

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan jumlah penduduk terbanyak ke-4 didunia dengan jumlah penduduk sebanyak 283 juta jiwa dan terus mengalami pertumbuhan hal ini akan berbanding lurus dengan peningkatan volume sampah yang kemudian tidak diiringi dengan pengelolaan sampah yang baik. Kota Makassar yang merupakan ibu Kota Provinsi Sulawesi Selatan hingga saat ini belum bisa mengatasi sampah secara menyeluruh dan juga maksimal. Berdasarkan data yang dimiliki oleh Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Makassar, jumlah produksi sampah yang dihasilkan pada tahun 2021 adaah sekitar 761 ton perhari, kemudian pada tahun 2022 sampah yang dihasilkan mencapai 753 ton perhari, berdasarkan peningkatan sampah yang dihasilkan pertahunnya dapat diperkirakan pada tahun 2024 total sampah yang dihasilkan perharinya adalah 1.041 ribu ton.

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Tamangapa yang memiliki luas sekitar 16.8 hektar merupakan satu satunya tempat pembuangan akhir yang berada di Kota Makassar yang telah mencapai kapasitas maksimal dengan timbunan sampah dapat diperkirakan hingga ketinggian 30 meter. Penerapan metode *landfill* TPA Tamangapa masih menggunakan sistem *open dumping* (Juhaidah, 2018) , Keadaan sampah di TPA Tamangapa yang tidak dikontrol dengan baik dapat menghasilkan dampak negatif terhadap lingkungan dan juga pada kesehatan masyarakat disekitarnya. Belum adanya TPA alternatif jika TPA Tamangapa penuh dimana berdasarkan perhitungan, TPA Tamangapa seharusnya hanya memiliki umur operasional hingga tahun 2019 dengan asumsi jumlah penduduk pada tahun 2019 sebanyak 1.615.128 juta jiwa. (Farah, 2016). Belum maksimalnya upaya reduksi sampah di TPA Tamangapa berdasarkan hasil perhitungan recovery factor, besaran jumlah sampah kering yang dapat didaur ulang di TPA Tamangapa adalah sampah plastik 23,9 ton/hari, sampah kertas 14,6 ton/hari, sampah kaca 0,8 ton/hari, dan kaleng/besi 8,8 ton/hari. Jumlah total reduksi aktual jenis-jenis sampah tersebut adalah 48,0 ton/hari. Sedangkan sampah basah/organik sebesar 334,3 ton/hari (Zubair & Haeruddin, 2012).

Beberapa tahun terakhir, pemerintah semakin menekan pengembangan teknologi yang dapat memanfaatkan sampah untuk menghasilkan energi. pembangunan pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa), Merupakan salah satu proyek menjanjikan yang diharapkan dapat menjadi jawaban atas permasalahan menumpuknya sampah di Kota Makassar dan juga menjadi sumber energi baru yang dapat menggantikan penggunaan minyak bumi, batubara, dan juga gas. Permasalahan selanjutnya adalah TPA Tamangapa menggunakan sistem *open dumping* yang menyebabkan pilihan metode konversi yang akan digunakan jika ingin membangun PLTSa di daerah tersebut menjadi terbatas. Hal ini disebabkan sistem *open dumping* tidak memberikan *treatment* awal pada sampah yang dibuang kesana seperti halnya pemisahan ataupun pengeringan sampah. Berdasarkan situasi tersebut sistem konversi yang bisa digunakan salah satunya adalah *plasma arc*

gasification. Menurut (Ojha et al., 2012) *plasma arc gasification* merupakan salah satu metode terbaru dan efisien untuk pengelolaan limbah padat. Proses ini akan melibatkan gasifikasi limbah padat menggunakan busur plasma yang kemudian akan mengoah gas buangan menjadi *syngas* (gas sintetis) dan juga menghasilkan *vitrified slag* yang merupakan residu padat yang memiliki beberapa manfaat.

