

**EVALUASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH  
MENGUNAKAN METODE GASIFIKASI DI BENOWO  
SURABAYA JAWA TIMUR**

**TUGAS AKHIR**

LAPORAN INI DISUSUN UNTUK MEMENUHI SALAH SATU SYARAT  
MEMPEROLEH GELAR SARJANA STRATA SATU (S1) PADA PROGRAM  
STUDI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG



**Disusun oleh:**

**ALIF KURNIAWAN**

**NIM. 30601601829**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG  
SEMARANG**

**2023**

**EVALUASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH  
MENGUNAKAN METODE GASIFIKASI DI BENOWO  
SURABAYA JAWA TIMUR**

**FINAL PROJECT**

THIS REPORT IS COMPLETED TO FULFILL ONE OF THE REQUIREMENTS TO  
OBTAIN A STRATEGY ONE (S1) BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL  
ENGINEERING STUDY PROGRAM FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG



**Disusun oleh:**

**ALIF KURNIAWAN**

**NIM. 30601601829**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG  
SEMARANG  
2023**

**LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI**

Laporan Tugas Akhir dengan judul **"EVALUASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH MENGGUNAKAN METODE GASIFIKASI DI BENOWO SURABAYA JAWA TIMUR "** ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari : \_\_\_\_\_

Tanggal : \_\_\_\_\_

**Tim Penguji**

**Tanda Tangan**

**Prof. Dr. Ir. H. Muhamad Haddin,**

**MT,**

**NIDN : 06180656301**

**Ketua Penguji**

**Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, MT,**

**NIDN : 0628086501**

**Penguji I**

**Dr. Ir H Sukarno Budi Utomo, MT,**

**NIDN : 0618066301**

**Penguji II**

## LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “EVALUASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH MENGGUNAKAN METODE GASIFIKASI DI BENOWO SURABAYA JAWA TIMUR” disusun oleh:

Nama : ALIF KURNIAWAN  
NIM : 30601601829  
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Rabu  
Tanggal : 30 Agustus 2023

Pembimbing I



Gunawan, ST., MT.  
NIDN : 0618066301

Pembimbing II



Ir Ida Widi Hastuti, MT  
NIDN : 0005036501

Mengetahui,  
Ka-Program Studi Teknik Elektro



Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.  
NIDN : 0607018501

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : ALIF KURNIAWAN

NIM : 30601601829

Fakultas : Teknologi Industri

Program Studi : Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Elektro di Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang dengan judul **“EVALUASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH MENGGUNAKAN METODE GASIFIKASI DI BENOWO SURABAYA JAWA TIMUR”** adalah asli (orisinil) dan bukan menjiplak (plagiat) dan belum pernah diterbitkan/dipublikasikan dimanapun dalam bentuk apapun baik sebagian atau keseluruhan, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab. Apabila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa Karya Tugas Akhir tersebut adalah hasil karya orang lain atau pihak lain, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis.

Semarang, 23 Juni 2023



ALIF KURNIAWAN  
NIM. 30601601829

## PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : ALIF KURNIAWAN

NIM : 30601601829

Fakultas : Teknologi Industri

Program Studi : Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir dengan judul :  
**EVALUASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH MENGGUNAKAN  
METODE GASIFIKASI DI BENOWO SURABAYA JAWA TIMUR** Menyetujui  
menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak bebas  
Royalti Non Eksklusif untuk disimpan, dialih mediakan, dikelola dan pangkalan  
data dan dipublikasikan di Internet dan media lain untuk kepentingan akademis  
selama tetap menyantumkan nama penyusun sebagai pemilik hak cipta.  
Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari  
terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiatisme dalam karya ilmiah ini, maka  
segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi  
tanpa melibatkan Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang, 23 Juni 2023



ALIF KURNIAWAN  
NIM. 30601601829

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

### **Persembahan :**

Pertama,

Laporan Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada Kedua Orang Tua saya yang sangat saya cintai (Bapak Teguh Siswo Hutomo dan Ibu Susiani) yang sudah membesarkan saya dan sudah membesarkan dan menjadi motivasi dalam hidup saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

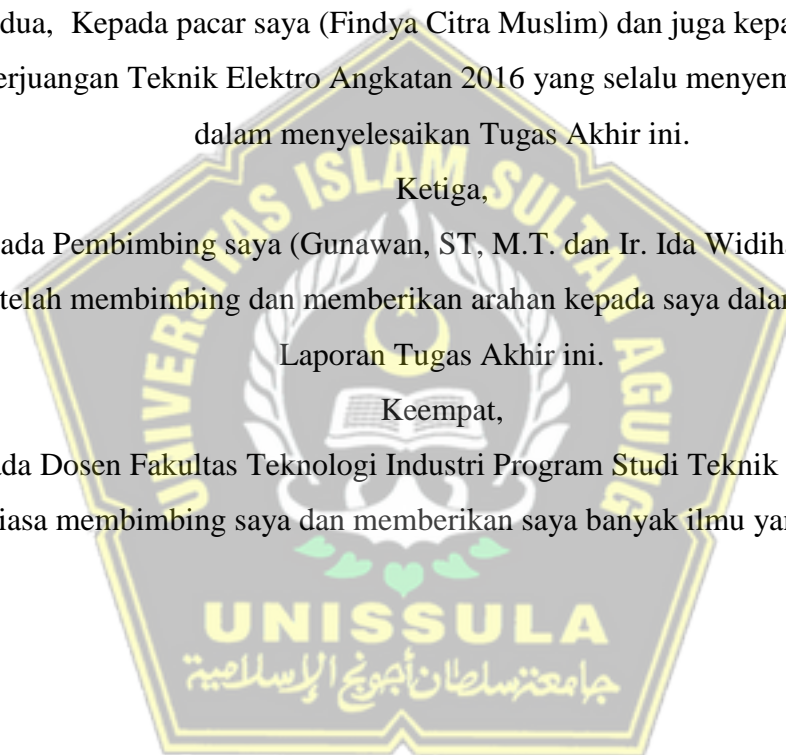
Kedua, Kepada pacar saya (Findya Citra Muslim) dan juga kepada Teman Seperjuangan Teknik Elektro Angkatan 2016 yang selalu menyemangati saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Ketiga,

Kepada Pembimbing saya (Gunawan, ST, M.T. dan Ir. Ida Widiastuti M.T.) yang telah membimbing dan memberikan arahan kepada saya dalam pembuatan Laporan Tugas Akhir ini.

Keempat,

Kepada Dosen Fakultas Teknologi Industri Program Studi Teknik Elektro yang senantiasa membimbing saya dan memberikan saya banyak ilmu yang bermanfaat



## HALAMAN MOTTO

“Hai orang-orang yang beriman, apabila dikatakan kepadamu:

"Berlapanglapanglah dalam majlis", maka lapangkanlah, niscaya Allah akan memberi kelapangan untukmu. Dan apabila dikatakan: "Berdirilah kamu, maka berdirilah, niscaya Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat. Dan Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan. (11)” (QS. Al-Mujadalah: 11)

“Berfikirilah positif, tidak peduli seberapa keras kehidupanmu.”

(Ali bin Abi Thalib)

“Berilah kemudahan dan jangan mempersulit, Berilah kabar gembira dan jangan membuat mereka lari.”

(HR Bukhari dan Muslim)





## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr. wb. Segala puji bagi Allah yang telah memberikan karunia serta berkat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “EVALUASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH MENGGUNAKAN METODE GASIFIKASI DI BENOWO SURABAYA JAWA TIMUR” untuk menyelesaikan persyaratan guna menempuh gelar sarjana (S1). Banyak hambatan yang terjadi dalam penulisan tugas akhir ini tetapi dengan adanya pihak lain yang membantu sehingga penulis dapat menyelesaikannya. Untuk itu dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. H. Gunarto, SH., M.Hum selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Dr. Novi Marlyana, S.T.,M.T. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Jenny Putri Hapsari, ST., MT. selaku Ketua Program Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Gunawan ST, M.T. dan Ir. Ida Widiastuti M.T. selaku Pembimbing I dan Pembimbing II yang telah membantu memberikan arahan serta dorongan untuk Penulis dalam penyusunan laporan tugas akhir.
5. Semua Dosen dan Karyawan Fakultas Teknologi Industri atas semua ilmu, bimbingan dan bantuannya hingga penulis menyusun tugas akhir ini.
6. Kedua Orang tua saya Bapak Teguh dan Ibu Susi yang sangat saya cintai, yang senantiasa memberikan doa, semangat, perhatian, dukungan, dan kasih sayang kepada penulis yang tiada henti.
7. Kepada teman-teman seperjuangan Teknik Elektro UNISSULA Angkatan 2016 yang selalu menghadapi halang dan rintangan dalam mencari ilmu di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
8. Rekan – rekan Program Studi Teknik Elektro, Serta pihak–pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis berpendapat bahwa skripsi ini merupakan karya terbaik yang dihasilkan, namun penulis sadar bahwa tidak menutup kemungkinan ada celah. Maka dari itu, kritik dan saran diperlukan, Akhir kata, semoga buku ini dapat bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan pembaca pada umumnya.

Semarang, 23 Juni 2023

ALIF KURNIAWAN

NIM. 30601601829



## DAFTAR ISI

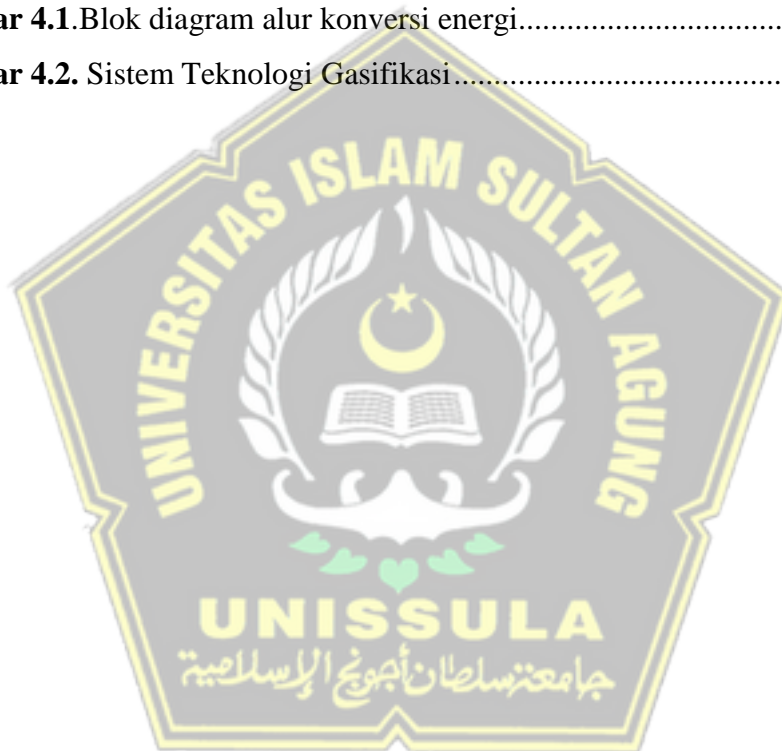
<b>SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR .....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH .....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>vi</b>
<b>HALAMAN MOTTO .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>16</b>
<b>1.1 Latar Belakang .....</b>	<b>16</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>19</b>
<b>1.3 Pembatasan Masalah.....</b>	<b>19</b>
<b>1.4 Tujuan .....</b>	<b>19</b>
<b>1.5 Manfaat .....</b>	<b>20</b>
<b>1.6 Sistematika Penulisan .....</b>	<b>20</b>
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....</b>	<b>22</b>
<b>2.1 Tinjauan Pustaka.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2 Dasar Teori.....</b>	<b>25</b>
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>38</b>
<b>3.1 METODOLOGI .....</b>	<b>38</b>
<b>BAB IV HASIL DAN ANALISA .....</b>	<b>41</b>
<b>4.1 Data Sampah di Kota Surabaya.....</b>	<b>41</b>

4.2 Analisa .....	46
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>56</b>
5.1 Kesimpulan .....	56
5.2 Saran.....	56
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>57</b>



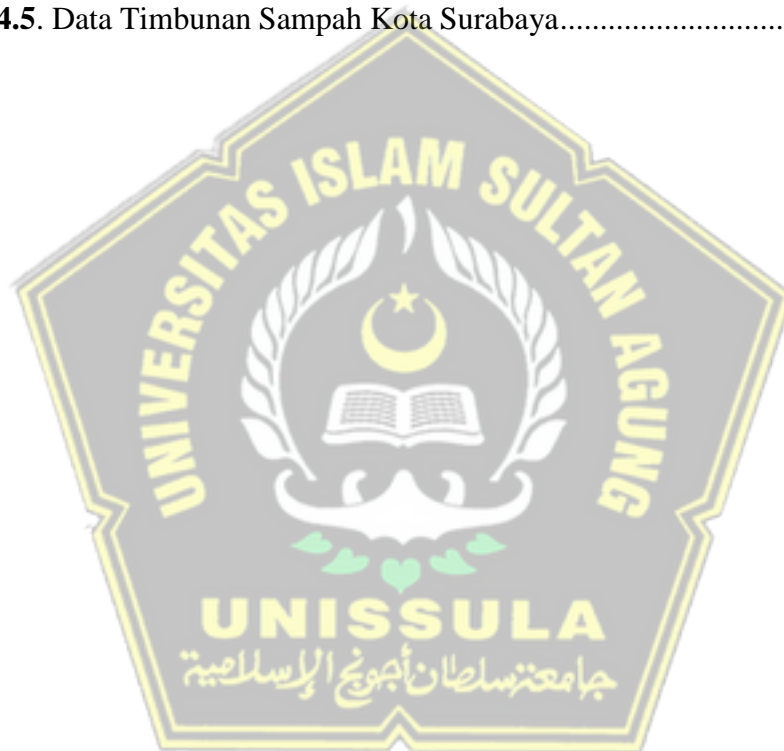
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Proses Pengolahan Sampah.....	32
Gambar 2.2. Tahap tahap untuk proses PLTSa.....	33
Gambar 2.3. Proses kerja PLTSa Thermal dengan Gasifikasi.....	33
Gambar 3.1. Diagram Alir Proses Gasifikasi.....	36
Gambar 3.2. Diagram Alir Proses Gasifikasi.....	36
Gambar 3.3. Flowchart.....	40
<b>Gambar 4.1.</b> Blok diagram alur konversi energi.....	44
<b>Gambar 4.2.</b> Sistem Teknologi Gasifikasi.....	52



