnya bersifat padat (karena air bekas tidak termasuk didalamnya).

Menurut penelitian Dainur pada tahun 1995, pada prinsipnya sampah dibagi menjadi sampah padat, sampah cair dan sampah dalam bentuk gas. Dalam hal ini, penulis akan lebih berkonsentrasi dengan sampah padat. Sampah padat dapat dibagi menjadi beberapa jenis yaitu :

1. Berdasarkan zat kimia yang terkandung didalamnya
  - a. Sampah anorganik misalnya : logam-logam, pecahan gelas, dan plastik
  - b. Sampah Organik misalnya : sisa makanan, sisa pembungkus dan sebagainya
2. Berdasarkan dapat tidaknya dibakar
  - a. Mudah terbakar misalnya : kertas, plastik, kain, kayu
  - b. Tidak mudah terbakar misalnya : kaleng, besi, gelas
3. Berdasarkan dapat tidaknya membusuk
  - a. Mudah membusuk misalnya : sisa makanan, potongan daging

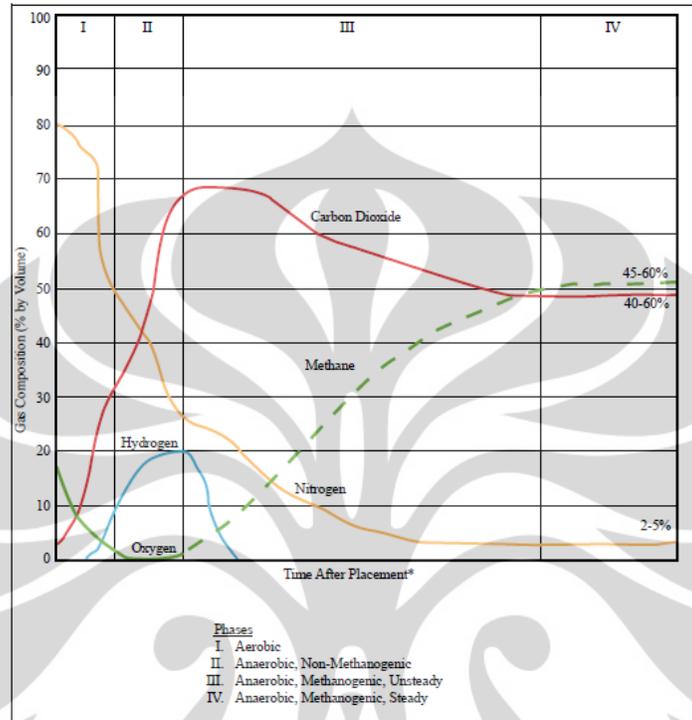
b. Sukar membusuk misalnya : plastik, kaleng, kaca

Gas methana adalah gas yang timbul dari proses fermentasi anaerobik (tanpa udara) dari bahan organik seperti limbah kotoran ternak, sampah, maupun limbah pertanian. Diantara komponen yang menyusun biogas yang paling dominan adalah gas methana (54-70%) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yakni sebesar 27-45% (Hilman, 2006). Kandungan gas-gas tersebut dapat menimbulkan pencemaran lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Pemanfaatan sampah untuk diambil gas nya merupakan salah satu alternatif dalam pengolahan sampah sekaligus untuk mereduksi volume sampah dan menjaga lingkungan agar tidak tercemar. Pemanfaatan tersebut sangat bergantung dengan jenis sampah pada area yang digunakan. Hal ini menyangkut kecepatan terurai dan seberapa banyak kandungan gas yang dimiliki oleh sampah tersebut. Sampah organik umumnya memiliki kandungan gas yang lebih besar dari jenis sampah yang lain karena kemampuan untuk terurai yang juga lebih cepat dan memang terdapat banyak sekali komponen penyusun karbon dan hidrogen yang dimilikinya.

## **2.2 Pengertian Gas Lahan TPA dan Pengolahannya**

Gas lahan TPA dalam penelitian Zietsman (2003) diartikan sebagai gas yang dihasilkan dari pembusukan sampah padat yang dikondisikan dalam suatu pengolahan. Gas lahan TPA diproduksi di bawah permukaan sampah, mengisi ruang ruang pada pori pori dalam timbunan sampah, mengalir melalui celah celah melalui ruang ruang ke atmosfer. Faktor utama yang mempengaruhi aliran gas adalah konsentrasi, tekanan dan permeabilitas. Karena gas terproduksi di dalam lahan TPA maka konsentrasi gas di dalam lahan TPA lebih tinggi dibandingkan di atmosfer, maka kecenderungannya gas menuju ke atmosfer. Gas yang terkumpul di dalam tumpukan sampah menimbulkan ruang ruang bertekanan tinggi. Semakin banyak gas terproduksi, semakin tinggi pula tekanan. Di dalam timbunan sampah, terdapat perbedaan tekanan, gas mengalir dari tekanan tinggi di dalam timbunan sampah ke tekanan rendah di permukaan. Semakin banyak gas diproduksi semakin tinggi pula tekanannya. Pengambilan gas lahan TPA prinsipnya adalah menunggu sampah tersebut untuk terurai sehingga menghasilkan gas. Seperti yang telah disebutkan komponen utama gas dalam

sampah adalah gas metana dan gas karbondioksida dimana kandungannya sesuai dengan jenis sampah. Dalam tahap penguraiannya sebelum mencapai gas stabil yang dikeluarkan digambarkan dalam grafik dibawah ini.



**Gambar 2.1 Komposisi Gas Lahan TPA setelah Terjadi Dekomposisi**

(EPA Handbook 2010)

Gambar diatas menunjukkan bahwa pada fase ke empat setelah beberapa waktu maka gas yang akan dihasilkan oleh sampah akan cenderung tetap dimana gas metana dan karbondioksida diproduksi sedangkan gas nitrogen dan gas-gas lain kandungannya menurun.

Pengelolaan sampah sangat menentukan dampak positif dan negatif dari sampah. Sudradjat (2006) mengemukakan model pengelolaan sampah di Indonesia ada dua macam, yaitu: urugan dan tumpukan. Model pertama merupakan cara yang paling sederhana, yaitu sampah dibuang di lembah atau cekungan tanpa memberikan perlakuan. Urugan atau model buang dan pergi ini bisa dilakukan pada lokasi yang tepat, yaitu bila tidak ada pemukiman di bawahnya, tidak menimbulkan polusi udara, polusi pada air sungai, longsor, atau penurunan estetika lingkungan. Urugan merupakan model pengelolaan sampah

yang umum dilakukan untuk suatu kota yang volume sampahnya tidak begitu besar. Pengelolaan sampah yang kedua yaitu tumpukan. Model tersebut dilaksanakan secara lengkap, sama dengan teknologi aerobik. Pada model tersebut dilengkapi dengan unit saluran air buangan, pengolahan air buangan (*leachate*), dan pembakaran akses gas metan (*flare*). Model tersebut banyak diterapkan di kota-kota besar. Namun pada kenyataannya di lapangan model tumpukan umumnya tidak lengkap, tergantung dari kondisi keuangan dan keperdulian pejabat daerah setempat akan kesehatan lingkungan dan masyarakat.

Adapun bentuk pengelolaan sampah yang ada di Jakarta antara lain TPA Bantar Gebang. Sampah dikelola dengan cara menerapkan sistem tumpukan yang dilengkapi dengan IPAS (Instalasi Pengelolaan Air Sampah) dan sistem drainase. Sistem Drainase menampung air buangan atau lindi ke dalam IPAS dan membuangnya ke sungai terdekat. Penggunaan sistem *activated sludge system*, yaitu danau yang diberi aerasi dengan agitator (pengaduk bertenaga besar). Operasional IPAS dan kebersihan drainase perlu dikontrol dengan baik setiap hari agar tidak terjadi klaim dari masyarakat. Jalan yang dilalui truk perlu dijaga kebersihannya dari tetes air yang keluar dari truk dan sampah yang berserakan di sepanjang jalan. Tujuannya agar terhindar dari bau, pemandangan yang tidak sedap, serta munculnya penyakit yang berhubungan dengan kesehatan kulit dan paru-paru. Namun pada kenyataannya, pada tahun 2005 penduduk sekitar TPA terserang penyakit dermatitis sebanyak 2.710 orang. Permasalahan sampah DKI Jakarta saat ini adalah volume sampah yang sudah tidak bisa ditampung lagi oleh areal yang ada. Perluasan areal ke daerah lain, terutama lintas provinsi tidak akan memecahkan persoalan, tetapi akan memindahkan persoalan. Oleh karena itu diperlukan bentuk pengelolaan sampah yang lebih baik dengan mempertimbangkan aspek lahan dan bahaya kesehatan yang akan ditimbulkan.

Penyingkiran limbah ke dalam tanah (*land disposal*) merupakan cara yang paling sering dijumpai dalam pengelolaan limbah. Cara penyingkiran limbah ke dalam tanah dengan pengurugan atau penimbunan dikenal sebagai *lahan TPA*, yang diterapkan mula-mula pada sampah kota. Cara ini dikenal sejak awal tahun 1900-an, dengan nama yang dikenal sebagai *sanitary lahan TPA*, karena aplikasinya memperhatikan aspek sanitasi lingkungan. Definisi yang sederhana

tentang *sanitary lahan TPA* [G.H. Tchobanoglous, H. Theissen, S.A. Vigil 1993] adalah metode pengurugan sampah ke dalam tanah, dengan menyebarkan sampah secara lapis-perlapis pada sebuah site (lahan) yang telah disiapkan, kemudian dilakukan pemadatan dengan alat berat, dan pada akhir hari operasi, urugan sampah tersebut kemudian ditutup dengan tanah penutup.

Metode tersebut dikembangkan dari aplikasi praktis dalam penyelesaian masalah sampah yang dikenal sebagai *open dumping*. *Open dumping* tidak mengikuti tata cara yang sistematis serta tidak memperhatikan dampak pada kesehatan. Metode *sanitary lahan TPA* kemudian berkembang dengan memperhatikan juga aspek pencemaran lingkungan lainnya, serta percepatan degradasi dan sebagainya, sehingga terminologi *sanitary lahan TPA* sebetulnya sudah kurang relevan untuk digunakan. Pengolahan *lahan TPA* yang baik dibutuhkan karena

- Pengurangan limbah di sumber, daur-ulang, atau minimasi limbah, tidak dapat menyingkirkan limbah semuanya
- Pengolahan limbah biasanya menghasilkan residu yang harus ditangani lebih lanjut. Kadangkala sebuah limbah sulit untuk diuraikan secara biologis, atau sulit untuk dibakar, atau sulit untuk diolah secara kimia

Beberapa hal yang perlu dicatat dari metode *opendumping* :

- Banyak digunakan untuk menyingkirkan sampah, karena murah, mudah dan luwes.
- Digunakan pula untuk menyingkirkan limbah industri, seperti *sludge* (lumpur) dari pengolahan limbah cair, termasuk limbah berbahaya.
- Bukan pemecahan masalah limbah yang baik karena dapat mendatangkan pencemaran lingkungan, terutama dari lindi (*leachate*) yang mencemari air tanah.
- Untuk mengurangi dampak negatif dibutuhkan pemilihan lokasi yang tepat, penyiapan prasarana yang baik dengan memanfaatkan teknologi yang sesuai, dan dengan pengoperasian yang baik pula.

Gas lahan TPA diproduksi di bawah permukaan sampah, mengisi ruang ruang pada pori pori dalam timbunan sampah, mengalir melalui celah celah melalui ruang ruang ke atmosfer. Faktor utama yang mempengaruhi aliran gas adalah konsentrasi, tekanan, *permeability*. Karena gas diproduksi di dalam landfill maka konsentrasi gas di dalam landfill lebih tinggi dibandingkan di atmosfer, maka kecenderungannya gas menuju ke atmosfer. Gas yang terkumpul di dalam tumpukan sampah menimbulkan ruang ruang bertekanan tinggi. Semakin banyak gas diproduksi, semakin tinggi pula tekanan. Di dalam timbunan sampah, terdapat perbedaan tekanan, gas mengalir dari tekanan tinggi di dalam timbunan sampah ke tekanan rendah di permukaan (atmosfer). Semakin banyak gas diproduksi semakin tinggi pula tekanannya.

Diantara pengolahan lahan TPA untuk dimanfaatkan, salah satu faktor yang paling penting adalah teknik *capping* (menutup) lahan. *Capping* lahan penting untuk memahami bahwa rencana pengembangan sistem pengumpulan gas ini termasuk penyediaan sebuah tutup (*cap*) semi-impermeabel untuk memungkinkan terjadinya penyerapan kelembapan. Diperkenalkannya aturan baru di seluruh dunia yang menyatakan bahwa lahan TPA harus dilapisi/ditutup dengan membran yang sesuai untuk mencegah lepasnya gas LFG ke udara. Saat ini, lahan TPA merupakan salah satu kontributor produksi gas metan utama dan permasalahan gas rumah kaca di seluruh dunia. Melakukan pelapisan (*capping*) dengan lapisan semi permeabel, misalnya dengan tanah, dan bukan lapisan impermeabel yang akan mencegah terlepasnya gas LFG, namun, akan membuat gas tersebut masuk ke dalam sampah, meningkatkan degradasi dan produksi gas LFG, serta memperpendek periode penurunan ketebalan (*settlement*). Harus dilakukan pertimbangan terhadap penyediaan *permeabel cap*, misalnya bahwa emisi LFG ke udara dapat dihindari dan gas LFG dapat dikontrol serta dikumpulkan secara tepat dengan lapisan pengumpul gas yang terdapat pada *cap* yang layak ditinjau dari faktor teknis. Sebuah penutup yang impermeabel permanen akan memberikan pengontrolan yang lebih dalam hal pengumpulan gas, namun beberapa hal di bawah ini perlu dipertimbangkan:

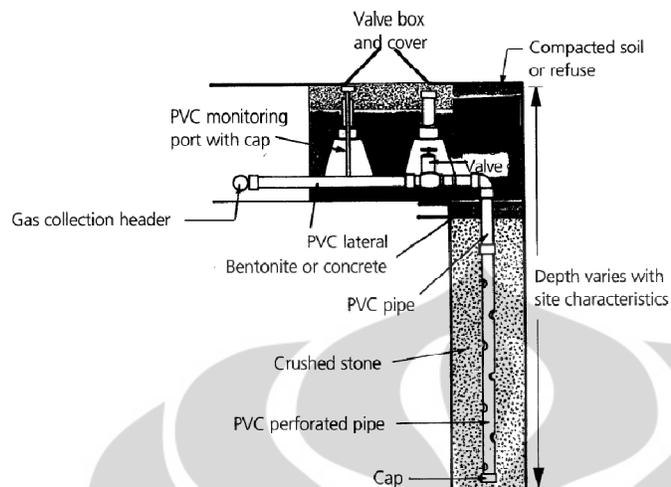
- *Cap* yang impermeabel akan menyebabkan peningkatan waktu degradasi dan diharapkan dapat memperpanjang waktu penurunan ketebalan sampah.
- Elemen untuk membuat penampang baru diperlukan untuk menjamin kestabilan *cap*
- Desain drainase perlu dipertimbangkan secara cermat dan teliti dengan memperhatikan pendekatan lahan basah
- Biaya. Sebuah *cap* yang didesain secara tepat, dan fasilitas terkait, untuk ukuran lahan sebesar ini memerlukan biaya yang cukup tinggi.

Sebuah *cap* tipikal yang modern untuk TPA limbah padat perkotaan terdiri dari beberapa elemen berikut ini:

- Tanah atas: bervariasi dengan ketebalan 30-40 cm
- Lapisan drainase: material butiran dengan ketebalan 30-50 cm
- Tanah liat padat: kira-kira setebal 50 cm-100 cm ( $k < 1 \times 10^{-9} \text{m/s}$ )
- Lapisan pengumpul gas: butiran atau sintetis
- *Levelling layer* (lapisan tiap tingkatan): lapisan pasir untuk memuluskan penampang sampah

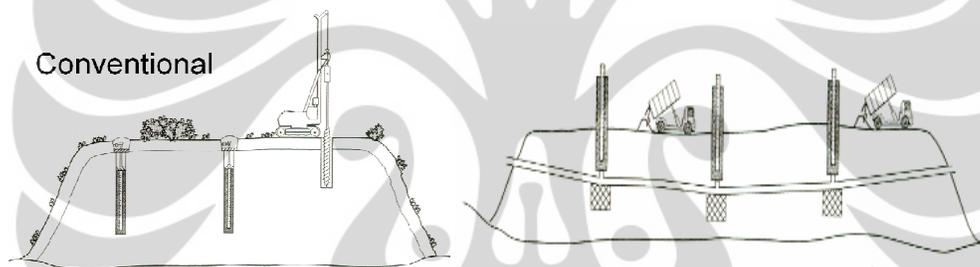
Damanhuri (1997) mengatakan bahwa pemasangan instalasi pipa PVC yang tertanam dalam kurun waktu tertentu terjadi penyumbatan akibat tertutup oleh sampah dan leacete, sementara Dhieta dan Subeki (2007) merancang instalasi penangkap biogas tanpa mempertimbangkan penyumbatan pada pipa yang tertanam. Hal ini juga ditunjang dengan bentuk instalasi penangkap gas tanpa adanya filter di sekeliling pipa (Jacobs, 2006)

Berdasarkan ketiga sifat tersebut maka dalam ekstraksi gas metan TPA digunakan kompresor untuk menghisap gas metan kemudian dialirkan menuju diesel. Penangkapan gas metan menggunakan pipa PVC atau, lebih baik lagi menggunakan HDPE, berlubang lubang dalam sumur bor yang terisi gragal untuk memperluas permukaan sedot dan menghindari kebuntuan lubang. (Jacobs, 2006).