Pembangunan pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa) yang berbasis pada metode *plasma arc gasification* di TPA Tamangapa akan memberikan dampak yang positif, model pengembangan ini dapat mendorong kemajuan pada sektor energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan dan juga dapat menjadi solusi terintegrasi dalam pengelolaan limbah di Kota Makassar. Dari dasar pemikiran yang ada maka penulis terinspirasi mengangkat penelitian dengan judul “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Berbasis *Plasma Arc Gasification*: Studi Kasus TPA Tamangapa, Makassar, Sulawesi Selatan”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan yang akan dibahas yaitu:

1. Berapa perkiraan daya listrik yang dapat dihasilkan dari konversi sampah di TPA Tamangapa menggunakan metode *plasma arc gasification*?
2. Bagaimana analisis Ekonomi dalam pembangunan pembangkit listrik berbasis *plasma arc gasification* di TPA Tamangapa Kota Makassar ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penulisan ini adalah:

1. Menghitung berapa perkiraan daya listrik yang dapat dihasilkan dari konversi sampah di TPA Tamangapa menggunakan metode *plasma arc gasification*.
2. Menghitung analisis ekonomi dalam pembangunan pembangkit listrik berbasis *plasma arc gasification* di TPA Tamangapa Kota Makassar

1.4 Batasan Masalah

Karena luasnya permasalahan pada Tugas Akhir ini, maka pembahasan dibatasi pada:

1. Dikhususkan pada analisis TPA Tamangapa sebagai pembangkit energi listrik PLTSa.
2. Objek Penelitian adalah energi listrik yang dibangkitkan oleh PLTSa yang dirancang pada TPA Tamangapa
3. Simulasi dalam penelitian ini menggunakan perangkat lunak *Matrix Laboratory* (MATLAB)
4. Berfokus pada analisis ekonomi dalam pembangunan PLTSa yang dirancang di TPA Tamangapa

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Sebagai referensi atau dasar perencanaan dalam mengembangkan dan pembangunan pembangkit listrik tenaga sampah di TPA Tamangapa sebagai bentuk inovasi energi baru terbarukan di Kota Makassar.
2. Dapat dijadikan bahan acuan pemerintah daerah untuk merumuskan strategi pengelolaan sampah yang lebih modern dan ramah lingkungan.
3. Memberikan informasi mengenai listrik yang dapat dibangkitkan menggunakan metode konversi *plasma arc gasification* pada pembangunan PLTSa TPA Tamangapa.

1.6 Metode Penelitian

Adapun metode yang dilakukan untuk penyusunan Tugas Akhir ini yaitu sebagai berikut:

- Studi Literatur
Studi dilakukan dengan mengumpulkan informasi yang berkaitan dengan pembahasan dan juga permasalahan yang diangkat baik berupa buku ataupun sumber lainnya.
- Metode Pengambilan Data
Metode ini dilakukan dengan pengukuran secara langsung di lokasi penelitian ataupun mengumpulkan data sekunder yang dikumpulkan oleh sumber yang sudah ada, misalnya pada perusahaan lokasi penelitian.
- Analisis Data
Metode ini dilakukan dengan mengolah semua data yang telah dikumpulkan dengan persamaann matematis yang digunakan.

1.7 Sistematika Penulisan

Dalam melakukan penyusunan skripsi ini agar lebih teratur dan sistematis maka disusun menurut sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Merupakan bab yang berisikan gambaran awal dari skripsi ini yaitu tentang latar belakang penulisan, rumusan masalah, tujuan penelitian, Batasan masalah, manfaat penelitian, metode penelitian dan juga sistematika dalam penulisannya.

BAB II METODOLOGI PENELITIAN

Merupakan bab yang berisi pembahasan mengenai metode yang digunakan dalam penelitian skripsi, proses pengambilan data, dan penggunaan metode analisa yang akan digunakan untuk menyelesaikan permasalahan.

BAB III HASIL

Merupakan bab yang akan membahas hasil penelitian berdasarkan data yang telah diperoleh berdasarkan proses pengambilan data yang telah dilakukan lapangan.

BAB IV PEMBAHASAN

Merupakan bab inti yang akan membahas proses perencanaan pembangunan PLTSa menggunakan metode *Plasma Arc Gasification* di TPA Tamangapa melalui analisis data yang telah dilakukan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan bab yang berisi kesimpulan dari hasil analisis data serta pembahasan permasalahan dan saran-saran yang dapat digunakan sebagai perbaikan dan penyempurnaan penelitian ini.