## DAFTAR TABEL

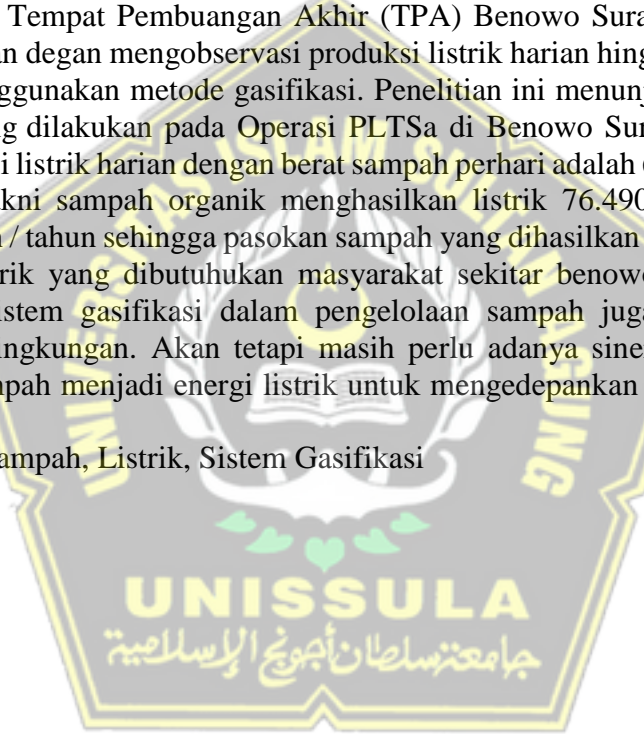
<b>Tabel 4.1.</b> Jumlah Penduduk dan Rasio Laju Pertumbuhan Penduduk Kota Surabaya Tahun 2021- 2022 .....	41
<b>Tabel 4.2.</b> Data Timbulan Sampah Harian yang masuk ke TPA Benowo Surabaya.....	41
<b>Tabel 4.3.</b> Data sampah organik dan anorganik perhari .....	42
<b>Tabel 4.4.</b> Tinjauan Teknologi Termal.....	48
<b>Tabel 4.5.</b> Data Timbunan Sampah Kota Surabaya.....	52



## ABSTRAK

Di Indonesia, sampah merupakan masalah utama dan masalah dalam bidang sosial, ekonomi, dan budaya. Banyak faktor yang mempengaruhi sampah di Indonesia yaitu pertambahan jumlah penduduk yang merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi jumlah sampah yang semakin meningkat setiap harinya sehingga mengakibatkan kerusakan lingkungan salah satunya yaitu pencemaran tanah yang berdampak pada saluran air dalam tanah akibat dari zat polutan yang masuk kedalam sumber air. Maka dibuatlah program PLTSa yang sebagai tenaga listrik alternatif yang baru ditemukan dan diimplementasikan di Indonesia. Surabaya adalah salah satu kota yang menerapkan teknologi ini. Penelitian ini bertujuan untuk Mengetahui jumlah pasokan sampah saat ini apakah terjadi oversuplai atau masih dibawah kapasitas produksi pembangkit listrik. Lokasi penelitian di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Benowo Surabaya yang melalui studi lapangan degan mengobservasi produksi listrik harian hingga jumlah pasokan sampah menggunakan metode gasifikasi. Penelitian ini menunjukkan bahwa hasil keluaran yang dilakukan pada Operasi PLTSa di Benowo Surabaya Jawa Timur memproduksi listrik harian dengan berat sampah perhari adalah 666.000 kg, dimana dari 55% yakni sampah organik menghasilkan listrik 76.490,16 kWh/hari atau 27.918 MWh / tahun sehingga pasokan sampah yang dihasilkan telah sesuai dengan produksi listrik yang dibutuhkan masyarakat sekitar benowo, dengan adanya penerapan sistem gasifikasi dalam pengelolaan sampah juga berdampak pada kelestarian lingkungan. Akan tetapi masih perlu adanya sinergi guna kemajuan konversi sampah menjadi energi listrik untuk mengedepankan penggunaan energi terbarukan.

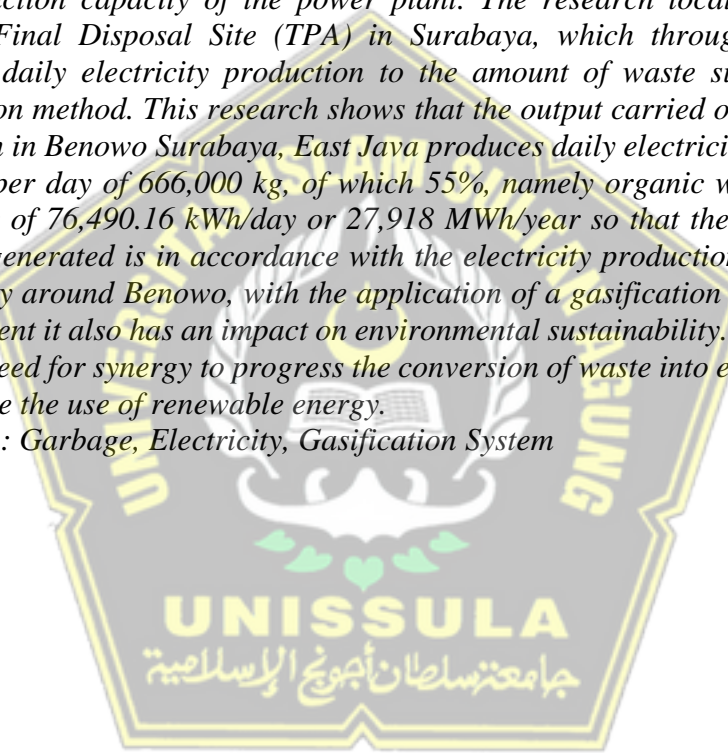
**Keyword:** Sampah, Listrik, Sistem Gasifikasi



## ABSTACT

*In Indonesia, waste is a major problem and problem in the social, economic and cultural fields. Many factors affect waste in Indonesia, namely population growth which is one of the factors affecting the amount of waste which is increasing every day resulting in environmental damage, one of which is soil pollution which has an impact on groundwater drains as a result of pollutants entering water sources. . Then a PLTSa program was created which was an alternative electric power that had just been discovered and implemented in Indonesia. Surabaya is one of the cities that implements this technology. This study aims to determine the current amount of waste supply whether there is an oversupply or it is still below the production capacity of the power plant. The research location was at the Benowo Final Disposal Site (TPA) in Surabaya, which through field studies observed daily electricity production to the amount of waste supply using the gasification method. This research shows that the output carried out at the PLTSa Operation in Benowo Surabaya, East Java produces daily electricity with a weight of waste per day of 666,000 kg, of which 55%, namely organic waste, generates electricity of 76,490.16 kWh/day or 27,918 MWh/year so that the supply of solid waste is generated is in accordance with the electricity production needed by the community around Benowo, with the application of a gasification system in waste management it also has an impact on environmental sustainability. However, there is still a need for synergy to progress the conversion of waste into electrical energy to promote the use of renewable energy.*

**Keywords:** *Garbage, Electricity, Gasification System*





## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Pembangkit listrik berbahan bakar sampah, atau PLTSa seperti yang lebih dikenal, telah menerima lebih banyak perhatian dari pemerintah dalam beberapa tahun terakhir. Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi (UU Energi) yang menjadi payung hukum pengembangan sumber energi terbarukan, dan Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional hanyalah dua contoh komitmen pemerintah terhadap pertumbuhan PLTSa dan Permen ESDM No. 44 Tahun 2015 tentang Pengadaan Tenaga Listrik oleh PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) dari Pembangkit Listrik Berbasis Sampah Kota. Sesuai dengan prinsip KEN, bahwa sampah dapat digunakan untuk menghasilkan tenaga, sebagian besar sampah yang dihasilkan di KEN digunakan untuk menggerakkan kendaraan. Sebagai bagian dari kerangka legislasi yang lebih besar untuk pengelolaan sampah, Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah (UU Pengelolaan Sampah) secara tegas menyatakan bahwa sampah dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi.

Meski demikian, masyarakat dan aktivis lingkungan sama-sama menyuarakan ketidaksetujuannya terhadap rencana pembangunan PLTSa di berbagai wilayah di Indonesia. Beberapa pemerhati lingkungan menentang pembangunan PLTSa karena khawatir akan potensi dampak buruk bagi kesehatan dan lingkungan. Yang juga memprihatinkan mereka adalah jumlah besar yang diharapkan akan diberikan di kemudian hari (*Indonesian Center for Environmental Law*). (Qodriyatun, 2021) Pemerintah selaku pemegang kewenangan pengelolaan sampah, dan pihak swasta yang mengelola kawasan, membebankan biaya pembuangan sampah di TPA kepada pengelola sampah dalam bentuk *tipping fee*. *Tipping fee* biasanya dihitung sebagai persentase dari total volume atau berat yang dikelola. (Ekky, 2021)

Ekspansi populasi, peningkatan standar hidup, menyusutnya wilayah yang tersedia, dan kerusakan lingkungan semuanya berkontribusi pada peningkatan

sejumlah masalah pengelolaan limbah. Permasalahan sampah di Indonesia belum ditangani secara memadai dengan pendekatan pengelolaan sampah yang komprehensif yang dimulai dengan pencegahan sampah (pihak produsen ataupun konsumen) dan diakhiri dengan daur ulang sampah (baik dari pihak produsen maupun konsumen). Karena ukurannya yang besar, Indonesia tentu memiliki masalah sampah yang serius. Di Indonesia, sampah merupakan masalah utama dan masalah dalam bidang sosial, ekonomi, dan budaya. Faktor-faktor yang mempengaruhi pencemaran di Indonesia sangat penting yaitu penambahan jumlah penduduk yang merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi bertambahnya jumlah pencemaran, tidak hanya penambahan jumlah penduduk, tetapi juga hal-hal yang mempengaruhinya yaitu. perubahan kehidupan masyarakat, gaya hidup dan tumbuhnya usaha atau jasa yang mendukung pembangunan ekonomi.

Jumlah penduduk yang begitu besar tentunya berpengaruh terhadap volume sampah yang menuju tempat pembuangan akhir. Surabaya, salah satu kota terpadat di Indonesia, memiliki kepadatan penduduk yang signifikan. Akumulasi begitu banyak sampah setiap hari memiliki efek kumulatif yang, Jika tidak segera dilakukan pembenahan akan menyebabkan permasalahan seperti luapan karena saluran air dan selokan yang tersumbat. Kejadian tahunan ini hampir diharapkan karena prevalensi masalah ini. (Sucahyo, 2021)

Kurangnya solusi yang efisien untuk sampah memiliki konsekuensi lingkungan yang serius, terutama di kota-kota besar seperti Surabaya. Karena meningkatnya permintaan akan ruang TPA ditambah dengan semakin berkurangnya ketersediaan fasilitas tersebut di kawasan TPA Benowo Surabaya, penduduk setempat menggunakan praktik pengelolaan sampah tradisional seperti penimbunan dan pembakaran untuk mengatasi masalah sampah yang berlebihan. Kota Surabaya, Indonesia, telah berjuang untuk menemukan solusi atas masalah pengelolaan sampahnya sampai seseorang menemukan ide baru perubahan sampah ke listrik yang dapat digunakan dengan menggunakan teknik pengolahan yang menghasilkan gas metana dan kemudian membakarnya. Untuk menghasilkan listrik, panas dihasilkan dan digunakan untuk memutar mesin uap yang dikopel dengan generator.

Gasifikasi plasma adalah teknologi mutakhir yang berpotensi merevolusi cara sampah diubah menjadi energi yang dapat digunakan. Semua komponen generator plasma dapat dimusnahkan oleh proses gasifikasi. Dengan bantuan listrik tekanan tinggi, sampah diubah menjadi gas sintetis dan padatan inert yang dikenal sebagai terak selama proses gasifikasi plasma (Herbert,2014). Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) menghasilkan listrik dengan membakar gas sintetis. Selain itu, slag memiliki nilai ekonomi sebagai bahan konstruksi dan konstruksi jalan.

Kemajuan teknologi konversi limbah menjadi energi, yang sebelumnya mengandalkan Teknologi Termal namun kemudian dikembangkan dengan memanfaatkan Teknologi Gasifikasi Plasma (melalui PLTSA), sangat membantu efisiensi pengolahan limbah, mengurangi efek negatif emisi terhadap lingkungan dan dapat menghasilkan energi listrik alternatif sebagai sumber listrik yang berkelanjutan. Menerapkan metode PLTSA untuk pengelolaan limbah adalah salah satu kemajuan paling signifikan di bidang ini. TPA Benowo-Surabaya merupakan salah satu lokasi yang memanfaatkannya dengan mengoptimalkan konversi sampah menjadi listrik. Kondisi kawasan sekitar TPA Benowo-Surabaya sangat memprihatinkan sebelum penerapan dan pengembangan teknologi PLTSA, dengan tumpukan sampah yang menimbulkan berbagai persoalan.

Di kota Surabaya, menangani masalah sampah masih sangat mudah. Permukiman masyarakat berfungsi sebagai tempat pembuangan sementara, dan tempat sampah langsung diangkat truk untuk ditempatkan secara strategis di seluruh permukiman. Hampir di setiap lokasi TPS terdapat sampah yang menumpuk di luar tempat pembuangan sampah. Ada kalanya ada lebih banyak sampah daripada yang bisa ditampung di tempat sampah yang diberikan. Dan kemudian ada fakta bahwa banyak orang bertindak tidak bertanggung jawab dan membuang sampahnya di sembarang tempat mulai dari tepi jalan hingga ke tengah saluran air.

Setelah terkumpul, sampah dibawa ke sistem open dumping di TPA Benowo-Surabaya, lalu ditimbun begitu saja. Hal ini pada akhirnya akan menyebabkan pengurangan jumlah lokasi yang digunakan, dan TPA perlu ditambah tentunya. Polusi udara dari bau dan gas yang dikeluarkan, polusi air dari lindi (limbah cair) yang terbentuk, dan estetika alam yang buruk dari lingkungan yang kotor adalah

kemungkinan akibat dari sistem pembuangan terbuka ini. Tindakan yang tepat diperlukan untuk mengatasi masalah sampah, dan salah satu pilihannya adalah mengubah sampah menjadi energi yang dapat digunakan secara ekonomis.

