



**ANALISIS PEMANFAATAN GAS  $CH_4$  LIMBAH SAMPAH MENJADI  
ENERGI LISTRIK DENGAN MENGGUNAKAN  
MIKROTURBIN GAS  
(Studi Kasus : TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR MUARA FAJAR 2  
KOTA PEKANBARU)**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi



Oleh :

**LUTHFAN RIFA'I**

**11655103559**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU  
PEKANBARU**

**2023**



**LEMBAR PERSETUJUAN**

**ANALISIS PEMANFAATAN GAS  $CH_4$  LIMBAH SAMPAH MENJADI  
ENERGI LISTRIK DENGAN MENGGUNAKAN  
MIKROTURBIN GAS**

**TUGAS AKHIR**

Oleh :

**LUTHEAN RIFA'I**  
**11655103559**

Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Prodi Teknik Elektro di Pekanbaru, pada tanggal 14 Juli 2023

**Ketua Program Studi**

**Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T.**  
**NIP. 19721021 200604 2 001**

**Pembimbing I**

**Novi Gusnita S.T., M.T.**  
**NIP. 19770803 201101 2 002**

**UIN SUSKA RIAU**

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mempublikasikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISIS PEMANFAATAN GAS CH<sub>4</sub> LIMBAH SAMPAH MENJADI  
ENERGI LISTRIK DENGAN MENGGUNAKAN  
MIKROTURBIN GAS**

**TUGAS AKHIR**

Oleh :

**LUTHEAN RIFA'I**  
**11655103559**

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik  
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau  
di Pekanbaru, pada tanggal 14 Juli 2023

Pekanbaru, 14 Juli 2023

Mengesahkan,



**Dr. Hartono, M.Pd.**  
**NIP:19640301 199203 1 003**

**Ketua Program Studi**

**Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T.**  
**NIP:19721021 200604 2 001**

**DEWAN PENGUJI :**

**Ketua : Sutoyo, S.T., M.T.**

**Sekretaris I : Novi Gusnita S.T., M.T.**

**Anggota I : Dr. Liliana, S.T., M.Eng.**

**Anggota II : Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T.**

UIN SUSKA RIAU

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau adalah terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta pada penulis. Referensi kepustakaan di perkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya. Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.

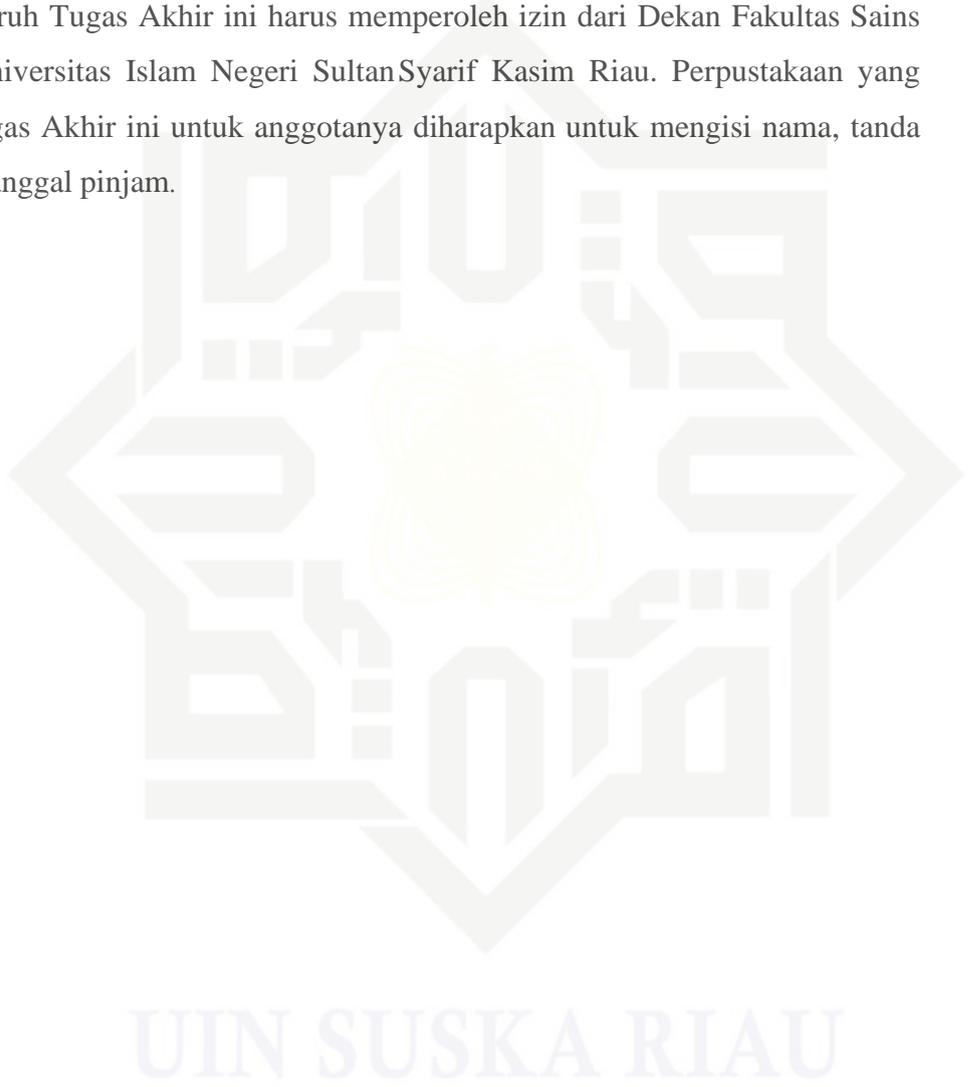
© Hak Cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta dilindungi undang-undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang meminumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali disebutkan dalam referensi dan di dalam daftar pustaka.

Saya bersedia menerima sanksi jika pernyataan ini tidak sesuai dengan yang sebenarnya.

Pekanbaru, 20 Juli 2023  
Yang membuat pernyataan,



Luthfan Rifa'i  
NIM. Y1655103559

UIN SUSKA RIAU

### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang*

*Barang siapa Yang menghendaki kehidupan dunia, maka wajib baginya berilmu, dan barangsiapa yang menghendaki kehidupan akhirat, maka wajib baginya berilmu, dan barang siapa yang menghendaki keduanya, maka wajib baginya berilmu.*

**(HR. Tirmidzi)**

**Terima Kasih Ya Allah...**

Sembah sujud serta syukurku kepada-Mu ya Allah, zat yang Maha Pengasih namuntak pernah pilih kasih dan Maha Penyayang yang kasih sayang-Nya tak terbilang. Engkau zat yang Maha membolak-balikkan hati, teguhkanlah hati ini di atas agama-Mu ya Allah. Lantunan sholawat beriring salam penggugah hati dan jiwa, menjadi persembahan penuh kerinduan pada sosok panutan umat, pembangun peradaban manusia yang beradab Nabi Besar Muhammad SAW.

*Niscaya Allah akan mengangkat (derajat) orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu beberapa derajat.*

**(QS: Al-Mujadilah 11)**

Ku persembahkan karya ini untuk Ayahanda tercinta, sosok pejuang dalam hidupku yang tak pernah mengenal kata lelah apalagi mengeluh serta Ibunda tersayang, malaikat tanpa sayap dalam hidupku yang tak kenal waktu siang dan malam selalu menjaga dan melindungi hingga aku bisa sampai seperti sekarang ini, Adik-adik tercinta, seluruh keluarga serta sahabat dan seluruh keluarga besar teknik elektro UIN SUSKA RIAU yang doanya senantiasa mengiringi setiap derap langkahku dalam meniti kesuksesan.

*Dan katakanlah: "Ya Tuhan-ku, masukkan aku ketempat masuk yang benar dan keluarkanlah (pula) aku ketempat keluar yang benar dan berilah aku disisi-Mu kekuasaan yang dapat menolongku."*

**(QS: Al-Isra 80)**

**| Luthfan Rifa'i |**

**| 14 Juli 2023 |**

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



# ANALISIS PEMANFAATAN GAS $CH_4$ LIMBAH SAMPAH MENJADI ENERGI LISTRIK DENGAN MENGGUNAKAN

## MIKROTURBIN GAS

(Studi Kasus : TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR MUARA FAJAR 2 KOTA PEKANBARU)

LUTHFAN RIFA'I

11655103559

Tanggal Sidang : 14 Juli 2023

Program Studi Teknik Elektro Teknik ElektroFakultas  
Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim RiauJl.  
Soebrantas No. 155 Pekanbaru

### ABSTRAK

Kebutuhan masyarakat akan energi listrik yang tinggi menyebabkan tidak seimbangnya antara permintaan dengan ketersediaan energi listrik sehingga terjadinya peningkatan permintaan energi listrik. Oleh karena itu masyarakat memerlukan energi alternatif yang bisa menghasilkan energi listrik yang ramah lingkungan. Seperti sampah menjadi salah satu potensi sumber energi yang cukup banyak tersedia di Indonesia khususnya kota Pekanbaru. Hal ini diperlukan sebuah pembangkit listrik yang menggunakan limbah sampah dari TPA Muara Fajar 2 agar sampah dapat dikelola dengan baik yang pembangkit listrik ini menggunakan sampah sebagai bahan baku karena sampah dapat menghasilkan gas metana, sehingga dapat menghasilkan energi listrik yang menggunakan metode mikroturbin gas yang mana gas metana adalah sebagai bahan bakar pembangkit listrik. Berdasarkan tinjauan kandungan emisi dan potensi sampah Provinsi Riau, Kota Pekanbaru akan terus memproduksi sampah yang cukup banyak hingga pada puncaknya pada tahun 2032 diproyeksikan 408.163,24 ton/tahun. Berdasarkan analisa hasil dari penelitian perhitungan manual proses sanitary landfill untuk menghitung kadar gas metana dan perhitungan siklus brayton mikroturbin gas dengan berdasarkan hukum termodinamika pertama dan kedua. dapat diketahui potensi energi listrik dari limbah tempat pembuangan akhir adalah 272.927,20 kwh/tahun dengan efisiensi termal yaitu 28,8% dengan menggunakan bahan bakar gas metan sebanyak  $29.065,73m^3/tahun$ . Yang mana penggunaan mikroturbin tersebut lebih ramah lingkungan dan pengolahannya lebih sederhana dan kinerja Mikroturbin gas yaitu 6.845,16 kJ/s dan temperatur keluaran turbin yaitu sebesar 1.377,06 K, maka Daya Netto siklus pembangkitan mikroturbin gas 4.473,83 kJ/s.

**Kata kunci:** TPA, Mikroturbin, metana, termodinamika, sanitary landfill

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



**ANALYSIS OF WASTE CH<sub>4</sub> GAS UTILIZATION INTO ELECTRICAL ENERGY USING A GAS MICROTURBINE**  
**(Case Study: MUARA FAJAR 2 WASTE DISPOSAL PLACE, PEKANBARU CITY)**

**LUTHFAN RIFA'I**

**11655103559**

*Date of Final Exam : July 14<sup>th</sup>, 2023*

*Department of Electrical  
Engineering Faculty of Science of  
Technology*

*State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau  
Soebrantas St. Number. 155 Pekanbaru*

**ABSTRACT**

*The community's need for high electrical energy causes an imbalance between demand with the availability of electrical energy so that there is an increase in demand for electrical energy. Therefore, people need alternative energy that can produce electrical energy that is environmentally friendly. As waste becomes one of the potential energy sources that are quite widely available in Indonesia, especially the city of Pekanbaru. This requires a power plant that uses waste from Muara Fajar 2 landfill so that waste can be managed properly. This power plant uses waste as raw material because waste can produce methane gas, so that it can produce electrical energy using the gas microturbine method where methane gas is as a power plant fuel. Based on a review of the emission content and waste potential of Riau Province, Pekanbaru City will continue to produce quite a lot of waste until the peak in 2032 is projected to be 408,163.24 tons / year. Based on the analysis of the results of the study of manual calculation of the sanitary landfill process to calculate methane gas content and calculation of the brayton cycle of gas microturbines based on the first and second laws of thermodynamics. it can be seen that the potential electrical energy from landfill waste is 272,927.20 kwh/year with a thermal efficiency of 28.8% by using methane gas fuel as much as 29,065.73 m<sup>3</sup>/year. Where the use of the microturbine is more environmentally friendly and the processing is simpler and the performance of the gas microturbine is 6,845.16 kJ/s and the turbine output temperature is 1,377.06 K, the Net Power of the gas microturbine generation cycle is 4,473.83 kJ/s.*

**Key words:** Landfill, microturbine, methane, thermodynamics, sanitary landfill

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT, yang telah mencurahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam juga penulis haturkan kepada baginda Rasulullah SAW, sebagai seorang sosok pemimpin dan suri tauladan bagi seluruh umat di dunia yang patut di contoh dan di teladani bagi kita semua. Atas ridho Allah SWT penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul **“Analisis pemanfaatan Limbah Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru Menjadi Energi Listrik Dengan Metode Mikroturbin Gas”**. Melalui proses bimbingan dan pengarahan yang disumbangkan oleh orang-orang yang berpengetahuan, dorongan, motivasi, dan juga do'a orang-orang yang ada disekeliling penulis sehingga penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan penuh kesederhanaan. Sudah menjadi ketentuan bagi setiap Mahasiswa yang ingin menyelesaikan studinya pada perguruan tinggi UIN SUSKA Riau harus membuat karya ilmiah berupa Tugas Akhir guna mencapai gelar sarjana.