1.8 Teori

1.8.1. Pembangkit Listrik Tenaga Sampah

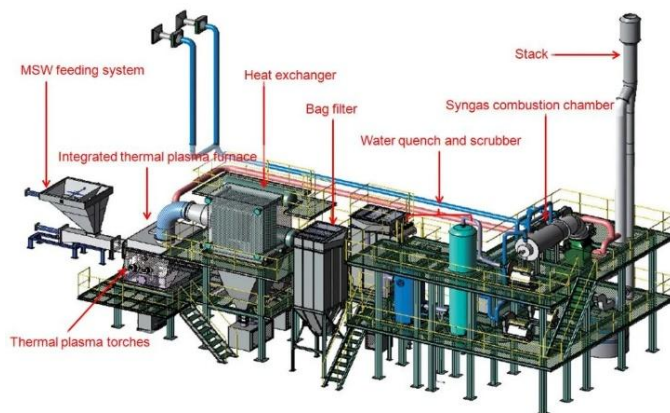
Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan sampah sebagai sumber energinya, PLTSa memiliki berbagai macam metode dalam mengkonversi sampah menjadi sumber energi untuk menjalankan pembangkit. Prinsip dasar PLTSa adalah untuk mengolah limbah padat melalui proses *thermal*, seperti *incineration*, *gasification*, atau *pyrolysis* yang kemudian akan dapat dimanfaatkan sebagai sumber listrik terbarukan. Dampak adanya PLTSa tidak hanya membantu untuk mengurangi volume sampah yang menumpuk di Tempat Pembuangan Akhir (TPA), tetapi juga berkontribusi penuh terhadap diversifikasi dan juga pengurangan emisi carbon yang menyebabkan efek rumah kaca (Qodriyatun, 2021).

1.8.2. *Plasma Gasification*

PLTSa dengan teknologi *Plasma Arc Gasification* merupakan sebuah sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan limbah sebagai sumber energi melalui proses gasifikasi termal yang menggunakan plasma. Dalam proses tersebut, plasma torch menciptakan suhu ekstrim yang dapat mencapai 10.000°C atau lebih sehingga sampah mengalami penguraian mendalam. Akibat dari penguraian ini, dua produk utama yang terbentuk adalah syngas dan slag vitrified. Syngas, yang sebagian besar terdiri dari hidrogen (H_2) dan karbon monoksida (CO), memiliki nilai kalor yang tinggi sehingga dapat berfungsi sebagai bahan bakar untuk turbin gas atau generator listrik. Di sisi lain, slag vitrified adalah residu padat yang dihasilkan akibat pelelehan dan pendinginan cepat limbah. Karena slag memiliki sifat inert dan bebas racun, ia memiliki potensi pemanfaatan kembali dalam industri konstruksi, misalnya sebagai agregat beton. Dengan demikian, proses ini tidak hanya mengurangi jumlah sampah yang harus ditimbun di TPA, tetapi juga mendukung diversifikasi sumber energi sejalan dengan upaya pengurangan emisi dan pengembangan energi terbarukan (Sayyed et al, 2024).

1.8.3. Struktur Penyusun PLTSa *Plasma Arc Gasification*

Penggambaran sketsa PLTSa dapat dilihat pada Gambar 1 yang terdiri atas beberapa alat yang terdiri atas *msw feeding system*, *heat exchanger*, *thermal plasma torches*, *integrated thermal plasma furnace*, *bag filter*, *water quench and scrubber*, *syngas combustion chamber*, dan *stack* (Byun et al., 2012).