**Gambar 2.2: Desain Sumur Gas Vertikal**

(Jacobs, 2007)



**Gambar 2.3 Sistem pengeboran untuk pemasangan pipa hisap conventional**

(Build up + early extraction, Joeri Jacobs, 2006)

Pada instalasi penangkapan gas lahan TPA yang mulai dikembangkan adalah dengan sistem pengeboran langsung di tempat pembuangan akhir, pengeboran ini didasarkan pada kedalaman dari tumpukan sampah. Hal ini dilakukan karena umumnya di TPA di Indonesia tidak didesain untuk sanitary landfill sehingga perlu pengeboran, disisi lain kebanyakan juga disusun dengan model open dumping. TPA atau *landfill* yang dipersiapkan dengan baik terdapat sekat pada dasarnya/ membrane dasar (base liner) yang terbuat dari *geotextyl* sehingga akan menahan air dan gas dari keluar atau masuk, pada tiap 50 cm tebal sampah, dilapisi gragal (batuan kasar) setebal 20 cm. Lapisan batuan ini menjadi jalan gas untuk ke pipa ekstraksi. Jika TPA penuh dan tidak lagi menerima

sampah, maka ditutup dengan tanah, dilapisi geotextyle, ditutup tanah lagi yang kemudian ditanami npada bagian atasnya. Sistem ini mengurangi kebocoran gas.

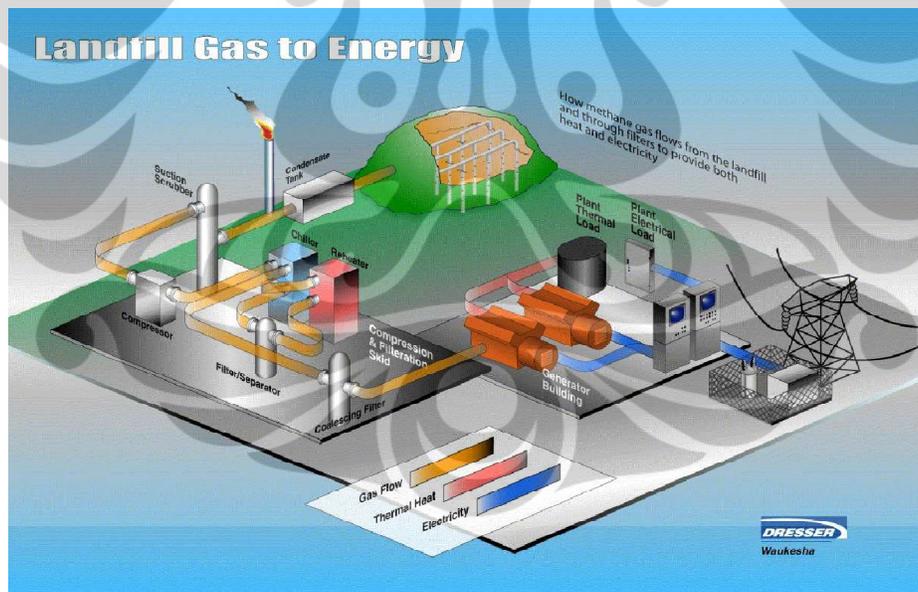
Pada TPA terdapat beberapa sumur gas (sumur bor), antar sumur dihubungkan dengan pipa kolektor jaringan ini dilih karena jika terjadi kemacetan di satu jalur masih ada jalur lain yang bias digunakan. Konsentrasi gas CH<sub>4</sub> pada jaringan akhir jaringan utama diharapkan >50%, oleh karena itu sumur yang produksi gas metannya rendah distop aliran gasnya agar tidak menurunkan konsentrasi pada luaran system penangkapan. Untuk keperluan itu Masing masing pipa sumur dipasang stop kran. Disebabkan kandungan air didalam landfill cukup tinggi guna menyertai gas metan. Jika uap air kemudian mengembun didalam saluran kolektor maka akan berakibat saluran tersumbat dan aliran terhenti. Untuk menghindari hal ini maka saluran pengumpul/ kolektor diset miring sehingga air akan mengalir ke bawah, sementara metan akan mengapung dan mengalir ke kompresor. Ujung bawah saluran miring ini dipasang penangkap air sehingga air dapat dikeluarkan dari saluran. Pengeluaran air Bagian penangkap air dipasang kran pembuangan air dan katup untuk pengukuran tekanan dan aliran. Sehingga boperator di satu penghentian dapat memeriksa rekanan, aliran, konsentrasi, menghidup matikan aliran gas. Untuk memaksimalkan ekstraksi maka perlu dipasang penghisap (kompresor atau pompa vakum) pada akhir dari saluran pengumpul utama sebelum gas metan dimanfaatkan. Cara ini akan memaksimalkan operasi ekstraksi gas.

Hal yang harus dijaga untuk selanjutnya adalah bahaya terjadinya ledakan. Bahaya ledakan akan meningkat jika konsentrasi metan meningkat antara 5 hingga 15, tetapi ledakan tidak akan terjadi jika konsentrasi oksigen dalam system kurang dari 16%. Disarankan untuk flaring atau hembusan ke engine dimulai jika konsentrasi oksigen kurang dari 10%. Sebagai acuan dapat digunakan grafik pada gambar 6. Untuk mengatur konsentrasinya dilakukan dengan membuka atau menutup kran. Sehubungan dengan pengamanan terhadap ledakan, pengendalian terhadap konsentrasi, dengan membuka / menutup katup/ kran , maka diperlukan beberapa piranti ukur: Flow meter, Manometer, Gas Analyzer, Penggunaan biogas untuk diesel generator listrik menghasilkan daya listrik 3.000 watt bahan bakar solar-biogas dengan konsumsi bahan bakar solar 100 ml/jam dan 0,39 m<sup>3</sup> biogas/

kwh. emisi gas buangnya sangat kecil dibandingkan standar dan tingkat kebisingannya 85 dB. Analisis ekonomi dengan data biaya daya listrik (PLN) sebesar Rp495/kwh dan waktu operasional 12 jam/hari menunjukkan pemanfaatan biogas untuk generator listrik secara ekonomi layak dengan BC ratio 2,17, IRR 44,96 dan simple pay-back 1,3 tahun. (Teguh, 2007).

Sampah di landfill terdiri dari berbagai material termasuk diantaranya material yang potensi beracun, termasuk kemungkinan mengandung sulfur, yang dapat memicu terjadinya karat bila gas landfill dipakai sebagai bahan bakar diesel. Oleh karena itu gas sulfur perlu dipisahkan dari metan yang diinjeksikan ke diesel, Untuk itu diperlukan filter dengan karbon aktif. Gas metan yang telah di bersihkan dari sulfur dan dioxin kemudian dapat diinjeksikan ke mesin diesel, melalui saluran bahan bakarnya. Penggunaan diesel lebih mudah dibandingkan injeksi pada mesin oto 4 langkah, Pada mesin 4 langkah membutuhkan beberapa perubahan pada karburator dan atau sistem injeksinya. (Fauzan, Syamsul 2007).

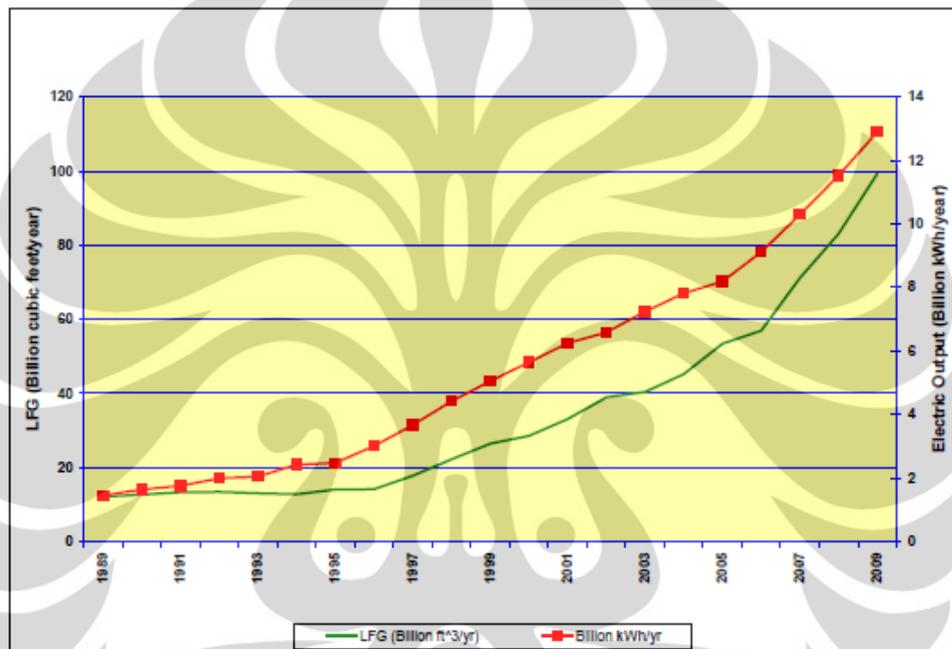
### 2.3 Pemilihan Teknologi untuk Gas Lahan TPA



**Gambar 2.4 Pemanfaatan Gas Lahan TPA untuk Kebutuhan Energi**  
(EPA Handbook, 2010)

Gambar di atas menggambarkan pengolahan gas lahan TPA menjadi beberapa alternatif proyek. Di negara-negara di Amerika dan Eropa

teknologi pengolahan gas sudah sangat berkembang jauh dan proyek proyek yang diadakan pun sudah begitu beragam sesuai dengan kebutuhan industri di negara tersebut. Sampah bukan lagi menjadi masalah perkotaan melainkan sumber energi alternatif yang menguntungkan. Pengolahan gas lahan TPA sangat dibutuhkan mengingat kebutuhan energi saat ini di Indonesia. Oleh karena itu penting untuk mengetahui pemanfaatan gas lahan TPA untuk proyek yang tepat di Indonesia.



**Gambar 2.5 Pertumbuhan Pemanfaatan Gas Lahan TPA**

(EPA Handbook, 2010)

Berdasarkan *handbook EPA*, terdapat beragam pemanfaatan proyek pemanfaatan gas lahan TPA. Secara umum, pemanfaatan gas lahan TPA dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu dilakukan dengan pemanfaatan secara langsung dan secara tidak langsung sebagai pembangkit tenaga listrik. Proyek pemanfaatan secara langsung antara lain dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar kendaraan, digunakan sebagai komponen rumah kaca, digunakan untuk aktivitas yang memerlukan banyak energi seperti pembuatan logam dan penempaan, hingga pembuatan bioetanol. Sementara pilihan lainnya ada menggunakan gas yang dihasilkan untuk membangkitkan tenaga listrik dengan teknologi mesin

pembakaran maupun turbin. Kriteria dan biaya yang dibutuhkan untuk masing masing proyek ini berbeda beda sesuai dengan pengembangan yang akan dilakukan

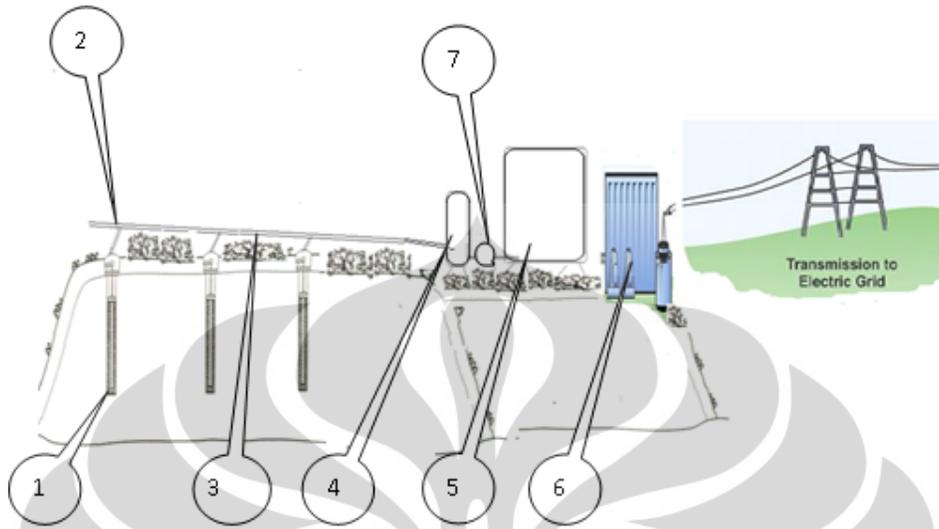
### 2.3.1 Pemanfaatan Gas Lahan TPA sebagai Pengganti Bahan Bakar Kendaraan

Pemanfaatan gas lahan TPA sebagai pengganti bahan bakar kendaraan dilakukan dengan cara mengambil gas gas yang telah diproduksi dari TPA dan kemudian melakukan pemurnian terhadap gas tersebut agar dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan. Proses pengambilan gas gas tersebut dilakukan dengan menggunakan pipa pipa yang sdaling terhubung ke satu instalasi pengumpulan gas. Penggunaan gas sebagai bahan bakar akan menambah keuntungan dalam mereduksi emisi lingkungan.

### 2.3.2 Pemanfaatan Gas Lahan TPA sebagai Pembangkit Listrik

Berikut adalah contoh skema sederhana dari pemanfaatan gas lahan TPA sebagai pembangkit listrik yang dapat dilihat pada gambar 2.6:

1. Penangkap gas metan berupa sumur bor dengan batuan (gragal) (1) dan pipa berlubang. Dengan kedalaman 4 sd 10 meter. Pada bagian atas pipa penangkap terdapat katup, terdapat lubang khusus untuk monitoring/ pengukuran, terdapat sambungan ke pipa kolektor (2) . Bagian atas ini ditempatkan pada sebuah kotak untuk memudahkan proses monitoring dan pengaturan katup.
2. Dibuat beberapa sumur dengan jarak antar sumur 25 m, yang dihubungkan dengan pipa kolektor utama. Pipa kolektor diposisikan miring agar air mengalir ke bawah, sedang gas metan mengalir ke atas menuju kolektor utama (3). Pada bagian bawah dipasang penangkap air untuk dikeluarkan dari saluran. Penangkap air ini dipasang pada tempat
3. Tempat yang dikhawatirkan terjadi *blocking* air.
4. Gas TPA mengandung sulfur dan dioxin yang harus dikeluarkan dari campuran karena dapat memicu terjadinya karat pada diesel. Untuk itu gas dilewatkan pada filter karbon aktif (4), yang ditempatkan pada akhir semua kolektor sebelum gas diinjeksikan ke diesel



**Gambar 2.6: Rangkaian Sistem Penangkap Metan Dan Pembangkit Listrik**

5. Selanjutnya Gas diinjeksikan ke diesel untuk itu perlu penyesuaian mengingat bahan bakar diesel yang ada di pasaran pada umumnya adalah solar (liquid), sedang yang dipergunakan adalah gas Metan.
6. Diesel digunakan untuk menggerakkan generator menghasilkan listrik. Selama pengoperasian berbagai hal perlu dijaga/ dikendalikan agar mesin tetap hidup, produksi listrik stabil, dan aman tidak terjadi ledakan. Oleh karena itu diperlukan system kendali (kontrol)
7. Untuk memaksimalkan dan memudahkan pengaturan produksi gas dipasang kompresor (7) yang berfungsi menghisap metan dari sampah, diinjeksikan ke mesin.
8. Untuk keperluan proyek CDM dan Pencegahan Perubahan Iklim diperlukan perangkat sistem monitoring dan akusisi.

#### 2.3.2.1 Penggunaan Turbin Gas

Mikroturbin merupakan teknologi pemulihan energi gas lahan TPA (LFG) terutama pada lahan yang kecil dimana pembangkit listrik yang besar tidak layak disebabkan faktor ekonomi dan jumlah LFG yang sedikit. Beberapa proyek LFG mikroturbin telah dilaksanakan dengan mempertimbangkan keuntungan dan risikonya. Mikroturbin diperkenalkan sebagai teknologi distribution generation

(DG) yang secara umum hanya cocok digunakan pada jumlah aplikasi yang relatif kecil (kurang dari 1 MW) dan didesain untuk kebutuhan energi di sekitar tempat mikroturbin berada. 30 kW mikroturbin dapat menggerakkan motor 40 hp atau menyediakan kebutuhan listrik pada 20 rumah.

Teknologi mikroturbin didasarkan pada desain turbin dengan pembakaran tinggi yang digunakan pada energi listrik dan industri penerbangan. Secara umum mikroturbin bekerja sebagai berikut:

1. Bahan bakar dialirkan ke bagian combustor mikroturbin pada tekanan 70 – 80 psig,
2. Udara dan bahan bakar dibakar pada combustor, menghasilkan kalor yang menyebabkan gas pembakaran keluar,
3. Gas pembakaran yang keluar akan mengoperasikan generator, lalu generator akan menghasilkan listrik,
4. Untuk menambah efisiensi total, mikroturbin biasa dioperasikan dengan recuperator yang mampu melakukan pemanasan awal udara pembakaran menggunakan gas keluaran turbin. Mikroturbin juga cocok dioperasikan dengan *waste heat recovery* unit untuk memanaskan air.

Prapengolahan bahan bakar diperlukan tergantung pada karakteristik LFG dan pembuat mikroturbin itu sendiri. Kadang-kadang gas didinginkan untuk menghilangkan uap air dan mengondensasikan pengotor. Lalu dipanaskan ulang untuk menyediakan bahan bakar di atas temperatur *dew point*. Beberapa pembuat mikroturbin menambahkan langkah absorpsi menggunakan karbon aktif untuk menghilangkan semua pengotor yang terlihat. Mikroturbin menyediakan keuntungan lebih dibandingkan teknologi pembangkit listrik lainnya untuk landfill dengan kondisi:

- Laju alir LFG rendah,
- LFG memiliki kandungan metana yang rendah,
- Memiliki pengemisi udara, terutama pengolah NO<sub>x</sub>,
- Listrik yang digunakan hanya pada fasilitas onsite (pada daerah sekitar mikroturbin berada)
- Penyediaan listrik tidak bisa dan harga listrik tinggi,
- Air panas dibutuhkan pada lokasi yang dekat mikoturbin.