Oleh sebab itu sudah sewajarnya penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Maiyus aung, Mamak Titi anidar alhusaini, Abang Ludfi Maulana, Adik-adik Fajri Rahmayuda dan Isra Nabira Augti dan keluarga tercinta yang telah memberikan semangat, dukungan moril maupun materil dan doa kepada penulis serta keluarga besar penulis yang selalu mendoakan penulis.
2. Bapak Prof. Dr. KH. Hairunas, M.Ag, selaku rektor UIN SUSKA RIAU.
3. Bapak Dr. Hartono M.Pd selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA RIAU beserta kepada seluruh Pembantu Dekan, Staf dan jajarannya.
4. Ibu Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T selaku ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau.
5. Novi Gusnita, S.T., M.T selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu serta pemikirannya dengan ikhlas dalam memberikan penjelasan dan masukan yang sangat berguna sehingga penulis menjadi lebih mengerti dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Ibu Dr. Liliana, S.T., M.Eng dan Ibu Zulfatri Aini, S.T., M.T selaku dosen penguji yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran yang sangat membangun terhadap penulis.
7. Ibu Oktaf Brillian Kharisma, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Akademik selama perkuliahan penulis dari semester 1 hingga akhir semester.
8. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan bimbingan dan curahan ilmu kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Tugas Akhir ini.

9. KKN Desa Selat Panjang yang telah memberikan dukungan, dorongan, dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
10. Energi 2016 serta teman-teman angkatan 2016 lainnya yang juga telah memberikan banyak dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini serta teman-teman penulis lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dan memberi dorongan, motivasi dan sumbangan pemikiran dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
11. Support system terbaik seperjuangan serta keluarga besar Lokal B teknik elektro 16, Mufadhdhal musyari, Rifki aulia, Dio alam pratama, Alif ramadan, Zulkifli, Rofiq Khairullah, M. Akbar dan Tralala miaw serta orang-orang hebat yang telah memberikan dukungan dan waktunya agar memotivasi dalam pengerjaan Tugas akhir ini, terima kasih atas bantuannya

Semoga bantuan yang telah diberikan baik moril maupun materil mendapat balasan pahala dari Allah SWT, dan sebuah harapan dari penulis semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembaca semua pada umumnya.

Semua kekurangan hanya datang dari penulis dan kesempurnaan hanya milik Allah SWT, hal ini yang membuat penulis menyadari bahwa dalam pembuatan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan kemampuan, pengalaman, dan pengetahuan penulis. Untuk itu penulis mengharap kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat positif dan membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Pekanbaru, 14 Juli 2023

Yang membuat pernyataan,

**Luthfan Rifa'i**  
**NIM. 11655103559**



## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PERSETUJUAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR HAK ATAS KELAYAKAN INTELEKTUAL.....</b>	<b>iv</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN.....</b>	<b>v</b>
<b>LEMBAR PERSEMBAHAN.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>viii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR RUMUS.....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB I .....</b>	<b>I-1</b>
<b>11 Latar Belakang.....</b>	<b>I-1</b>
<b>12 Rumusan Masalah .....</b>	<b>I-4</b>
<b>13 Tujuan Penelitian.....</b>	<b>I-4</b>
<b>14 Batasan Masalah .....</b>	<b>I-4</b>
<b>15 Manfaat Penelitian.....</b>	<b>I-4</b>
<b>BAB II.....</b>	<b>II-1</b>
<b>2.1 Penelitian Terkait .....</b>	<b>II-1</b>
<b>2.2 Pengetian Sampah.....</b>	<b>II-3</b>
<b>2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Sampah .....</b>	<b>II-4</b>
<b>2.3.1. Incinerator.....</b>	<b>II-4</b>

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mempublikasikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.


**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.3.2.	Gasifikasi .....	II-4
2.3.3.	Sanitary landfill .....	II-5
2.4	Mikro Turbin Gas.....	II-5
2.5	Perhitungan emisi gas CH <sub>4</sub> .....	II-6
2.6	Siklus Mikro Turbin Gas .....	II-7
2.7	Hukum Termodinamika.....	II-11
2.7.1	Hukum ke I Termodinamika.....	II-11
2.7.2	Hukum ke II Termodinamika .....	II-12
2.7.3	Hukum ke II Termodinamika .....	II-12
2.8	Potensi Pemanfaatan Limbah Sampah Kota .....	II-13
2.9	PLTSa Menggunakan Mikroturbin Gas .....	II-14
2.9.1	Anaerobik Digester .....	II-15
2.9.2	Kompresor .....	II-16
2.9.3	Kalor ruang bakar.....	II-16
2.9.4	Turbin.....	II-17
2.9.5	Generator .....	II-17
2.9.6	Efisiensi PLTSa.....	II-18
<b>BAB III</b>	.....	<b>III-1</b>
3.1.	Jenis Penelitian.....	III-1
3.2.	Proses Alur Penelitian .....	III-1
3.3.	Identifikasi Masalah .....	III-4
3.4.	Studi Literatur .....	III-4
3.5.	Pemilihan Lokasi.....	III-4
3.6.	Pengumpulan Data .....	III-5
3.7.	Menghitung gas metana yang dihasilkan dari sampah TPA .....	III-9
3.8.	Perhitungan potensi sampah menjadi energi listrik.....	III-9



3.9.	Perhitungan Performa PLTSa Menggunakan Mikroturbin Gas.....	III-9
3.10.	Perhitungan daya output yang dihasilkan PLTSa menggunakan Mikroturbin gas .....	III-10
3.11.	Analisis Hasil Perhitungan .....	III-10
3.12.	Kesimpulan dan Saran .....	III-10
<b>BAB IV</b>	.....	<b>IV-1</b>
4.1.	Perhitungan Produksi Gas Metana TPA Muara Fajar Tahun 2022 .....	IV-1
4.2.	Perhitungan Potensi Sampah TPA Menjadi Energi Listrik.....	IV-2
4.3.	Perhitungan Performa PLTSa Menggunakan Mikro Turbin Gas .....	IV-3
4.3.1.	Perhitungan Kinerja Kompresor .....	IV-3
4.3.2.	Kalor Ruang Bakar .....	IV-5
4.3.3.	Perhitungan Kinerja Turbin .....	IV-7
4.4	Perhitungan daya output yang dihasilkan PLTSa Menggunakan Mikroturbin Gas.....	IV-9
4.4.1.	Daya Output Mikroturbin Gas .....	IV-9
4.4.2.	Efisiensi PLTSa.....	IV-9
<b>BAB V</b>	.....	<b>V-1</b>
5.1.	Kesimpulan.....	V-1
5.2.	Saran .....	V-1
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	<b>vii-7</b>

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	<b>Gambar Mikroturbin gas.....</b>	<b>II-5</b>
<b>Gambar 2.2</b>	<b>Sistem turbin gas dengan siklus brayton sederhana .....</b>	<b>II-7</b>
<b>Gambar 2.3</b>	<b>Diagram P-V dan T-S Siklus Brayton.....</b>	<b>II-11</b>
<b>Gambar 2.4</b>	<b>Skema Rangkaian PLTSa menggunakan turbin gas .....</b>	<b>II-14</b>
<b>Gambar 2.5</b>	<b>Siklus anaerobik digester.....</b>	<b>II-15</b>

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mempublikasikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





**DAFTAR RUMUS**

Persamaan 2.1 Emisi gas metana..... II-6

Persamaan 2.2 Potensi pembentukan gas ..... II-6

Persamaan 2.3 Perhitungan kandungan  $CH_4$  ..... II-6

Persamaan 2.4 Efisiensi turbin ..... II-8

Persamaan 2.5 Kerja aktual turbin..... II-8

Persamaan 2.6 Kerja turbin ideal..... II-8

Persamaan 2.7 Suhu gas aktual turbin ..... II-8

Persamaan 2.8 Panas aktual masuk ruang bakar ..... II-9

Persamaan 2.9 Kerja kompressor ..... II-9

Persamaan 2.10 Kalor ruang bakar..... II-10

Persamaan 2.11 Kerja mikroturbin gas ..... II-10

Persamaan 2.12 Hukum pertama termodinamika..... II-12

Persamaan 2.13 Potensi pembangkitan mikroturbin gas ..... II-13

Persamaan 2.14 Keluaran kompressor ..... II-16

Persamaan 2.15 Laju massa keluaran ruang bakar ..... II-16

Persamaan 2.16 Temperatur keluaran ruang bakar ..... II-17

Persamaan 2.17 Efisiensi kalor ruang bakar ..... II-17

Persamaan 2.18 Nilai entalpi keluaran turbin..... II-17

Persamaan 2.19 Energi keluaran PLTSa ..... II-18

Persamaan 2.20 Efisiensi PLTSa..... II-19

Hak cipta dilindungi undang-undang  
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mempublikasikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Data jumlah sampah .....	III-5
Tabel 3.2	Data komposisi sampah.....	III-5
Tabel 3.3	Data kandungan DOC dan DOCf sampah.....	III-6
Tabel 3.4	Emisi gas metana TPA .....	III-6
Tabel 3.5	Komponen utama biogas .....	III-7
Tabel 3.6	Nilai kalor biogas .....	III-7
Tabel 3.7	Data mikrotubin gas .....	III-7

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Angka Permintaan energi di Indonesia mengalami peningkatan tiap tahunnya hingga mencapai angka 6.9% pertahun. Yang mana untuk memenuhi kebutuhan akan konsumsi energi listrik harus diimbangi dengan pembangunan kapasitas pembangkit sekitar 8,5 GW pertahun. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menargetkan bahwa energi baru terbarukan harus menjadi salah satu penyangga pasokan energi nasional pada angka 28% pada tahun 2038. Untuk mencapai target ini tentu harus didukung dengan perencanaan dan studi kajian yang layak dalam upaya mengurangi ketergantungan pada energi konvensional[1].

Undang – Undang no. 18 Tahun 2008 mengatur tentang pengelolaan sampah domestik skala nasional. Peraturan ini menjelaskan pengertian Sampah adalah sisa kegiatan sehari – hari manusia dan atau proses alam yang berbentuk padat, Adapun yang termasuk sampah yakni, sampah sejenis sampah rumah tangga, dan sampah spesifik. Peraturan UU 18/2008 membagi pengelolaan sampah domestik menjadi dua bagian, yakni pengurangan dan penanganan sampah. Pengurangan sampah yang dimaksud meliputi kegiatan 3R (*reduce, reuse, recycle*) pada berbagai sumber sampah seperti rumah tangga, komersial, fasilitas umum, dan sebagainya. Sedangkan penanganan sampah meliputi kegiatan pengumpulan dan pengangkutan ke TPA, pengolahan sampah (*intermediate treatment*), *energy recovery*, dan pembuangan akhir.[2]

Sampah menjadi salah satu potensi sumber energi yang jumlahnya masih cukup banyak tersedia di Indonesia. Tercatat menurut Sistem Informasi Pengelola Sampah Nasional (SIPSN) pada tahun 2021 Indonesia memiliki timbunan sampah nasional sebesar 28.696.562,43 ton/tahun yang mampu dimanfaatkan kembali sebesar 64,32%. Artinya masih tersisa peluang pemanfaatan sebesar 35.68% atau setara 10.238.712,15 ton/tahunnya di Indonesia[3].