Gambar 1 Sketsa PLTSa

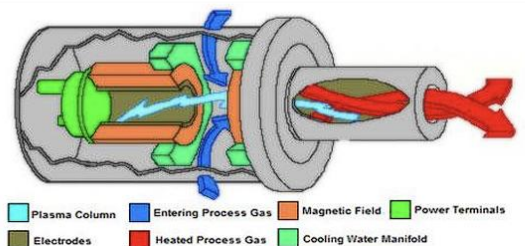
Sumber: Byun et al. 2012

1.8.3.1. *MSW Feeding system*

MSW Feeding System merupakan sebuah sistem mekanis yang dirancang untuk menyalurkan sampah perkotaan ke dalam unit pengolahan secara otomatis dan berkelanjutan. Sistem ini mengintegrasikan komponen-komponen seperti konveyor, hopper, dan mesin pencacah untuk memastikan bahwa sampah diubah menjadi bentuk dengan ukuran dan konsistensi seragam sehingga mempermudah proses selanjutnya di fasilitas pengolahan baik itu untuk insinerasi, gasifikasi, ataupun daur ulang. Dengan mengatur laju aliran dan mengurangi intervensi manual, sistem ini berperan penting dalam meningkatkan efisiensi operasional dan keselamatan, serta menjaga kestabilan proses pengolahan limbah secara keseluruhan.

1.8.3.2. *Thermal Plasma Torches*

Plasma torch merupakan alat yang memproduksi plasma melalui pembentukan busur listrik pada tingkat tegangan sangat tinggi. Alat ini menyuplai energi termal yang intens ke dalam furnace, sehingga memastikan proses gasifikasi berlangsung dengan cepat dan efisien. Suhu yang dapat diciptakan oleh *plasma torches* adalah 2.000 hingga 14.000 derajat *celcius* dengan suhu tersebut *plasma torches* akan dengan mudah untuk memecah molekul kompleks menjadi molekul dasar seperti karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H), (Ummah, 2019).



Gambar 2 Plasma Thermal (Bertone et al., 2024)

1.8.3.3. Integrated Thermal Plasma Furnance

Integrated Thermal Plasma Furnace merupakan inti terpadu dalam sistem gasifikasi sampah berbasis plasma, di mana sampah diproses secara termal menggunakan plasma yang dihasilkan oleh plasma torch. Di dalam furnace ini, suhu ekstrem mencapai 10.000°C atau lebih digunakan untuk mendekomposisi sampah secara menyeluruh menjadi produk-produk seperti syngas dan slag vitrified. Desain terintegrasi dari furnace ini mencakup sistem distribusi panas yang merata, kontrol suhu yang presisi, serta penggunaan material refractory dan isolasi khusus untuk mencegah kehilangan energi. Dengan integrasi komponen-komponen ini, furnace berfungsi sebagai reaktor yang efisien, memastikan proses konversi limbah menjadi energi termal berjalan optimal dengan emisi minimum dan peningkatan efisiensi operasional (Samal, 2017).

Selain fungsi utamanya untuk mengonversi sampah menjadi syngas dan slag vitrified melalui pemanasan ekstrem, desain *Integrated Thermal Plasma Furnace* juga mengedepankan aspek keselamatan dan efisiensi operasional. *Furnace* ini dilengkapi dengan lapisan refractory khusus yang mampu menahan suhu tinggi, sistem pendingin terintegrasi untuk menjaga kestabilan struktur, dan kontrol otomatis yang memonitor parameter seperti suhu, tekanan, serta laju aliran gas. Dengan pengendalian real-time melalui sensor-sensor canggih, *furnace* memastikan bahwa proses dekomposisi sampah berlangsung optimal, meminimalkan kerusakan material, dan menghasilkan syngas berkualitas tinggi untuk pembangkitan energi (Sharma et al., 2022).

1.8.3.4. Heat Exchanger

Penukar panas merupakan alat yang dirancang untuk mengalirkan energi panas antar dua atau lebih medium, seperti antar cairan, antara cairan dengan permukaan padat, ataupun antara partikel padat dan fluida, selama perbedaan suhu dan kontak termal tercapai. Alat ini bekerja tanpa adanya penambahan panas dari luar atau interaksi mekanis tambahan. Secara umum, penukar panas digunakan untuk menaikkan atau menurunkan suhu aliran fluida yang diproses, serta mengatur proses penguapan dan kondensasi dalam sistem yang melibatkan satu atau lebih aliran. Selain itu, aplikasi penukar panas juga mencakup pemulihan atau penolakan

panas, sterilisasi, pasteurisasi, fraksinasi, penyaringan, pemekatan, kristalisasi, ataupun pengaturan cairan proses agar sesuai dengan kebutuhan operasional.