Keuntungan mikroturbin yang memanfaatkan gas metan hasil proses landfill dibandingkan dengan teknologi utilisasi LFG lain adalah sebagai berikut:

1. Ukurannya tidak terlalu besar : Mikroturbin dapat ditempatkan pada tempat yang berkapasitas kecil dengan beberapa unit mikroturbin. Sehingga satu atau banyak mikroturbin dapat diatur menyesuaikan laju alir gas dan peralatan lain pada tempat tersebut. Mikroturbin juga dapat dengan mudah dipindahkan ke tempat lain saat produksi gas berkurang.
2. Fleksibel : Mikroturbin cocok digunakan pada landfill yang kecil dan telah lama digunakan di mana teknologi pembangkit tenaga listrik tradisional tidak lagi mendukung kualitas dan kuantitas LFG
3. *Compact and fewer moving part*: Ukuran mikroturbin kira-kira sebesar lemari es besar dan membutuhkan operasi dan maintenance yang minimum. Penggunaan udara dan udara pendingin generator akan meminimumkan penggunaan pelumas dan sistem air pendingin.
4. Polusi emisi yang rendah : Mikroturbin dapat membakar bersih daripada mesin reciprocating lain. Contohnya tingkat emisi NOx untuk mikroturbin antara dari 1 -10%.
5. Mampu membakar dengan kandungan metana rendah  
Mikroturbin dapat beroperasi pada LFG dengan kandungan metana 35% atau kurang dari 30%, sedangkan reciprocating beroperasi dengan kandungan metana 40%.
6. Kemampuan untuk menghasilkan kalor dan air panas  
Kebanyakan pembuat mikroturbin menawarkan generator air panas untuk menghasilkan air panas (lebih dari 200° F) dari kalor yang keluar dari gas cerobong. Pilihan ini akan menggantikan bahan bakar yang mahal seperti propana yang dibutuhkan untuk memanaskan air pada cuaca dingin.

Namun demikian, pemilihan teknologi ini sebagai pilihan utilitas LFG memiliki beberapa kerugian sebagai berikut :

1. Mikroturbin mempunyai efisiensi yang rendah dari mesin reciprocating dan tipe turbin lainnya. Mikroturbin mengonsumsi sekitar 35% bahan bakar per kWh yang dihasilkan (menghasilkan laju kalor yang besar).

2. Mikroturbin sensitif terhadap kontaminasi siloxane dan penyediaan LFG ke mikroturbin membutuhkan prapengolahan daripada sumber pembangkit listrik lain.
3. Dikarenakan laju alir rendah, maka dibutuhkan kompresor bertekanan tinggi (biaya modal yang tinggi).
4. Mikroturbin belum terbukti dapat beroperasi pada jangka panjang.

#### 2.3.2.2 Penggunaan Mesin Pembakaran Dalam

Selain turbin, pembangkit listrik dengan ukuran yang kecil juga biasa menggunakan mesin pembakaran dalam. Mesin pembakaran dalam adalah sebuah mesin yang sumber tenaganya berasal dari pengembangan gas-gas panas bertekanan tinggi hasil pembakaran campuran bahan bakar dan udara, yang berlangsung di dalam ruang tertutup dalam mesin, yang disebut ruang bakar (combustion chamber). Beberapa kelebihan mesin pembakaran dalam antara lain :

- Pemakaian bahan bakar lebih irit.
- Berat tiap satuan tenaga lebih kecil
- Konstruksi lebih ringkas

Selain itu mesin pembakaran dalam juga memiliki biaya yang rendah dalam hal investasi baik biaya operasi dan biaya perawatan yang akan dikeluarkan.

### 2.3 Profil TPA Cipayung, Depok

TPA Cipayung Depok terletak di Kecamatan Cipayung, Kota Depok. TPA Cipayung Depok memiliki luas lebih kurang 11 hektar, dimana saat ini 3.7 hektar lahan dipergunakan sebagai pengolahan sampah *Sanitary lahan TPA* . Namun saat ini pengolahan sampah *Sanitary lahan TPA* tersebut belum dapat dimanfaatkan secara baik, dengan kondisi metan tidak diolah lebih lanjut untuk kepentingan lainnya baik dipergunakan sebagai bahan bakar kendaraan maupun diolah untuk pembangkit listrik. Berikut adalah area lahan TPA Cipayung, Depok:



**Gambar 2.7 Area Lahan TPA Cipayung Depok**  
(google maps)



**Gambar 2.8 Kondisi TPA Cipayung Depok**

Dikutip dari disertasi Mulyo Handono tahun 2010, mengenai TPA Cipayung, diperoleh bahwa infrastruktur TPA Cipayung yang ada meliputi:

1. Permukaan landfill struktur tanah di lokasi TPA Cipayung sebagian besar berupa tanah liat yang mempunyai permeabilitas  $10^{-7}$  cm/dt, sehingga tidak diperlukan pelapisan kembali. Fungsi lapisan tersebut untuk menahan rembesan air lindi ke dalam tanah.

2. Pipa lindi pada lahan urug telah terpasang, yang berfungsi untuk mengalirkan air lindi menuju bangunan pengolahan. Pipa penyalur lindi dipasang di atas permukaan geomembran.
3. Pipa Gas. Pada lahan urug/landfill dipasang pipa gas setiap radius 50 m. Fungsi dari pipa gas ini adalah untuk mengalirkan gas yang terbentuk dari hasil dekomposisi sampah organik dan mencegah terakumulasi gas didalam landfill karena akan menimbulkan ledakan atau hal-hal lain yang tidak diinginkan seperti kebakaran.
4. Drainase saluran pengering di TPA
  - a. Drainase lindi, terdapat di sepanjang pinggir landfill dan mengalir ke kolam lindi.
  - b. Drainase air hujan, terdapat dip inggir jalan akses dan drainase sementara pada lahan landfill diarahkan ke bak pengumpul.
5. Kolam Lindi. Kolam lindi merupakan tempat penampungan lindi dari seluruh area landfill. Di kolam tersebut lindi diolah dengan tujuan untuk megurangi konsentrasi pencemaran dalam *leachate* sampai ke tingkat yang aman untuk dibuang ke badan air terdekat yaitu Sungai Pesanggrahan. Sistem pengolahan *leachate* dibuat dengan maksud mengurangi zat pencemar dalam *leachate*, tanpa menggunakan peralatan yang memerlukan investasi tinggi serta pengoperasian dan perawatan yang rumit. Sistem pengolahan yang diterapkan adalah dengan menggunakan kolam stabilisasi yang terdiri atas kolam anaerobik, kolam fakultatif, dan kolam maturasi/ pematangan.

Dalam penelitian ini referensi utama adalah proyek yang dilakukan oleh Zietsman tahun 2009 yang dilaksanakan di Mumbai, India.

#### **2.4 Penerapan Ekonomi Teknik**

Keputusan menunda konsumsi sumber daya atau bagian penghasilan demi meningkatkan kemampuan menambah/menciptakan nilai hidup (penghasilan dan atau kekayaan) di masa mendatang merupakan investasi. Dalam bahasa yang lebih filosofis, segala sesuatu yang dilakukan untuk meningkatkan kemampuan menciptakan/menambah nilai kegunaan hidup adalah investasi. Jadi investasi

bukan hanya dalam bentuk fisik, melainkan juga nonfisik, terutama peningkatan kualitas sumber daya manusia. Dari pengalaman negara-negara maju terbukti bahwa faktor yang paling berpengaruh terhadap kemajuan ekonomi adalah besarnya barang modal dan kualitas sumber daya manusia. Karena itu jika sebuah perekonomian ingin maju, perekonomian tersebut harus melakukan investasi.

Ekonomi teknik merupakan suatu ilmu pengetahuan yang digunakan untuk melakukan evaluasi secara sistematis nilai bersih dari keuntungan yang diperoleh dari suatu usaha atau usulan terhadap sesuatu proyek yang berhubungan dengan perancangan dan rekayasa. Dalam melakukan investasi, seseorang akan melihat kepada kondisi saat ini dan merencanakan untuk mendapatkan keuntungan dan peningkatan kesejahteraan di masa yang akan datang. Sehingga saat berbicara mengenai nilai pengembalian suatu investasi, maka penting sekali untuk mengetahui nilai perubahan yang akan didapat. Sebagai sebuah keputusan yang rasional, investasi sangat ditentukan oleh dua faktor utama, yaitu tingkat pengembalian yang diharapkan dan biaya investasi. Net Present Worth/Value Adalah perbedaan antara nilai sekarang dari penerimaan total dan nilai sekarang dari pengeluaran sepanjang umur proyek pada discount rate yang diberikan.

Analisa *Internal Rate of Return* adalah analisa untuk mengetahui nilai pengembalian yang akan diterima oleh perusahaan akibat melakukan investasi (Puxty & Dodds, 1995). Berarti IRR tingkat suku bunga pada suatu keadaan dimana pengeluaran sama dengan penghasilan. Dalam melakukan perhitungan *Cost Benefit* digunakan rumus perhitungan sebagai berikut:

$$\frac{B}{C} = \frac{PW \text{ of Benefits}}{PW \text{ of Costs}}$$

Jika nilai  $B/C > 1$  maka diperoleh bahwa proyek yang dilakukan dapat secara ekonomis diterima. Namun jika  $B/C < 1$  maka proyek tidak dapat diterima secara ekonomis. Selain itu dilakukan pula perhitungan nilai IRR. Perhitungan IRR yakni dengan mencari nilai suku bunga pada saat kondisi:

$$PW_{costs} = PW_{benefits}$$

$$0 = -PW_{costs} + PW_{Benefits}$$

Nilai IRR yang tinggi akan menunjukkan proyek memiliki nilai ekonomis yang tinggi, begitu pula sebaliknya.

## 2.5 Riset Operasi

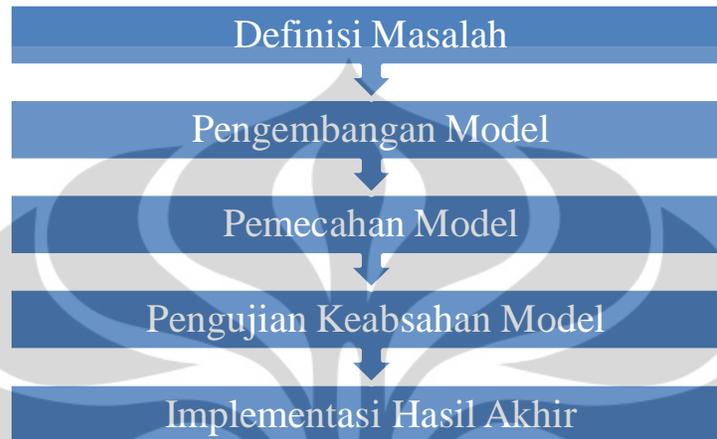
Menurut Operational Research Society of Great Britain, riset operasi adalah aplikasi metode ilmiah dalam masalah yang kompleks dan system manajemen yang besar atas manusia, mesin, material dan dana dalam industry, bisnis, pemerintahan, dan militer. Arti riset operasi (operations research) telah banyak didefinisikan oleh beberapa ahli.

- Morse dan Kimball mendefinisikan riset operasi sebagai metode ilmiah (scientific method) yang memungkinkan para manajer mengambil keputusan mengenai kegiatan yang mereka tangani dengan dasar kuantitatif. Definisi ini kurang tegas karena tidak tercermin perbedaan antara riset operasi dengan disiplin ilmu yang lain.
- Churchman, Arkoff dan Arnoff pada tahun 1950-an mengemukakan pengertian riset operasi sebagai aplikasi metode-metode, teknik-teknik dan peralatan-peralatan ilmiah dalam menghadapi masalah-masalah yang timbul di dalam operasi perusahaan dengan tujuan ditemukannya pemecahan yang optimum masalah-masalah tersebut.
- Miller dan M.K. Starr mengartikan riset operasi sebagai peralatan manajemen yang menyatukan ilmu pengetahuan, matematika, dan logika dalam kerangka pemecahan masalah-masalah yang dihadapi sehari-hari, sehingga akhirnya permasalahan tersebut dapat dipecahkan secara optimal.

Dari ketiga definisi tersebut dapat disimpulkan bahwa riset operasi berkenaan dengan pengambilan keputusan yang optimal dalam, dan penyusunan model dari sistem-sistem baik yang deterministik maupun probabilistik yang berasal dari kehidupan nyata. Atau dunia pengelolaan atau dunia usaha yang memakai pendekatan ilmiah atau pendekatan sistematis disebut *riset operasi (Operations Research)*. Menurut Operational Research Society of America, riset operasi merupakan hal yang berkaitan dengan pengambilan keputusan secara ilmiah, bagaimana membuat model terbaik dan membutuhkan alokasi sumber daya yang terbatas. Istilah riset operasi pertama kali digunakan pada tahun 1940 oleh Mc Closky dan Trefthen di Bowdsey Inggris. Riset operasional adalah suatu metode pengambilan keputusan yang dikembangkan dari studi operasi-operasi militer selama Perang Dunia II. Banyaknya keberhasilan riset ini, menarik

kalangan industriawan untuk membantu memberikan berbagai solusi terhadap masalah-masalah manajerial yang rumit.

Tahapan riset operasi yang dikutip dari Hamdy A. Taha antara lain :



**Gambar 2.9 Tahapan Riset Operasi**

(Hamdy A. Taha, 1993)

Pemrograman linear adalah bagian ilmu matematika terapan yang digunakan untuk memecahkan masalah optimasi dari sebuah permasalahan (pemaksimalan atau meminimalan suatu tujuan) yang kemudian dapat digunakan untuk mencari keuntungan maksimum. Pemrograman linier merupakan bagian dari riset operasi yang biasanya digunakan dalam bidang perdagangan, penjualan, penentuan lokasi dan kasus kasus lainnya. Menurut Siringoringo, 2005, pemrograman linier (PL) merupakan metode matematik dalam mengalokasikan sumber daya yang terbatas untuk mencapai suatu tujuan seperti memaksimumkan keuntungan dan meminimumkan biaya. PL banyak diterapkan dalam masalah ekonomi, industri, militer, social dan lain-lain. PL berkaitan dengan penjelasan suatu kasus dalam dunia nyata sebagai suatu model matematik yang terdiri dari sebuah fungsi tujuan linier dengan beberapa kendala linier.

Adapun karakteristik pemrograman linier antara lain :

- Sifat linearitas suatu kasus dapat ditentukan dengan menggunakan beberapa cara. Secara statistik, kita dapat memeriksa kelinearan menggunakan grafik (diagram pencar) ataupun menggunakan uji hipotesa. Secara teknis, linearitas ditunjukkan oleh adanya sifat

proporsionalitas, additivitas, divisibilitas dan kepastian fungsi tujuan dan pembatas.

- Sifat proporsional dipenuhi jika kontribusi setiap variabel pada fungsi tujuan atau penggunaan sumber daya yang membatasi proporsional terhadap level nilai variabel. Jika harga per unit produk misalnya adalah sama berapapun jumlah yang dibeli, maka sifat proporsional dipenuhi. Atau dengan kata lain, jika pembelian dalam jumlah besar mendapatkan diskon, maka sifat proporsional tidak dipenuhi. Jika penggunaan sumber daya per unitnya tergantung dari jumlah yang diproduksi, maka sifat proporsionalitas tidak dipenuhi.
- Sifat additivitas mengasumsikan bahwa tidak ada bentuk perkalian silang diantara berbagai aktivitas, sehingga tidak akan ditemukan bentuk perkalian silang pada model. Sifat additivitas berlaku baik bagi fungsi tujuan maupun pembatas (kendala). Sifat additivitas dipenuhi jika fungsi tujuan merupakan penambahan langsung kontribusi masing-masing variabel keputusan. Untuk fungsi kendala, sifat additivitas dipenuhi jika nilai kanan merupakan total penggunaan masing-masing variabel keputusan. Jika dua variabel keputusan misalnya merepresentasikan dua produk substitusi, dimana peningkatan volume penjualan salah satu produk akan mengurangi volume penjualan produk lainnya dalam pasar yang sama, maka sifat additivitas tidak terpenuhi.
- Sifat divisibilitas berarti unit aktivitas dapat dibagi ke dalam sembarang level fraksional, sehingga nilai variabel keputusan non integer dimungkinkan.
- Sifat kepastian menunjukkan bahwa semua parameter model berupa konstanta. Artinya koefisien fungsi tujuan maupun fungsi pembatas merupakan suatu nilai pasti, bukan merupakan nilai dengan peluang tertentu.

Keempat asumsi (sifat) ini dalam dunia nyata tidak selalu dapat dipenuhi. Untuk meyakinkan dipenuhinya keempat asumsi ini, dalam pemrograman linier diperlukan analisis sensitivitas terhadap solusi optimal yang diperoleh.

Urutan pertama dalam penyelesaian adalah mempelajari sistem relevan dan mengembangkan pernyataan permasalahan yang dipertimbangkan dengan jelas. Penggambaran sistem dalam pernyataan ini termasuk pernyataan tujuan, sumber daya yang membatasi, alternatif keputusan yang mungkin (kegiatan atau aktivitas), batasan waktu pengambilan keputusan, hubungan antara bagian yang dipelajari dan bagian lain dalam perusahaan, dan lain-lain.

Penetapan tujuan yang tepat merupakan aspek yang sangat penting dalam formulasi masalah. Untuk membentuk tujuan optimalisasi, diperlukan identifikasi anggota manajemen yang benar-benar akan melakukan pengambilan keputusan dan mendiskusikan pemikiran mereka tentang tujuan yang ingin dicapai.