Provinsi Riau menjadi salah satu Provinsi penyumbang angka timbunan sampah terbesar di Indonesia dengan total timbunan 883.812,77 ton/ tahun pada tahun yang sama, angka ini diproyeksikan akan terus mengalami peningkatan hingga pada puncaknya pada tahun 2049 mencapai 1.242.561,13 ton/ tahun. Dari total angka tersebut, Kota Pekanbaru merupakan penyumbang terbesar yaitu 356.503,67 ton/tahun.[3] [4]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Berdasarkan tinjauan kandungan emisi dan potensi sampah Provinsi Riau, Kota Pekanbaru akan terus memproduksi sampah yang cukup banyak hingga pada puncaknya pada tahun 2032 diproyeksikan 408.163,24 ton/tahun dengan angka emisi gas metana mencapai 19.831 Mg/tahun atau setara dengan volume metana  $26.461.357 m^3$ / tahun. Hal ini jika terus dibiarkan, dikhawatirkan akan menjadi masalah serius kedepannya karena gas metana menjadi salah satu penyumbang terbesar dalam efek *global warming*[4].

Seluruh sampah yang dihasilkan di Kota Pekanbaru, diangkut dan dibawa ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Muara Fajar yang memiliki lahan 6,12 Ha sebagai lahan timbunan.

Metode yang digunakan TPA Muara Fajar dalam pengolahan sampah adalah *Sanitary Landfill*. Sampah yang mengering setelah proses ini kemudian di pilah sesuai jenisnya dan dijual ke perusahaan pengolah limbah. Kebijakan ini diatur oleh Perda Kota Pekanbaru No. 8/2014 tentang pengolahan sampah. Dari total produksi sampah TPA sebesar 356.503,67, sekitar 280.000 ton dapat dimanfaatkan kembali pada tahun 2021. Sementara sisanya dibakar untuk mengurangi area timbunan sampah. [4][20]

Limbah dari proses timbunan atau disebut air lindi dibiarkan menyerap ke tanah. Saat ini TPA Muara Fajar belum memiliki metode pengolahan air lindi. Air lindi merupakan cairan yang memiliki kandungan gas 60%  $CH_4$ , lebih dari 36%  $CO_2$ , 3%  $H_2S$ , dan sisanya kandungan Hidrogen.[4]

Terdapat tiga metode pengolahan sampah menjadi energi yang belakangan mulai gencar dilakukan peninjauan. Yaitu pemanfaatan sampah menggunakan generator konvensional yang dilakukan dengan metode *pirolisis*, pemanfaatan sampah menjadi energi listrik menggunakan pengolahan PLTSa (Pembangkit listrik tenaga sampah), dan pemanfaatan sampah menggunakan siklus *Sanitary Landfill* yang dilakukan dengan metode mikroturbin gas[5].

Perbedaan dasar dari ketiga metode diatas adalah penggunaan generator dan PLTSa (Pembangkit Listrik Tenaga Sampah) masih memiliki emisi pembuangan dari sisa pembakaran sampah, sementara penggunaan mikroturbin gas lebih menekan kadar buangan emisi gas metana dengan memanfaatkan air lindi sehingga lebih ramah lingkungan. Namun kelebihan dari penggunaan generator dan PLTSa (Pembangkit listrik tenaga sampah) adalah pengolahannya lebih sederhana dan biaya operasional cenderung lebih murah. Sementara pada penggunaan mikroturbin gas biaya



#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

pengoperasian cukup mahal karena pengolahan sampah melalui proses yang cukup rumit namun mampu menghasilkan daya *output* energi listrik lebih banyak dan lebih ramah lingkungan dari metode lainnya[6].

Pengolahan sampah menjadi energi listrik dengan menggunakan mikroturbin gas dimulai dari beberapa tahapan. Langkah pertama adalah proses *pre-treatment*, yaitu proses pengeringan dengan cara dijemur untuk mengurangi kadar air sampah. Lalu dilakukan proses *sanitary landfill*. Yaitu proses pelepasan gas metana dengan cara mengendapkan sampah yang sudah diolah kedalam tanah selama beberapa hari. Setelah dilakukan proses *sanitary landfill* lalu kadar gas metana yang dihasilkan dimanfaatkan untuk membangkitkan energi listrik menggunakan mikroturbin gas. Salah satu kelebihan Mikroturbin gas adalah alat ini mampu menghasilkan energi listrik dengan kadar gas yang rendah dibandingkan PLTG. Tidak hanya itu, gas buang sisa pembangkitan dimanfaatkan kembali untuk menambahkan kalor pada ruang bakar. Hal ini yang menyebabkan mikroturbin gas memiliki efisiensi penggunaan lebih tinggi dari pada PLTG dan cenderung rendah emisi[7].

Pada dasarnya mikroturbin *gas* bekerja berdasarkan siklus brayton namun diberikan penambahan *recuperator* yang terhubung antara *funnel* pembuangan gas produksi dengan *combustion chamber*. *Recuperator* adalah alat yang bekerja memindahkan kalor gas pembuangan kedalam *combustion chamber* dengan cara menyaringnya. Kandungan gas metana yang diinjeksikan kemudian akan tercampur dari sisa pembakaran sempurna gas buangan sehingga pada siklus operasi berikutnya proses pembangkitan hanya membutuhkan lebih sedikit bahan bakar untuk membangkitkan listrik dengan daya *output* yang sama[8].

Penelitian ini akan melakukan analisis perhitungan mulai dari pengolahan sampah pada proses *pre-treatment* dengan perhitungan manual matematis, perhitungan kadar gas metana dari proses *sanitary landfill* dan perhitungan siklus *brayton* mikroturbin gas dengan berdasarkan hukum termodinamika pertama dan kedua.

Berdasarkan paparan diatas, untuk mendukung upaya peningkatan penggunaan energi terbarukan dan pengkajian teknologi pembangkitan yang ramah lingkungan, penulis tertarik mengangkat penelitian yang berjudul “**Analisis pemanfaatan Limbah Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru Menjadi Energi Listrik Dengan Metode Mikroturbin Gas**”. Dengan adanya penelitian ini



diharapkan dapat membantu pemerintahan mengatasi krisis energi di masa mendatang dengan teknologi pembangkitan yang ramah lingkungan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berikut rumusan masalah pada penelitian ini:

1. Seberapa besar potensi energi listrik dari limbah Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Muara Fajar 2 kota pekanbaru?
2. Bagaimanakah menganalisis perhitungan Mikroturbin gas?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui potensi energi listrik dari limbah Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Muara Fajar 2 kota pekanbaru.
2. Mengetahui analisis perhitungan Mikroturbin gas.

## 1.4 Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mikroturbin gas yang digunakan adalah seri C370 CHP Mikroturbin.
2. Mikroturbin gas bekerja dengan bahan bakar gas metana (CH<sub>4</sub>).
3. Proses termodinamika di asumsikan bekerja secara *stasioner*.
4. Dalam penelitian, variabel yang dibutuhkan adalah tekanan, laju massa, temperatur, dan nilai fraksi uap yang didapat dari perhitungan matematis serta ketentuan dari *table termodinamic properties*.
5. Gas metana yang dihasilkan dari proses *sanitary landfill* diasumsikan mampu dimanfaatkan seluruhnya.
6. *Sanitary landfill* diasumsikan bekerja pada suhu lingkungan 30°C.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai referensi tambahan bagi peneliti selanjutnya.
2. Menghasilkan analisis pemanfaatan sampah kota menjadi energi listrik.
3. Dapat direkomendasikan sebagai salah satu metode pemanfaatan sampah yang ramah lingkungan di Provinsi Riau.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terkait

Dalam penelitian ini dilakukan studi literatur yang merupakan proses penambahan referensi dan teori yang didapat dari jurnal, *e-book*, dan sumber kredibel lainnya. Berikut merupakan beberapa penelitian terkait yang sudah dilakukan oleh peneliti sebelumnya

Penelitian yang berjudul “*A Gas Micro Turbine Hybrid Vehicle*” yang ditulis oleh C.R. Raja Vignesh. Penelitian ini merupakan studi kelayakan penggunaan mikroturbin bertekanan rendah pada kendaraan bermotor. Penelitian ini menggunakan mikroturbin gas sebagai pengganti *combustion chamber* serta mengganti peran aki motor menggunakan bantuan baterai. Metode ini dikenal dengan istilah *Turbine-Recharging Electric Vehisel (TREV)*. Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan kajian teknis dan ekonomis dari penggunaan *microturbine* pada kendaraan bermotor. Hasil yang didapat adalah mikroturbin bertekanan rendah mampu memenuhi beban kerja sepeda motor dengan dengan kapasitas 30kW dan energi yang dikonsumsi baterai sebesar 10kW. Selain itu metode ini mampu mengurangi emisi kandungan karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) bahan bakar kendaraan sebesar 59% dan Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>) sebesar 95%. Ini disebabkan karena bahan bakar kendaraan tidak lagi menggunakan minyak melainkan netural gas. Pada salah satu kesimpulan didapat bahwa penggunaan mikroturbin gas memungkinkan untuk dikembangkan pada pengoperasian bertekanan tinggi[9].

Penelitian yang berjudul “Implementasi pembangkit listrik tenaga sampah (Pltsa) sebagai solusi permasalahan sampah perkotaan; studi kasus di kota surabaya”. Penelitian ini merupakan prakiraan pengadaan pembangkit listrik di Benowo kota surabaya dengan menggunakan metode kualitatif dan tujuan penelitian ini berfokus pada peluang dan tantangan yang mungkin akan ditemui dalam penerapan pltsa. Hasil penelitian ini menyatakan bahwa Pembangkit Listrik Tenaga sampah (PLTSa) dapat menjadi salah satu alternatif cara yang dapat di terapkan dalam upaya pengurangan volume sampah. Yang dimana produksi sampah dalam satu ton surabaya dapat menghasilkan sekitar 2.913,18 ton sampah dalam setiap harinya namun di butuhkan system dan standarisasi oprasi agar tidak menimbulkan kerusakan lingkungan lain sehingga dapat bekerja dengan baik dan efisien[10].





metode pembakaran steam turbin. Metode ini mampu menghasilkan daya yang cukup tinggi sekitar 2MW pembangkitan. Namun metode ini masih menyisakan gas metan dari sisa air lindi yang bisa dimanfaatkan.

Keterbaruan dari penelitian ini adalah lanjutan dan perpaduan ketiga penelitian sebelumnya dengan menggunakan mikroturbin gas sebagai pengolahan limbah menjadi energi listrik. Kelebihan dari mikroturbin gas adalah memiliki efisiensi lebih tinggi dari metode pembakaran PLTSa dan lebih ramah lingkungan karena memanfaatkan gas metana yang tersedia. Selain itu, untuk mendapatkan hasil maksimal penelitian ini menggunakan siklus mikroturbin gas yang bersumber dari penelitian [9]. Penelitian [9] memanfaatkan *exhaust gas* untuk memanaskan ruang bakar sehingga pada proses berikutnya untuk menghasilkan *output* daya yang sama hanya diperlukan lebih sedikit bahan bakar. Hal ini yang menyebabkan peningkatan efisiensi pada proses pembangkitan.

Penelitian ini diawali dengan menghitung potensi pembangkitan dengan menggunakan data tumpukan gas metan yang tersedia. Lalu menghitung kinerja dari masing – masing komponen mikroturbin gas, daya *output* serta efisiensi pembangkitan.

## 2.2 Pengetian Sampah

Berdasarkan SK SNI tahun 1990, Sampah adalah limbah yang bersifat padat terdiri dari zat organik dan anorganik yang dianggap tidak berguna lagi dan harus dikelola agar tidak membahayakan lingkungan dan melindungi investasi pembangunan. Pada umumnya pandangan masyarakat terhadap pengetahuan tentang sampah organik yang dihasilkan dari aktivitas rumah tangga dan perindustrian, Sementara di dalam UU NO 18 tahun 2008 tentang pengelolaan sampah yakni suatu kegiatan yang mengurangi dan menangani sampah secara sistematis dan berkesinambungan, dan disebutkan sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia atau proses alam yang berbentuk padat atau semi padat yang berupa zat organik dan anorganik. sampah dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu:[12]

### 1. Sampah organik

Sampah organik adalah jenis sampah yang mudah terurai, biasanya berasal dari alam itu sendiri dan sampah buangan dari unsur tumbuhan maupun hewan serta organisme hidup lainnya.