Pada beberapa sistem, fluida yang akan mengalami pertukaran panas bersentuhan langsung, namun dalam kebanyakan penukar panas, perpindahan energi terjadi melalui dinding tipis yang memisahkan aliran sehingga panas dari fluida panas dihaluskan sebelum diteruskan ke fluida dingin secara sementara. Idealnya, kedua fluida tidak bercampur atau terjadi kebocoran ketika berada di sisi masing-masing dari penghalang tersebut; sistem semacam ini disebut sebagai tipe transfer panas langsung atau penyembuh sederhana. Sebaliknya, ada pula penukar panas di mana pelepasan dan penyimpanan energi terjadi secara terputus-putus dalam suatu matriks penukar, sehingga pertukaran panas tidak terjadi secara langsung antara fluida panas dan dingin; sistem semacam ini dikenal sebagai tipe transfer tidak langsung atau regenerator. Regenerator cenderung menimbulkan kebocoran antar aliran karena perbedaan tekanan serta pergerakan rotasi atau pergantian katup pada matriks yang digunakan.

Penukar panas adalah peralatan yang dirancang untuk memindahkan energi panas secara efisien dari satu media ke media lain. Dalam sistem ini, media yang terlibat bisa dipisahkan oleh dinding yang kokoh sehingga tidak terjadi pencampuran atau bisa juga bersentuhan langsung, tergantung pada desain aplikasi yang diinginkan. Alat ini banyak digunakan dalam berbagai bidang, mulai dari sistem pemanas ruangan, pendingin dan pendingin udara, hingga di lingkungan industri seperti pembangkit listrik, pabrik kimia dan petrokimia, kilang minyak, pengolahan gas alam, serta fasilitas pengolahan limbah. Sebagai contoh klasik, pada mesin pembakaran internal, cairan pendingin yang bersirkulasi melewati kumparan radiator sedangkan udara mengalir di sekitarnya; proses ini mendinginkan cairan pendingin dan sekaligus memanaskan udara yang masuk ke mesin (Aiyubhai Vohra et al., 2013).

1.8.3.5. Bag Filter

Bag filter adalah perangkat pengendalian polusi yang menggunakan kantong filter berbahan kain sebagai media untuk menangkap dan menyaring partikel-partikel debu atau zat padat dari aliran gas. Prinsip kerjanya didasarkan pada aliran gas yang melewati kain filter, di mana partikel-partikel tertangkap pada permukaan atau di dalam serat kain tersebut, sehingga gas yang keluar menjadi bersih. Untuk menjaga efektivitasnya, Proses pembersihan pada bag filter dapat dilakukan melalui berbagai metode, seperti getaran mekanis, penggunaan blower aliran terbalik (reverse air) atau pulse jet, yang bertujuan untuk melepaskan partikel-partikel yang menempel pada kantong filter ke dalam hopper pengumpulan. Perancangan bag filter sangat memperhatikan beberapa faktor penting, bag filter biasanya dilengkapi dengan sistem pembersihan otomatis seperti getaran atau injeksi udara bertekanan tinggi yang secara periodik membersihkan permukaan kantong dari debu yang menumpuk, sehingga sistem dapat mencapai efisiensi penyaringan yang tinggi (hingga 99,9%) dan memenuhi standar emisi lingkungan (Kamble et al., 2018).

1.8.3.6. *Water Quench and Scrubber*

Water quench merupakan proses pendinginan yang diterapkan untuk menurunkan suhu gas panas yang dihasilkan oleh proses *thermal*, sistem kerja daripada alat ini adalah air yang disimpan akan disemprotkan secara terkendali ke dalam aliran gas panas yang telah dihasilkan oleh proses *thermal* sistem ini menyebabkan penurunan suhu secara berkala. Proses ini sangat diperlukan untuk melindungi peralatan yang terdapat pada pembangkit dari kerusakan yang diakibatkan adanya suhu yang berlebihan dan tidak dapat dikontrol (Airpol, 2010).