TPA Benowo Surabaya telah mengembangkan dan menerapkan sistem Teknologi Gasifikasi untuk mengolah sampah yang menghasilkan energi tanpa merusak lingkungan alam. Hasilnya, TPA Benowo-Surabaya telah menggunakan dan memelopori teknologi penanganan sampah seperti Sistem Teknologi *Landfill Gas Collection* dan Sistem Teknologi Gasifikasi yang nantinya dapat digunakan untuk mengubah sampah menjadi energi yang dapat digunakan, mereka melakukannya dengan cara yang berbeda.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Penulis menarik beberapa rumusan masalah yang akan dibahas pada Tugas akhir ini. Diantaranya yaitu :

- a) Berapa keluaran daya pembangkit listrik tenaga sampah jika menggunakan sistem gasifikasi di Benowo Surabaya Jawa Timur?
- b) Bagaimana proses konversi sampah menjadi energi menggunakan sistem gasifikasi di Benowo Surabaya Jawa Timur?
- c) Apa perbedaan pengelolaan pembangkit listrik dengan menggunakan teknologi landfill gas collection dengan gasifikasi ?

### **1.3 Pembatasan Masalah**

Untuk mencegah pembahasan yang meluas dan lebih fokus akan pembahasan penelitian, maka penulis membatasi penelitian ini dengan hanya membahas mengenai potensi sampah dan bagaimana mengetahui kandungan kalori hingga menghasilkan energi listrik, jumlah penduduk yang memproduksi sampah serta dampak energi listrik jika terjadi kenaikan atau penurunan dan kenaikan volume sampah sampah plastik yang menghasilkan PLTSa dalam jumlah besar dan sistem pengelolaan PLTSa tersebut.

### **1.4 Tujuan**

Dengan mempertimbangkan masalah yang disebutkan di atas, penulis berharap

dapat mencapai hal berikut melalui penelitian ini:

- a. Mengetahui pembangkit listrik tenaga sampah menggunakan sistem gasifikasi di Benowo Surabaya Jawa Timur
- b. Mengetahui proses konversi sampah menjadi energi menggunakan sistem gasifikasi di Benowo Surabaya Jawa Timur.
- c. Mengetahui manfaat dan potensi pembangkit listrik tenaga sampah menggunakan sistem gasifikasi di Benowo Surabaya Jawa Timur

### 1.5 Manfaat

Dengan dibuatnya penelitian ini penulis berharap agar :

- a) Penulis menjelaskan tentang manfaat sampah yang mampu menghasilkan sesuatu yang sangat bermanfaat untuk masyarakat.
- b) Pembaca maupun penulis dapat mengetahui sistem pengelolaan dan pengolahan sampah plastik yang menghasilkan PLTSa supaya suatu saat mampu diterapkan dan bisa dijadikan implikasi di daerah-daerah Indonesia.

### 1.6 Sistematika Penulisan

Tugas akhir ini ditulis dengan menggunakan metode berikut:

- **BAB 1 : PENDAHULUAN**  
Bab ini berisi tentang latar belakang penulis mengambil judul, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan serta manfaat dan penelitian ini.
- **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**  
Bab ini berisikan tentang kajian hasil dari penelitian – penelitian sebelumnya. Pada bab ini juga terdapat materi – materi yang mendukung untuk objek penelitian.
- **BAB III : METODE PENELITIAN**  
Bab ini berisikan metode penelitian yang di gunakan, alur penelitian atau flowchart.
- **BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN**  
Bab ini berisikan analisa dan perhitungan dari data yang telah di ambil.

➤ **BAB V : PENUTUP**

Bab ini berisikan kesimpulan dari penelitian ini serta saran atau pendapat penulis terhadap penelitian



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Penulis menggunakan beberapa sumber sebagai dasar untuk tugas akhir mereka, dengan tujuan menghasilkan tugas yang lebih unggul dari penelitian sebelumnya.

- a. Berdasarkan penelitian Feby Meilina Sucahyo, Eva Hany Fanida yang ditulis tahun 2021 dengan judul Inovasi Pengelolaan Sampah Menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) oleh Dinas Kebersihan Dan Ruang Terbuka Hijau (Dkrth) Surabaya dengan hasil TPA Benowo menggunakan teknologi *Landfill Gas Collection* dan teknologi Gasifikasi, dengan melibatkan Dinas Kebersihan dan Ruang Terbuka Hijau, PT.Sumber Organik dan PT Perusahaan Listrik Negara.
- b. Menurut penelitian Andri S. dan Firdaus Sihite (2018) dengan judul Studi Pengolahan Sampah untuk Bahan Bakar Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Mini di Kawasan Medan Sunggal dengan hasil Pembangunan PLTSa di Kawasan Medan Sunggal layak diterapkan dengan potensi listrik 451.46 kW dengan rasio keuntungnga BCR yaitu 3.09.
- c. Menurut Widiatmini Sih Winanti (2018) yang berjudul Teknologi Pembangkit Sampah (PLTSa) setelah tahap operasional unit PLTSa selesai, unit tersebut akan memiliki kapasitas untuk membakar antara 80 hingga 90 ton sampah per hari, menggunakan metode termal yang ramah lingkungan untuk menghasilkan listrik yang cukup untuk memenuhi kebutuhan proses PLTSa itu sendiri.
- d. Menurut Syafrina Juhaidah (2019) yang berjudul Pengelolaan Sampah Tamangapa Kota Makassar dengan hasil TPA Tamangapa belum memenuhi dari segi penggunaan sistem pengolahan sampah yang menggunakan sistem *semi cotroll landfill* dan akitivitas pengolahan sampah dapat berjalan efektif bila ada kerja sama antara pemulung dan pemerintah serta penerapan system *sanitary landfill* dalam TPA.
- e. Menurut penelitian sebelumnya dari Larasati Aliffia Syaiffhanaya Widyaputri

- (2020). dengan judul “Analisis Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Dan Manfaat Reduksi Emisi Karbon di Tempat Pengolahan Sampah Terpadu Bantargebang” dengan menganalisa Aktivitas perekonomian membutuhkan listrik sebagai penunjang produktivitas.
- f. Menurut penelitian sebelumnya dari Syahrial S dan Raini Mutmainna (2019). Dengan judul “Studi Potensi Sampah Sebagai Bahan Baku Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Di Unimus Makasar” berdasarkan temuan kajian dan evaluasi, sampah dapat menghasilkan energi listrik sebesar 24833,76 kWh/hari, atau 41.319,36 kWh/tahun, jika dijalankan selama setahun penuh.
- g. Menurut penelitian sebelumnya dari saudara Bionita Azarini (2017) dengan judul “ Studi Pengolahan Sampah Menjadi Energi Listrik Dengan Metode Insinerasi Di Tpa Putri Cempo”. menyajikan temuan dari evaluasi insinerasi sebagai opsi konversi limbah menjadi listrik, menghitung output listrik yang dihasilkan dan kebutuhan ruang untuk pembangunan PLTSa, serta mendiskusikan temuan tersebut.
- h. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Jon Marjuni Kadang, Nazaruddin Sinaga (2021), dengan judul “Pengembangan Teknologi Konversi Sampah Untuk Efektifitas Pengolahan Sampah dan Energi Berkelanjutan”. Berdasarkan temuan studi tersebut, teknologi gasifikasi merupakan metode pengelolaan sampah yang unggul di Indonesia, khususnya di Kota Surabaya (96,48% sampah terkelola pada tahun 2020) karena kemampuannya mengubah sampah menjadi energi yang dapat digunakan dengan laju yang lebih tinggi (12 MW dari 1.000 ton/hari sampah) dibandingkan pengumpulan gas TPA (2 MW/hari).
- i. Menurut penelitian yang dilakukan oleh I Gede Suparsa Adnyana, I Gusti Bagus Wijaya Kusuma, I Gusti Agung Kade Suriad, (2019) dengan judul “Analisis Kinerja Pembangkit Listrik Dual-Fuel Berbasis Gasifikasi Municipal Solid Waste”. Menurut angka, kendaraan berbahan bakar ganda lebih produktif daripada kendaraan berbahan bakar tunggal, baik dari segi pembangkitan tenaga maupun konsumsi solar. Ketika membandingkan total konsumsi bahan bakar Bukaan Penuh dan Setengah, kami menemukan bahwa Bukaan Setengah menggunakan 5.835 kilogram bahan bakar lebih sedikit per jam sementara



- membutuhkan 3,05 kali lebih banyak kerja untuk menghasilkan jumlah daya yang sama (36,6 kW) seperti Bukaian Penuh pada beban 100%. perbandingan.
- j. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Syarif Hidayat, Agung Hariyanto, Agus Yogiarto (2021) dengan judul “Pengolahan Sampah Hybrid PLTS Menjadi Energi Listrik Di Kelurahan Pondok Kopi”. Pendekatan ini juga diharapkan dapat menjadi sarana untuk melengkapi sampah yang sudah ada, khususnya di pusat-pusat kota besar. Rincian teknis dan fiskal pembangkit listrik tenaga limbah Pondok Kopi akan diuraikan menggunakan metodologi ini. Melalui rencana biodigester, pemakaian listrik PLN setiap tahunnya bisa ditekan hingga 82,28 persen, dengan hanya mengolah 100 kilogram sampah organik setiap harinya.
  - k. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Ridman, Ayong Hiendro, Kho Hie Kwee, dengan judul “Studi Perbandingan Potensi Pemanfaatan Sampah Sebagai Sumber Pembangkit Listrik dengan Teknologi Konversi Termal dan Gasifikasi di TPA Sorat Kabupaten Sambas”. Berdasarkan temuan studi tersebut, sebanyak 97,02 ton sampah per hari yang dibawa ke TPA di Kabupaten Sambas, dengan potensi pembangkitan energi listrik sebesar 6649,7594 MWh per tahun menggunakan teknologi konversi termal dan 6230,91084 MWh per tahun menggunakan teknologi gasifikasi. Dengan menggunakan teknologi konversi termal, net present cost tahunan adalah Rp49.460.925.299,15 sedangkan dengan teknologi gasifikasi, net present cost tahunan adalah Rp44.876.364.571,35. Biaya listrik per kilowatt-jam yang dihasilkan oleh teknologi konversi termal adalah Rp. 819,67/kWh, sedangkan biaya listrik per kilowatt-jam yang dihasilkan oleh teknologi gasifikasi adalah Rp. Dibandingkan satu sama lain, rata-rata biaya produksi listrik dengan menggunakan dua metode pembangkitan berbeda lebih tinggi Rp 25,99/kWh. Akibatnya, biaya rata-rata sistem per kWh pembangkitan energi listrik menggunakan teknologi gasifikasi secara signifikan lebih rendah daripada teknologi konversi termal.
  - l. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Jenni Ria Rajagukguk, dengan judul “Studi Kelayakan Desain Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Sebagai Sumber Energi Listrik 200 MW (Studi Kasus TPA Bantar Gebang Kabupaten

Bekasi)”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji kelayakan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) 200 MW di kawasan tersebut, serta potensi produksi landfill gas (LFG) dari TPA Bantar Gebang di Kabupaten Bekasi, serta kapasitasnya. energi listrik yang dapat dihasilkan dari kandungan gas TPA. Studi ini menggunakan pendekatan teknik dan teoretis untuk menyelidiki kelayakan penggunaan gas TPA yang dihasilkan oleh penguraian sampah organik sebagai sumber energi alternatif 200 MW untuk pembangkit listrik.

Pada penelitian yang dibuat ini akan menjelaskan berapa besar tenaga listrik yang dihasilkan oleh sampah plastik pada perharinya serta bagaimana sistem pengelolaannya, keunggulan penelitian ini dibanding yang lain adalah pengelolaan sampah plastik yang mampu menghasilkan PLTSa dengan daya yang cukup besar dan sangat berguna untuk masyarakat Benowo Surabaya sebagai kebutuhan listrik setiap harinya. maka dengan menggabungkan semua rumusan masalah yang ada pada penelitian sebelumnya menjadi satu sehingga laporan ini akan lebih lengkap dibandingkan dengan laporan sebelum – sebelumnya.

## **2.2 Dasar Teori**

Sistem pengolahan sampah hingga menghasilkan PLTSa di kawasan Benowo Surabaya Jawa Timur yang berasal dari sampah plastik menggunakan sistem pengolahan modern yaitu untuk meningkatkan pengelolaan limbah di TPA Benowo, para insinyur telah menyempurnakan sistem seperti sistem Gasifikasi dan aplikasi SWAT (*Solid Waste Application Transit*), memanfaatkan teknologi *Landfill Gas Collection* dan teknologi Pembangkit Listrik Gasifikasi (Feby, 2021). Sistem pentanahan dibagi menjadi dua jenis :

### **2.1.1 Sistem pengumpulan sampah plastik**

Fasilitas pembangkit listrik tenaga sampah menghasilkan listrik dengan membakar sampah. Limbah ini nantinya akan dimanfaatkan untuk memanfaatkan limbah untuk bahan bakar. Limbah ini kemudian akan digunakan untuk memanaskan air di boiler. Uap panas yang dihasilkan oleh boiler dipompa

ke turbin uap yang mengubah panas menjadi listrik..