## 2. Sampah anorganik

Sampah anorganik adalah yang sifatnya susah terurai dan biasanya merupakan hasil campur tangan manusia seperti: potongan kain, logam, kaleng, botol dan lain-lain.

### 2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Sampah

Pembangkit listrik tenaga sampah merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan sampah sebagai bahan bakar. Sampah yang sudah melalui proses. Dimana proses tersebut menggunakan teknologi tinggi yang ramah lingkungan. Konsep pengolahan sampah menjadi energi listrik (*waste to energy*) atau yang biasa disebut PLTSA (pembangkit listrik tenaga sampah) menggunakan tiga teknologi yaitu: *insinerator*, gasifikasi dan sanitary landfill [13].

#### 2.3.1. Incinerator

*Incinerator* adalah cara pengolahan sampah dengan cara pembakaran menggunakan sedikit bahan bakar pada saat awal pembakaran dan akan memusnahkan seluruh jenis sampah yang dibakar dalam waktu cepat, dan panas yang dihasilkan pembakaran tersebut akan didinginkan dengan semprotan sirkulasi air sehingga menimbulkan “*superheated steam*” yang selanjutnya akan ditampung kedalam boiler. Tenaga uap pada boiler inilah yang akan menggerakkan turbin dan turbin tersebut akan menggerakkan generator sehingga menghasilkan listrik [14].

#### 2.3.2. Gasifikasi

Gasifikasi adalah siklus termokimia yang mengubah area kekuatan utama untuk menjadi gas, di mana udara yang dibutuhkan lebih rendah daripada udara yang digunakan untuk kerangka pembakaran. Selama kerjasama gasifikasi, reaksi proses yang benar-benar terjadi adalah endotermik (diperkirakan intensitas luar selama siklus). Media yang paling umum dirasakan digunakan dalam siklus gasifikasi adalah udara dan uap. Hal-hal yang menyertainya dapat dicirikan menjadi tiga bidang utama, secara eksplisit padatan, cairan (menghitung gas yang dapat dikondensasi) dan gas yang sangat kuat. Media yang paling menonjol digunakan dalam komunikasi gasifikasi adalah udara dan uap. Gas yang dihasilkan dari gasifikasi menggunakan udara memiliki nilai kalor yang lebih rendah, yang membuat siklus pergerakan lebih mudah [14].



### 2.3.3. Sanitary landfill

*Sanitary landfill* adalah untuk mengisolasi limbah padat dari lingkungan. Hal ini berarti bahwa tidak ada zat-zat berbahaya dari limbah padat yang bisa mencapai lingkungan. Di tempat pembuangan akhir, sampah akan mengalami dekomposisi oleh mikroba yang akan mengakibatkan terjadinya fisik, kimia, biologis secara simultan, dengan menghasilkan air lindi [15].

### 2.4 Mikro Turbin Gas

Mikro Turbin Gas (MTG) adalah mesin putar dengan poros tunggal yang mengekstraks energi dari aliran gas pada pembakaran mikro. Mikro Turbin Gas ini umumnya terdapat komponen berupa kompresor, turbin dan generator yang hanya terhubung dengan satu shaft. Mikro Turbin diproduksi pertama kali oleh Kurt Schreckling dengan model FD3/67, Kemudian pada tahun 1936 digantikan oleh turbin aliran radial ke dalam berdasarkan paten oleh penemu Italia, Guido Zerkowitz (Patra n.d.) [11].



Gambar 2.1 mikro turbin gas [10]

Mikroturbin gas memiliki tiga komponen penyusun antara lain kompresor, ruang bakar, dan turbin gas. Kinerja dari mikroturbin gas tergantung dari kondisi sistem kontrol input bahan bakar dan udara dengan memperhatikan rasio massa antara kedua bahan tersebut, tipe bahan bakar, dan waktu proses pembakaran selama di dalam ruang bakar. Ketiga faktor tersebut mampu membuat prinsip kerja dari mikroturbin gas menjadi optimal. Adapun penjelasan mengenai prinsip kerja dari mikroturbin gas tersebut adalah aliran udara yang berasal dari lingkungan masuk ke dalam bagian kompresor, dimana di dalam kompresor tersebut aliran udara akan dimanfaatkan sehingga dapat meningkatkan suhu aliran udara dan tekanan aliran udara tersebut, dimana tekanan aliran udara dapat meningkat sebesar 3-5 kali dibandingkan dengan tekanan aliran udara yang masuk ke dalam kompresor. Aliran udara dengan tekanan yang tinggi tersebut kemudian masuk ke dalam ruang bakar dan dimana di dalam ruang bakar



terjadi reaksi pembakaran antara aliran udara yang berasal dari kompresor dengan aliran gas [16].

### 2.5 Perhitungan emisi gas CH<sub>4</sub>

Proses dekomposisi DOC<sub>m</sub> (DDOC<sub>m</sub>) yang masuk TPA dihitung dengan persamaan berikut:[4]

$$m_{DOC} = W \times DOC \times DOC_f \times MCF \tag{2.1}$$

- $m_{DOC}$  = massa kandungan Degadable Organic Carbon (ton)
- W = massa dari limbah padat yang ditimbun pada tahun (ton)
- DOC = fraksi degradasi karbon organik
- DDOC<sub>f</sub> = fraksi DOC yang dapat terdekomposisi
- MCF = faktor koreksi CH<sub>4</sub> yang terdekomposisi pada tahun penimbunan sampah

Penentuan potensi pembentukan gas kandungan air lindi.

Potensi pembentukan air lindi dari DDOC<sub>m</sub> dekomposisi (*massa degradable material organic*) sampah yang ditimbun di TPA yang terdekomposisi dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan berikut[4]:

$$Gas_{Generated} = m_{DOC} \times f \times \text{rasio berat molekul} \times F \tag{2.2}$$

- $Gas_{Generated}$  = kandungan gas air lindi (m<sup>3</sup>)
- f = fraksi gas dalam timbunan gas = 0,5 berdasarkan IPCC, 2019
- rasio berat molekul = 12/16
- F = Faktor Oksidasi = 0,1 berdasarkan IPCC, 2019
- F = fraksi CH<sub>4</sub> dalam timbunan gas di TPA (berdasarkan IPCC, 2019)

Perhitungan kandungan CH<sub>4</sub> pada air lindi

$$m_{CH_4} = 60\% \times Gas_{Generated} \tag{2.3}$$

- $m_{CH_4}$  = kandungan CH<sub>4</sub> pada air lindi (m<sup>3</sup>)
- $Gas_{Generated}$  = kandungan gas air lindi (m<sup>3</sup>)

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.  
 2. Dilarang mempublikasikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang  
 © Hak cipta dilindungi UIN Suska Riau  
 State Islamic University of Sultan Syaif Kasim Riau

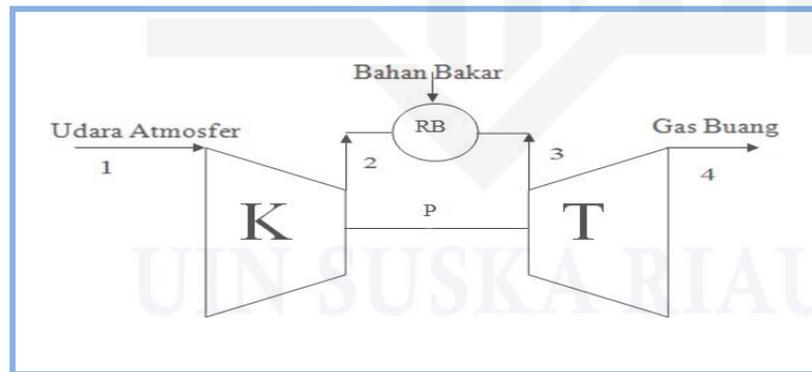


1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Air lindi adalah suatu cairan yang dihasilkan dari pemaparan air hujan di timbunan sampah. Cairan ini sangat berbahaya dan beracun karena mengandung konsentrasi senyawa organik maupun senyawa anorganik tinggi, yang terbentuk dalam landfill.[17].

## 2.6 Siklus Mikro Turbin Gas

Pada dasarnya mikro turbin gas memiliki cara kerja yang sama dengan gas turbin hanya dimensi yang membedakannya. Komponen dasar pada mikroturbin gas terdapat 3 komponen utama yaitu: Kompresor, ruang bakar dan turbin. Cara kerja yang digunakan pada sistem mikroturbin gas didasarkan pada siklus Brayton, Direncanakan akan digunakan sebagai pembangkit listrik. Siklus Brayton ideal adalah siklus dengan beberapa asumsi, yaitu ; Proses kompresi dan ekspansi terjadi isentropik, Perubahan energi kinetik dan fluida kerja antara sisi masuk dan sisi keluar kompresor. Adapun cara kerja turbin gas dimulai dari kompresor. Kompresor berfungsi untuk menghisap udara sekaligus meningkatkan tekanan. udara bertekanan tinggi dari kompresor masuk kedalam ruang bakar, kemudian diikuti bahan bakar percikan bunga api yang mengakibatkan terjadinya proses pembakaran. Energi hasil pembakaran mengalami kenaikan temperatur dan entalpi, secara siklus ideal terjadi pada tekanan konstan. Gas hasil proses pembakaran diekspansikan ke dalam turbin sehingga akan memutar sudu-sudu turbin, poros turbin akan berputar yang sekaligus akan diikuti berputarnya kompresor dan generator listrik. Hal ini dikarenakan susunan komponen mikroturbin gas direncanakan *single shaft* [15].



Gambar 2.2: sistem turbin gas dengan siklus brayton sederhana [15]

Sebelum melakukan perencanaan hal-hal yang spesifik, pada mikroturbin gas perlu menganalisis sistem secara keseluruhan dengan analisis termodinamika guna mendapatkan



suatu kondisi awal perencanaan. Temperatur yang dihisap kompresor mempunyai pengaruh yang besar terhadap daya efektif yang dihasilkan pembangkit, sebab laju aliran masa udara yang dihisap kompresor akan berubah sesuai dengan persamaan gas ideal, yaitu :  $M = Pv/Rt$ , apabila temperatur masuk gas rendah maka massa aliran gas akan naik dan sebaliknya. Hal ini berarti bila temperatur atmosfer turun maka daya efektif sistem akan naik dan sebaliknya [18].

Untuk mendapatkan hasil yang ideal maka diperlukannya perhitungan yang sangat tepat. Pada mikroturbin gas ini digunakannya perhitungan termodinamika untuk mencari keidealan suatu temperatur, tekanan, entropi dan lain-lain. Berikut ini adalah contoh perhitungan yang digunakan pada mikroturbin gas.

$$\eta_t = \frac{\ln [1 - \eta_k + \eta_k \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}]}{\left(\frac{k-1}{k}\right) \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right)} \quad (2.4)$$

Dengan :

$\eta_t$  = efisiensi turbin (%)

$\eta_k$  = efisiensi kompresor (%)

$P_2$  = Tekanan keluar kompresor (bar)  $P_1$  = Tekanan masuk kompresor (bar)

$$K_{aktual} = \frac{W_k}{\eta_k} \frac{h_2 - h_1}{\eta_k} \quad (2.5)$$

Dengan :

$h_2$  = entalpi keluar kompresor ( $k_j/k_g$ )

$h_1$  = entalpi masuk kompresor ( $k_j/k_g$ )

$$W_{turbin\ aktual} = \eta_t (W_{turbin\ ideal}) \quad (2.6)$$

Dengan :

$w_{turbin\ aktual}$  = kerja turbin aktual ( $k_j/k_g$ )

$w_{turbin\ ideal}$  = kerja turbin ideal ( $k_j/k_g$ )

Suhu gas aktual turbin :

$$h_{4a} = h_3 - W_{Ta} \quad (2.7)$$

Panas aktual masuk ruang bakar

$$q_{in} = h_3 - h_2 \quad (2.8)$$

Hak cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Pembangkit Listrik Tenaga Gas yang bekerja berdasarkan siklus Brayton. Siklus Brayton yang bekerja menggunakan tiga komponen utama yaitu kompresor, ruang bakar, dan turbin dengan menggunakan udara sebagai media kerja. Proses termodinamika yang terjadi pada siklus Brayton ideal adalah sebagai berikut [15]:

- a. Proses Kompresi Isentropik (1-2) : Udara dari atmosfer akan diserap kedalam sistem pembangkit melalui saluran udara *inlet*, pada kompresor udara dikompresi dengan cara menyempitkan volume ruang sehingga terjadi peningkatan tekanan. Proses ini tidak diikuti dengan perubahan entropi sehingga disebut proses isentropik.