Scrubber sendiri merupakan peralatan yang digunakan untuk pengolahan gas, dirancang untuk menghilangkan kotoran pada *syngas* seperti partikel, gas asam, dan kontaminan kimia melalui interaksi antara gas dan cairan. Sistem kerja dari alat ini adalah gas yang belum bersih (tercemar) akan diarkan melalui area kontak dimana gas akan disemprotkan dengan air yang telah dicampurkan dengan bahan kimia tertentu dalam bentuk *droplet*, hal ini dilakukan agar gas dan cairan yang disemprotkan akan berbenturan dan berinteraksi secara terus menerus. Proses ini sendiri akan memungkinkan pengikatan dan penyerapan partikel sehingga gas akan dihasilkan berhasil memenuhi standar emisi lingkungan yang berlaku. Pemasangan scrubber ini sendiri biasanya akan dipasangkan setelah *water quench* agar gas yang telah didinginkan akan langsung dibersihkan.

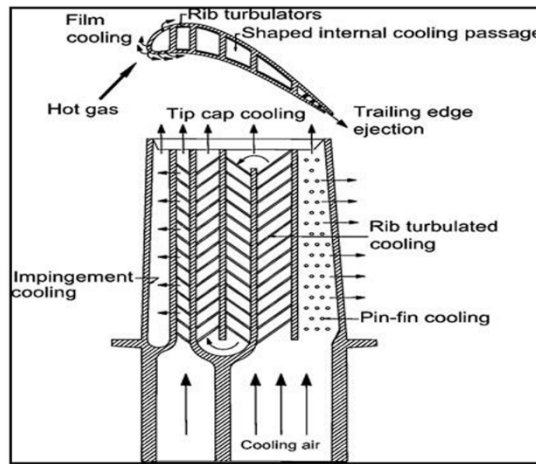
Integrasi diantara *water quench* dan *scrubber* sudah sangat umum ditemukan dalam sistem pengolahan gas yang terdapat pada sektor industri. Proses *water quench* memastikan bahwa gas yang dihasilkan dengan suhu tinggi akan didinginkan dengan proses yang relatif cepat, yang akan mengurangi kemungkinan terjadinya degradasi peralatan dan memungkinkan kondensasi awal sejumlah komponen volatil. Kemudian, gas yang telah didinginkan melalui *water quench* akan masuk ke tahap scrubber, disini pembersihan lebih lanjut pada gas yang telah didinginkan akan berlangsung menggunakan proses penyemprotan yang akan menangkap partikel dan zat-zat kimia. Gabungan kedua sistem ini akan meningkatkan efisiensi pada proses penghasilan *syngas* dan juga membantu dalam memenuhi persyaratan lingkungan dalam mengendalikan emisi industri.

1.8.3.7. *Syngas Combustion Turbine*

Syngas Combustion Chamber adalah ruang pembakaran khusus yang didesain untuk membakar *syngas* (gas sintesis) yang dihasilkan dari proses gasifikasi sampah. *Syngas* sendiri umumnya terdiri dari karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H₂). Karena nilai kalor *syngas* tidak setinggi bahan bakar fosil, ruang pembakarannya harus dioptimalkan supaya pembakarannya efisien dan nyalanya stabil. Di dalam chamber ini, *syngas* dicampur dengan udara secara pas baik dengan cara premixed (campuran utuh sebelum dibakar) atau staged combustion (pembakaran berlapis) biar reaksi pembakarannya maksimal. Tujuannya jelas, yaitu mengatur suhu, menjaga kestabilan api, dan menekan emisi gas berbahaya seperti nitrogen oksida (Pradhan et al., 2015).

Turbin modern bekerja dengan suhu 1000 hingga 1500 derajat celsius, dimana suhu tersebut berada pada titik puncak dari titik leleh suatu material. Salah satu penyusun turbin gas adalah blade, yang memiliki tugas untuk berputar dan menghasilkan energi mekanik pada turbin, tetapi blade sendiri memiliki rata-rata titik

lebih pada 1000 derajat celcius, maka dari itu diperlukan adanya teknologi pendinginan yang dapat memaksimalkan suhu yang diterima oleh blade agar blade tidak cepat rusak dalam hitungan detik. Pada sistem kerja turbin gas pendinginan tidak memerlukan bantuan external seperti halnya air, turbin sudah didesain dengan sedemikian rupa agar dapat menggunakan udara disekitarnya dalam melakukan pendinginan, melalui beberapa jenis teknologi seperti *internal cooling* dan *film cooling*, hal inilah yang menjadi salah satu keunggulan dalam penggunaan turbin gas pada PLTSa *Plasma Arc Gasification* yang tidak memerlukan air pada proses pendinginannya (Krishnaswamy, 2021)