Dalam pembuatan model matematik, tahap berikutnya yang harus dilakukan setelah memahami permasalahan optimasi adalah membuat model yang sesuai untuk analisis. Pendekatan konvensional riset operasional untuk pemodelan adalah membangun model matematik yang menggambarkan inti permasalahan. Kasus dari bentuk cerita diterjemahkan ke model matematik. Model matematik merupakan representasi kuantitatif tujuan dan sumber daya yang membatasi sebagai fungsi variabel keputusan. Model matematika permasalahan optimal terdiri dari dua bagian. Bagian pertama memodelkan tujuan optimasi. Model matematik tujuan selalu menggunakan bentuk persamaan. Bentuk persamaan digunakan karena kita ingin mendapatkan solusi optimum pada satu titik. Fungsi tujuan yang akan dioptimalkan hanya satu. Bukan berarti bahwa permasalahan optimasi hanya dihadapkan pada satu tujuan. Tujuan dari suatu usaha bisa lebih dari satu. Tetapi pada bagian ini kita hanya akan tertarik dengan permasalahan optimal dengan satu tujuan. Bagian kedua merupakan model matematik yang merepresentasikan sumber daya yang membatasi. Fungsi pembatas bisa berbentuk persamaan ( $=$ ) atau pertidaksamaan ( $\leq$  atau  $\geq$ ). Fungsi pembatas disebut juga sebagai konstrain. Konstanta (baik sebagai koefisien maupun nilai kanan) dalam fungsi pembatas maupun pada tujuan dikatakan sebagai parameter model. Model matematika mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan pendeskripsian permasalahan secara verbal. Salah satu keuntungan yang paling jelas adalah model matematik menggambarkan permasalahan secara lebih ringkas. Hal ini cenderung membuat struktur keseluruhan permasalahan lebih mudah dipahami, dan

membantu mengungkapkan relasi sebab akibat penting. Model matematik juga memfasilitasi yang berhubungan dengan permasalahan dan keseluruhannya dan mempertimbangkan semua keterhubungannya secara simultan. Terakhir, model matematik membentuk jembatan ke penggunaan teknik matematik dan komputer kemampuan tinggi untuk menganalisis permasalahan.

Di sisi lain, model matematik mempunyai kelemahan. Tidak semua karakteristik sistem dapat dengan mudah dimodelkan menggunakan fungsi matematik. Meskipun dapat dimodelkan dengan fungsi matematik, kadangkala penyelesaiannya sulit diperoleh karena kompleksitas fungsi dan teknik yang dibutuhkan.

Bentuk umum pemrograman linier adalah sebagai berikut :

Fungsi tujuan :

Maksimumkan atau minimumkan  $z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$

Sumber daya yang membatasi :

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = / \leq / \geq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = / \leq / \geq b_2$$

...

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = / \leq / \geq b_m$$

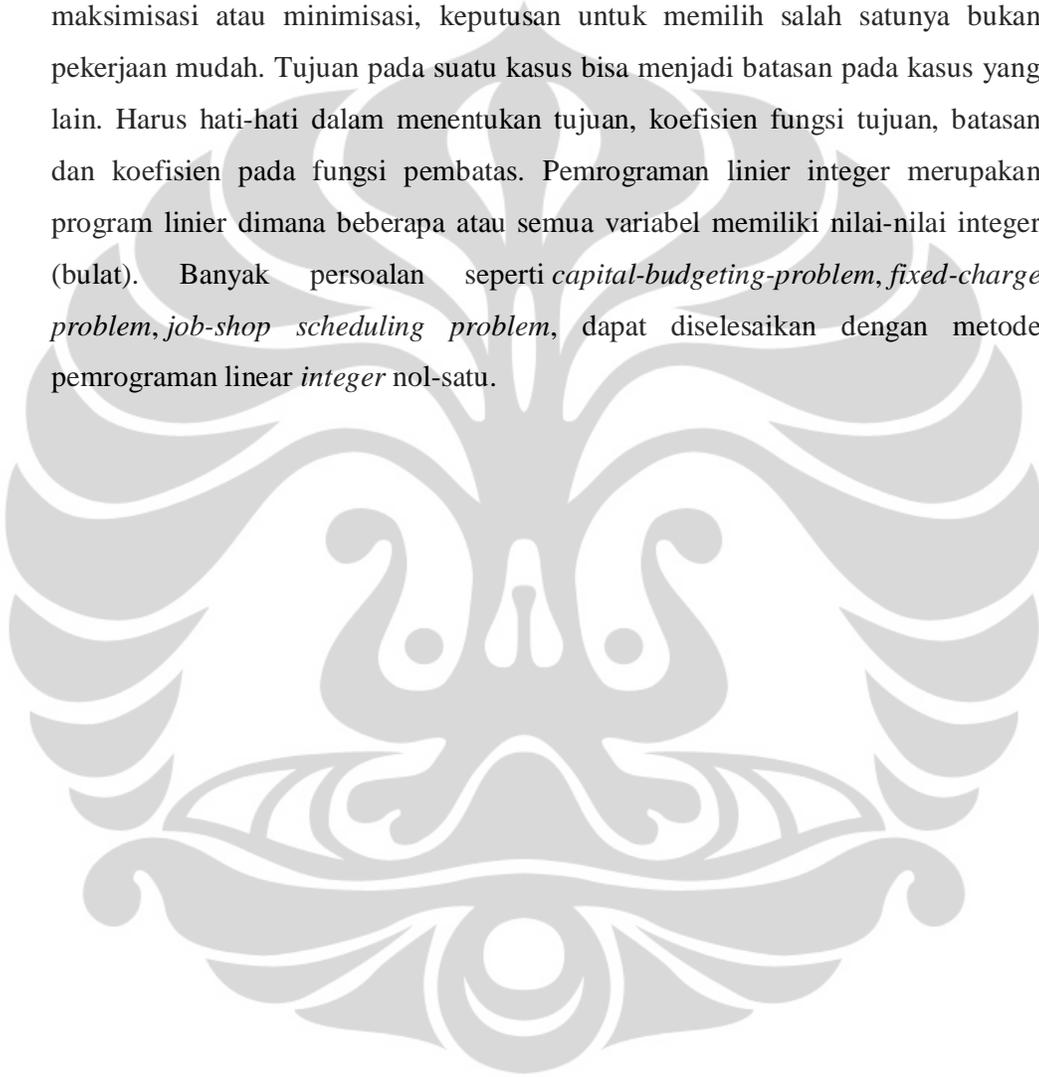
$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$$

Simbol  $x_1, x_2, \dots, x_n$  ( $x_i$ ) menunjukkan variabel keputusan. Jumlah variabel keputusan ( $x_i$ ) oleh karenanya tergantung dari jumlah kegiatan atau aktivitas yang dilakukan untuk mencapai tujuan. Simbol  $c_1, c_2, \dots, c_n$  merupakan kontribusi masing-masing variabel keputusan terhadap tujuan, disebut juga koefisien fungsi tujuan pada model matematiknya. Simbol  $a_{11}, \dots, a_{1n}, \dots, a_{mn}$  merupakan penggunaan per unit variabel keputusan akan sumber daya yang membatasi, atau disebut juga sebagai koefisien fungsi kendala pada model matematiknya. Simbol  $b_1, b_2, \dots, b_m$  menunjukkan jumlah masing-masing sumber daya yang ada. Jumlah fungsi kendala akan tergantung dari banyaknya sumber daya yang terbatas.

Pertidaksamaan terakhir ( $x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$ ) menunjukkan batasan non negatif. Membuat model matematik dari suatu permasalahan bukan hanya

menuntut kemampuan matematik tapi juga menuntut seni permodelan. Menggunakan seni akan membuat permodelan lebih mudah dan menarik.

Kasus pemrograman linier sangat beragam. Dalam setiap kasus, hal yang penting adalah memahami setiap kasus dan memahami konsep permodelannya. Meskipun fungsi tujuan misalnya hanya mempunyai kemungkinan bentuk maksimisasi atau minimisasi, keputusan untuk memilih salah satunya bukan pekerjaan mudah. Tujuan pada suatu kasus bisa menjadi batasan pada kasus yang lain. Harus hati-hati dalam menentukan tujuan, koefisien fungsi tujuan, batasan dan koefisien pada fungsi pembatas. Pemrograman linier integer merupakan program linier dimana beberapa atau semua variabel memiliki nilai-nilai integer (bulat). Banyak persoalan seperti *capital-budgeting-problem*, *fixed-charge problem*, *job-shop scheduling problem*, dapat diselesaikan dengan metode pemrograman linear *integer nol-satu*.



### BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Data dari TPA Cipayung, Depok dan Estimasi Perhitungan Gas

Adapun data yang diperoleh dari TPA Cipayung antara lain:

1. Luas wilayah dari lokasi TPA yang akan dimanfaatkan dalam proyek ini adalah 0,6 Hektar
2. Volume sampah yang diangkut ke TPA tersebut sebanyak 300 ton per hari kerja dan sekitar 100 ton per sabtu dan minggu.
3. Dari jurnal hasil penelitian oleh Mulyo Handono (2010) mengenai TPA Cipayung, diperoleh data bahwa komposisi sampah di TPA tersebut terdiri dari antara lain :

No	Komposisi Jenis Sampah	Prosentase (%)
1	Bahan organik	72,97
2	Kertas	7,07
3	Kaca/Beling/Gelas	1,25
4	Plastik	3,57
5	Logam	1,37
6	Kayu	3,65
7	Kain	2,40
8	Karet	1,24
9	Lain-lain	6,38
<b>Jumlah</b>		<b>100,00</b>

Sumber : Studi ANDAL TPA Cipayung

**Gambar 3.1 Komposisi jenis sampah di TPA Cipayung**

Pertama-tama terlebih dahulu dilakukan estimasi terhadap gas yang akan diperoleh dari TPA. Data-data yang telah diperoleh dari TPA Cipayung kemudian diolah dalam model yang dirumuskan dari *U.S. Environmental Protection Agency's (EPA)*.

$$Q_t = 2 * L_0 * m_0 * (e^{k*t_2} - 1) * e^{-k*t}$$

Dimana:

$Q_t$  = Jumlah gas yang dihasilkan pada tahun ke  $t$  dalam  $m^3$ /tahun

$L_0$  = Potensi nilai metan yang dihasilkan  $m^3$  / tahun;

$m_o$  = Rata – rata jumlah sampah solid yang diterima, Mg / tahun ;

$k$  = konstanta rata – rata metan yang dihasilkan, tahun<sup>-1</sup>;

$t$  = Umur landfill, tahun;

$t_a$  = total tahun aktif landfill, tahun .

Lo diperoleh dari penelitian Zietsmann yang dilakukan di Mumbai, dengan asumsi keadaan di Mumbai hampir sama dengan Indonesia yaitu sebesar 68 . Kemudian rata-rata jumlah sampah solid ( $m_o$ ) didapat dari perhitungan sampah yang diterima oleh TPA Cipayung, yaitu (300 ton sampah x 5 hari x 4 minggu x 12 bulan ) + ( 100 ton sampah x 2 hari x 4 minggu x 12 bulan ) yaitu 81.600. Dan konstanta rata rata metan yang dihasilkan dihitung dari komposisi jenis sampah dimana :

Jenis sampah	Bobot	persentase	
sampah organik	0.4	0.7297	0.29188
<i>medium decay</i>	0.08	0.0707	0.005656
<i>slow decay</i>	0.02	0.1996	0.003992
		k	<b>0.301528</b>

**Tabel 3.1 perhitungan k dalam model EPA untuk TPA Cipayung**

Dalam penelitian Zietsmann, nilai k 0,301528 menunjukkan bahwa TPA Cipayung termasuk dalam iklim basah untuk pengolahan gas lahan TPA yang menandakan bahwa potensi gas akan semakin banyak didapatkan dari lahan ini.

Dari rumusan diatas akan didapatkan gas yang akan diperoleh dari TPA Cipayung. Kemudian, karena gas yang akan digunakan adalah gas metana, maka dilakukan juga estimasi kandungan gas metana dalam gas yang diperoleh dari TPA tersebut, dengan sumber yang sama, komposisi metana dalam gas lahan TPA adalah sekitar 50 % sehingga gas metana yang diperoleh setengah dari gas yang diperoleh. Setelah didapatkan estimasi gas yang diperoleh dari TPA Cipayung maka akan dilakukan pengolahan pada masing masing skenario sesuai dengan perencanaan yang dibutuhkan.

### 3.2 Perancangan Skenario

Gas lahan TPA memiliki kandungan metana yang sebenarnya memiliki manfaat yang beragam. Berdasarkan panduan EPA, umumnya pemanfaatan gas lahan TPA dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu dilakukan dengan pemanfaatan secara langsung dan secara tidak langsung. Proyek pemanfaatan secara langsung antara lain dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar kendaraan, digunakan sebagai komponen rumah kaca, digunakan untuk aktivitas yang memerlukan banyak energi seperti pembuatan logam dan penempaan, hingga pembuatan bioetanol.



**Gambar 3.2 pemanfaatan gas lahan TPA sebagai studio *powered glass***

(EPA Handbook, 2010)

Namun, di Indonesia penggunaan proyek secara langsung berupa komponen rumah kaca, pembuatan logam, pembuatan bioetanol masih kurang diminati mengingat tidak memadainya teknologi yang ada dan minimnya usaha dalam bidang tersebut. Sehingga untuk penggunaan secara langsung dipilih sebagai pengganti bahan bakar kendaraan. Disisi lain, pemanfaatan secara tidak langsung dapat dilakukan dengan proyek pembuatan pembangkit tenaga listrik. Untuk proyek ini, terdapat banyak alternatif teknologi yang dapat dipakai, antara lain penggunaan mesin pembakaran internal dengan ukuran besar dan kecil, penggunaan turbin gas dan penggunaan mikroturbin. Namun hal ini memiliki kriteria dan batasan tertentu antara lain kapasitas dari pembangkit listrik tersebut. Untuk mesin pembakaran internal dapat digunakan untuk kapasitas lebih dari 800 kilowatt dan turbin gas dapat digunakan untuk kapasitas lebih dari 3 megawatt. Sedangkan mesin pembakaran internal dan mikroturbin dapat digunakan untuk

kapasitas yang kecil dari 1 megawatt. Sehingga pilihan untuk memanfaatkan proyek pembangkit listrik digunakan dengan dua alternatif, mesin pembakaran internal atau mikroturbin.

### 3.2.1 Skenario 1

Skenario pertama merupakan pemanfaatan gas lahan TPA sebagai pengganti bahan bakar kendaraan dimana dalam hal ini diambil kendaraan umum yaitu bus. Di Indonesia sendiri, telah terdapat bus yang menggunakan bahan bakar gas yaitu bus transjakarta, sehingga untuk beberapa data yang dibutuhkan seperti data perawatan bus dan penggunaan teknologi menggunakan data hasil survey ke Transjakarta. Dalam skenario ini, diasumsikan bahwa bus yang digunakan masih menggunakan bahan bakar minyak sehingga masih dibutuhkan konverter untuk bus tersebut ketika menggunakan bahan bakar gas.

### 3.2.2 Skenario 2

Skenario kedua merupakan pemanfaatan gas lahan TPA sebagai pembangkit tenaga listrik dengan menggunakan mesin. Adapun mesin yang digunakan adalah mesin pembakaran internal dengan kapasitas untuk pembangkit listrik lebih kecil dari 1 megawatt. Mesin pembakaran dalam adalah sebuah mesin yang sumber tenaganya berasal dari pengembangan gas-gas panas bertekanan tinggi hasil pembakaran campuran bahan bakar dan udara, yang berlangsung di dalam ruang tertutup dalam mesin, yang disebut ruang bakar (*combustion chamber*).



**Gambar 3.3 Mesin Pembakaran Dalam**

(EPA Handbook, 2010)

### 3.2.3 Skenario 3

Skenario kedua merupakan pemanfaatan gas lahan TPA sebagai pembangkit tenaga listrik dengan menggunakan turbin. Adapun turbin yang digunakan adalah mikro dengan kapasitas untuk pembangkit listrik lebih kecil dari 1 megawatt.



**Gambar 3.4 Turbin yang digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik**

(EPA Handbook, 2010)

### 3.2.4 Skenario 4

Setelah mempertimbangkan kondisi yang ada, untuk melakukan pemanfaatan yang optimal dari gas yang dihasilkan dari lahan TPA, maka diperoleh skenario kombinasi yang menggabungkan pemanfaatan gas lahan TPA untuk penjualan gas sekaligus untuk pembangkit tenaga listrik. Hal ini disebabkan perkiraan akan gas yang tidak terpakai mengingat kapasitas dari pembangkit tenaga listrik yang mempertimbangkan gas yang dihasilkan hingga tahun ke 20 sehingga tidak mungkin untuk memaksa penyerapan gas keseluruhan pada tahun pertama dan kedua dimana penguraian gas masih sangat tinggi.

## 3.3. Komponen Biaya dan Keuntungan

Dalam setiap skenario, terdapat 2 komponen perhitungan arus kas yaitu biaya dan keuntungan yang akan dihitung selisih dari keuntungan dan biaya sehingga didapatkan keuntungan bersih yang diperoleh di tiap tahunnya. Hal ini menentukan besar penanaman modal yang diperlukan dari masing masing

skenario yang kemudian diolah dari perhitungan arus kas. Dari komponen biaya dan keuntungan, penulis akan menganalisis dengan 2 metode yaitu metode NPV dan juga metode *Incremental IRR*. Adapun pada NPV, penulis menggunakan *risk free rate* sebesar 12% dimana hal ini merupakan pertimbangan dari keadaan yang dikeluarkan oleh Bank Indonesia dimana inflasi Indonesia pada bulan Desember 2011, sebesar 6 % dan SBI rate sebesar 3,79% sehingga penulis menentukan 12% sebagai *rate* yang digunakan dalam perhitungan NPV. Adapun biaya dan keuntungan dalam setiap skenario diperoleh dari studi pustaka yang sebagian besar berasal dari buku panduan EPA tahun 2010 dan data sekunder dari pihak pihak yang terkait seperti Transjakarta dan TPA Cipayung.