- a. Sampah pemukiman (*domestic waste*)  
Sisa makanan, kertas bekas, plastik, daun, dll, pakaian bekas, bahan bacaan, perabot rumah tangga, daun-daunan dari pekarangan yang termasuk limbah padat yang tidak mudah terurai.
- b. Sampah dari daerah komersial  
Semua jenis tempat umum dan pusat transportasi menghasilkan sampah semacam ini. Berbagai bahan, termasuk kertas, plastik, botol, dedaunan, dan lainnya, menjadi sampah ini.
- c. Sampah yang berasal dari instansi  
Perkantoran dari semua lapisan masyarakat, termasuk lembaga akademik, perusahaan komersial, lembaga pemerintah, bisnis swasta, dan lainnya, berkontribusi terhadap sampah ini. Kertas, plastik, karbon, pengencang, dll., Membuat sampah ini. Sampah semacam itu biasanya lembam dan mudah terbakar.
- d. Sampah yang berasal dari pembongkaran bergantung pada spesifikasi operasi penambangan, sampah yang dihasilkan bisa berupa apa saja mulai dari batu dan tanah hingga pasir dan arang.
- e. Sampah dari jasa pelayanan perkotaan (utilitas kota) Utilitas mencakup hal-hal seperti air minum, pembuangan limbah, gas alam, tenaga listrik, dan layanan telepon, yang semuanya penting untuk kelancaran fungsi struktur atau rumah mana pun.
- f. Sampah yang berasal dari kawasan industri  
Limbah kemasan, logam, plastik, kayu, sisa tekstil, kaleng, dan barang serupa lainnya semuanya berasal dari kawasan industri dan digunakan dalam kapasitas tertentu dalam proses pembuatan.

### 2.1.2 Sampah Plastik

Untuk membuat plastik, makromolekul yang disebut polimer disintesis. Polimerisasi adalah proses kimia dimana beberapa molekul kecil (monomer) bergabung untuk membentuk struktur yang lebih besar (makromolekul atau

polimer). Karet, sejenis polimer, terutama terdiri dari karbon dan hidrogen. Naphtha, yang diperoleh melalui penyulingan bensin atau gas alam, adalah bahan utama produksi. Sebagai contoh, kebutuhan bahan baku dan energi untuk memproduksi 1 kilogram plastik membutuhkan 1,75 kilogram minyak bumi. Ada dua kategori plastik yang berbeda: fleksibel dan termoset. Termoplastik adalah zat yang meleleh pada suhu tertentu dan dapat dibentuk kembali setelah didinginkan. Plastik dapat dibagi menjadi dua kategori: termoplastik, yang dapat dibentuk kembali dengan pemanasan, dan plastik termoset, yang tidak bisa. (Kahfi, 2017)

Ketidakmampuan sampah plastik untuk terurai berarti dapat merusak kualitas tanah dan menimbulkan masalah lingkungan lainnya. Plastik yang dibuang sembarangan juga dapat menyumbat sistem drainase, selokan, dan saluran air, yang menyebabkan penumpukan air dan banjir. Kontaminan yang merugikan kesehatan manusia dapat dilepaskan selama pembakaran sampah plastik. Jika kita tidak menemukan cara untuk menghentikan produksi begitu banyak sampah yang seluruhnya terbuat dari plastik, ini akan menjadi masalah besar. Sampai saat ini, pendekatan 3R paling banyak diadopsi untuk menangani sampah plastik (Reuse, Reduce, Recycle). Untuk menggunakan kembali adalah menggunakan plastik beberapa kali. Tempat yang baik untuk memulai adalah dengan mengurangi konsumsi produk plastik, terutama yang sekali pakai. Produk plastik dapat didaur ulang. Semua metode pembuangan sampah yang disebutkan di atas memiliki kekurangannya. Beberapa plastik, seperti yang digunakan untuk membuat kantong plastik, tidak dirancang untuk digunakan kembali beberapa kali sebelum rusak. Sebagai kerugian tambahan, penggunaan plastik tertentu dalam waktu lama dapat berbahaya bagi kesehatan manusia. Alternatif plastik yang lebih murah dan lebih fungsional sekarang tersedia, yang merupakan kelemahan untuk diminimalkan. Namun, kualitas plastik daur ulang menurun, yang merupakan kelemahan utama daur ulang (Priyadi, 2023).

### **2.1.3 Pengertian Sampah**

Pasal 1 Undang-Undang No. 18 Tahun 2008 mendefinisikan sampah

sebagai sisa padat kegiatan manusia atau proses alam. Sesuai dengan ketentuan pasal 1 Perpres Percepatan Pembangunan Instalasi Pengolahan Sampah Menjadi Energi Listrik Berbasis Teknologi Ramah Lingkungan, sampah dapat berasal dari rumah tangga maupun kegiatan rumah tangga. Dalam pengertian lain, sampah adalah segala sesuatu yang pernah digunakan dan sekarang dibuang karena tujuan utamanya telah dipenuhi oleh sesuatu yang lain (Subekti, 2023).

#### **2.1.4 Jenis-jenis Sampah**

Sampah yang terdiri dari B3 merupakan tiga kategori sampah yang harus dikelola sesuai Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah. Berikut jenis-jenis sampah :

- a. Sampah rumah tangga, yaitu sampah dari penggunaan rumah tangga biasa, tidak termasuk kertas toilet dan bahan berbahaya.
- b. Sampah sejenis sampah rumah tangga, yaitu limbah dari komersial, khusus maupun publik, dan fasilitas lainnya, serta area limbah yang berasal dari fasilitas ini dan jenis fasilitas non-domestik lainnya, adalah contohnya.
- c. Sampah spesifik sampah yang mengandung B3 (bahan berbahaya dan beracun), yaitu secara periodik, terdapat banyak sekali sampah B3, limbah bencana, puing-puing bangunan yang dibongkar, dan jenis sampah lainnya yang tidak dapat diolah dengan teknologi saat ini.

#### **2.1.5 Komposisi Fisik Sampah**

Sampah dapat diklasifikasikan sebagai organik (terbuat dari organisme hidup) atau anorganik (terbuat dari zat tak hidup) berdasarkan susunan fisiknya. Menurut Sihite (2019) penjelasannya sebagai berikut :

- a. Sampah organik, yakni sampah cepat terurai dan digunakan kompos, maupun sampah nabati.

- b. Sampah anorganik, yakni sampah terbuat dari bahan tidak dapat terurai di lingkungan, seperti plastik, logam, dan aluminium.

### **2.1.6 Karakteristik Sampah**

Karakter sampah dilihat dari sifat maupun fisiknya. Massa jenis, kelembapan, abu, nilai kalor, dan ukuran sampah merupakan contoh ciri fisik sampah. Unsur penyusun limbah terdiri dari C, N, O, P, H, S, dan unsur lainnya; kandungan volatil (kuantitas uap yang terkandung dalam limbah) adalah karakteristik kimia lainnya.

### **2.1.7 Nilai Kalor Sampah**

Nilai kalor adalah angka yang menunjukkan kandungan kalor suatu bahan, karena bahan akan lebih panas jika nilai kalornya tinggi. Nilai kalor limbah adalah energi panas yang berasal dari sistem pemanas dan dipanaskan dengan pemanasan untuk memastikan suhu tinggi dalam termometer. Nilai kalor limbah merupakan jumlah energi panas yang dikeluarkan oleh bahan bakar selama proses oksidasi. Ada 3 (tiga) metode yang dapat digunakan untuk mengukur nilai kalor yaitu melalui pengukuran laboratorium, analisis tertutup (organisasi hidrokarbon) dan analisis akhir (organisasi biomassa). Nilai kalor sampah perkotaan bervariasi antara 5.500 Btu/lb hingga 10.000 Btu/lb

### **2.1.8 Aspek Pengelolaan Persampahan**

Kelolaan sampah harus terdapat penunjangnya, diantaranya ada lima aspek supaya berjalan baik. Secara khusus, kerangka kelembagaan dan organisasi, pertimbangan operasional teknologi, pertimbangan keuangan, dan peluang masukan dari masyarakat. Rizal (2011) menjelaskan sebagai berikut :

- a. Peraturan/hukum

Membangun sistem pengelolaan sampah memerlukan peraturan atau kerangka hukum sebagai dasar pelaksanaannya. Kebijakan ini digunakan untuk mengatur segala sesuatu yang berkaitan dengan pengelolaan sampah. Ini termasuk kolaborasi dengan berbagai pemangku kepentingan, rencana pengelolaan limbah padat kota, sistem manajemen dan banyak lagi.

b. Kelembagaan dan organisasi

Mandat pemerintah, pola sistem operasional, kapasitas kerja sistem, dan luasnya tugas dan pekerjaan yang dipegang sehingga semuanya menginformasikan struktur lembaga dan organisasi.

c. Teknis operasional

Teknis operasional mencakup dasar-dasar strategi pengelolaan sampah, termasuk bagaimana mengatur sampah untuk penyimpanan jangka panjang, pemindahan mudah, pengangkutan cepat, pemrosesan menyeluruh, dan pembuangan akhir.

d. Pembiayaan/retribusi

Aspek pembiayaan adalah mendorong mesin pengelola sampah ke depan untuk kinerja yang optimal. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi pengelolaan pemborosan dana, seperti rasio retribusi terhadap pendapatan masyarakat, struktur pemungutan retribusi yang relevan, dan persentase anggaran pendapatan dan belanja negara (APBN) terhadap anggaran pendapatan dan belanja daerah (APBD).

e. Peran serta masyarakat

Efektivitas pengelolaan sampah sangat bergantung pada partisipasi masyarakat. Masyarakat memiliki tanggung jawab untuk bertindak dengan cara yang memajukan tujuan inisiatif pengelolaan sampah. Hal ini terkait dengan variabel sosial dan budaya setempat, serta praktik pengelolaan sampah saat ini, serta pandangan masyarakat tentang pentingnya ketertiban dan keteraturan di kawasan ini.

### 2.1.9 Proses Pengelolaan sampah menjadi PLTSa

### A. Sistem Pengolahan

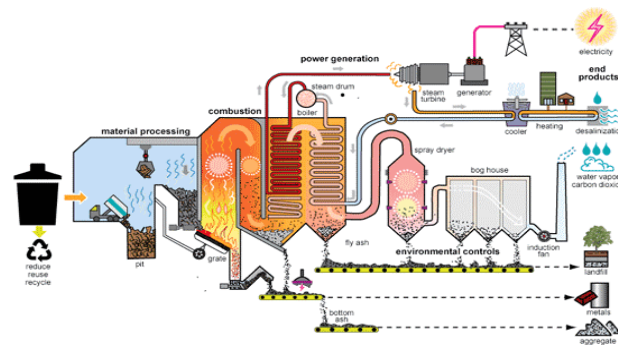
Sistem pengolahan sampah pada pembangkit listrik dimana sampah dibakar sebagai bahan bakar utama dalam boiler, dan uap dari air tersebut digunakan untuk memutar turbin dan menghasilkan energi. Gas metana (Biomassa) yang dikeluarkan dari timbunan sampah dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar.

Upaya dalam penghematan dan mengefektifkan teknologi yakni melalui perubahan sampah menjadi energi panas yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan proses pembakaran (insinerator), yang tidak hanya mengurangi volume sampah hingga 75%–80% tanpa perlu pemilahan, tetapi juga menghasilkan sampah yang kering. cukup untuk digunakan sebagai bahan penahan (fill material) tanpa ada pengolahan tambahan.

Gasifikasi adalah teknik umum lainnya, dan melibatkan penggunaan gas yang dihasilkan saat sampah anorganik dibakar (sampah plastik). Gas terbakar sempurna, hanya menyisakan CO<sub>2</sub>, yang merupakan keuntungan, begitu pula pembakaran menggunakan suhu lebih tinggi, pengurangan biaya pemasangan dan pengoperasian, dan emisi yang sangat minim.



Berikut adalah gambar proses pengolahan sampah.



**Gambar 2.1. Proses Pengolahan Sampah.**

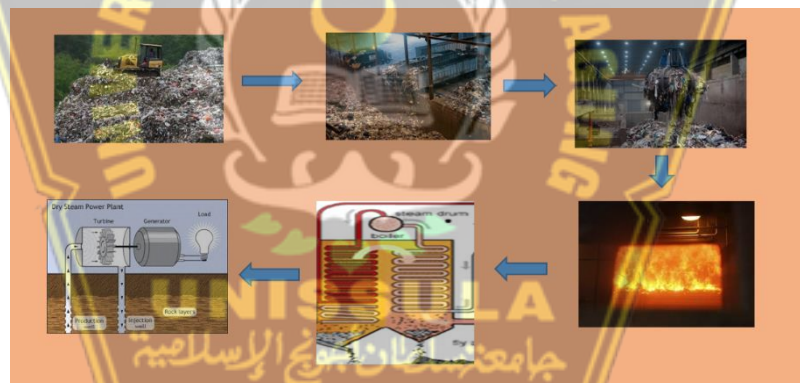
Tahapan pengolahan sampah :

- a. Untuk mencegah pencemaran lingkungan, sampah akan dikeringkan dari lindi di lokasi pengumpulan sampah dan diarahkan ke fasilitas penyimpanan bawah tanah.
- b. Sampah setengah kering dan kemudian dibuang ke tungku yang sangat panas dan tahan lama, yang membakar limbah dan menghilangkan gas beracun yang dihasilkan oleh pembakaran.
- c. Gas panas yang dihasilkan akan disalurkan menggunakan untuk penguapan air yang ada dalam ketel.
- d. Uap dengan temperatur tekanan tinggi inilah yang di gunakan untuk menghasilkan listrik
- e. Setelah gas dipanaskan, itu akan diarahkan ke saluran dan disaring pada saat yang sama sebelum dilepaskan ke saluran pembuangan. Filter dapat berbentuk filter debu dengan katalis terpasang. (Samsinar, 2018).

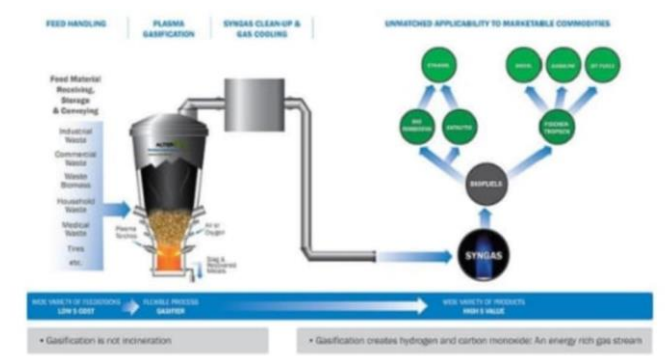
## **B. Sistem Gasifikasi**

Gasifikasi adalah sistem proses suatu konversi energi secara termokimia yang akan terjadi penguraian biomasa dilakukan di dalam sebuah alat yang disebut gasifier reactor, sistem penguraian ini dilakukan dengan cara yaitu pemanasan menggunakan suhu sekitar 1000°C. Bahan baku yang digunakan seperti dari sampah Anorganik. Adapula jenis gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi adalah CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>.