Gambar 3 Blade turbin gas (Krishnaswamy, 2021)

- *Film cooling*

film cooling digambarkan sebagai salah satu metode pendinginan eksternal utama pada sudu turbin gas. Teknik ini bekerja dengan mengalirkan udara dingin dari bagian dalam bilah menuju permukaan luar melalui lubang-lubang kecil. Setelah keluar, udara tersebut membentuk lapisan pelindung tipis yang menyelimuti permukaan bilah sehingga mengurangi paparan langsung terhadap aliran gas panas berkecepatan tinggi. Lapisan ini berfungsi sebagai perisai termal yang mengurangi perpindahan panas konveksi dari gas panas ke permukaan logam bilah (Krishnaswamy, 2021).

- *Internal Cooling*

Internal cooling berfokus pada pendinginan yang dilakukan secara langsung oleh *blade* menggunakan celah celah yang telah dibentuk dengan sedemikian rupa sehingga udara dingin dapat didistribusikan ke dalam *blade* tersebut sehingga aliran udara dingin dapat menyerap panas yang berasal dari luar bilah dengan melalui mekanisme konveksi (Krishnaswamy, 2021)

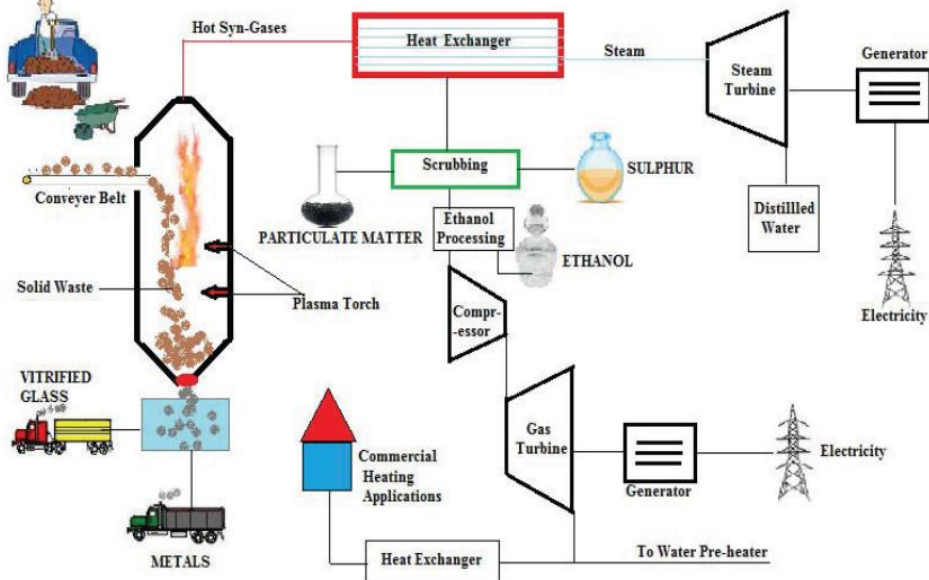
1.8.3.8. Stack

Stack (atau cerobong) itu merupakan bangunan tinggi yang berfungsi untuk mengeluarkan gas buang dari pabrik atau pembangkit listrik ke udara. Tujuannya adalah agar gas buang tersebut bisa tersebar dan terencer, sehingga konsentrasi polutan di sekitar area tidak terlalu tinggi dan dampak pencemaran bisa dikurangi. Desain cerobong sendiri dipertimbangkan dengan cermat, mulai dari ketinggian, diameter, hingga jenis material yang digunakan, supaya tahan terhadap suhu ekstrem dan kondisi gas buang yang korosif. Dengan desain yang tepat, saat gas dibuang, ia akan cepat tercampur dengan udara, sehingga polutan langsung terdilusi dan tidak berkonsentrasi di satu area. Desainnya sangat memperhatikan aspek ketinggian, diameter, dan jenis material yang digunakan, agar tahan terhadap suhu tinggi dan kondisi korosif dari gas buang. Dengan begitu, gas buang akan terdilusi dengan baik saat dilepaskan ke udara, mengurangi dampak pencemaran di lingkungan sekitar. Penelitian di dalam negeri menunjukkan bahwa penataan cerobong yang tepat sangat penting untuk mendukung pemantauan kualitas udara dan kepatuhan terhadap standar lingkungan dalam industri (Sarwono et al., 2022).