### 3.3.1 Komponen Biaya dan Keuntungan Skenario 1

Skenario pertama merupakan salah satu alternatif penggunaan gas lahan TPA secara langsung dimana gas tersebut langsung digunakan sebagai bahan bakar gas untuk kendaraan umum, yaitu dalam hal ini bus. Adapun komponen biaya skenario 1 antara lain :

1	Biaya tenaga kerja
2	Biaya konverter
3	Biaya perawatan bus
4	Biaya instalasi landfill gas
5	Biaya perawatan landfill
6	Biaya capping lahan
7	Biaya investasi fasilitas pemurnian
8	Biaya operasi pemurnian

- Biaya tenaga kerja untuk skenario 1 ini hanya diperuntukkan untuk operasi pemurnian karena tenaga kerja pengolahan lahan TPA telah ada dan merupakan kondisi awal dari lahan TPA yaitu sebanyak 2 orang dengan upah minimum regional Kota Depok tahun 2012 yaitu sebesar 1.497.491 rupiah per bulan.
- Biaya konverter merupakan biaya untuk membeli alat konversi pemakaian bahan bakar minyak menjadi bahan bakar gas. Dalam literatur yang

diperoleh, alat konversi ini memiliki masa pakai selama 7 tahun, yang kemudian harus diganti per periode.

- Biaya perawatan bus adalah biaya yang dikeluarkan untuk melakukan tindakan perawatan dan pemeliharaan terhadap pemakaian bus setelah menggunakan bahan bakar gas. Adapun biaya perawatan bus yang menggunakan bahan bakar gas sekitar 10.000.000 rupiah per tahun yang diperoleh dari Transjakarta.
- Biaya instalasi gas lahan TPA merupakan biaya yang dikeluarkan pada tahun ke-0 untuk memperoleh gas yang dihasilkan dari lahan, yaitu menurut pedoman EPA sebesar 532.800.000 rupiah per hektar.
- Adapun biaya untuk perawatan landfill tersebut meliputi biaya pemeliharaan instalasi adalah menurut pedoman EPA sebesar 91.020.000 rupiah per hektar.
- Untuk biaya capping lahan adalah penutup yang terbuat dari bahan *retardant fiber material* dimana biaya yang dikeluarkan adalah 216.000.000 rupiah.
- Biaya investasi fasilitas pemurnian merupakan biaya yang digunakan untuk membeli peralatan pemurnian gas metana dari gas yang diperoleh dari TPA. Biaya investasi tersebut adalah sebesar menurut pedoman EPA 4.050.000.000 rupiah.
- Biaya operasi fasilitas pemurnian adalah biaya yang dikeluarkan dalam proses operasi pemurnian gas metana dari gas yang diperoleh dari TPA. Biaya operasi ini disesuaikan dengan gas yang dihasilkan dari TPA itu sendiri dalam kalkulasi biaya sebesar 1,4 dollar/GGE.

Komponen keuntungan dari skenario 1 antara lain :

1	Keuntungan reduksi emisi dari TPA
2	Keuntungan penjualan gas

Keuntungan yang berasal dari skenario 1 meliputi:

- Keuntungan reduksi emisi dari TPA adalah keuntungan yang diperoleh dari mereduksi dampak buruk polusi yang ada di lingkungan sehingga

kemudian dapat dikonversi menjadi rupiah yang dihasilkan apabila mereduksi dampak buruk tersebut. Berdasarkan protokol kyoto yang akan berlaku pada tahun 2012 negara-negara berkembang, termasuk Indonesia akan mendapatkan kompensasi dari pengurangan karbon yang disebut dengan perdagangan karbon. Dimana negara maju yang mengeluarkan emisi karbon yang menjadi gas rumah kaca di atmosfer harus membayar setiap pengurangan karbon yang dilakukan oleh Negara berkembang termasuk Indonesia. Mekanisme protokol Kyoto tersebut akan dilaksanakan pada tahun 2012 dan harga karbon yang diperdagangkan pada bursa saham karbon diperkirakan mencapai US\$ 40,00 per ton per pengurangan emisi karbon.. Berdasarkan kajian terhadap beberapa literatur yang dilakukan, harga perdagangan karbon di pasar karbon untuk kategori *Carbon Credits Trading* terhadap *Voluntary Carbon Standard Gas Recovery Project in Indonesia* harga karbon diperdagangkan sebesar \$4,00 USD. Nilai tersebut berarti bahwa satu kredit CER (*Carbon Emission Reduction*) sama dengan setiap ton yang polusi yang dihasilkan oleh sebuah *sanitary landfill*. Dengan asumsi bahwa polutan pada *sanitary landfill* terdiri 50% polutan metan dan 50% polutan CO<sub>2</sub>.

Untuk mengkonversi bahan bakar gas yang dihasilkan terhadap bahan emisi potensial dilakukan perhitungan berdasarkan kesetaraan CER. Berdasarkan prinsip dasar ilmu kimia, dimana kerapatan dari CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> pada keadaan temperature dan tekanan standar (1 atm dan 25°C) adalah 1,977 dan 0,717 kg/m<sup>3</sup>.

$$\text{Berat Molekular } CO_2 = 44,01 \frac{\text{gram}}{\text{mol}}$$

$$\text{Volume pada Temperatur dan Tekanan Standar} = 24,4658 \text{ L}$$

$$\rho = \frac{\text{Berat Molekular}}{V} = \frac{44,01}{24,465} = 1,799 \frac{\text{g}}{\text{l}} = 1,799 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Sehingga jumlah karbon yang dapat direduksi pertahunnya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & 1,799 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \text{Gas yang dihasilkan} \frac{\text{m}^3}{\text{year}} * 50\% CO_2 \div 1000 \frac{\text{kg}}{\text{Mg}} \\ & = \frac{\text{Mg}}{\text{yr}}, \text{ metric tons /year} \end{aligned}$$

Dalam penelitian ini diasumsikan penerimaan dari CER sebesar 100% dari reduksi karbon yang dilakukan. Selain itu 1000 cf setara dengan 28,317 m<sup>3</sup> sehingga jumlah karbon yang direduksi selama masa umur lahan akan menghasilkan keuntungan sebagai berikut:

<b>Tahun</b>	<b>Net Present Value</b>
1	Rp 1.254.448.566,00
2	Rp 560.021.681,25
3	Rp 333.346.238,84
4	Rp 223.222.927,79
5	Rp 159.444.948,42
6	Rp 118.634.634,24
7	Rp 90.791.811,92
8	Rp 70.931.103,06
9	Rp 56.294.526,24
10	Rp 45.236.672,87
11	Rp 36.718.078,63
12	Rp 30.051.998,88
13	Rp 24.768.130,94
14	Rp 20.534.802,44
15	Rp 17.112.335,37
16	Rp 14.323.941,43
17	Rp 12.036.925,58
18	Rp 10.150.185,26
19	Rp 8.585.683,02
20	Rp 7.282.498,99

Tabel 3.2 Keuntungan dari Reduksi Emisi TPA

Tahun	Gas metana yang dihasilkan (liter /tahun)
0	
1	772.791
2	386.396
3	257.597
4	193.198
5	154.558
6	128.799
7	110.399
8	96.599
9	85.866
10	77.279
11	70.254
12	64.399
13	59.445
14	55.199
15	51.519
16	48.299
17	45.458
18	42.933
19	40.673
20	38.640

Tabel 3.3 Estimasi gas metana yang dihasilkan TPA Cipayung selama 20 tahun

- Keuntungan penjualan gas diperoleh dengan menghargai gas lahan TPA tersebut seharga biogas di pasaran. Hal ini sebagai penggantian pemakaian bahan bakar minyak yang sebelumnya digunakan untuk kendaraan umum. Keuntungan ini didapat dengan mengalikan gas metana dalam liter yang diperoleh dengan harga biogas yaitu 3100 per liter.

Tahun	Pendapatan dengan harga Natural Gas Rp 3100 per liter
0	
1	IDR 2.395.652.386,55
2	IDR 1.197.826.193,27
3	IDR 798.550.795,52
4	IDR 598.913.096,64
5	IDR 479.130.477,31
6	IDR 399.275.397,76
7	IDR 342.236.055,22
8	IDR 299.456.548,32
9	IDR 266.183.598,51
10	IDR 239.565.238,65
11	IDR 217.786.580,60
12	IDR 199.637.698,88
13	IDR 184.280.952,81
14	IDR 171.118.027,61
15	IDR 159.710.159,10
16	IDR 149.728.274,16
17	IDR 140.920.728,62
18	IDR 133.091.799,25
19	IDR 126.086.967,71
20	IDR 119.782.619,33

Tabel 3.4 Keuntungan dari penjualan gas

### 3.3.2 Komponen Biaya dan Keuntungan Skenario 2

Skenario kedua merupakan penggunaan gas lahan TPA sebagai pembangkit tenaga listrik dengan menggunakan mesin.

Komponen biaya skenario 2 antara lain :

1.	Biaya tenaga kerja
----	--------------------

2	Biaya instalasi landfill gas
3	Biaya perawatan landfill
4	Biaya capping lahan
5	Biaya pembangunan instalasi pembangkit tenaga listrik
6	Biaya pemeliharaan dan perawatan

Biaya tenaga kerja untuk skenario 2 ini hanya diperuntukkan untuk operasi pemurnian karena tenaga kerja pengolahan lahan TPA telah ada dan merupakan kondisi awal dari lahan TPA yaitu sebanyak 4 orang dengan upah minimum regional Kota Depok tahun 2012 yaitu sebesar 1.497.491 rupiah per bulan. Untuk biaya pada poin 2,3, dan 4 telah dijelaskan pada skenario pertama sehingga pada skenario kedua ini akan dijelaskan mengenai biaya pembangunan instalasi pembangkit tenaga listrik dan biaya pemeliharaan dan perawatan skenario kedua. Sebelumnya, untuk memperoleh kapasitas pembangkit tenaga listrik yang akan dibangun maka perlu untuk menghitung berapa potensi listrik yang dapat dihasilkan dari konversi gas yang dihasilkan oleh lahan TPA. Berikut adalah potensi listrik yang dihasilkan:

Tahun ke-	Gas yang dihasilkan (mcf)	kwh listrik	MW listrik
1	24,823.66	7,476,986.76	0.85
2	12,411.83	3,738,493.38	0.43
3	8,274.55	2,492,328.92	0.28
4	6,205.92	1,869,246.69	0.21
5	4,964.73	1,495,397.35	0.17
6	4,137.28	1,246,164.46	0.14
7	3,546.24	1,068,140.97	0.12
8	3,102.96	934,623.35	0.11
9	2,758.18	830,776.31	0.09
10	2,482.37	747,698.68	0.09
11	2,256.70	679,726.07	0.08
12	2,068.64	623,082.23	0.07

13	1,909.51	575,152.83	0.07
14	1,773.12	534,070.48	0.06
15	1,654.91	498,465.78	0.06
16	1,551.48	467,311.67	0.05
17	1,460.22	439,822.75	0.05
18	1,379.09	415,388.15	0.05
19	1,306.51	393,525.62	0.04
20	1,241.18	373,849.34	0.04

Tabel 3.5 Listrik yang dihasilkan

Merujuk penelitian yang telah dilakukan oleh Zietsmann, kapasitas pembangkit tenaga listrik yang baik dan mungkin untuk dilakukan adalah sesuai dengan rata-rata 5 tahun pertama yaitu 0,4 MW atau 400KW. Dengan demikian untuk tahun pertama dan kedua, listrik tidak dapat terserap atau dijual secara keseluruhan.

Dengan demikian, maka pembangkit listrik yang akan dibangun adalah berkapasitas 400 KW, sesuai dengan pedoman EPA maka diperoleh biaya pembangunan instalasi pembangkit listrik menggunakan mesin pembakaran internal adalah senilai 8.280.000.000 rupiah. Sedangkan untuk biaya pemeliharaan dan perawatan yang juga termasuk biaya operasional diperhitungkan sesuai dengan gas yang dikonversi (dapat dilihat pada lampiran).

Komponen keuntungan dari skenario 2 antara lain :

1	Keuntungan reduksi emisi dari TPA
2	Penjualan listrik

Untuk komponen keuntungan reduksi emisi dari TPA telah dijelaskan di skenario pertama. Keuntungan yang kedua adalah dari penjualan listrik dimana gas yang diperoleh dikonversi menjadi listrik kemudian dijual dengan harga listrik yang berlaku di Indonesia khususnya di Pulau Jawa yaitu 1.004 rupiah menurut Peraturan Menteri ESDM No 31 Tahun 2009 tentang Harga Pembelian Tenaga Listrik oleh PT PLN (Persero) dari Pembangkit Tenaga Listrik yang

Menggunakan Energi Terbarukan Skala Kecil dan Menengah atau Kelebihan Tenaga Listrik.. Berikut adalah harga listrik yang diperoleh dari pemanfaatan gas lahan TPA :

Tahun	kwh listrik	harga listrik
1	7.476.986,76	3.518.016.000,00
2	3.738.493,38	3.518.016.000,00
3	2.492.328,92	2.502.298.235,70
4	1.869.246,69	1.876.723.676,77
5	1.495.397,35	1.501.378.941,42
6	1.246.164,46	1.251.149.117,85
7	1.068.140,97	1.072.413.529,59
8	934.623,35	938.361.838,39
9	830.776,31	834.099.411,90
10	747.698,68	750.689.470,71
11	679.726,07	682.444.973,37
12	623.082,23	625.574.558,92
13	575.152,83	577.453.439,01
14	534.070,48	536.206.764,79
15	498.465,78	500.459.647,14
16	467.311,67	469.180.919,19
17	439.822,75	441.582.041,59
18	415.388,15	417.049.705,95
19	393.525,62	395.099.721,43
20	373.849,34	375.344.735,35

Tabel 3.6 Keuntungan dari penjualan listrik

### 3.3.3 Komponen Biaya dan Keuntungan Skenario 3

Komponen biaya skenario 3 antara lain :

1	Biaya tenaga kerja
2	Biaya instalasi landfill gas
3	Biaya perawatan landfill
4	Biaya capping lahan
5	Biaya pembangunan instalasi pembangkit tenaga listrik
6	Biaya pemeliharaan dan perawatan

Untuk biaya pada poin 1,2,3 dan 3 telah dijelaskan pada skenario pertama sehingga pada skenario kedua ini akan dijelaskan mengenai biaya pembangunan instalasi pembangkit tenaga listrik dan biaya pemeliharaan dan perawatan skenario ketiga dimana penjelasan kapasitas telah dijelaskan sebelumnya, sehingga untuk biaya pembangunan instalasi pembangkit tenaga listrik ini adalah senilai 19.800.000.000 rupiah. Sedangkan untuk biaya pemeliharaan dan perawatan yang juga termasuk biaya operasional diperhitungkan sesuai dengan gas yang dikonversi (dapat dilihat pada lampiran).

Komponen keuntungan dari skenario 3 antara lain :

1	Keuntungan reduksi emisi dari TPA
2	Penjualan listrik

Untuk komponen keuntungan telah dijelaskan diskenario sebelumnya, yaitu untuk keuntungan reduksi emisi dari TPA pada skenario 1 dan penjualan listrik pada skenario 2.

Dengan demikian, setelah mendapatkan komponen komponen biaya dan keuntungan dari tiap tahun, tahap selanjutnya adalah penyusunan arus kas dari masing masing tiap skenario selama 20 tahun yang nilai nilai ini telah dikonversi menjadi nilai pada tahun ke-0. (daftar lengkap di lampiran)

### 3.3.4 Komponen Biaya dan Keuntungan Skenario 4

Berikut adalah komponen biaya dari skenario 4 :

1	Biaya tenaga kerja
2	Biaya instalasi landfill gas
3	Biaya perawatan landfill
4	Biaya capping lahan
5	Biaya pembangunan instalasi fasilitas pemurnian
6	Biaya pembangunan instalasi pembangkit tenaga listrik
7	Biaya pemeliharaan dan perawatan

Adapun tenaga kerja yang digunakan sebanyak 6 orang dengan upah yang sama dengan skenario yang lain. Komponen biaya yang lain dalam skenario ini menggunakan standar yang sama dengan sumber yang digunakan dalam skenario lain di atas.

Berikut adalah keuntungan yang diperoleh dari skenario 4:

1	Keuntungan reduksi emisi dari TPA
2	Penjualan gas
3	Penjualan listrik

Keuntungan reduksi emisi dari TPA dan penjualan listrik sama dengan skenario yang telah dibahas namun yang membedakan disini adalah penjualan gas yang merupakan sisa penggunaan yang tidak terpakai oleh pembangkit listrik yaitu pada tahun pertama dan kedua yang menghasilkan tambahan keuntungan sebesar 1.348.091.171 rupiah.

### 3.4 Pembuatan Model Matematika

Secara umum pemanfaatan gas lahan TPA dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu dilakukan dengan pemanfaatan secara langsung dan secara tidak langsung.

$X_{a1}$  merupakan variabel yang mewakili skenario pertama yaitu pemanfaatan gas lahan TPA yang dilakukan secara langsung, sebagai pengganti bahan bakar kendaraan.  $X_b$  merupakan variabel yang mewakili skenario pemanfaatan gas lahan TPA secara tidak langsung, sebagai pembangkit tenaga listrik, yang kemudian terbagi lagi menjadi dua pilihan.  $X_{b1}$  adalah variabel yang

mewakili skenario kedua pemanfaatan gas lahan TPA sebagai pembangkit listrik menggunakan mesin dan  $Xb2$  adalah variabel yang mewakili skenario ketiga pemanfaatan gas lahan TPA sebagai pembangkit listrik menggunakan turbin.  $Xc1$  merupakan variabel yang mewakili skenario kombinasi antara pemanfaatan gas sebagai bahan bakar kendaraan sekaligus sebagai pembangkit tenaga listrik dengan menggunakan mesin pembakaran dalam.