Proses termodinamika yang terjadi pada kompresor dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\dot{W}_{comp} = \dot{m}_{comp} \times (h_2 - h_1) \quad (2.9)$$

Dengan,

$\dot{W}_{comp}$  = Kerja kompresor ( kJ/s)

$\dot{m}_{comp}$  = Laju massa aliran udara (kg/s)

$h_2$  = Entalpi keluaran kompresor (kJ/kg)

$h_1$  = Entalpi udara awal (kJ/kg)

- b. Proses Isobarik (2-3) : Udara hasil dari kompresi yang memiliki tekanan tinggi masuk kedalam ruang bakar bersamaan dengan bahan bakar, sehingga terjadinya proses pembakaran. Udara akan menyerap energi panas dari hasil pembakaran, meningkatkan temperatur dan menambah volume udara. Pada proses ini tidak terjadi peningkatan pada tekanan udara karena udara hasil proses pembakaran bebas berekspansi ke sisi turbin. Karena tekanan yang konstan inilah maka disebut sebagai isobarik [15].

Proses termodinamika yang terjadi pada ruang bakar dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$\dot{Q} = \dot{m}_{bb} \times LHV \tag{2.10}$$

Dengan,

- $\dot{Q}$  = Kalor pada ruang bakar (kJ/s)
- $\dot{m}_{rb}$  = Laju massa ruang bakar (kg/s)
- $LHV$  = Nilai Kalor (kJ/kg)

c. Proses Ekspansi Isentropik (3-4) : Udara yang bertekanan hasil dari proses *combustion* berekspansi melewati turbin. Melalui sudu – sudu turbin yang merupakan *nozzle – nozzle* kecil yang berfungsi mengubah tekanan udara menjadi energi kinetik. Sebagian energi yang dihasilkan turbin digunakan untuk memutar kompresor. Sebagian lagi dikonversi menjadi energi listrik melalui generator [15].

Proses termodinamika yang terjadi pada turbin dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:[13]

$$\dot{W}_t = \dot{m}_{rb} \times (h_3 - h_4) \tag{2.11}$$

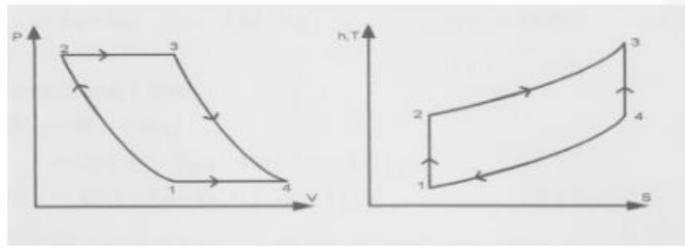
Dengan,

- $\dot{W}_t$  = Kerja turbin gas (kJ/s)
- $\dot{m}_{rb}$  = Laju massa ruang bakar (kg/s)
- $h_3$  = Entalpi masuk turbin gas (kJ/kg)
- $h_4$  = Entalpi keluaran turbin gas (kJ/kg)

d. Proses pembuangan panas (4-1) : pada siklus Brayton ideal udara yang keluar dari turbin masih menyisakan energi panas. Maka energi panas ini akan diserap oleh udara bebas dan kembali pada siklus (1-2).[15]

Diagram P – V dan T – S siklus Brayton ideal adalah sebagai berikut:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.3 Diagram P-V dan T-S Siklus Brayton[15].

## 2.7 Hukum Termodinamika

Termodinamika adalah ilmu yang mempelajari hubungan antara panas dan usaha (kerja), serta sifat-sifat yang mendukung hubungan tersebut. Dapat pula dikatakan bahwa termodinamika mempelajari energi dan transformasinya. Seperti telah diketahui bahwa energi didalam alam dapat terwujud dalam berbagai bentuk, selain energi panas dan kerja, yaitu energi kimia, energi listrik, energi nuklir, energi gelombang elektromagnetik, energi akibat gaya magnetik, dan lain-lain. Energi dapat berubah dari satu bentuk ke bentuk lain, baik secara alami maupun hasil rekayasa teknologi, selain itu energi di alam semesta bersifat kekal, tidak dapat dibangkitkan atau dihilangkan, yang terjadi adalah perubahan energi dari satu bentuk menjadi bentuk lain tanpa ada pengurangan atau penambahan. Prinsip ini disebut sebagai prinsip konservasi atau kekekalan energi [19].

### 2.7.1 Hukum ke I Termodinamika

"Energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, tetapi dapat diubah menjadi bentuk energi lain." Hukum awal termodinamika melaporkan bahwa, ketika suatu sistem mengalami perubahan keadaan, energi dapat melintasi batas baik sebagai panas dan kerja, dan masing-masing dapat positif atau negatif. Perubahan bersih (*Net Change*) energi sistem akan sama dengan energi bersih (*Net Energy*) yang melintasi batas sistem, yang dapat berubah dalam bentuk energi internal, energi kinetik, atau energi potensial [19].

Hukum ini juga dapat dinyatakan sebagai energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, tetapi dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Secara matematis, hukum pertama termodinamika ditulis sebagai berikut [19]:

$$Q = \Delta U + W$$



$$\Delta U = U_a - U_m \quad (2.12)$$

Keterangan:

$Q$  : Perubahan kalor (J)

$\Delta U$  : Perubahan energi dalam sistem (J)

$W$  : Usaha/kerja yang dilakukan sistem (J)

$U_m$  : Energi dalam mula-mula (J)

$U_a$  : Energi dalam akhir (J)

Perjanjian tanda yang berlaku untuk persamaan diatas tersebut adalah sebagai berikut:

1. Jika sistem bekerja maka nilai  $W_{positif}$ , dan jika sistem menerima kerja maka nilai  $W_{negatif}$ .
2. Jika sistem melepaskan kalor maka nilai  $Q_{negatif}$ , dan jika sistem menerima kalor maka nilai  $Q_{positif}$ .

### 2.7.2 Hukum ke II Termodinamika

Pada pembahasan sebelumnya mengenai Hukum termodinamika I yang menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan melainkan hanya dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk yang lain. Pernyataan tersebut juga di kenal sebagai istilah konservasi energi, konservasi energi berlaku untuk sistem terbuka dan tertutup. Entropi terkait dengan Hukum ke II Termodinamika. Hukum II termodinamika menyatakan seiring dengan meningkatnya waktu, mendekati nilai maksimumnya maka total entropi dari suatu sistem termodinamika terisolasi cenderung untuk meningkat [19].

Kegunaan hukum termodinamika II juga bisa untuk mengetahui kualitas energi (hukum I berhubungan dengan kuantitas energi dan perubahan bentuk energi tanpa memandang kualitas energi), menentukan batas teoritis unjuk kerja suatu sistem dan memperkirakan kelangsungan reaksi kimia (*degree of completion of chemical reaction*) tidak terbatas hanya pada mengidentifikasi arah dari suatu proses [19].

### 2.7.3 Hukum ke II Termodinamika

Pada pembahasan sebelumnya mengenai Hukum termodinamika I yang menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan melainkan hanya dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk yang lain. Pernyataan tersebut juga di kenal sebagai istilah konservasi energi,



konservasi energi berlaku untuk sistem terbuka dan tertutup. Entropi terkait dengan Hukum ke II Termodinamika. Hukum II Termodinamika menyatakan seiring dengan meningkatnya waktu, mendekati nilai maksimumnya maka total entropi dari suatu sistem Termodinamika terisolasi cenderung untuk meningkat [19].

Kegunaan hukum Termodinamika II juga bisa untuk mengetahui kualitas energi (hukum I berhubungan dengan kuantitas energi dan perubahan bentuk energi tanpa memandang kualitas energi), menentukan batas teoritis unjuk kerja suatu sistem dan memperkirakan kelangsungan reaksi kimia (*degree of completion of chemical reaction*) tidak terbatas hanya pada mengidentifikasi arah dari suatu proses [19].

## 2.8 Potensi Pemanfaatan Limbah Sampah Kota

Energi terbarukan merupakan sumber energi alam yang dapat langsung dimanfaatkan dengan bebas. Selain itu, ketersediaan energi terbarukan ini tak terbatas dan bisa dimanfaatkan secara terus menerus. Salah satunya adalah dengan pemanfaatan sampah yang berpotensi dapat dikonversi menjadi energi listrik. Fakta menunjukkan bahwa potensi pemanfaatan sampah kota untuk pembangkit listrik sangatlah besar, baik dengan metode *thermal* atau metode *landfill*.

Di kota Pekanbaru yang beriklim tropis, sampah yang dihasilkan sangat berpotensi sebagai bahan bakar pembangkit karena curah hujan yang sedikit. Selama ini sampah belum dimanfaatkan, hanya di tumpuk di TPA (Tempat Pembuangan Akhir) Muara Fajar, Pekanbaru. Mengidentifikasi dan mengukur potensi sampah kota Pekanbaru yang bisa dimanfaatkan sebagai bahan bakar pembangkit, baik dengan teknologi *landfill* atau dengan teknologi thermal sebagai sumber energi listrik alternatif berbasis *renewable energy*. Energi alternatif dari bahan bakar fosil tetapi harus menjadi penyangga pasokan energi nasional dengan porsi energi baru terbarukan [7].

Gas CH<sub>4</sub> yang diemisikan dari aktivitas landfill di TPA memiliki potensi menjadi energi listrik. Hal ini dikarenakan kandungan kalor yang terdapat pada gas tersebut. Sehingga energi listrik yang dihasilkan dari gas CH<sub>4</sub> dapat dihitung berdasarkan rumus (Sorensen, 2007) sebagai berikut[4]:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mempublikasikan dan memperbanyak atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



$$Pg = V_{CH_4}(m^3/jam) \times H_o(kWh/m^3) \tag{2.13}$$

Dengan

$$Pg = V_{CH_4}(m^3/jam) \times H_o(kWh/m^3)$$

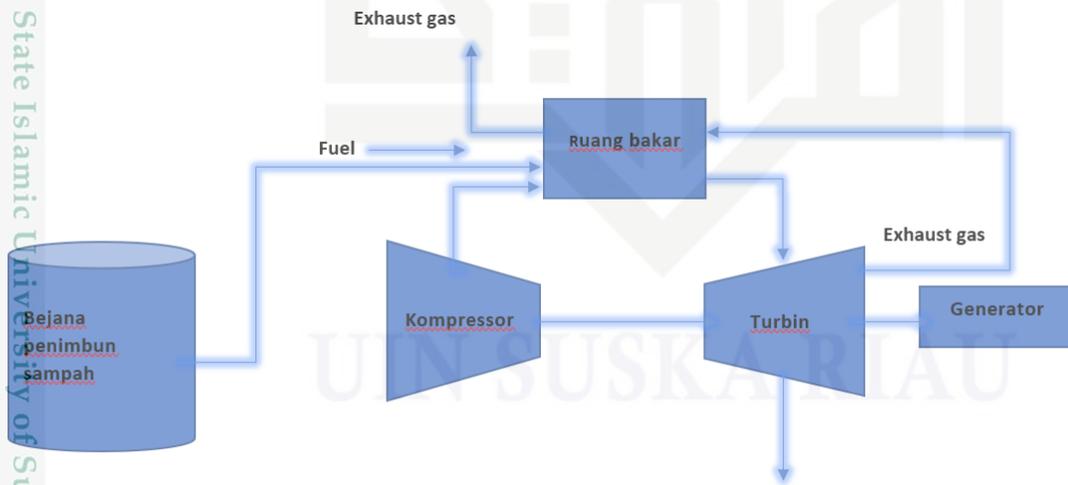
$P_g$  = Potensi daya yang dihasilkan (kW)

$V_{CH_4}$  = volume gas  $CH_4(m^3/tahun)$

$H_o$  = Faktor konversi massa kesatuan listrik (9,39kwh)

### 2.9 PLTSa Menggunakan Mikoturbin Gas

Mekanisme kinerja dari mikroturbin gas adalah gas dari proses timbunan yang masuk ke dalam kompresor akan mengalami proses peningkatan tekanan. Saat operasi kompresor sentrifugal, mesin tersebut menarik udara dari lingkungan sekitarnya ke dalam mesin. Udara tersebut kemudian ditekan untuk meningkatkan tekanan dan suhunya. Efisiensi mikroturbin gas diukur dengan menggunakan parameter yang disebut dengan "heat rate". Heat rate adalah rasio antara jumlah panas yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik dengan jumlah energi listrik yang dihasilkan. Semakin kecil nilai heat rate, semakin baik efisiensi mikroturbin gas. Idealnya, nilai heat rate yang baik untuk mikroturbin gas adalah di bawah 10.000 Btu/kWh. Dan berikut skema rangkaian PLTSa menggunakan turbin gas [11].