Gas hasil Gasifikasi seperti Gas Metana dapat digunakan untuk tujuan menyalakan mesin pembakaran internal, memanaskan rumah melalui kompor, dan menghasilkan energi melalui cara mentah. Metana dalam konteks gasifikasi umumnya dianggap sebagai komponen yang dapat memberikan nilai tambah jika diperoleh dalam jumlah yang signifikan. Metana dapat digunakan sebagai bahan bakar atau dapat diubah menjadi produk kimia lainnya. Dalam beberapa sistem gasifikasi, metana bahkan dapat diambil dari gas sintesis dan digunakan sebagai sumber energi tambahan atau dipisahkan dan dimurnikan untuk kegunaan lain (Dwipa, 2023). Hampir semua zat organik atau anorganik kering dapat diubah menjadi bahan bakar melalui sistem gasifikasi, menjadikannya sumber energi terbarukan yang berpotensi untuk produksi listrik. Berikut adalah gambar tahapan dalam proses pembuatan PLTSA melalui teknologi gasifikasi :



**Gambar 2.2.** Tahap tahap untuk proses PLTSA



**Gambar 2.3.** Proses kerja PLTSA Thermal dengan Gasifikasi.

Beberapa keuntungan dari metode Gasifikasi antara lain:

- a. Mampu menghasilkan gas dengan andal untuk digunakan dalam fasilitas listrik.
- b. Batubara, minyak, berbagai limbah, dan bahan bakar lainnya semuanya dapat dikonversi.
- c. Mampu mengubah bahan buangan yang nilainya kecil menjadi sesuatu yang lebih bernilai dan praktis digunakan
- d. Mengurangi produksi sampah
- e. Gas yang dihasilkan aman karena tidak mengandung zat beracun seperti gas furan atau dioksin.

#### **2.1.10 Potensi Sampah Menjadi Energi Listrik**

Nilai kandungan kalor yang dihasilkan merupakan langkah awal dalam menentukan apakah limbah memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar energi terbarukan atau tidak. Setelah nilai kalor yang diasumsikan diperoleh, maka diperoleh perhitungan besarnya kapasitas daya yang dihasilkan dari proses insinerator, begitu juga dengan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan atau bahan bakar yang sudah tersedia saat ini.

Analisis sampah organik deskripsi perhitungan:

$V_{total}$  = volume sampah homogen

$N_{median}$  = persentase sampah organik

$V_{organik}$  = volume sampah organik m<sup>3</sup> /hari

$\rho$  = berat jenis sampel sampah organik 984,38 kg/m<sup>3</sup>

$M$  = berat sampah organik kg/hari

Mengetahui volume sampah organik adalah langkah pertama dalam menghitung nilai kalor sampah, yang pada gilirannya memungkinkan seseorang menghitung jumlah energi (dalam kilowatt-hour) yang dapat dihasilkan dari memasukkan sampah ke dalam boiler dan menjalankan generator. Seperti dalam perhitungan berikut :

$$\text{Jumlah Kalori (kkal)} = \text{jumlah berat jenis sampah organik} \times \text{nilai sampah organik} \quad (1)$$

$$\text{Jumlah energi (kWh) perhari} = \text{jumlah kalori (kkal)} \times 0,00116 \text{ (kWh/kkal)} \quad (2)$$

$$= \text{Kapasitas Termal Sampah} = \frac{\text{jumlah energi (kWh)perhari}}{\text{jumlah jam per hari}} \quad (3)$$

$$\text{Daya keluaran pada boiler} = \text{Kapasitas Termal Sampah} \times \text{efisiensi boiler} \quad (4)$$

$$\text{Daya netto Turbin Uap} = \text{Daya keluaran boiler} \times \text{efisiensi turbin uap} \quad (5)$$

$$\text{Daya keluaran pada boiler} = \text{kapasitas termal sampah} \times \text{efisiensi boiler} \quad (6)$$

Energi listrik yang dihasilkan setiap hari setelah memanen listrik dari keluaran generator sebesar (kW) adalah sebagai berikut:

$$W = P \times t \quad (7)$$

Dengan keterangan :

**W** = energi listrik kWh

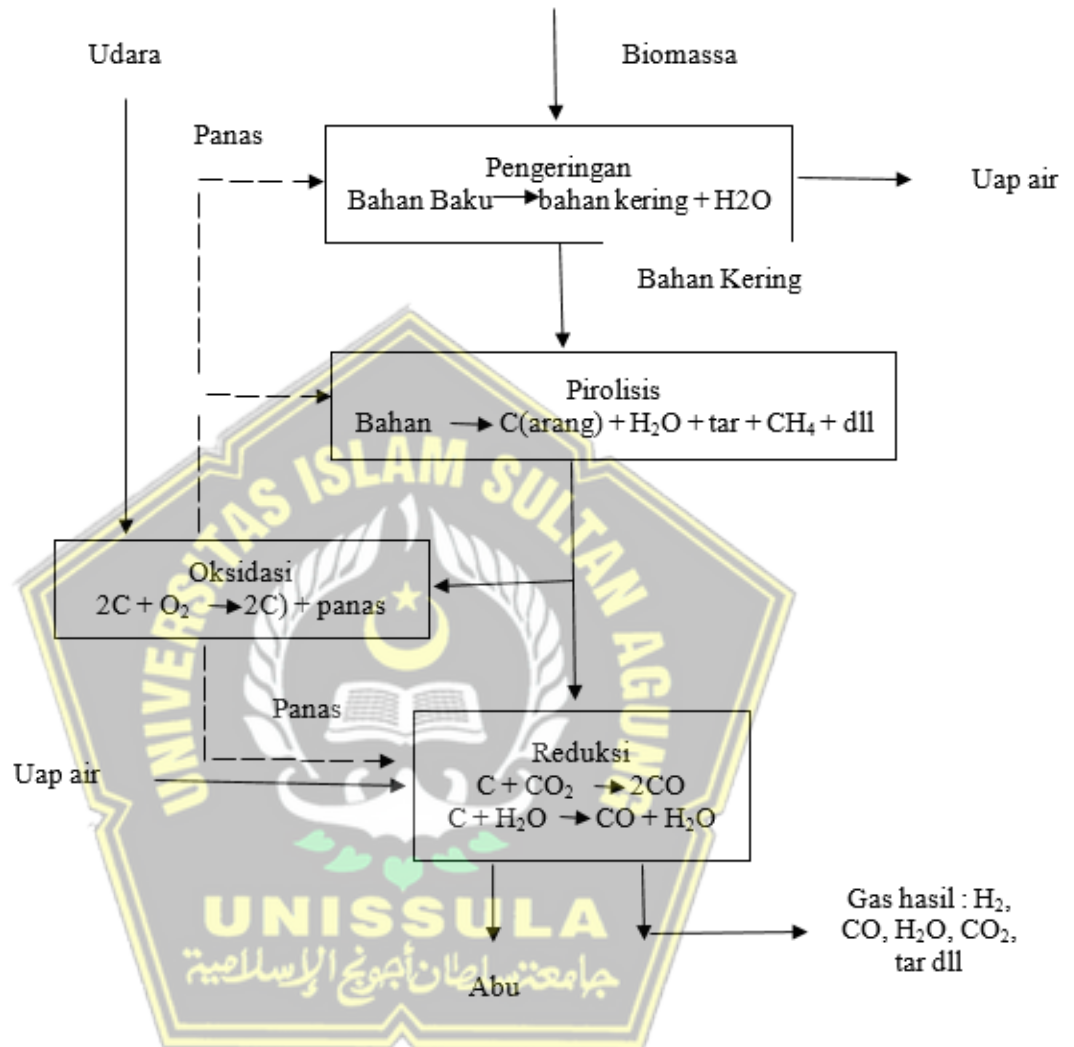
**P** = daya keluaran pada generator kW

**t** = waktu 24 jam

### 2.2.11 Operasi PLTSA

Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) Surabaya berada pada lahan TPA yang tersedia seluas 37,3 ha memungkinkan untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga sampah dengan dua sistem teknis yaitu sistem *Landfill Gas Collection* dan Gasifikasi. Sistem gasifikasi telah menghasilkan listrik sebesar 12 MW sejak dimulai pada tahun 2020. Diperkirakan sebanyak

seribu muatan sampah terkumpul setiap harinya (Khan, 2020). Berikut adalah gambar diagram alur proses gasifikasi :



Gambar 3.2. Diagram Alir Proses Gasifikasi

Tahapan Proses Gasifikasi : pengeringan, pirolisis, oksidasi/pembakaran dan reduksi

a. Proses Pengeringan

Biomassa mengalami proses pengeringan untuk menurunkan kadar airnya melalui proses konveksi di dalam reaktor dimana terjadi pemanasan, dimana udara yang bergerak memiliki kelembaban yang relatif rendah untuk memudahkan penghilangan kandungan air biomassa

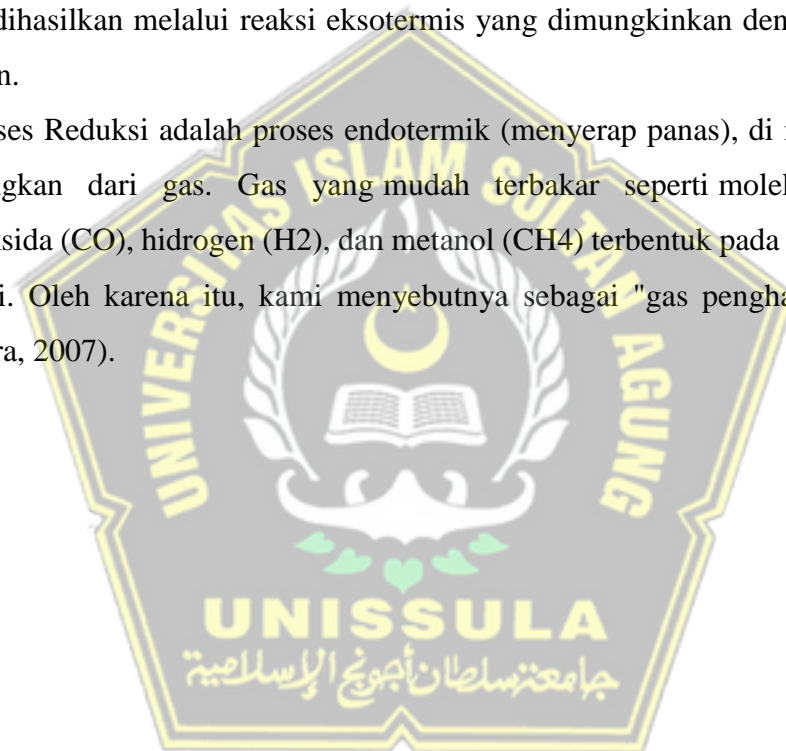
b. Proses Pirolisis

Proses pembakaran tanpa udara, komposisi kimiawi produk bergantung pada laju pemanasan pirolisis saat beroperasi pada 300 °C. Tar dan arang selain gas yang lebih ringan seperti hidrogen, karbon monoksida, dan karbon dioksida adalah produk sampingannya.

c. Oksidasi / Pembakaran

Jumlah dan lokasi oksigen yang ada di wilayah oksidasi secara signifikan mempengaruhi hasil dari proses ini. Proses gasifikasi membutuhkan panas, yang dapat dihasilkan melalui reaksi eksotermis yang dimungkinkan dengan adanya oksigen.

Proses Reduksi adalah proses endotermik (menyerap panas), di mana panas dihilangkan dari gas. Gas yang mudah terbakar seperti molekul karbon monoksida (CO), hidrogen (H<sub>2</sub>), dan metanol (CH<sub>4</sub>) terbentuk pada awal proses reduksi. Oleh karena itu, kami menyebutnya sebagai "gas penghasil" di sini (Chopra, 2007).



## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 METODOLOGI**

Penelitian ini dilakukan melalui cara mempertimbangkan tahapan yang telah dikaji dengan metode deskriptif Kualitatif, pengambilan data, pengolahan data, penentuan keputusan, dan saran. Penyusunan tugas akhir ini menggunakan metode berikut :

##### **3.1.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

###### **A. Waktu**

Jangka waktu 6 bulan, dari Juni hingga November 2022, didedikasikan untuk mengumpulkan sumber daya untuk penelitian tugas akhir ini, yang mencakup hal-hal seperti mengumpulkan alat dan bahan, merancang, menguji alat, dan akhirnya mengumpulkan data.

###### **B. Tempat Penelitian**

TPA Benowo Surabaya adalah tempat kajian penelitian.

##### **3.1.2 Metode Penelitian**

###### **A. Pengambilan Data**

Data primer yang berasal dari sumber utama, dan data sekunder yang disusun dari data yang sudah ada merupakan data lapangan yang diperlukan.