Dari hasil perhitungan *cashflow* keempat skenario maka penulis dapat merumuskan model yang berkaitan dengan adanya batasan batasan tertentu yaitu modal investasi, biaya per tahun dan keuntungan yang dihasilkan dari proyek pemanfaatan gas lahan TPA ini. Pemrograman linier integer digunakan untuk dapat memilih satu dari 4 skenario yang ada. Koefisien pada model merupakan hasil dari pengolahan data sebelumnya dengan menggunakan prinsip ekonomi teknik. Koefisien pada model matematika semua dalam satuan juta rupiah. Sebagai contoh untuk membaca model matematika ini adalah, dalam konstrain pertama modal investasi dimana skenario pertama membutuhkan modal sebesar 5.111,73 juta rupiah, skenario kedua membutuhkan modal sebesar 8.948,16 juta rupiah dan seterusnya. Dalam pembatasan modal investasi awal, penulis mengasumsikan ketersediaan modal cukup besar yaitu sebesar 100.000.000.000 (seratus miliar rupiah).

Persamaan Pemrograman Linier Integer :

Maksimumkan:

$$Z = Xa1 + Xb1 + Xb2 + Xc1 \quad (3.1)$$

dengan batasan

1. Modal investasi

$$5.111,73Xa1 + 8.948,16Xb1 + 20.468,16Xb2 + 13.037,10Xc1 \leq 100.000 \quad (3.2)$$

2. Keuntungan

$$8.105,67Xa1 + 15.875,82Xb1 + 15.875,82Xb2 + 17.072,29Xc1 \geq 0 \quad (3.3)$$

3. Biaya per tahun :

$$cXa1 + dXb1 + eXb2 + fXc1 \leq Pi \quad (3.4)$$

Pi menunjukkan batas pada tahun ke-  $i$  dimana  $i = 1, 2, 3, \dots, 20$

nilai  $c$ ,  $d$ , dan  $e$  adalah konstanta yang diperoleh dari pengolahan data sebelumnya menggunakan prinsip ekonomi teknik. Dalam hal ini diasumsikan ketersediaan kas yang sangat besar yaitu senilai 5.000

$$\text{Tahun 1: } 199,59Xa_1 + 793,29Xb_1 + 793,29Xb_2 + 834,43Xc_1 \leq 5000 \quad (3.5)$$

$$\text{Tahun 2: } 180,26Xa_1 + 708,29Xb_1 + 708,29Xb_2 + 742,18Xc_1 \leq 5000 \quad (3.6)$$

$$\text{Tahun 3: } 164,69Xa_1 + 477,04Xb_1 + 477,04Xb_2 + 506,45Xc_1 \leq 5000 \quad (3.7)$$

$$\text{Tahun 4: } 150,97Xa_1 + 340,50Xb_1 + 340,50Xb_2 + 366,38Xc_1 \leq 5000 \quad (3.8)$$

$$\text{Tahun 5: } 138,62Xa_1 + 258,25Xb_1 + 258,25Xb_2 + 281,15Xc_1 \leq 5000 \quad (3.9)$$

$$\text{Tahun 6: } 127,43Xa_1 + 203,33Xb_1 + 203,33Xb_2 + 223,66Xc_1 \leq 5000 \quad (3.10)$$

$$\text{Tahun 7: } 167,01Xa_1 + 164,17Xb_1 + 164,17Xb_2 + 182,25Xc_1 \leq 5000 \quad (3.11)$$

$$\text{Tahun 8: } 107,96Xa_1 + 134,95Xb_1 + 134,95Xb_2 + 151,03Xc_1 \leq 5000 \quad (3.12)$$

$$\text{Tahun 9: } 99,47Xa_1 + 112,41Xb_1 + 112,41Xb_2 + 126,74Xc_1 \leq 5000 \quad (3.13)$$

$$\text{Tahun 10: } 91,71Xa_1 + 94,60Xb_1 + 94,60Xb_2 + 107,36Xc_1 \leq 5000 \quad (3.14)$$

$$\text{Tahun 11: } 84,61Xa_1 + 80,24Xb_1 + 80,24Xb_2 + 91,62Xc_1 \leq 5000 \quad (3.15)$$

$$\text{Tahun 12: } 78,10Xa_1 + 68,51Xb_1 + 68,51Xb_2 + 78,66Xc_1 \leq 5000 \quad (3.16)$$

$$\text{Tahun 13: } 72,13Xa1 + 58,80Xb1 + 58,80Xb2 + 67,85Xc1 \leq 5000 \quad (3.17)$$

$$\text{Tahun 14: } 91,41Xa1 + 50,69Xb1 + 50,69Xb2 + 58,76Xc1 \leq 5000 \quad (3.18)$$

$$\text{Tahun 15: } 61,62Xa1 + 43,85Xb1 + 43,85Xb2 + 51,05Xc1 \leq 5000 \quad (3.19)$$

$$\text{Tahun 16: } 56,99Xa1 + 38,06Xb1 + 38,06Xb2 + 44,48Xc1 \leq 5000 \quad (3.20)$$

$$\text{Tahun 17: } 52,74Xa1 + 33,12Xb1 + 33,12Xb2 + 38,85Xc1 \leq 5000 \quad (3.21)$$

$$\text{Tahun 18: } 48,83Xa1 + 28,88Xb1 + 28,88Xb2 + 33,99Xc1 \leq 5000 \quad (3.22)$$

$$\text{Tahun 19: } 45,23Xa1 + 25,24Xb1 + 25,24Xb2 + 29,80Xc1 \leq 5000 \quad (3.23)$$

$$\text{Tahun 20: } 41,92Xa1 + 22,10Xb1 + 22,10Xb2 + 26,17Xc1 \leq 5000 \quad (3.24)$$

$$Xa1 + Xb1 + Xb2 + Xc1 \leq 1 \quad (3.25)$$

$$Xj = 0,1 \text{ dimana } j = a1, b1, b2, c1$$

Langkah selanjutnya adalah melakukan input data ke dalam software Tora yang digunakan dalam pengolahan data ini. Kemudian diperoleh hasil skenario 1 yang dapat dilihat dari gambar dibawah ini:

**INTEGER PROGRAMMING**

---

**INTEGER PROGRAMMING B&B ALGORITHM**

Select Output Option

Subproblem N10 -- Best Bound				
Variable	x1	x2	x3	x4
Var. Name	Xa1	Xb1	Xb2	Xc1
Value	1	0	0	0
Integer(y/n)?	y	y	y	y

(MAX) B&B SEARCH TREE (Click any GREEN node)

N10

---

z= 1.00

integer

Best LBound

**Gambar 3.5** Penyelesaian dengan TORA

## BAB 4 PEMBAHASAN

Pada bab ini akan membahas analisis sensitivitas dan analisa model matematika yang telah dibuat sebelumnya. Skenario yang telah dirancang kemudian dilakukan simulasi dengan mencoba beberapa perubahan pada skenario tersebut.

### 4.1 Analisis Model Matematika dan Arus Kas

Dari hasil pembuatan model matematika yang diselesaikan dengan software TORA, maka diperoleh skenario yang paling baik adalah skenario pertama (Xa1). Hal ini dilakukan berdasarkan prinsip *best lower bound* dimana Xa1 memiliki batas bawah yang terbaik dibanding opsi lainnya dengan pembatasan yang ada. Dari model ini menunjukkan dengan modal dan biaya yang terendah, kita sebaiknya memilih skenario 1. Hal ini disebabkan biaya biaya pada skenario 1 relatif lebih rendah dibanding skenario yang lain. Model matematika yang dibuat lebih berorientasi pada biaya yang dikeluarkan per tahun.

Adapun dari hasil pengolahan data yang telah dilakukan dengan penggunaan metode Net Present Value, dan Internal Rate of Return diperoleh hasil sebagai berikut :

Skenario	NPV
1. Sebagai pengganti bahan bakar kendaraan	Rp 1.257.591.578,12
2. Sebagai pembangkit tenaga listrik menggunakan mesin pembakaran dalam	Rp 3.191.351.922,78
3. Sebagai pembangkit tenaga listrik menggunakan turbin gas	Rp (8.328.648.077)
4. Sebagai pengganti bahan bakar kendaraan sekaligus pembangkit tenaga listrik menggunakan mesin pembakaran dalam	Rp (7.673.140)

**Tabel 4.1 Nilai NPV dari Masing Masing Skenario**

Skenario	IRR
1. Sebagai pengganti bahan bakar kendaraan	21,39%
2. Sebagai pembangkit tenaga listrik menggunakan mesin pembakaran dalam	23,16%
3. Sebagai pembangkit tenaga listrik menggunakan turbin gas	-0,15%
4. Sebagai pengganti bahan bakar kendaraan sekaligus pembangkit tenaga listrik menggunakan mesin pembakaran dalam	11,98%

**Tabel 4.2 Nilai IRR dari masing masing skenario**

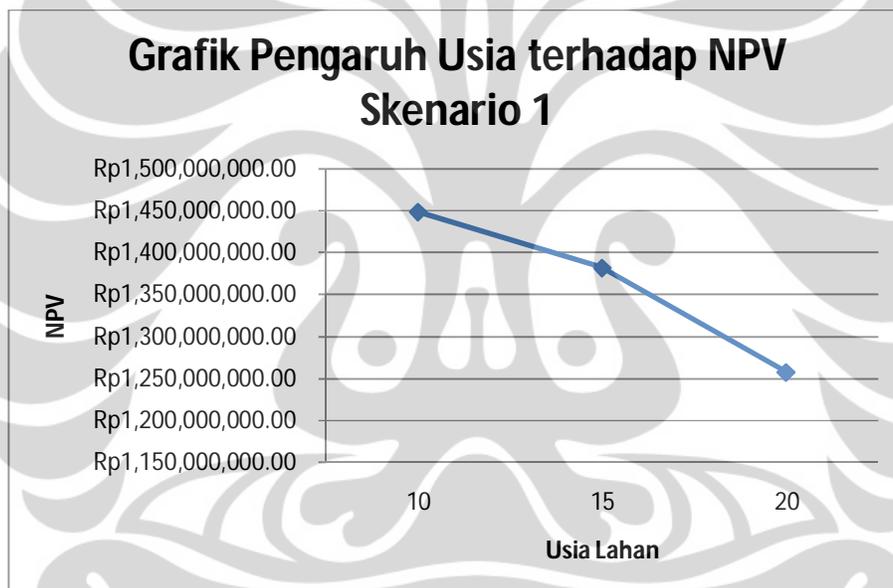
Dari hasil pengolahan data tersebut diperoleh bahwa skenario terbaik dalam analisis pemanfaatan modal dalam pengolahan gas lahan TPA adalah skenario 2 yaitu penggunaan gas lahan TPA sebagai pembangkit tenaga listrik dengan menggunakan mesin pembakaran dalam yang dilihat dari nilai NPV terbesar dan perhitungan *incremental* dari IRR.

#### **4.2 Analisis sensitivitas terhadap arus kas masing masing skenario**

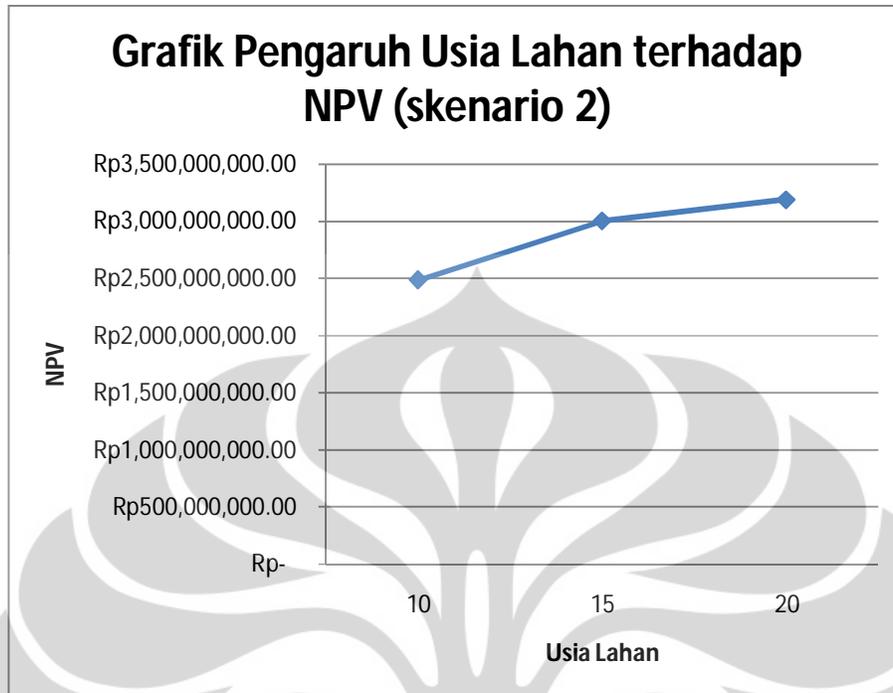
Analisis sensitivitas akan dilakukan terhadap skenario 1 dan skenario 2 dimana kedua skenario tersebut merupakan skenario yang terpilih melalui pengolahan data menggunakan metode NPV, IRR dan model matematika. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui faktor faktor tertentu yang dapat mempengaruhi skenario tersebut. Analisis sensitivitas dilakukan pada faktor usia lahan, biaya dan keuntungan. Untuk faktor usia, dianalisa perbedaan nilai NPV pada usia 10 tahu, 15 tahun dan 20 tahun. Kemudian analisis biaya dan keuntungan dilakukan dengan cara menaikkan dan menurunkan faktor biaya dan keuntungan sebesar 10% kemudian menganalisis dampaknya terhadap perubahan NPV yaitu berapa besar persen perubahan nilai NPV.

#### 4.2.1. Pengaruh faktor usia lahan TPA terhadap skenario pemanfaatan gas lahan TPA

Usia lahan TPA merupakan salah satu hal yang dapat mempengaruhi penanaman modal dalam pemanfaatan gas lahan TPA ini. Usia lahan menentukan biaya yang harus dikeluarkan dalam proyek dan menentukan keuntungan yang mungkin didapatkan dari proyek yang akan dilaksanakan. Oleh karena itu, diadakan analisis pengaruh faktor usia lahan TPA terhadap NPV dari skenario 1 dan 2 yang merupakan dua skenario terbaik dari pengolahan data sebelumnya. Berikut adalah grafik pengaruh dari usia lahan terhadap NPV:



Gambar 4.1 Grafik pengaruh usia lahan terhadap NPV skenario 1



**Gambar 4.2 Pengaruh Usia Lahan terhadap NPV untuk Skenario 2**

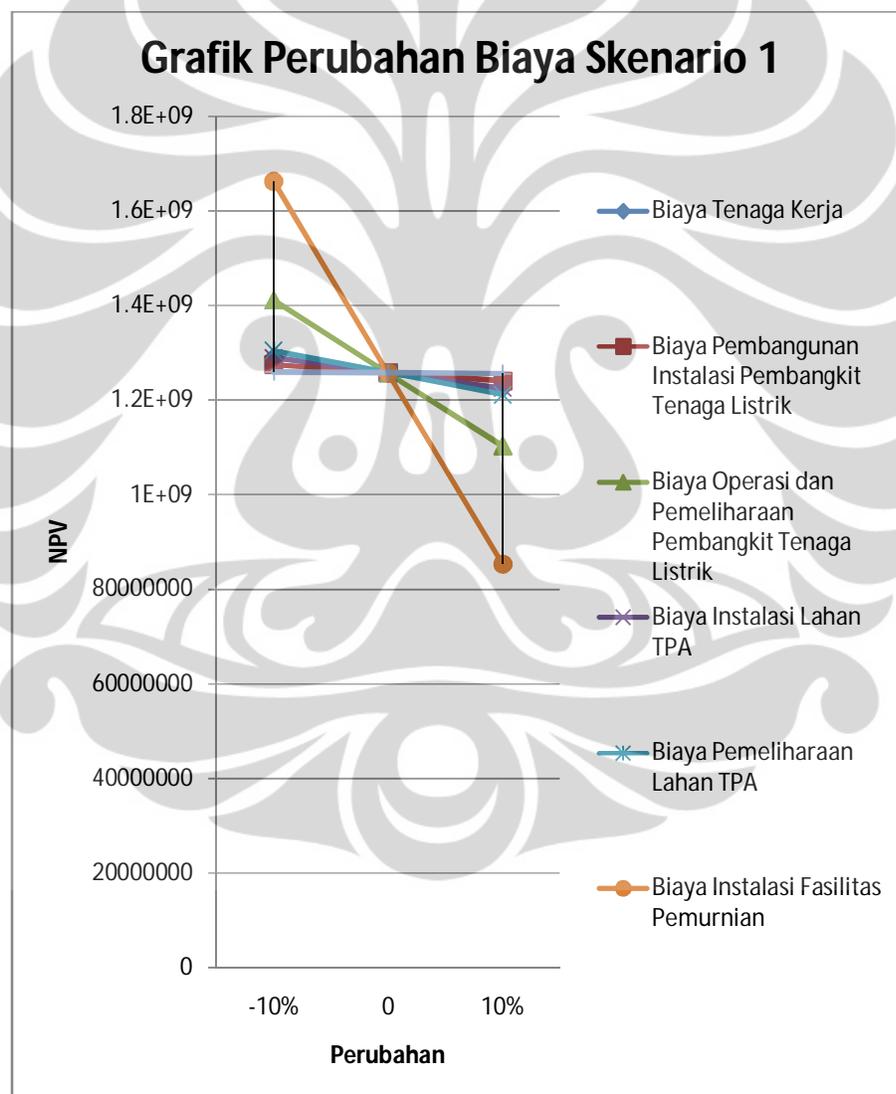
Dari kedua grafik tersebut, terlihat perbedaan pengaruh usia lahan terhadap masing-masing skenario. Pada skenario pertama, diketahui bahwa peningkatan usia lahan berdampak negatif terhadap NPV. Hal ini disebabkan, bahwa pada mulai pada tahun 12 hingga tahun 20, nilai dari arus kas skenario ini telah minus sehingga hanya menimbulkan pengurangan keuntungan dari proyek. Terjadi penurunan NPV dari usia 10 tahun ke 15 tahun, yaitu sebesar 4,6% dan penurunan NPV dari usia 15 tahun ke 20 tahun sebesar 9%. Hal ini menandakan semakin lama, setelah tahun ke -12 dari usia lahan, maka pengurangan nilai NPV akan semakin besar. Terlihat bahwa biaya tenaga kerja dan biaya perawatan bus yang dikeluarkan secara tetap hingga tahun ke 20 tidak diimbangi dengan pemasukan, pada 8 tahun terakhir.