Gambar.2.4 Skema rangkaian PLTSa menggunakan mikroturbin gas

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mempublikasikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

### 2.9.1 Anaerobik Digester

Gas  $CH_4$  tidak langsung terbentuk dalam waktu yang singkat, terbentuk karena adanya proses fermentasi secara anaerobik oleh bakteri anaerobik.

Anaerobik *digester* adalah suatu sistem atau proses biologis yang menggunakan mikroorganisme anaerobik untuk menguraikan bahan organik dalam kondisi tanpa oksigen, dan berikut adalah reaksi kimia pembuatan biogas atau gas metana yaitu[17]:

#### a) Reaksi Hidrolisis

Yang mana reaksi tersebut memiliki bahan yang tidak larut seperti polisakarida, selulosa dan lemak diubah menjadi bahan yang larut dalam air, seperti asam lemak dan karbohidrat perlarutan berlangsung pada suhu  $25^{\circ}C$  di digester.

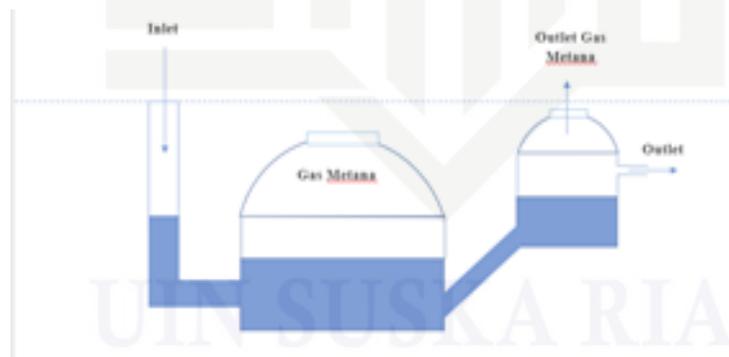
#### b) Reaksi Asidogenik

Bakteri asam, dalam suasana anaerob dapat menghasilkan asam asetat. Tahap ini berlangsung pada suhu  $25^{\circ}C$  di digester

#### c) Reaksi Metanogenik

Secara perlahan bakteri metana membentuk gas metana dengan suhu  $25^{\circ}C$

Ada beberapa jenis anaerobik *digester* yang umum digunakan untuk mengolah limbah, seperti limbah pertanian, limbah makanan, dan limbah manusia. Keuntungan dari anaerobik digester adalah produksi metana sebagai sumber energi yang dapat digunakan untuk menghasilkan listrik atau panas. Serta pengurangan limbah agar dapat mengurangi dampak lingkungan negatif. Dan berikut adalah siklus anaerobik *digester*[17]:



Gambar 2.5 Siklus *anaerobik digester*

#### a) Proses pemasukan air lindi pada bejana



- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

Air lindi terjadi karena adanya timbunan sampah dan dialirkan melalui inlet section atau corong masukan.

- b) Fermentasi

Proses fermentasi dilakukan pada bejana tertutup tanpa oksigen dan untuk menjaga pH larutan dan memisahkan larutan  $CH_4$  hingga terbentuk biogas.

- c) Expansion chamber

Expansion chamber adalah bejana pemisah antara air lindi dan biogas. Biogas yang sebagian besar memiliki kandungan gas metan menjadi bahan bakar mikroturbin gas sementara air lindi yang melewati proses pemisahan dapat digunakan sebagai pupuk.

### 2.9.2 Kompresor

Pada Kompresor dihitung kinerjanya melalui persamaan termodinamika pertama. Untuk menentukan nilai entalpi keluaran pada kompresor, dan terlebih dahulu perlu di ketahui nilai tekanan ( P ) dan suhu ( T ) keluaran kompresor melalui persamaan [21]:

$$T_{out} = T_{in} r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \tag{2.14}$$

Dengan,

$r$  = Rasio tekanan (  $P_{out} / P_{in}$  )

$\gamma$  = Panas spesifik udara (  $\gamma = 1.4$  moran )

Nilai  $P_{out}$  dapat ditentukan melalui  $\Delta P = P_{out} - P_{in}$ , dimana  $\Delta P$  adalah kesanggupan kompresor menaikkan tekanan udara. Nilai  $\Delta P$  didapat dari jenis kompresor yang digunakan perusahaan [21].

### 2.9.3 Kalor ruang bakar

Total laju massa keluaran pada ruang bakar adalah jumlah dari laju massa kompresor dan laju massa bahan bakar, sehingga [21].

$$\dot{m}_{bb} + \dot{m}_{comp} = \dot{m}_{rb} \tag{2.15}$$

Dengan,

$\dot{m}_{bb}$  = Laju massa bahan bakar (  $kg/s$  )

$\dot{m}_{comp}$  = Laju massa udara proses kompresi (  $kg/s$  )

$\dot{m}_{rb}$  = Laju massa ruang bakar (  $kg/s$  )



Energi yang bekerja pada ruang bakar dapat dihitung melalui persamaan Kalor (2.5)

Dari turunan persamaan (2.5), dapat ditentukan nilai temperatur keluaran ruang bakar dengan persamaan.

$$T_{out} = T_{in} \frac{(\dot{m} \text{ LHV})_{\text{bahan bakar}}}{(\dot{m} c)_{\text{udara}}} \quad (2.16)$$

Dengan,

$T_{in}$  = Suhu udara masuk ruang bakar (K)

$T_{out}$  = Suhu udara keluar ruang bakar (K)

LHV = Panas spesifik bahan bakar (kJ/kg)

Efisiensi pembakaran dapat dihitung dengan membandingkan kalor yang dihasilkan pada ruang bakar dengan konsumsi bahan bakar yang diperlukan.

$$\eta_t = \frac{\dot{Q}_{rb}}{LHV} \quad (2.17)$$

$\eta_t$  = efisiensi turbin

$\dot{Q}_{rb}$  = kalor ruang bakar

LHV = *Low Heating Value (LHV)* atau nilai kalor bahan bakar

### 2.9.4 Turbin

Untuk menentukan kerja pada turbin gas, Sebelumnya harus dihitung nilai Temperatur keluaran turbin untuk menentukan nilai entalpi keluaran turbin dengan persamaan [21]

$$T_{out} = T_{in} r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad (2.18)$$

Dengan,

$r$  = Rasio tekanan ( $P_{out} / P_{in}$ )

$\gamma$  = Panas spesifik udara ( $\gamma = 1.4$  moran)

Dan kinerja turbin dalam satuan Joule dapat dinyatakan dalam persamaan(2.5).

### 2.9.5 Generator

Energi keluaran pada PLTSa adalah selisih antara kinerja pada Turbin dengan kinerja pada Kompresor [21]



$$\dot{W}_{net} = \dot{W}_t - \dot{W}_{comp} \tag{2.19}$$

Dengan,

$$\dot{W}_{net} = \text{Daya bersih PLTSa (kJ/s)}$$

$$\dot{W}_t = \text{Kerja turbin gas (kJ/s)}$$

$$\dot{W}_{comp} = \text{Kerja kompressor (kJ/s)}$$

### 2.9.6 Efisiensi PLTSa

Efisiensi PLTSa adalah perbandingan antara kinerja keseluruhan PLTSa dalam satuan (kJ) dengan bahan bakar yang dikonsumsi. Perhitungan efisiensi PLTSa dapat dinyatakan dalam persamaan berikut [21]:

$$\eta = \frac{W_{net}}{Q} \times 100\% \tag{2.20}$$

Dengan

$$\eta = \text{Efisiensi PLTSa}$$

$$W_{net} = \text{Kerja keseluruhan PLTSa (kJ)}$$

$$Q = \text{Kalor pada ruang bakar (kJ)}$$

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



### 3.1. Jenis Penelitian

Dalam kesiapan tugas akhir ini, eksplorasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuantitatif deskriptif dengan didukung oleh sumber dari jurnal terkait, pengumpulan data-data potensi pemanfaatan sampah yang dapat dikonversi menjadi energi listrik dalam tahap ini dilakukan analisis pemanfaatan limbah TPA Muara Fajar kota Pekanbaru menjadi energi listrik dengan metode mikroturbin gas. Dalam penelitian untuk menganalisis potensi pemanfaatan sampah menjadi energi listrik akan melakukan analisis termodinamika pada siklus *brayton*. Setelah pengumpulan data tentang potensi pemanfaatan sampah, data yang dikumpulkan akan dianalisis untuk gambaran potensi pemanfaatan listrik yang dihasilkan dari TPA Muara Fajar kota Pekanbaru.

### 3.2. Proses Alur Penelitian

Penelitian dilakukan berapa tahapan yaitu yang pertama melakukan studi literatur dengan mengidentifikasi masalah, kedua tujuan penelitian dan manfaat penelitian, ketiga memilih lokasi yang sesuai dengan syarat dan standar untuk bahan baku penelitian, keempat mengumpulkan data untuk rujukan penelitian, kelima mensimulasikan potensi pemanfaatan sampah dengan analisis mikroturbin gas dan perhitungan manual, keenam analisis hasil potensi pemanfaatan energi listrik mikroturbin gas dengan perhitungan manual ketujuh kesimpulan dan saran.