Secara khusus, memerlukan informasi berikut:

- Informasi mengenai pengeluaran sampah harian di TPA Benowo
- Apa yang masuk ke TPA Benowo dan dari mana asalnya
- Informasi tambahan untuk membantu dalam fase penelitian

##### **3.1.3 Alat dan Bahan**

Alat yang penulis gunakan adalah :

- a. Camera
- b. Jurnal
- c. Buku
- d. Pulpen

### 3.1.4 Data yang dibutuhkan

Jenis informasi berikut akan diperlukan untuk memastikan keberhasilan penelitian ini:

Data Peralatan, Tabung, dan Pipa

- d. Luas area TPA PLTSa Benowo
- e. Jumlah volume sampah yang akan di olah
- f. Perhitungan jumlah kadar air
- g. Data jenis, sumber, komposisi sampah di TPA Benwo
- h. Jumlah Listrik yang akan di alirkan untuk PLN dan Masyarakat
- i. Jenis bahan baku selain sampah untuk pengolahan PLTSa
- j. Penghitungan hasil listrik yang dihasilkan oleh sampah plastik
- k. Jenis teknologi yang digunakan untuk proses PLTSa

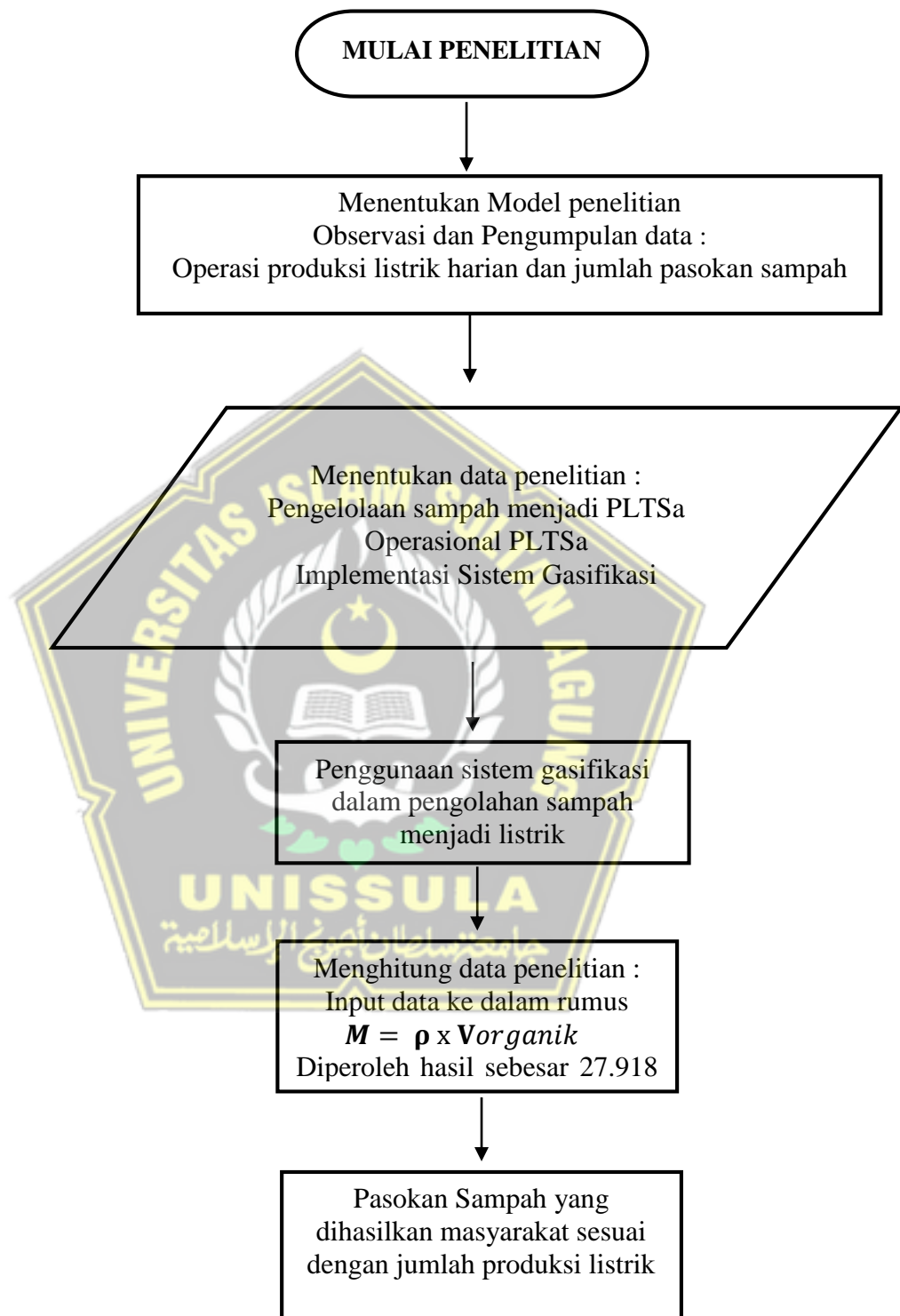
Untuk mengambil data serta dokumentasi yang dibutuhkan penulis untuk mencari jumlah listrik yang dihasilkan oleh TPA Benowo dalam sehari.

### 3.1.5 Analisis Data

Proses analisis data meliputi pengumpulan informasi yang relevan. Setelah data diperoleh kemudian data di reduksi sedemikian rupa supaya bisa ditarik kesimpulan dari data (Rijali, 2018).



### 3.1.6 Flow Chart Penelitian



Gambar 3 .3. Flowchart

## BAB IV HASIL DAN ANALISA

### 4.1 Data Sampah di Kota Surabaya

Total sampah mencapai 264.168,42 ton dengan 45,69 persen anorganik. Dari sampah anorganik tersebut, 109.852,11 ton merupakan sampah plastik dan 154.316,31 ton merupakan jenis sampah lainnya.

**Tabel 4.1.** Jumlah Penduduk dan Rasio Laju Pertumbuhan Penduduk Kota Surabaya Tahun 2021- 2022

Tahun	Jumlah Penduduk ( juta jiwa )	Rasio Laju Pertumbuhan Penduduk Pertahun (%)
2021	2,89	-0,37%
2022	2,97	

**Sumber:** Statistik Daerah Kota Surabaya 2020 dan 2021

Dari statistik di atas, terlihat jelas bahwa laju pertumbuhan penduduk tahunan meningkat dengan laju yang mengkhawatirkan. Penurunan 0,37 poin persentase dari 2019 ke 2020. Padahal, pengelolaan sampah masih menjadi isu yang perlu didekati secara hati-hati. Dinas Kebersihan dan Ruang Terbuka Hijau Dewan Kota Surabaya melaporkan, rata-rata sampah yang dihasilkan kota ini per hari adalah 9.897,78 m<sup>3</sup>. TPA Benowo Surabaya mengolah rata-rata 1.600 muatan sampah per hari (RPJMD). (BPS, 2021)

**Tabel 4.2.** Data Timbulan Sampah Harian yang masuk ke TPA Benowo Surabaya

Tahun	Timbulan Sampah Harian	Timbulan Sampah Pertahun
2019	1.688,83 ton/ hari	616.424,98 ton / tahun
2020	1.654,34 ton/ hari	603.836,67 ton/ tahun
2021	666,25 ton / hari	243,183 ton / tahun

**Sumber :**SIPSN-Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional

Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional memprediksi produksi sampah kota akan turun signifikan pada tahun 2021, sebagai akibat dari pengelolaan sampah yang baik pula. Maka dengan adanya informasi tersebut perlu adanya evaluasi PLTSa dengan metode gasifikasi di TPA Benowo Surabaya Jawa Timur.

#### 4.1.1 Sampel Sampah Organik

Setelah ditinjau langsung pada lokasi penampungan sampah di TPA Benowo Surabaya Jawa Timur yang mempunyai volume sampah homogen yakni meliputi sampah biologis dan anorganik. Petugas TPA Benowo Surabaya diminta keterangan langsung saat pencoblosan tentang sampah yang dibawa masuk setiap hari. Selain itu, sampel sampah organik harian diambil. Jumlah sampah yang dipindahkan ke tempat pemindahan untuk dibuang digunakan sebagai proksi ukuran sampel. Yaitu menggunakan triseda dengan dimensinya adalah 2,12 m<sup>3</sup>. (Adnan, 2018)

**Tabel 4.3.** Data sampah organik dan anorganik perhari

No	Berat Sampah kg/ hari	Volume Keranjang Sampah (m <sup>3</sup> /hari)	Berat Jenis (kg/m <sup>3</sup> )
1	3000 kg	2,12 m <sup>3</sup> /hari	1415,094 kg/m <sup>3</sup>
2	3500 kg	2,12 m <sup>3</sup> /hari	1650,943 kg/m <sup>3</sup>
3	3700 kg	2,12 m <sup>3</sup> /hari	1745,283 kg/m <sup>3</sup>
4	2900 kg	2,12 m <sup>3</sup> /hari	1367,925 kg/m <sup>3</sup>
5	2800 kg	2,12 m <sup>3</sup> /hari	1320,755 kg/m <sup>3</sup>
6	3200 kg	2,12 m <sup>3</sup> /hari	1509,434 kg/m <sup>3</sup>
7	3000 kg	2,12 m <sup>3</sup> /hari	1415,094 kg/m <sup>3</sup>
<b>Jumlah</b>	22.100 kg	15 m <sup>3</sup> /hari	10.425 kg/m <sup>3</sup>
<b>Rata-rata</b>	3.157 kg	2,12 m <sup>3</sup> /hari	1.489 kg/m <sup>3</sup>

Dengan adanya data sampah organik dan anorganik rata rata sampah adalah 3.157 kg dan volume keranjang 2,12 m<sup>3</sup> berikut cara menghitung berat jenis sampah:

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Jenis Sampah kg/} &= \frac{\text{Berat sampah (kg)}}{\text{Volume Sampah (m}^3\text{)}} \\
 \text{m}^3 &= \frac{3.157 \text{ kg}}{2,12 \text{ m}^3} \\
 &= 1.489 \text{ kg/ m}^3
 \end{aligned}$$

### Data perhitungan dan analisis

Hasil Analisa Potensi Energi Sampah Organik

$$\begin{aligned}
 \text{Volume} &= \frac{M}{\rho} \\
 &= \frac{666.000 \text{ kg / hari}}{1,489 \text{ kg/m}^3} \\
 &= 447.280,05 \text{ m}^3 / \text{hari} \\
 \text{Vorganik} &= V_{\text{total}} \times N_{\text{media}} \\
 &= 447.280,05 \text{ m}^3 / \text{hari} \times 55\% \\
 &= 246.004,03 \text{ m}^3 / \text{hari} \\
 M &= \rho \times V_{\text{organik}} \\
 &= 1,489 \text{ kg / m}^3 \times 246.004,03 \text{ m}^3 / \text{hari} \\
 &= 366.300 \text{ kg / hari}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rata-rata 3.167 kg sampel sampah organik dan anorganik dari lokasi TPA Benowo Surabaya, kami menghitung berat jenis 1.489 kg/m<sup>3</sup>. Sekitar 55 persen dari jumlah sampah harian atau 246.004,03 m<sup>3</sup> terdiri dari sampah organik. Indonesia menghasilkan antara 50 hingga 60% sampah organik dunia. Kemudian volume sampah organik dipilih 55% karena diambil dari median volume sampah di Indonesia.

#### 4.1.2 Perhitungan Perkiraan Hasil Keluaran Daya dengan Teknologi

### Gasifikasi

Pembangkit listrik berbahan bakar limbah adalah salah satu cara agar sampah dapat dimanfaatkan dengan baik sebagai sumber energi alternatif, pengurangan jumlah sampah dipembuangan akhir dengan demikian memperburuk polusi di alam. Alat konversi energi masing-masing supaya berjalan efisien melalui perkiraan daya keluaran PLTSA yang dibangun dari bahan bakar sampah organik. Seperti yang ditunjukkan dalam alur berikut :



**Gambar 4.1.** Blok diagram alur konversi energi

Energi termal yang dimasukkan ke dalam tungku dihitung sebagai berikut, menggunakan data dari sampel sampah yang dikumpulkan di TPA Benowo Surabaya.

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Kalori (kkal)} & / = \text{Jumlah berat jenis sampah organik nilai} \\
 & \text{sampah organik} \\
 & = 1000,09 \text{ kkal / kg} \times 366.300 \text{ kg/ hari} \\
 & = 366.332.967 \text{ kkal / hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah energi (kWh)} & = \text{Jumlah kalori (kkal)} \times 0,00116 \text{ (kWh/hari)} \\
 & = 366.332.967 \text{ kkal} \times 0,00116 \text{ (kWh/hari)} \\
 & = 424.946,24 \text{ kWh/hari}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan data dari sampel sampah organik yang dikumpulkan di TPA Benowo Surabaya, dapat dihitung besaran energi panas yang masuk ke boiler adalah 424.946,24 kWh/hari, atau 336.332.967 kkal/hari.

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas termal sampah} & = \frac{\text{JUmlah energi (kWh / hari)}}{\text{JUmlah jam /hari}}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{424.946,24 \text{ kWh /hari}}{24 \text{ jam /hari}}$$

$$= 17.706,09 \text{ Kw}$$

Jika kita membagi keluaran energi harian (dalam kilowatt-jam, atau kWh) dengan jumlah jam dalam sehari (24), kita mendapatkan kapasitas pembangkit listrik sebesar 17.706,09 kW. Namun, ini tidak memperhitungkan efisiensi boiler, yang akan dihitung menggunakan biaya boiler limbah serupa untuk mendapatkan hasil yang serupa (efisiensi sekitar 80%).

$$\begin{aligned} \text{Daya} &= \text{Kapasitas termal sampah} \times \text{Efisiensi} \\ \text{keluaran Boiler} & \\ &= 17.706,09 \text{ kW} \times 80\% \\ &= 14.164,87 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diperoleh daya keluaran boiler sebesar 14.164,87 kW. Efisiensi 80% cukup optimis jika dibandingkan dengan 85% yang dicapai oleh tungku berbahan bakar batubara.

$$\begin{aligned} \text{Daya netto turbin} &= \text{Daya keluaran boiler} \times \text{efisiensi turbin} \\ \text{uap} & \\ &= 14.164,87 \text{ kW} \times 25\% \\ &= 3.541,22 \text{ Kw} \end{aligned}$$

Efektivitas turbin uap dihitung dengan menggunakan efisiensi siklus rankine, yaitu antara 25 - 30 persen. Kemudian, dalam persamaan tersebut, gunakan rasio keamanan 25%. Sehingga keluaran daya bersihnya adalah sebesar 3.543,22 kW yang digunakan untuk menggerakkan generator.

$$\begin{aligned} \text{Daya keluaran pada} &= \text{Daya netto turbin uap} \times \text{efisiensi generator} \\ \text{Generator} & \\ &= 3.541,22 \text{ kW} \times 90\% \\ &= 3.187,09 \text{ Kw} \end{aligned}$$

Generator dengan efisiensi 90% dipilih, dan produksi daya bersih dikalikan dengan faktor efisiensi generator untuk mendapatkan jawaban dalam kilowatt. Menggunakan daya keluaran generator selama 24 jam menghasilkan energi listrik harian yang dihasilkan dari gasifikasi, yang

dalam hal ini adalah 3.187,09 kW (karena generator digerakkan oleh gas buang);

$$\begin{aligned}
 W &= P \times t \\
 &= 3.187,09 \text{ kW} \times 24 \text{ jam} \\
 &= 76.490,16 \text{ kWh/hari}
 \end{aligned}$$

Dihasilkan keluaran generator sebesar 76.490,16 kWh/hari dan jika beroperasi selama 1 tahun maka 27.918.968 kWh / tahun atau 27.918 MWh / tahun.