Berbeda dengan skenario pertama, peningkatan usia lahan pada skenario kedua berdampak positif terhadap NPV. Hal ini disebabkan oleh nilai dari arus kas per tahun yang telah positif hingga tahun 20 sehingga NPV dari skenario kedua ini semakin bertambah seiring dengan penambahan usia. Dari penambahan usia lahan TPA ini juga mengindikasikan bahwa pemanfaatan sebagai Pembangkit Tenaga Listrik relatif bersifat jangka panjang dibandingkan pemanfaatannya

sebagai bahan bakar kendaraan. Pada skenario 2, perubahan dari usia lahan 10 menjadi 15 tahun meningkatkan NPV sebesar 20,78% dan perubahan dari usia lahan 15 menjadi 20 tahun meningkatkan NPV sebesar 6,15%.

#### 4.2.2 Pengaruh faktor biaya dalam skenario pemanfaatan gas lahan TPA

Faktor biaya merupakan faktor yang sangat berpengaruh dalam skenario penanaman modal sehingga penting untuk mengetahui biaya apa saja yang paling berpengaruh dalam analisis penanaman modal. Berikut adalah grafik perubahan faktor biaya untuk skenario 1 :



**Gambar 4.3 Grafik Perubahan Biaya terhadap Skenario 1**

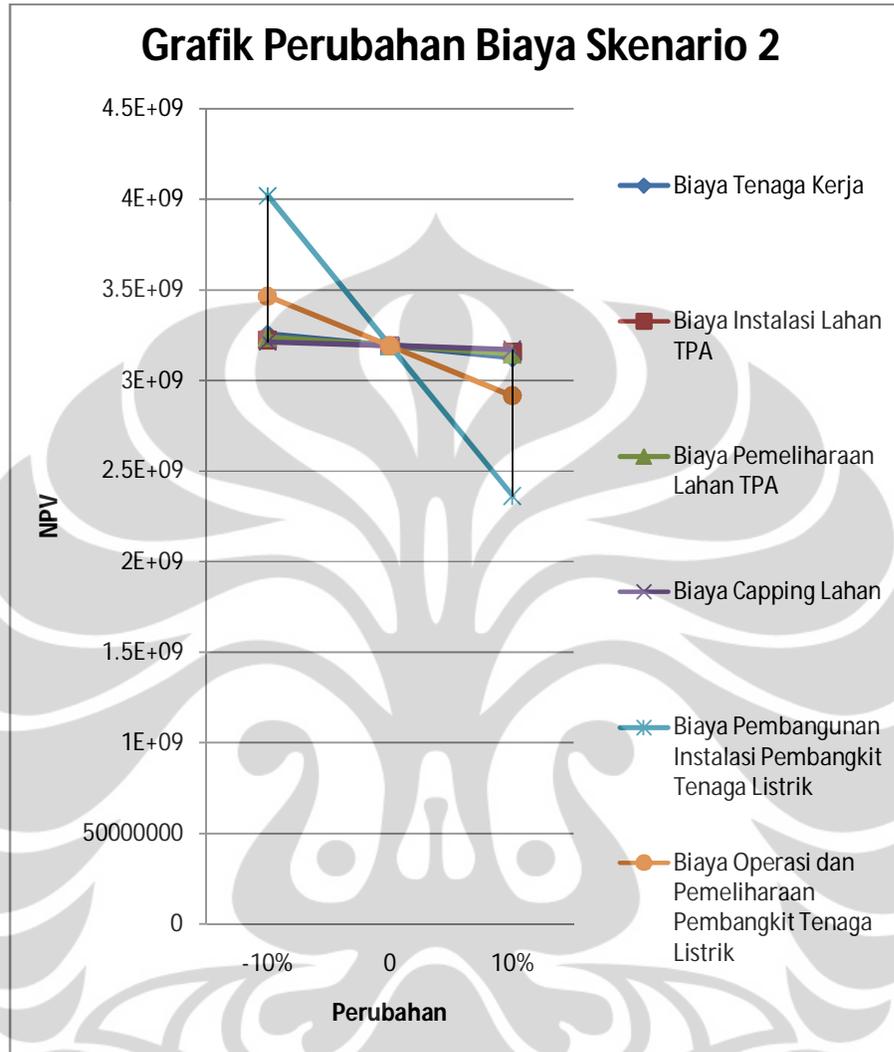
Untuk skenario 1, dari grafik tersebut terlihat bahwa biaya pembangunan instalasi fasilitas pemurnian memberikan dampak yang besar terhadap NPV. Hal ini disebabkan besarnya biaya untuk pembangunan instalasi pemurnian tersebut. Perubahan biaya sebesar 10 % menyebabkan perubahan NPV sebesar 32,2%. Dengan perubahan biaya yang sama, perubahan NPV terbesar diikuti dengan biaya perawatan bus sebesar 12%. Biaya-biaya terkait dengan kepentingan bus yang terlalu besar, menimbulkan alternatif untuk melakukan penjualan gas saja tanpa mempertimbangkan pemanfaatan selanjutnya. Hal ini akan lebih menghemat biaya yang dikeluarkan per tahun dari skenario ini.

Setelah diperoleh biaya yang paling berpengaruh terhadap NPV pada skenario 1 maka penulis melakukan analisis terhadap seberapa besar perubahan biaya pembangunan instalasi fasilitas pemurnian agar skenario ini tetap berjalan dengan NPV positif. Dari hasil analisis, diperoleh bahwa kenaikan biaya pembangunan instalasi fasilitas pemurnian tidak boleh melebihi 30% karena setelah itu NPV akan bernilai negatif.



**Gambar 4.4 Grafik Perubahan Biaya Instalasi Fasilitas Pemurnian**

Adapun analisis pengaruh biaya pada skenario 2 dapat dilihat sebagai berikut:

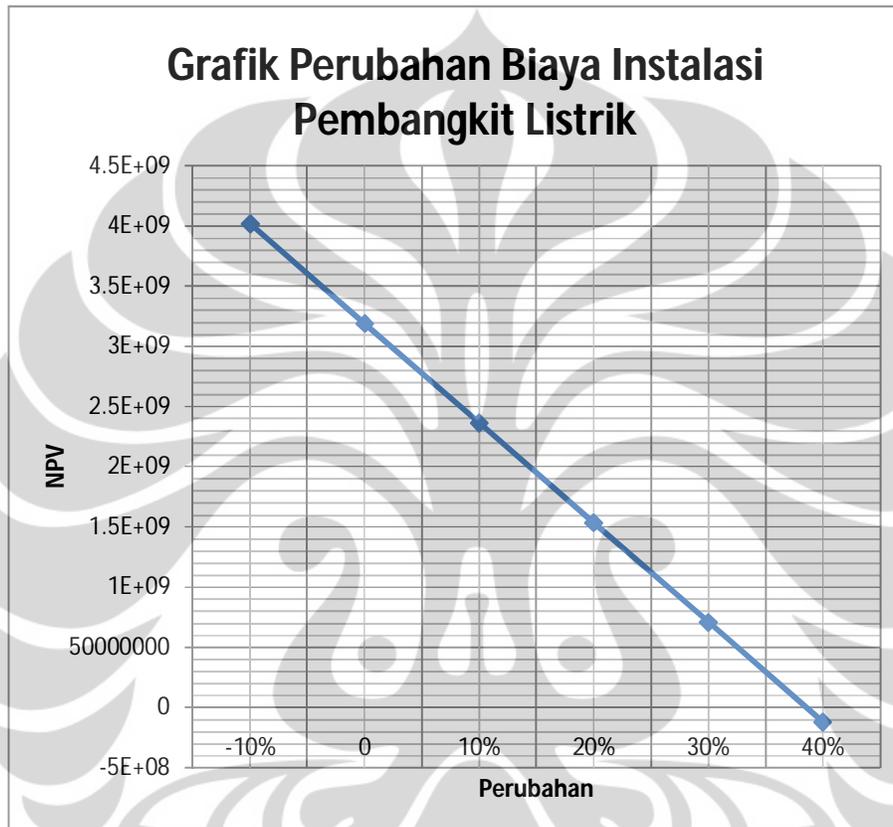


**Gambar 4.5 Pengaruh Faktor Biaya dalam Skenario 2**

Untuk skenario 2, dari grafik tersebut terlihat bahwa biaya pembangunan instalasi pembangkit tenaga listrik memberikan dampak yang besar terhadap NPV. Hal ini disebabkan besarnya biaya untuk pembangunan instalasi pembangkit tenaga listrik tersebut. Perubahan biaya sebesar 10% menyebabkan perubahan NPV sebesar 25,95%. Dengan perubahan biaya yang sama, perubahan NPV terbesar diikuti dengan biaya operasi dan pemeliharaan dari fasilitas pembangkit tenaga listrik sebesar 8%.

Setelah diperoleh biaya yang paling berpengaruh terhadap NPV pada skenario 2 maka penulis melakukan analisis terhadap seberapa besar perubahan

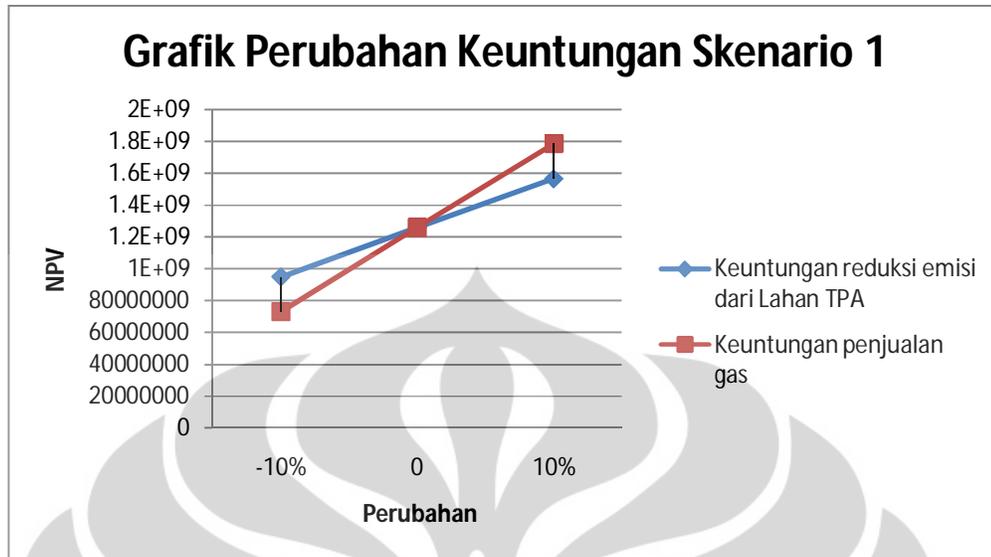
biaya pembangunan instalasi pembangkit tenaga listrik agar skenario ini tetap berjalan dengan NPV positif. Dari hasil analisis, diperoleh bahwa kenaikan biaya pembangunan instalasi pembangkit tenaga listrik tidak boleh melebihi 37% karena setelah itu NPV akan bernilai negatif.



**Gambar 4.6 Grafik Perubahan Biaya Instalasi Pembangkit Listrik**

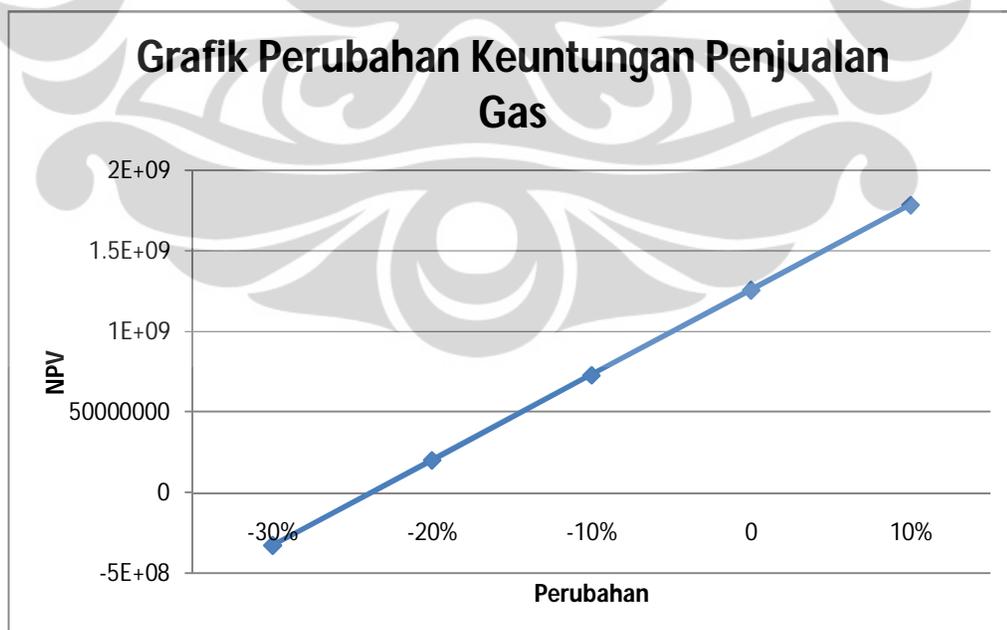
#### 4.2.3 Pengaruh faktor keuntungan terhadap skenario pemanfaatan gas lahan TPA

Faktor keuntungan merupakan salah satu faktor yang sangat berpengaruh dalam analisa suatu penanaman modal. Oleh karena itu dari kedua skenario yang memiliki nilai terbaik akan dianalisa mengenai keuntungan yang diperoleh dari masing-masing skenario.



**Gambar 4.7 Grafik Perubahan Keuntungan Skenario 1**

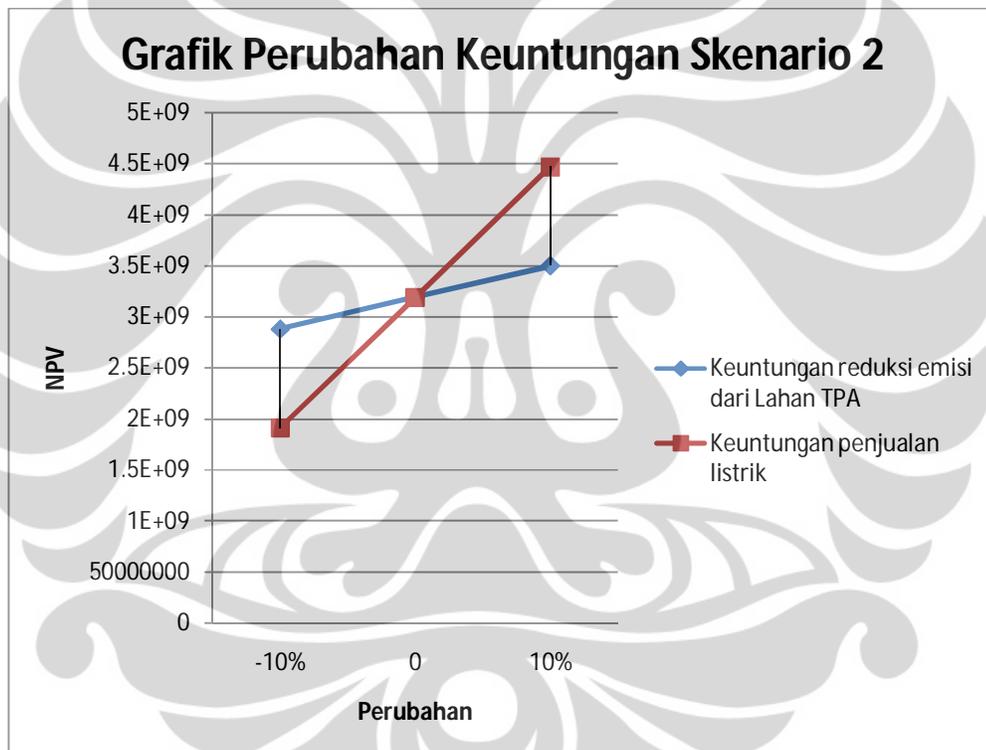
Dari grafik terlihat bahwa keuntungan dari penjualan gas memberikan perubahan yang lebih besar terhadap NPV, yaitu sebesar 41,95% dibanding keuntungan reduksi emisi dari lahan TPA yang hanya memberikan perubahan sebesar 24,60%. Setelah itu akan dianalisa seberapa besar penurunan penjualan gas dapat terjadi sehingga nilai dari skenario tersebut tetap positif.



**Gambar 4.8 Grafik Perubahan Keuntungan Penjualan Gas**

Dari grafik penurunan keuntungan penjualan gas, maka diperoleh penurunan penjualan gas tidak boleh lebih dari 24%. Hal ini berarti harga jual gas yang sebelumnya 3.100/liter tidak boleh mengalami penurunan lebih dari 24%.