Adapun prosedur alur penelitian bisa dilihat di gambar 3.1

UIN SUSKA RIAU

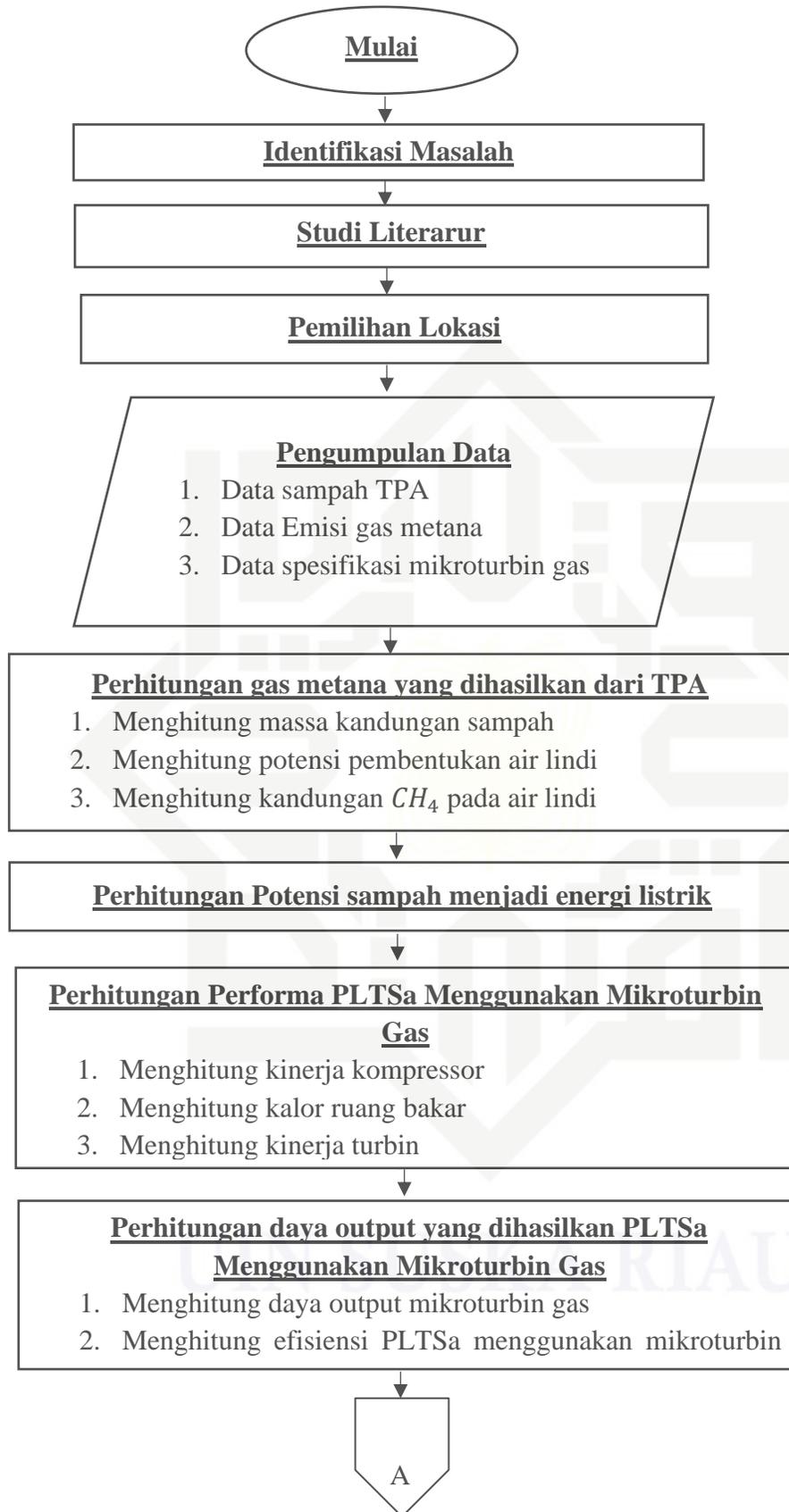
## BAB III

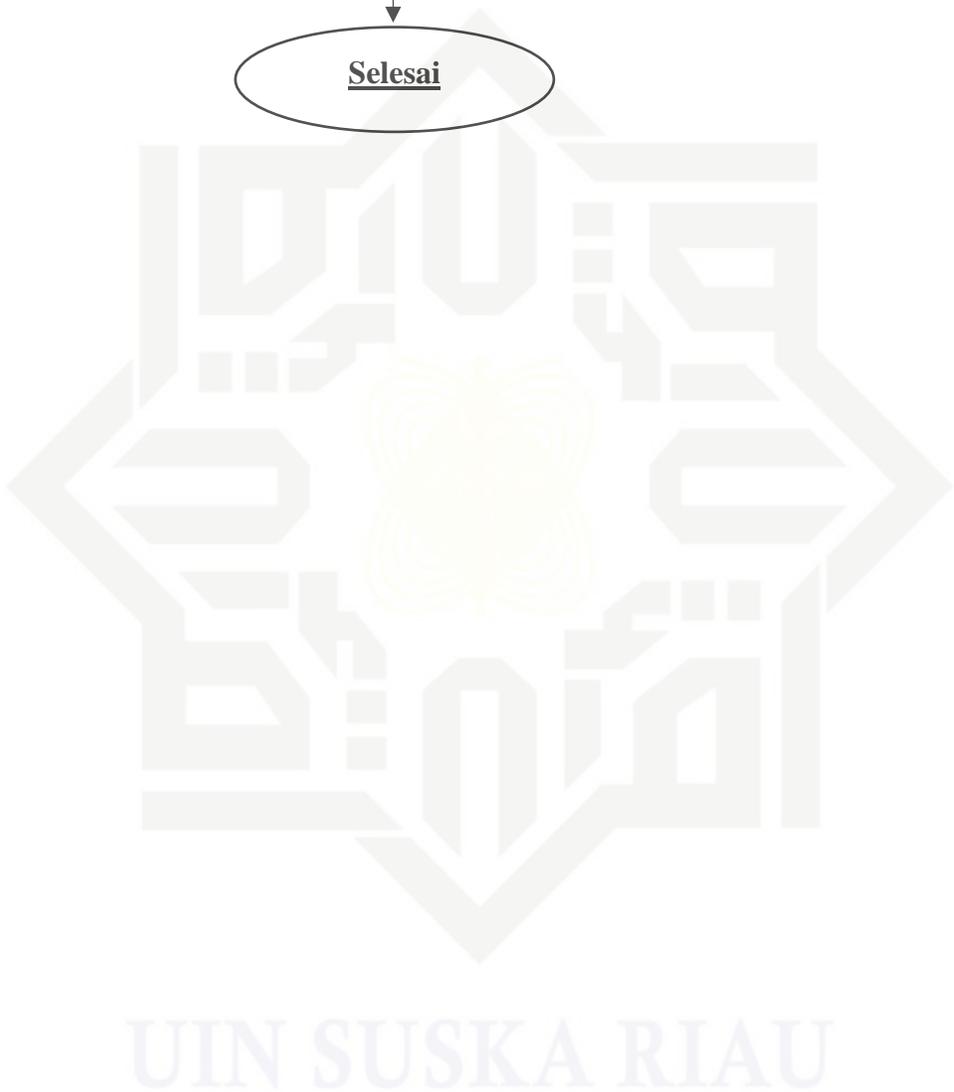
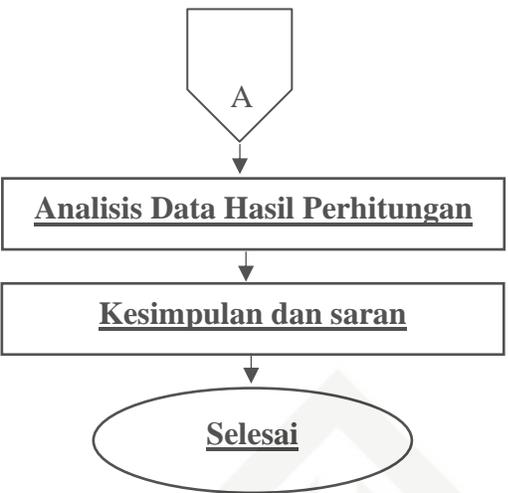
### METODOLOGI PENELITIAN



**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





### 3.3. Identifikasi Masalah

Masalah yang diidentifikasi pada penelitian ini adalah terkait penanganan sampah Kota Pekanbaru yang terus mengalami peningkatan. Ditengah meningkatnya aktifitas dan perekonomian Pekanbaru serta adanya peningkatan angka ketergantungan listrik pertahunnya, penelitian ini mencoba memanfaatkan limbah sampah organik dan anorganik agar lebih produktif dengan memanfaatkan metode mikroturbin gas menjadi energi listrik.

Saat ini TPA Muara Fajar yang menjadi satu – satunya TPA yang ada di Kota Pekanbaru mengolah limbah anorganik dengan metode *sanitary landfill*. Metode ini menyisakan limbah berupa air lindi yang saat ini belum dimanfaatkan. Sehingga masih ada peluang untuk memanfaatkan air lindi yang mengandung gas metana untuk pembangkitan energi listrik. Penggunaan mikroturbin gas pada penelitian ini dipilih karena memiliki efisiensi yang lebih tinggi dari metode sebelumnya serta mampu beroperasi menggunakan gas metana yang tersedia di TPA Muara Fajar. Penggunaan cara ini diharapkan dapat mengurangi penumpukkan sampah yang terus meningkat pertahunnya di Kota Pekanbaru serta mendukung usaha pemerintah dalam mengatasi potensi krisis energi di masa mendatang.

### 3.4. Studi Literatur

Studi literatur adalah proses penulis untuk mengumpulkan bahan – bahan serta mengidentifikasi bagian – bagian yang akan diteliti dan akan dijadikan sebagai acuan. Bertujuan untuk mempermudah penelitian dalam menemukan permasalahan yang ada saat riset. Data yang didapat berdasarkan studi pendahuluan yang merupakan hasil wawancara dan mengamati secara langsung di TPA muara fajar kota pekanbaru.

### 3.5. Pemilihan Lokasi

Bersumber dari studi literatur sesuai dengan data tentang permasalahan sampah kota pekanbaru yang berada di TPA. Permasalahan yang ad di TPA ini adalah karena peningkatan penduduk maka mengakibatkan sampah yang dihasilkan tidak terkendali dengan pengolahan makanya akan terjadi penumpukan dan akan pada kesehatan dan juga lingkungan.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



TPA muara fajar adalah satu – satunya tempat pembuangan akhir kota pekanbaru yang terletak di kelurahan muara fajar kecamatan rumbai pesisir yang berjarak lebih kurang 18,5 Km dari pusat kota dan kurang lebih 1,2 Km dari kelurahan muara fajar serta sekitar 200 – 300 meter dari rumah penduduk.

**3.6. Pengumpulan Data**

Tahap pengumpulan data dari TPA muara fajar 2 dengan metode kuantitatif yaitu mengumpulkan data-data yang berupa data sekunder, mendukung sebagai penyediaan bahan baku sampah untuk pembangkit listrik tenaga sampah adapun data yang dibutuhkan:

Data sampah TPA muara fajar 2

Tabel 3.1 Jumlah sampah diTPA Muara fajar 2[22]

NO	Tahun	Jumlah sampah (ton/tahun)	Sampah masuk landfill (m <sup>3</sup> /tahun)
1.	2021	222.683,22 ton	222.683,22
2.	2022	243.301,71 ton	243.301,71

Tabel.3.2 Data komposisi sampah kota pekanbaru[22]

Komposisi	Kandungan
Sisa makanan	59 %
Kayu ranting	3 %
Kertas karton	12 %
Plastik	10 %
Logam	2 %
Kain	1 %
Karet / kulit	1 %
Kaca	1 %
Lainnya	11 %
<b>Total</b>	<b>100 %</b>

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Tabel.3.3 Data kandungan DOC dan DOCf sampah kota pekanbaru[4]

<b>Komposisi</b>	<b>Kandungan Degadable Organic Carbon (Doc) Berat Basah</b>	<b>Kandungan Degadable Organic Carbon (Docf) Berat kering</b>
Sisa makanan	0,15	0,7
Kayu ranting	0,43	0,1
Kertas karton	0,40	0,5
Kain	0,24	0,5
Karet/kulit	0,39	0,47
Nappies	0,24	0,60
Total	1,85	2,87

Menurut data dari Kementerian lingkungan hidup bahwa  $8.362 \text{ Mm}^3 / \text{tahun}$  pada tahun 2021 dan diprediksi akan meningkat menjadi  $19.832 \text{ Mm}^3 / \text{tahun}$  pada tahun 2032.

Tabel 3.4 Emisi Gas Metana TPA Muara Fajar 2[4]

<b>No</b>	<b>Tahun</b>	<b>Emisi gas metana (<math>\text{Mm}^3 / \text{tahun}</math>)</b>
<b>1</b>	2019	3.457
<b>2</b>	2020	6.548
<b>3</b>	2021	8.362
<b>4</b>	2022	9.163

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Tabel 3.5 Komponen Utama Biogas pada kandungan air lindi[17]

No	Komponen	Komposisi (%)
1.	Gas Metan ( $CH_4$ )	60
2.	Karbon Dioksida ( $CO_2$ )	36
3.	Nitrogen ( $N_2$ )	<1
4.	Hidrogen ( $H_2$ )	<1
5.	Karbon Monoksida ( $CO$ )	<2
6.	Oksigen ( $O_2$ )	<2
7.	Hidrogen Monoksida ( $H_2S$ )	<3

Tabel 3.6 Nilai Kalor Biogas[17]

No	Komponen	High Heating Value		Low Heating Value	
		Kkal/ $m^3$	Kkal/kg	Kkal/ $m^3$	Kkal/kg
1.	Hidrogen ( $H_2$ )	2.842,21	33.903,61	2.402,62	28.661,13
2.	Nitrogen ( $N_2$ )	2.811,95	2.414,31	2.811,95	2.414,31
3.	Gas Metan ( $CH_4$ )	8.851,43	13.265,91	7.973,13	11.953,76
4.	Karbon Monoksida ( $CO$ )	9.165,55	12.943,70	8.320,18	11.749,33

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Mikroturbin gas C370 adalah salah satu produk dari Capstone Turbine Corporation.

Berikut adalah spesifikasi umum dari mikroturbin gas Capstone C370:

1. Efisiensi: 33% (dalam penggunaan listrik) dan 77% (dalam penggunaan untuk panas)
2. Sistem bahan bakar: Bahan bakar gas alam atau biogas
3. Sistem pendinginan: Sistem pendinginan udara
4. Kecepatan putar: 96.000 rpm
5. Ukuran dan berat: Panjang 5,5 kaki (1,67 m), lebar 3,3 kaki (1 m), tinggi 6,5 kaki (1,98 m), dan berat 3.500 lb (1.587 kg)
6. Perawatan dan pemeliharaan: Memiliki periode perawatan berkala setiap 8.000 jam
7. Suara: 65 dBa pada jarak 10 kaki (3 m)
8. Emisi: Memenuhi standar emisi yang ketat
9. Aplikasi: Biasanya digunakan untuk pembangkit listrik mikro, produksi panas, dan pendinginan.