## 4.2 Analisa

### A. Konversi Sampah Menjadi Energi

Proses mengubah sampah menjadi energi, baik panas maupun listrik, disebut konversi limbah menjadi energi. Teknologi daur ulang sampah ini dapat membantu mengurangi sampah dengan memadatkannya dan mengubahnya menjadi bahan bakar yang dapat digunakan. Sistem pemanas, pencernaan anaerobik, *Landfill Gas Recovery*, dan *refuse derived fuel* (RDF) adalah contoh strategi pengelolaan limbah yang banyak digunakan. Sistem Termal dapat mengubah Limbah Mudah Terbakar menjadi energi termal, gas alam sintetis, dan minyak yang dapat digunakan. Satu-satunya jenis sampah yang dapat diproses oleh sistem Pencernaan Anaerobik adalah sampah organik, dan produk sampingan dari proses ini adalah Biogas. Bahan biodegradable di TPA dapat dirubah menjadi energi terbarukan melalui teknologi *Landfill Gas Recovery*. Proses RDF juga mengubah sampah yang dapat dibakar menjadi zat dengan nilai kalor tinggi.

Berbagai metode konversi limbah menjadi energi menghasilkan uap, panas, dan listrik sebagai produk sampingan. Metode pengolahan limbah tradisional bergantung pada jenis teknologi konversi limbah menjadi energi berikut ini:

1. Teknologi Termal
  - a. Hidro Pirolisis/Insinerator, yakni diperoleh melalui pemanasan unsur

organik dengan air bertemperatur tinggi

- b. Pirolisis, yaitu mirip dengan Hydro Pyrolysis (tetapi tanpa oksigen), proses ini mendaur ulang sampah organik dari pengaturan komersial dan pertanian.
- c. Gasifikasi

Gasifikasi standar dan gasifikasi Plasma Arc adalah dua tipe utama. Menggunakan ruang pembakaran yang dipanaskan hingga suhu tinggi dan tanpa oksigen, teknologi gasifikasi konvensional menghasilkan gas sintesis, cairan, dan arang sebagai bahan bakar. Limbah biomassa, co-gasifikasi (PE, batu bara), dan bahan kimia gasifikasi membentuk proses gasifikasi tradisional (CO<sub>2</sub>, air). Dan karena tegangan listrik yang tinggi dapat menciptakan medan listrik yang dapat memanaskan limbah hingga suhu tinggi, hal itu digunakan dalam pembuatan teknologi gasifikasi melalui teknologi gasifikasi Plasma Arc.

2. Teknologi Non-Termal
  - a. Teknik Fermentasi, yaitu senyawa organik mengalami perubahan kimia ketika enzim bebas oksigen hadir.
  - b. Prinsip Anaerobic Digestion, yaitu mengeksploitasi makhluk mikroskopis untuk menyerang bahan organik.

Jenis Limbah, Status Teknologi, Skala Optimal, Kondisi Penetapan Proses, Hasil Akhir, Biaya Investasi, Biaya Operasional dan Pemeliharaan, Persyaratan Lahan, Keterampilan Operator, Potensi Dampak, dan Kontribusi terhadap Ketahanan Energi semuanya diidentifikasi sebagai kriteria yang sesuai untuk pemilihan pengelolaan limbah teknologi. Teknologi PLTSA, pembangkit listrik yang memaksimalkan bahan bakar dari limbah, menjadi inti dari terciptanya konversi limbah menjadi energi ini. Pembakar memanfaatkan produk sampingan ini untuk menghangatkan air. Uap panas yang diperoleh dimasukkan ke dalam turbin uap, yang pada gilirannya memutar generator, memungkinkan produksi energi.

## **B. Pengembangan Teknologi Konversi Sampah menjadi Energi**



Pembakaran/Insinerasi, Gasifikasi, dan Pirolisis adalah semua teknologi yang telah maju ke titik di mana mereka dapat mengubah sampah menjadi listrik, dan evolusi masing-masing dibandingkan dalam Tabel 3. Banyak faktor, termasuk yang berkaitan dengan emisi dan iklim, panas, kapasitas, dan investasi, diperhitungkan saat membandingkan berbagai teknologi konversi limbah yang menghasilkan listrik.

Tabel 4.4. Tinjauan Teknologi Termal

Kriteria	Metode Pembakaran	Metode Gasifikasi	Metode Pirolisis
Prinsip Kerja	Melalui kadar oksigen/udara berlebih	Melalui kadar oksigen/udara rendah	Tanpa adanya kadar oksigen/udara
Suhu (°C)	800-1450	500-1800	250-900
Komersial Pembangkit	Ada	Ada	Tidak Ada (Percontohan)
Umur Ekonomis	125 Tahun	10 Tahun	30 Tahun
Banyaknya Pembangkit (Dunia)	>1000	<150	<10
Tempat Pembangkit Pra-Pemrosesan Sampah	Negara: Singapura, Amerika, Eropa	Negara: Amerika, Eropa, Jepang	Non-MSW: Eropa
Efisiensi Termal (%)	18-28	12-18	TBC
Output Pengolahan	Produk: Gas, Panas	Produk: Gas Sintesis	Produk: Gas Sintesis, Minyak Pirolisis
Peluang Penanganan Sampah	80 %	80 % s.d. 90 %	80 % s.d. 90 %
Fase Gas	N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, CO	CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O,	HC, CO,

	2	CO	N <sub>2</sub> ,H <sub>2</sub> ,H <sub>2</sub> O
Fase Padat	Slag, Ash	Slag, Ash	Coke, Ash
Fase Cair			Pirolisis oil, water
Sisa dari Proses	Sisa APC, Besi, Ash	Sisa APC, Ash	Ash, Sisa APC, Arang
Resiko Operasi	Kegagalan Bagian/Komponen (resiko rendah)	Gas Sintesis butuh dibersihkan karena memiliki resiko cukup tinggi pada kegagalan Bagian	Gas Sintesis butuh dibersihkan karena memiliki resiko cukup tinggi pada kegagalan Bagian

Selain itu, teknologi konversi sampah telah dikembangkan, terutama melalui penggunaan Teknologi Hidrotermal dan Teknologi Gasifikasi Plasma.

#### 1. Teknologi Hidrotermal

Mencampur biomassa/limbah ke dalam reaktor (uap penuh 200°C dan tekanan 2 MPa) adalah cara kerjanya. Pengadukan selama satu jam selanjutnya dilakukan dalam reaktor sementara tekanan dan suhu dipertahankan. Produk akhir berupa lumpur homogen, yang dikeringkan dan digunakan sebagai bahan bakar dalam reaktor untuk menghasilkan energi panas, yang dapat menghasilkan listrik.

#### 2. Teknologi Gasifikasi

Konsep ini didasarkan pada ionisasi gas (gas sintesis), kompresi limbah untuk menghasilkan Syngas yang Gasnya dihasilkan melalui proses reaksi kimia yang disebut "gasifikasi." Gasifikasi melibatkan pemanasan bahan bakar organik seperti batubara, biomassa, minyak bumi, atau limbah padat dalam lingkungan yang memiliki kandungan oksigen yang terbatas atau tanpa oksigen sama sekali. Proses ini menghasilkan reaksi kimia yang mengubah bahan bakar organik menjadi gas yang terdiri dari hidrogen, karbon monoksida, dan beberapa komponen lainnya. dan Vitrified Slag berupa bahan material yang dihasilkan dari proses vitrifikasi terhadap slag (tumpukan limbah atau sisa-sisa dari proses industri seperti peleburan

logam atau pembakaran batu bara) melalui pemanasan intensif dan cepat hingga mencapai kondisi cair dan kemudian mendingin secara cepat. Proses ini mengubah slag yang semula berbentuk padat atau granular menjadi bahan yang memiliki sifat seperti kaca, dan pembangkitan energi listrik melalui degradasi termo-kimia bahan (menghasilkan produk padat, cair, dan gas tanpa pembakaran). (Saifudin, 2014)

3. Proses PLTSa Gasifikasi adalah:
  - a. Limbah dihancurkan secara menyeluruh, kaca, termasuk logam, dipisahkan.
  - b. Pengeringan dilakukan pada suhu 200°C dengan sumber panas yang digunakan kembali pada reaktor gasifikasi.
  - c. Proses gas yang mencampur limbah menghasilkan syngas panas, kemudian didinginkan untuk menghilangkan kontaminan sehingga energinya maksimal.
  - d. Gas yang dihasilkan menggerakkan turbin dan mengubahnya menjadi listrik.

### **C. Manfaat dan Potensi Pengembangan Teknologi Konversi Sampah menjadi Energi di Indonesia**

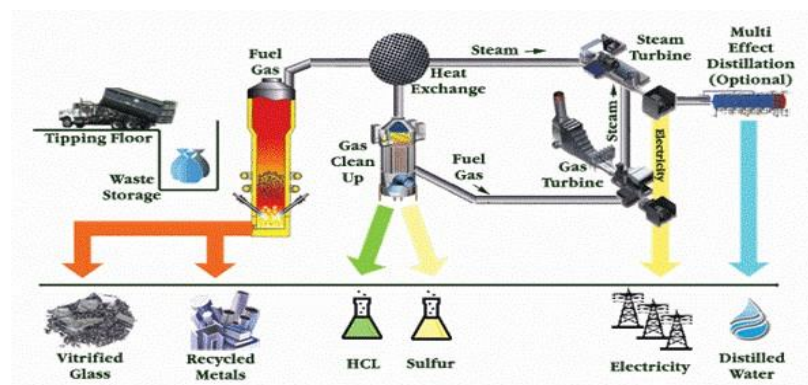
Agar dapat mengolah sampah yang efektif, meminimalisir dampak emisi terhadap lingkungan, dan menghasilkan energi listrik alternatif sebagai energi yang berkelanjutan, pengembangan teknologi konversi sampah menjadi energi yang sebelumnya mengandalkan *Thermal Technology* terbukti sangat bermanfaat.

Metode PLTSa untuk pengelolaan sampah adalah salah satu pendekatan paling inovatif untuk pembuangan sampah yang baru-baru ini diterapkan di Indonesia. TPA Benowo-Surabaya merupakan salah satu lokasi yang dimanfaatkan secara optimal, mengubah sampah menjadi energi yang bermanfaat. Kawasan TPA Benowo-Surabaya dulunya memprihatinkan karena tumpukan sampah yang menumpuk di sana. Ini sebelum teknologi PLTSa diimplementasikan dan dikembangkan.

TPA Benowo Surabaya telah menciptakan dan menerapkan sistem Teknologi Gasifikasi dalam pengolahan sampah, yang tidak hanya mengubah sampah

menjadi listrik tetapi juga menjaga kelestarian lingkungan dalam prosesnya. Hasilnya, TPA Benowo-Surabaya telah menggunakan dan memelopori teknologi penanganan sampah seperti Sistem Teknologi *Landfill Gas Collection* dan Sistem Teknologi Gasifikasi. Meskipun Teknologi Gasifikasi dan Teknologi *Landfill Gas Collection* dapat digunakan untuk merubah sampah jadi energi yang dapat digunakan, mereka melakukannya dengan cara yang berbeda. Sistem Teknologi Gasifikasi yang dikembangkan di TPA Benowo berbeda dengan Sistem Teknologi *Landfill Gas Collection* karena alih-alih membakar sampah yang terkumpul dan menghasilkan arang, seperti halnya yang terakhir, arang malah dipanaskan hingga 1.000 OC, pada saat itu digunakan untuk merebus air dan menghasilkan uap. yang kemudian digunakan untuk menyalakan generator yang terpasang, menghasilkan produksi listrik. Sejak tahun 2015, Sistem Teknologi *Landfill Gas Collection* telah beroperasi, dengan kapasitas produksi listrik 2 MW; Pada tahun 2020 sudah akan diterapkan Sistem Teknologi Gasifikasi dengan kapasitas pembangkit listrik 12 MW dari 1.000 ton sampah per hari.

Masyarakat dan lingkungan dapat memperoleh manfaat dari penyempurnaan dan kemajuan lebih lanjut dari kedua teknologi pengelolaan limbah ini. Ditunjukkan gambar berikut :



**Gambar 4.2. Sistem Teknologi Gasifikasi**

Surabaya merupakan kota terbesar kedua di Indonesia dengan jumlah penduduk 2,8 juta jiwa pada tahun 2017 dengan persentase tertinggi 0,56% pada tahun yang sama. Oleh karena itu, kota Surabaya memiliki jumlah penduduk yang besar. harus memikirkan cara untuk mengatur negara. Dibandingkan dengan kota lain, kota Surabaya menghasilkan sampah lebih banyak dibandingkan kota lain di Indonesia, dan pengelolaan sampah di Surabaya sangat tinggi. Dukungan untuk 28 lokasi sampah dikelola oleh aplikasi yang memungkinkan untuk mengontrol distribusi sampah di lokasi tersebut. Selain sebagai TPA, Kota Surabaya juga memiliki bank sampah dan TPA kecil yang tersebar di seluruh penjuru kota. Yang lebih menarik adalah masyarakat yang memiliki fasilitas dan peralatan untuk mengubah sampah menjadi listrik. Sebelum melihat besarnya energi yang berasal dari pembangkit listrik di kota Surabaya, ada baiknya kita melihat data sampah kota Surabaya. (Nurdiansyah, 2020)

**Tabel 4.5** Data Timbunan Sampah Kota Surabaya

Tahun	Timbunan	
	Sampah	
	Ton/Hari	Ton/Tahun
2017	2.164	790.020
2018	2.205	805.189
2019	2.248	820.648
2020	2.321	835.560
2021	2.342	843.120

**Sumber :** DataDinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya

Hasil penelitian di atas diperoleh dari data Dinas Lingkungan Hidup Jawa Timur tahun 2017 hingga 2021. Data di atas menunjukkan bahwa jumlah sampah

di Kota Surabaya meningkat secara signifikan setiap tahunnya dan berubah-ubah. Diubah menjadi energi listrik dengan sistem insinerator atau insinerator yang digunakan di Pabrik Sampah Kota Surabaya. Saat ini, TPA tersebut melayani kebutuhan Pembangkit Sampah Surabaya sebagai tempat pembuangan akhir di Benowo. TPA Benowo saat ini menerima dan mengelola 1.500 ton sampah dari Kota Surabaya yang merupakan kota berpenduduk 2,8 juta jiwa. 60% sampah kota adalah sampah kota. TPA Benowo di Kota Surabaya merupakan proyek pertama yang memanfaatkan sampah untuk listrik pada tahun 2012, dengan kapasitas TPA 2MW dan listrik 7 MW.