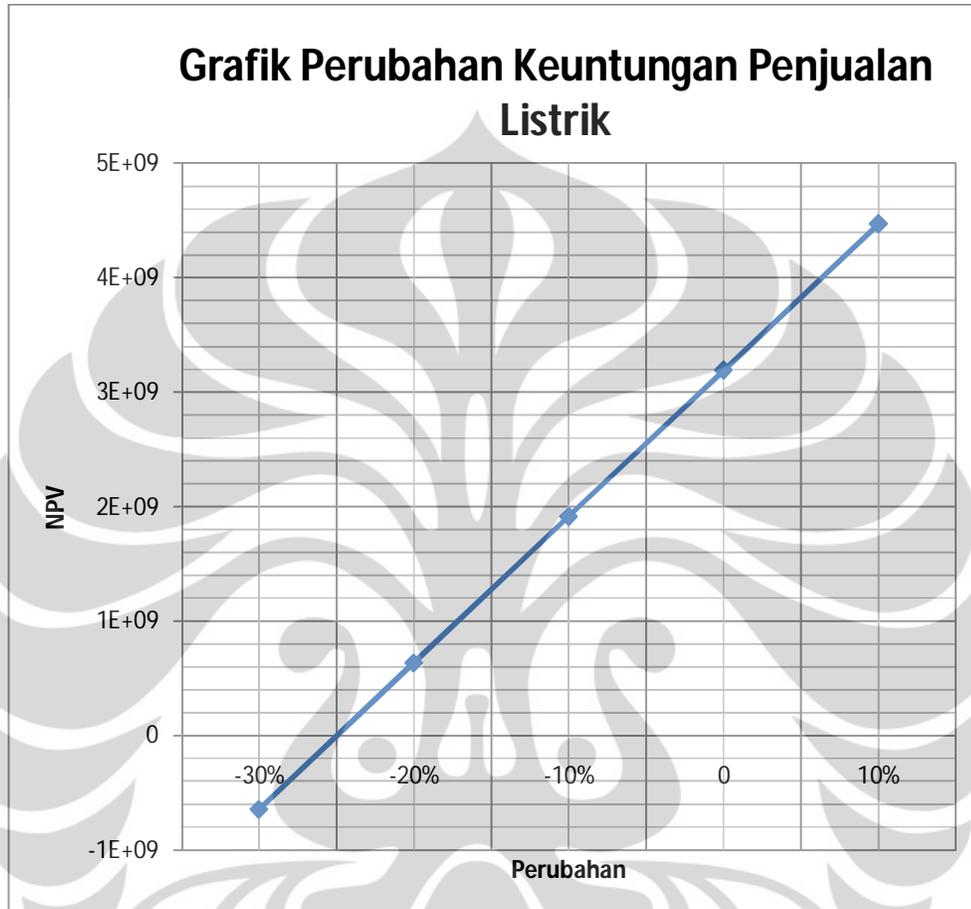
Kemudian dianalisis pula komponen keuntungan skenario 2 yang terdiri dari keuntungan reduksi emisi dari TPA dan keuntungan penjualan listrik. Dari analisis yang dilakukan maka diperoleh bahwa keuntungan penjualan listrik lebih berpengaruh dibanding keuntungan reduksi emisi dari TPA. Keuntungan penjualan listrik berpengaruh 40,05% terhadap NPV sedangkan reduksi emisi dari TPA hanya berpengaruh 9,69% terhadap NPV skenario 2.



**Gambar 4.9 Grafik Perubahan Keuntungan Skenario 2**

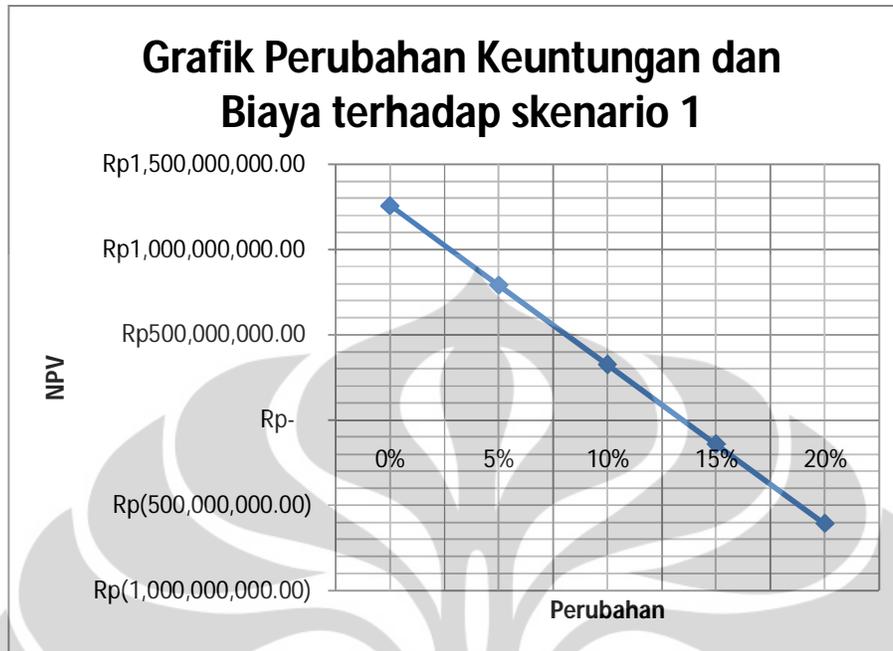
Setelah didapatkan keuntungan penjualan listrik merupakan komponen biaya yang lebih berpengaruh terhadap NPV skenario 2, maka dilakukan analisis terhadap keuntungan dari penjualan listrik. Terlihat dari grafik di bawah ini bahwa batas penurunan keuntungan penjualan listrik agar tetap menjadi skenario ini bernilai positif adalah tidak lebih dari 24,8%. Hal ini juga dapat berarti bahwa

tarid penjualan listrik yang sebelumnya dipakai 1.004/kwh menurut kebijakan pemerintah memiliki batas bawah nilai penjualan sebesar 760/kwh.



**Gambar 4.10 Grafik Perubahan Keuntungan Penjualan Listrik**

Setelah melakukan analisis komponen keuntungan dan biaya secara terpisah, maka kemudian dilakukan analisis terhadap 2 komponen yang saling berpengaruh ini secara bersamaan. Adapun hasil dari analisis terlihat dari grafik di bawah ini dimana pada skenario 1, dengan analisis terhadap biaya instalasi fasilitas pemurnian dan penjualan gas, secara bersamaan, kenaikan biaya dan penurunan keuntungan tidak boleh melebihi 13%. Sedangkan untuk skenario 2, dengan analisis terhadap biaya instalasi pembangkit listrik dan penjualan listrik, secara bersamaan, kenaikan biaya dan penurunan keuntungan tidak boleh melebihi 14,7% untuk mempertahankan nilai skenario tersebut tetap positif



**Gambar 4.11 Grafik Perubahan Biaya dan Keuntungan Skenario 1**



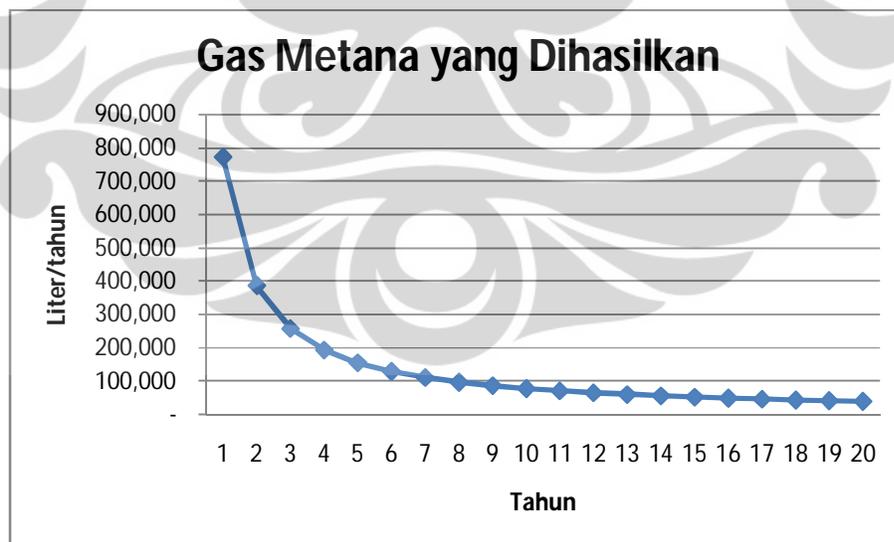
**Gambar 4.12 Grafik Perubahan Biaya dan Keuntungan Skenario 2**

### 4.3 Analisis Estimasi Perhitungan Gas Lahan TPA

Dari hasil analisa sensitivitas di atas untuk komponen biaya, biaya instalasi selalu menjadi biaya yang paling memberikan dampak terbesar pada proyek. Namun untuk kedua keuntungan sangat berpengaruh besar terhadap arus kas dari proyek. Apabila dilakukan penelusuran lebih lanjut, maka keuntungan akan sangat identik dengan gas yang dihasilkan dari TPA itu sendiri. Dalam hal ini maka penulis akan membahas mengenai estimasi menggunakan model EPA perhitungan gas yang dihasilkan.

$$Q_t = 2 * L_0 * m_0 * (e^{k * t_0} - 1) * e^{-k * t}$$

Dari rumusan ini, maka dapat terlihat bahwa  $L_0$  dan  $k$  merupakan faktor yang sulit untuk diubah mengingat jenis sampah dan karakteristik metan secara alami terbentuk. Oleh karena itu, dari rumusan ini diperoleh kesimpulan bahwa  $m_0$  yaitu rata rata jumlah sampah yang dikumpulkan di TPA per tahun sangat berpengaruh signifikan. Jumlah sampah yang dapat masuk itu sendiri dipengaruhi pula oleh luas lahan dari TPA itu sendiri. Dengan demikian, luas lahan dan jumlah sampah yang masuk menjadi faktor yang sangat signifikan dalam estimasi perhitungan gas metan yang dapat terkumpul dari suatu proyek lahan TPA.



Gambar 4.13 Grafik gas metana yang dihasilkan

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 KESIMPULAN

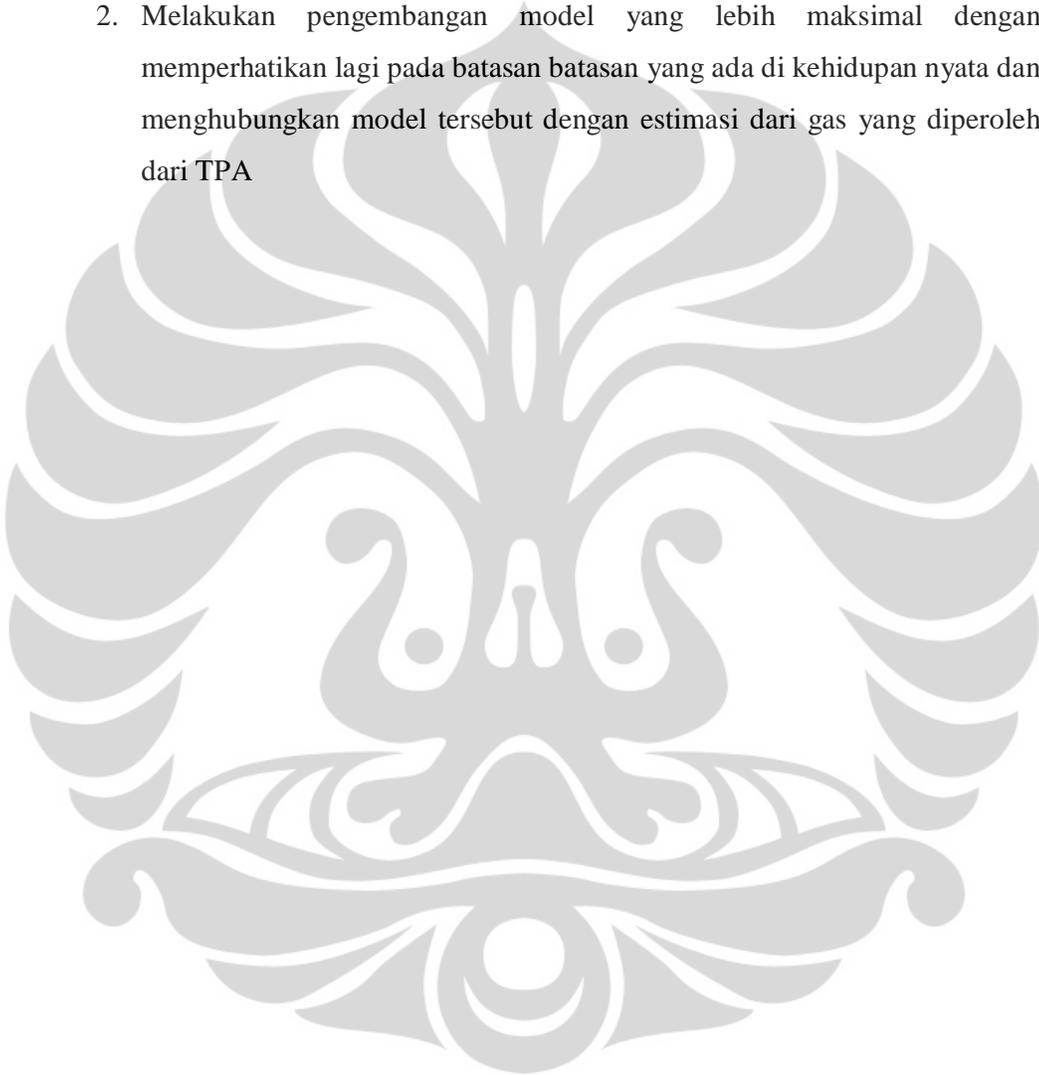
Setelah dilakukan analisa dan pengolahan data maka diperoleh kesimpulan bahwa :

1. Berdasarkan nilai NPV dari tiap skenario dan perbandingan dengan metode incremental IRR, penanaman modal lebih baik dilakukan untuk skenario 2 yaitu pemanfaatan sebagai pembangkit tenaga listrik dengan menggunakan mesin pembakaran internal, diikuti dengan skenario 1 yaitu pemanfaatan sebagai pengganti bahan bakar kendaraan
2. Berdasarkan model matematika yang telah dibuat, dengan adanya batasan mengenai modal dan keuntungan yang harus dihasilkan, penanaman modal lebih baik dialokasikan untuk skenario 1 yaitu pemanfaatan sebagai pengganti bahan bakar kendaraan dengan prinsip *lowerbound* terhadap biaya biaya yang harus dikeluarkan.
3. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, usia lahan berpengaruh berbeda terhadap 2 skenario yang memiliki nilai terbaik. Pada skenario 1, usia lahan memberikan dampak negatif pada NPV sedangkan pada skenario 2, usia lahan memberikan dampak positif pada NPV. Hal ini dapat berarti skenario 1 lebih cocok dijalankan untuk jangka yang lebih pendek sedangkan pada skenario 2 lebih cocok untuk dijalankan secara jangka panjang.
4. Berdasarkan analisis biaya yang telah dilakukan, biaya instalasi merupakan biaya yang paling berpengaruh terhadap NPV.
5. Berdasarkan analisis keuntungan yang telah dilakukan, keuntungan dari penjualan gas maupun penjualan listrik lebih berpengaruh besar terhadap NPV dibanding keuntungan dari reduksi emisi karbon dari TPA.

## 5.2 SARAN

Untuk mencapai hasil penelitian yang lebih baik, disarankan agar pada penelitian selanjutnya dilakukan hal hal sebagai berikut :

1. Memperhitungkan faktor kebijakan dari pemerintah dalam perhitungan biaya dan keuntungan pemanfaatan gas lahan TPA
2. Melakukan pengembangan model yang lebih maksimal dengan memperhatikan lagi pada batasan batasan yang ada di kehidupan nyata dan menghubungkan model tersebut dengan estimasi dari gas yang diperoleh dari TPA



## DAFTAR PUSTAKA

- Achmad Fauzan, Syamsul, *Disain converter kit Bensin –Gas untuk mesin 4 langkah 1 silinder*. Malang :UMM
- Anonymous. 2007. *Studi Kelayakan Proyek Gas Lahan TPA*. Makassar : Environmental Resource Management
- Canada, John R. and Sullivan, William G. 1996. *Capital Investment analysis for engineering and management*. New Jersey: Prentice Hall
- Chandra, B. 2007. *Pengantar Kesehatan Lingkungan*. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC
- Dainur, 1995. *Materi-Materi Pokok Ilmu Kesehatan Masyarakat*. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC
- Damanhuri, E. 1997. *Landfilling of Wastes in Indonesia*. ITB Bandung : EBARA
- Dhieta dan Subeki. N. 2007. *Perancangan Instalasi Penangkap Gas Landfill di TPA Supit Urang*. Malang: UMM
- EPA, 2010c. *Landfill Gas Energy Project Development Handbook*. Landfill Methane Outreach. Program (LMOP), Climate Change Division, U.S. EPA. January 2010. <http://epa.gov/lmop/publications-tools/handbook.html>
- Handono, Mulyo. 2010. *Model Pengelolaan TPA Sampah secara Berkelanjutan di TPA Cipayung Kota Depok – Jawa Barat*. Bogor : Diseertasi IPB
- Indartono, Y. S. 2005. *Reaktor Biogas Skala Kecil/Menengah*. Jepang: Artikel Iptek, ISTEK
- Jacobs. J and Maskan, W. 2006. *Landfill Management*. Malang: UMM
- Kementrian Lingkungan Hidup. 2007. *Status Lingkungan Hidup Indonesia*. Jakarta : Kementrian Lingkungan Hidup
- Ministry of Energy and Mineral Resources. 2010. *Handbook of Energy and Economic Statistic of Indonesia*. Jakarta : Center of Data and Information Ministry of Energy and Mineral Resources.

Siringoringo, Hotniar. 2005. *Seri Teknik Riset Operasional. Pemrograman Linear*. Yogyakarta: Penerbit Graha Ilmu.

Sudrajat. 2006. *Mengelola Sampah Kota*. Jakarta : Penabur Swadaya

Suprihatin. 2003. *Potensi Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca melalui Pengomposan Sampah di Wilayah Jabotabek*. Bogor : IPB

Widodo, Teguh Wikan. 2007. *Biogas untuk Generator Listrik Skala Rumah Tangga*. Jakarta: Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian

Taha, Hamdy. A. 1993. *Riset Operasi*. Jakarta : Binarupa Aksara

Tchobanoglous, G. Et.al. 1993. *Integrated Solid Waste Management*. United States: McGraw Hill Inc

Zietsman, Josias. 2009. *Pre-Feasibility Analysis for the Conversion of Landfill Gas to Liquefied Natural Gas to Fuel Refuse Trucks in India*. Texas : Texas Transportation Institute