Tabel 3.7 Data mikroturbin gas[15]

	Kondisi Ideal	Desain Mikroturbin Gas
1	Rasio perbandingan tekanan	2,8
2	Suhu udara masuk kompresor	309 K
3	Laju aliran massa udara masuk kompresor	23kg/s
4	Tekanan udara masuk kompresor	1,01325 bar
5	Suhu udara keluar kompresor	150°C [423,15K]
6	Tekanan udara keluar kompresor	2,836 bar
7	Faktor kelebihan udara ( $\lambda$ )	3,2
8	Tekanan gas keluar turbin	1,01325 bar
9	Efisiensi turbin	85%

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



### 3.7. Menghitung gas metana yang dihasilkan dari sampah TPA

Perhitungan emisi gas  $CH_4$  yang dihasilkan dari aktifitas landfilling melalui beberapa tahapan yaitu:

- a. Perhitungan massa kandungan sampah menggunakan persamaan (2.1)
- b. Perhitungan potensi pembentukan gas kandungan air lindi menggunakan persamaan (2.2)
- c. Perhitungan kandungan  $CH_4$  pada air lindi menggunakan persamaan (2.3)

### 3.8. Perhitungan potensi sampah menjadi energi listrik

Analisis potensi sampah menjadi energi listrik adalah memperkirakan daya listrik yang akan dibangkitkan menggunakan mikroturbin gas dengan asumsi 100% konversi gas metan. Dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.13)

### 3.9. Perhitungan Performa PLTSa Menggunakan Mikroturbin Gas

Pada tahap ini dilakukan perhitungan performa PLTSa mulai dari potensi pembangkitan, kinerja dari masing – masing komponen, daya output serta efisiensi mikroturbin gas.

#### 3.9.1. Menghitung Kinerja Kompresor

Proses (1-2) merupakan proses kompresi udara secara isentropik pada kompresor. Proses ini terjadi secara adiabatik. Perhitungan proses kompresi dapat dilakukan dengan persamaan (2.14)

#### 3.9.2. Menghitung Kalor Ruang Bakar

Proses (2-3) merupakan proses penambahan panas secara isobarik pada ruang bakar. Bahan bakar bercampur dengan udara hasil kompresi bertekanan tinggi panas yang bekerja pada ruang bakar dapat dihitung dengan persamaan (2.16).

#### 3.9.3. Menghitung Kinerja Turbin

Proses (3-4) merupakan proses konversi energi panas menjadi energi kinetik pada turbin gas. Pada bagian ini terjadi proses ekspansi secara isentropik akibat tekanan yang menurun setelah melewati sudu turbin. Energi yang bekerja pada turbin gas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.18)



### 3.10. Perhitungan daya output yang dihasilkan PLTSa menggunakan Mikroturbin gas

Sebelum dilakukan analisis hasil perhitungan pada PLTSa. Terlebih dahulu dilakukan perhitungan performa PLTSa secara keseluruhan berdasarkan data aktual yang didapat. Perhitungan performa PLTSa dilakukan berdasarkan siklus *brayton* dan menggunakan hukum termodinamika pertama pada masing – masing komponen PLTSa. Berikut langkah perhitungan siklus PLTSa:

#### 3.10.1 Menghitung Daya Output Mikrotubun Gas

Dengan didapatnya semua parameter yang dibutuhkan yaitu perhitungan kinerja kompressor, kinerja turbin, laju aliran massa dan energi pada masing – masing proses, maka Daya Netto siklus pembangkitan mikroturbin gas dapat dihitung menggunakan persamaan (2.19)

#### 3.10.2 Menghitung Efisiensi PLTSa Menggunakan Mikrotubun Gas

Maka dapat diketahui bahwa efisiensi siklus pembangkitan menggunakan mikroturbin gas yang mana didapat dari kinerja kompressor, kinerja turbin, laju aliran massa dan energi pada masing masing proses yang dapat dihitung menggunakan persamaan (2.20)

### 3.11. Analisis Hasil

Pada bagian ini dilakukan analisis menyeluruh dari hasil perhitungan performa dan potensi penggunaan mikroturbin gas. Cara ini diperlukan untuk mempermudah peneliti merangkum kesimpulan penelitian.

### 3.12. Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini memberikan rangkuman berdasarkan analisis hasil penelitian. Dengan adanya rangkuman tersebut diharapkan dapat menjadi sebuah saran atau rekomendasi agar diterapkan pada perusahaan. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk membahas dampak lingkungan dan sosial masyarakat dan sebaiknya pemerintah kota Pekanbaru maupun lembaga terkait mengoptimalkan pengelolaan sampah untuk pembangkit listrik untuk meningkatkan kualitas listrik dan pemanfaatan limbah.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mempublikasikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan Analisa hasil dari penelitian ini dapat kesimpulan:

Dari perhitungan manual dapat diketahui potensi energi listrik dari limbah tempat pembuangan akhir adalah  $272.927,20 \text{ kwh}/\text{tahun}$  dengan efisiensi termal yaitu 28,8% dengan menggunakan bahan bakar gas metan sebanyak  $29.065,73 \text{ m}^3/\text{tahun}$ . Yang mana penggunaan mikroturbin tesebut lebih ramah lingkungan dan pengolahannya lebih sederhana

Disini dapat kita ketahui kinerja Mikroturbin gas yaitu  $6.845,16 \text{ kJ/s}$  dan temperatur keluaran turbin yaitu sebesar  $1.377,06 \text{ K}$ . Dengan didapatnya semua parameter yang dibutuhkan yaitu berdasarkan perhitungan kinerja kompressor, kinerja turbin, laju aliran massa dan energi pada masing – masing proses, maka Daya Netto siklus pembangkitan mikroturbin gas yaitu  $4.473,83 \text{ kJ/s}$

#### 5.2. Saran

PLTSa mennggunakan metode mikroturbin gas ini lebih efisien maka dari itu alat ini dapat diterapkan diperusahaan dan sangat ramah lingkungan. Pembangkit ini juga sebagai opsi cara penanganan sampah yang ada dikota pekanbaru agar warga disekitar lebih peduli dampak negative tentang sampah karena sangat berdampak pada kesehatan dan mencemari lingkungan.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Energi dan sumber daya mineral (ESDM), “Kepmen ESDM no.143K/20/MEM/2019”. (Diakses Maret 2021)
- [2] Ir. Setiawan, N.P. Miefthawati, “Analisis potensi pemanfaatan sampah anorganik menjadi energi listrik di TPA kecamatan tualang,” IJEERE: Indonesian Journal of Electrical Engineering and Renewable Energy vol 2, 2022
- [3] A. Pudjanarsa, and D. Nursuhut, “Mesin Konversi Energi”. 1<sup>st</sup> ed. Yogyakarta: ANDI, 2013
- [4] S. Aryo, J. Asmura, N. Betharia, “Analisis Emisi CH<sub>4</sub> dan Potensi Energi dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru,” Jurnal Sains, Teknologi dan Industri 15(1), 64-70, 2022
- [5] Gunawan, Yuspian; La Karimuna, Ridway Balaka, Budiman Sudia, La Ode Magribi. ” Energi Terbarukan dari Sampah Plastik di TPA Puuwatu dengan Memanfaatkan Teknologi Pirolisis Guna Mendukung Masyarakat Mandiri Energi di Kota Kendari.” Seminar Nasional, Teknologi Terapan Berbasis Kearifan Lokal (SNT2BKL), ISSN :978-602-71928-1-2, 2018.
- [6] P. Eko, H. Rudi, A.P. Erlanda, “ Analisa Kinerja Pengembangan Desain Posisi Ruang Bakar Mikroturbin Gas.” Jurnal teknologi universitas muhammadiyah jakarta Vol.14 No.1. 2022
- [7] Monice, Perinov, “Analisis Potensi Sampah Sebagai Bahan Baku Pembangkit Listrik tenaga Sampah (PLTSa) Di pekanbaru,” Jurnal Sains, Teknologi dan Industri Vol.1 No.1. 2016
- [8] G. Abhisenk, and S. Prashant, “*Thermodynamic Analysis of Lithium Bromide-Water (LiBr-H<sub>2</sub>O) Vapor Absorption Refrigeration System Based on Solar Energy,*” *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) Vol 05, Issue 01.* 2018
- [9] C.R. Raja Vignesh “*A Gas Micro Turbine Hybrid Vehicle*” *Departemen of Electrical and Electronics Engineering,* Chennai 2018
- [10] N. Toha, Eko P.P Priy, K. Aulia, “Implementasi Pembangkit Listrik tenaga Sampah (PLTSa) Sebagai Solusi permasalahan Sampah Perkotaan: Studi kasus di Kota Surabaya” *Department of Government Affairs and Administrations Jusuf Kalla School of Government,* Universitas Muhammadiyah Yogyakarta 2020

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mempublikasikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- [11] Q. Youssuf, G. Nurshofi, P. Eko, H. Rudi, A.P Erlanda, “Analisis Kinerja Mikro Turbin Gas Bahan Bakar LPG (*Liquefied Petroleum Gas*)” *Journal Science and Technology* (14)3, 393-400, 2021
- [12] A.A Eva , R.H Augustin, H. Dyah, “Manajemen pengelolaan sampah oleh dinas lingkungan hidup kota surakarta“ Departemen Administrasi Publik, Universitas Diponegoro. 2021
- [13] G. Busca, M. Monteleone, M. V. Russo, dan A. Lancia, "*Waste-to-Energy and Recycling in Europe: Comparative Life Cycle Assessment of the Environmental Performance of Municipal Solid Waste Management Systems,*" *Journal of Cleaner Production*, vol. 260, 2020
- [14] Misrianto, I. Siboro “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Studi Kasus Pasar Bringharjo Yogyakarta” *Jurnal Teknik Industri Universitas Balikpapan*
- [15] Kusnadi, A. Maulana, D. Rudi, R. Ahmad “Rancangan mikro gas turbin berbahan bakar biogas untuk pembangkit tenaga listrik biomass berkapasitas 2,5 KW, Studi Kasus:Ciparay Bandung” *Lembaga Ilmu pengetahuan Indonesia Vol V*, 2016
- [16] T.N. Yoga, R.F.D.S. Tigor, I. Muhammad “Analisis Potensi Energi Sampah Sebagai Energi Alternatif Terbaru Di Kota Medan” *Jurnal Teknik Elektro Vol.5 No.1 ISSN 2622-7002*, 2022
- [17] Nurjannah, La Ifa, F jaya, M Lamo, “Produksi bahan bakar gas biomassa dari limbah organik industri (molases),” *Fakultas teknik industri jurusan teknik kimia, Universitas muslim indonesia*, 2018
- [18] Chena Y.C., Chen K.S., Wu C.H. 2003. “*Numerical Simulation of Gas Flow Around a Passive Vent In a Sanitary Landfill*”. *Journal of Hazardous Materials B100*, 39–52.
- [19] T. Surungan. (2010,02,16). *Hukum Termodinamika* (1<sup>st</sup> ed). Available : [www.unhas.ac.id](http://www.unhas.ac.id)
- [20] Dirjen PLSB 3 2021
- [21] A. Martin, N.I. Rivai. “Analisis Energi Pada unit 2 Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) Teluk Lembu Kapasitas 26,6 MW,” *Jurnal Sains dan Teknologi* 18(1) 27-31,2019
- [22] SIPSN (Sistem informasi pengelolaan sampah nasional)diakses 2023



- [23] N. Fitriani and F. Khoiris, *Termodinamika*. Semarang: Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Pendidikan Matematika Ilmu Pengetahuan Alam dan Teknologi Informasi, Universitas PGRI Semarang, 2017
- [24] Badan Pusat Statistik, "Statistik Produksi Sampah," kota Pekanbaru (2021). Kota Pekanbaru dalam angka 2020.
- [25] IPCC (International Panel of Climate Change). (2019). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Refinement 2019. Volume 5 Waste, Chapter 3 Solid Waste Disposal.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



UIN SUSKA RIAU

## LAMPIRAN



Gambar: timbunan sampah TPA muara fajar (2022)

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.