#### **D. Perbedaan Teknologi Konversi Sampah menjadi Energi**

Landfill Gas Collection dan gasifikasi adalah dua proses yang berbeda dalam pengelolaan limbah dan produksi energi dari sumber-sumber organik. Berikut adalah perbedaan antara keduanya:

- a. Landfill Gas Collection (Pengumpulan Gas TPA): Landfill Gas Collection adalah proses mengumpulkan gas yang dihasilkan dari aktivitas penguraian limbah organik di tempat pembuangan akhir (TPA) atau tempat pembuangan sampah. Limbah organik yang terurai di dalam TPA melepaskan gas seperti metana ( $\text{CH}_4$ ) dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ). Metana adalah gas rumah kaca yang lebih kuat daripada  $\text{CO}_2$  dalam hal efek pemanasan global. Tujuan dari Landfill Gas Collection bertujuan untuk mengurangi emisi metana ke atmosfer, yang dapat membantu dalam mengurangi dampak pemanasan global. Prosesnya Gas yang dihasilkan dari dekomposisi limbah di TPA dikumpulkan melalui sistem perpipaan dan kemudian dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi, seperti pembangkit listrik atau pemanasan.
- b. Gasifikasi: Gasifikasi adalah proses konversi bahan bakar padat seperti batu bara, biomassa, atau limbah organik menjadi gas sintetis yang disebut "gas sinar" atau "syngas". Proses ini melibatkan reaksi kimia pada suhu tinggi di lingkungan yang memiliki kandungan oksigen terbatas. Tujuannya Gasifikasi digunakan untuk mengubah bahan bakar padat menjadi bentuk gas yang dapat digunakan untuk produksi energi, seperti menghasilkan listrik atau bahan kimia. Sedangkan

Prosesnya Bahan bakar padat diubah menjadi gas sintetis yang terdiri dari hidrogen (H<sub>2</sub>), karbon monoksida (CO), dan beberapa komponen lain tergantung pada bahan bakarnya. Gas ini kemudian dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti mesin pembangkit listrik atau dalam proses kimia.

Perbedaan Utama Landfill Gas Collection berkaitan dengan mengumpulkan gas yang dihasilkan dari dekomposisi limbah organik di TPA. Gasifikasi berkaitan dengan mengubah bahan bakar padat menjadi gas sintetis (syngas) melalui reaksi kimia pada suhu tinggi dengan oksigen terbatas.

Sistem *Landfill Gas Collection* bekerja dengan cara memadatkan sampah yang telah ditimbun pada area tertentu di TPA Benowo selama kurang lebih 3 minggu sampai 1 bulan untuk menghasilkan Gas Metana (CH<sub>4</sub>) yang kemudian diolah dengan cara dialirkan. Gas Metana melalui pipa ke mesin pembangkit listrik, yang kemudian disambungkan ke jaringan listrik PLN.

Selain itu, Sistem Teknologi Gasifikasi TPA Benowo berbeda dengan Sistem Teknologi *Landfill Gas Collection* karena melibatkan pembakaran sampah yang terkumpul untuk menghasilkan arang, memanaskan arang hingga 1.000 C, mendidihkan air, dan menghasilkan uap, yang kemudian digunakan untuk menggerakkan generator yang terhubung ke generator, yang pada gilirannya menghasilkan energi listrik.

Pada sistem *Landfill Gas Collection*, sampah yang telah ditumpuk di area TPA Benowo yang telah ditentukan dipadatkan dan didiamkan selama tiga minggu hingga satu bulan untuk menghasilkan Gas Metana (CH<sub>4</sub>), yang kemudian diproses dengan mengalirkan Gas Metana melalui pipa ke mesin pembangkit listrik, yang kemudian disambungkan ke jaringan listrik PLN.

Selain itu, Sistem Teknologi Gasifikasi TPA Benowo berbeda dengan Sistem Teknologi *Landfill Gas Collection* karena melibatkan pembakaran sampah yang terkumpul untuk menghasilkan arang, memanaskan arang hingga 1.000 C untuk memanaskan air hingga titik didih, menghasilkan uap, dan kemudian menggunakan uap tersebut. untuk menggerakkan generator yang terhubung ke generator, sehingga menghasilkan energi listrik.

Sejak tahun 2015 telah beroperasi Sistem Teknologi *Landfill Gas Collection*

yang menghasilkan listrik sebesar 2 MW, sedangkan pada tahun 2020 akan diterapkan Sistem Teknologi Gasifikasi yang menghasilkan energi sebesar 12 MW dari 1.000 ton sampah per hari. Kedua teknologi pengelolaan sampah ini memiliki potensi untuk tumbuh dan berkembang, yang pada akhirnya membantu masyarakat dan lingkungan dengan memecahkan masalah sampah. (Nisak, 2019)





## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

- a. Perhitungan hasil keluaran yang dilakukan pada Operasi PLTSa di Benowo Surabaya Jawa Timur memproduksi listrik harian dengan berat sampah perhari adalah 666.000 kg, dimana dari 55% yakni sampah organik menghasilkan listrik 76.490,16 kWh/hari atau 27.918 MWh / tahun.
- b. Konversi sampah melalui teknologi gasifikasi melalui proses perubahan bahan organik, seperti sampah padat, menjadi gas sintetis (biasanya disebut sebagai gas sintetis atau syngas) melalui reaksi kimia dengan bantuan panas dan oksigen terbatas. Proses ini dapat menjadi cara yang efektif untuk mengelola sampah padat dan pada saat yang sama menghasilkan energi
- c. Terdapat pembeda Landfill Gas Collection dan gasifikasi yaitu, keduanya berfokus pada produksi gas, tetapi sumber dan prosesnya berbeda. Landfill Gas Collection berfokus pada gas yang dihasilkan secara alami dari aktivitas dekomposisi limbah, sementara gasifikasi melibatkan konversi aktif bahan bakar padat menjadi gas sintetis melalui reaksi kimia

#### **5.2 Saran**

Perlu adanya sinergi antara kemajuan teknologi konversi sampah menjadi energi dan perbaikan sistem pengelolaan sampah Indonesia yang mengedepankan penggunaan sumber energi terbarukan.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adnan, Siti, dan Niko. Studi Kajian Densitas Sampah Berdasarkan Alat Angkut dan Sumber Sampah di TPA Jalupang Kabupaten Karawang. Bandung. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 24(1).(2018)
- [2] Adnyana, I. Gede Suparsa, I. Gusti Bagus Wijaya Kusuma, and I. Gusti Agung Kade Suriadi. "Analisis Kinerja Pembangkit Listrik Dual-Fuel Berbasis Gasifikasi Municipal Solid Waste." *Jurnal METTEK Volume 5.1* (2019): 37-44.
- [3] Agung, K., Juita, E., & Zuriyani, E. Analisis Pengelolaan Sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Desa Sido Makmur Kecamatan Sipora Utara. *JPIG (Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Geografi)*, 6(2).(2021)
- [4] Bionita Azarini dengan judul “ Studi Pengolahan Sampah Menjadi Energi Listrik Dengan Metode Insinerasi Di Tpa Putri Cempo” Skripsi Universitas Sebelas Maret Surakarta. (2017)
- [5] Dalimunthe, Evitamala. Penggunaan Ampas Tebu Ampas Sagu dan Serbuk Gergaji Sebagai Media Tumbuh Jamur Tiram Putih (*Pleurotus Ostreatus*). Diss. Universitas Medan Area, 2020.
- [6] Damayanti, Amira Ana, et al. "Pemanfaatan sampah organik dalam pembuatan biogas sebagai sumber energi kebutuhan hidup sehari-hari." *Eksergi* 17.3 (2021): 182-190.
- [7] Dhafintya Noorca. Sampah Organik paling banyak di kota Surabaya . diakses di <https://www.suarasurabaya.net/kelanakota/2022/sampah-organik-paling-banyak-di-kota-surabaya-masyarakat-diminta-menghabiskan-makanan/> pada 27 Desember 2022.
- [8] Dwipa, Rosetty Marino Arya, Et Al. Analisis Campuran Bahan Bakar Dan Bioetanol Tongkol Jagung Terhadap Performa Kerja Mesin. 2023.
- [9] Ekky, T. (2019). Tipping fee determination to support the waste to energy concept at the city of Depok, Indonesia. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 90, p. 01007). EDP Sciences.

- [10] Feby Meilina Suchahyo dan Eva Hany Fanida, Inovasi Pengelolaan Sampah Menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (Pltsa) Oleh Dinas Kebersihan Dan Ruang Terbuka Hijau (Dkrth) Surabaya (Studi Kasus Di Tempat Pembuangan Akhir (Tpa) Benowo Surabaya). *Jurnal Inovasi* Vol 9(2). 2021
- [11] Harjanti, I. M., & Anggraini, P. Pengelolaan Sampah Di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Jatibarang, Kota Semarang. *Jurnal Planologi*, 17(2). (2020)
- [12] Herbert, Ben. "Advanced Plasma Gasification System-Current and Emerging Technologies." *Directford of Research and Environment Stopford Energy and Environment: The 14th Anniversary APGTF Workshop*. 2014.
- [13] Hidayat, Syarif Hidayat. "Pengolahan Sampah Hybrid PLTS Menjadi Energi Listrik Di Kelurahan Pondok Kopi." *KILAT* 10.2 (2021): 235-248.
- [14] Huda, T. Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Pada TPA Sambutan Kota Samarinda. *SPECTA Journal* (2020)
- [15] Juhaidah, Syarfina, Fadly Usman, and Aris Subagiyo. "Pengelolaan Sampah TPA Tamangapa Kota Makassar." *Planning for Urban Region and Environment Journal (PURE)* 8.3 (2019): 133-142.
- [16] Kadang, Jon Marjuni; SINAGA, Nazaruddin. Pengembangan Teknologi Konversi Sampah Untuk Efektifitas Pengolahan Sampah dan Energi Berkelanjutan. *Teknika*, 2021, 15.1: 33-44.
- [17] Kahfi, Ashabul. "Tinjauan terhadap pengelolaan sampah." *Jurisprudentie: Jurusan Ilmu Hukum Fakultas Syariah dan Hukum* 4.1 (2017)
- [18] Khan, I., & Kabir, Z. Waste-to-energy generation technologies and developing economies; A multi-criteria analysis for sustainability assessment. In *Renewable Energy* Vol. 150. (2020)
- [19] Larasati Aliffia Syaiffhanaya Widyaputri. dengan judul "Analisis Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Dan Manfaat Reduksi Emisi Karbon di Tempat Pengolahan Sampah Terpadu Bantargebang" Skripsi Institut Pertanian Bogor. 2020

- [20] Nurdiansah, T., Purnomo, E. P., & Kasiwi, A. Implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (Pltsa) Sebagai Solusi Permasalahan Sampah Perkotaan; Studi Kasus Di Kota Surabaya. *Jurnal Envirotek*, 12(1).(2020)
- [21] Nisak, Fauziatun; PRATIWI, Yeni Ika; GUNAWAN, Bambang. *Pemanfaatan biomas sampah organik*. Uwais Inspirasi Indonesia, 2019
- [22] Rijali, A. Analisis Data Kualitatif Ahmad Rijali UIN Antasari Banjarmasin. 17 (33), 81–95. 2018.
- [23] Rizal, Mohamad. "Analisis Pengelolaan Persampahan Perkotaan (Studi kasus pada Kelurahan Boya Kecamatan Banawa Kabupaten Donggala)." *Smartek* 9.2 (2011).
- [24] RPJMD. 2016-2021. Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah. Kota Surabaya. Hal-98
- [25] SAIFUDIN, Azis. *Senyawa alam metabolit sekunder teori, konsep, dan teknik pemurnian*. Deepublish, 2014.
- [26] Samsinar, R., & Anwar, K. Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Kapasitas 115 Kw (Studi Kasus Kota Tegal). *Jurnal Elektrum*, 15(2).(2018)
- [27] Setyono, J. S., Mardiansjah, F. H., & Astuti, M. F. K. Potensi Pengembangan Energi Baru dan Energi Terbarukan di Kota Semarang. *Jurnal Riptek*, 13(2)(2019)
- [28] Sihite, Andri S. Firdaus. Studi Pengolahan Sampah untuk Bahan Bakar Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Mini di Kawasan Medan Sunggal. Diss. Universitas Sumatera Utara, 2018.
- [29] Syahril S dan Raini Mutmainna. Dengan judul “Studi Potensi Sampah Sebagai Bahan Baku Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Di Unimus Makasar” Skripsi Universitas Muhammadiyah Makasar. 2019
- [30] Subekti, Sri, Adi Sasmito, and Bobby Rahman. "Pemanfaatan Sampah Di Tempat Pemrosesan Akhir (Tpa) Jatibarang Sebagai Sumber Energi Baru Terbarukan." *Merdeka Indonesia Jurnal International* 3.1 (2023): 54-63.

- [31] Sucahyo, Feby Meilina, and Eva Hany Fanida. "Inovasi Pengelolaan Sampah Menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Oleh Dinas Kebersihan dan Ruang Terbuka Hijau Surabaya (Studi Kasus di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Benowo Surabaya)." *Publika* (2021): 39-52.
- [32] Priyadi, Sapto Priyadi, et al. "Inovasi Pengelolaan Sampah Rumah Tangga Dengan Teknologi Zero Waste Berorientasi Pada Good Management-Garbage Practices." *GANESHA: Jurnal Pengabdian Masyarakat* 3.1 (2023): 23-30.
- [33] Qodriyatun, Sri Nurhayati. "Pembangkit listrik tenaga sampah: Antara permasalahan lingkungan dan percepatan pembangunan energi terbarukan." *Aspirasi: Jurnal Masalah-Masalah Sosial* 12.1 (2021): 63-84.
- [34] Winanti, Widiatmini Sih. "Teknologi pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa)." *Prosiding Seminar Nasional dan Konsultasi Teknologi Lingkungan*. 2018.