Selain itu, studi di Jawa Tengah juga menyoroti bahwa karakteristik cerobong industri harus disesuaikan dengan kondisi setempat, dengan memperhatikan faktor penempatan, tingkat efisiensi pembuangan, dan fasilitas pendukung untuk pengukuran emisi, agar dapat memberikan perlindungan lingkungan yang lebih optimal (Sari & Fatkhurrahman, 2014). Dengan menerapkan desain yang adaptif dan responsif terhadap kondisi setempat, industri tidak hanya patuh pada regulasi tetapi juga berkontribusi dalam menjaga kualitas udara agar tetap bersih dan mendukung kesehatan masyarakat di sekitar lingkungan operasional.

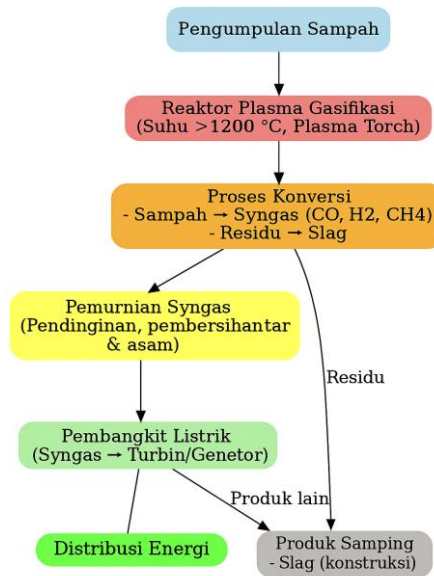
1.8.4. Prinsip Kerja PLTSa *Plasma Gasification*

PLTSa *Plasma Gasification* merupakan salah satu proses termokimia yang akan mengubah limbah padat menjadi energi melalui penggunaan teknologi pembakaran plasma menggunakan suhu yang sangat ekstrem. Pada sistem konversi ini limbah yang sampah akan dimasukkan kedalam *furnance* yang telah dilengkapi dengan obor plasma yang akan menghasilkan busur listrik kemudian mengionisasi gas berupa udara atau gas inert sehingga dapat mencapai suhu antara 6000 hingga 14.000 derajat *celcius*, kemudian akan memicu proses pirolisis dan hal ini akan menyebabkan gasifikasi dalam kondisi oembakaran yang terbatas. Komponen organik yang terdapat dalam limbah akan terurai habis dan akan menjadi *syngas* (gas sintetis) yang disusun oleh karbon monoksida (CO) dan juga hidrogen (H₂), sementara komponen anorganik seperti kaca, besin, tembaga, dll akan menjadi slag. *Syngas* yang dihasilkan kemudian akan dibersihkan untuk menjaga kemurniannya dan dijadikan dalam bahan bakar dalam menyalakan *gas turbine*.



Gambar 4 Proses Kerja Plasma Gasifikasi (Ojha et al., 2012)

Unit gasifikasi plasma berfungsi mengonversi bahan berbasis karbon seperti sampah ataupun material sejenis menjadi dua produk utama yang bernilai, yakni gas sintetis berenergi tinggi dan residu padat yang bersifat inert. Gas sintetis ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk menghasilkan listrik di pembangkit yang mengoperasikan turbin uap maupun turbin gas. Dalam sistem turbin uap, gas sintetis berperan sebagai bahan bakar untuk memanaskan boiler yang terpasang pada generator uap, sehingga turbin uap dapat menggerakkan generator tersebut demi memproduksi listrik. Sedangkan, melalui proses pemurnian dan pengompakan yang dilakukan dengan peralatan khusus, gas sintetis juga dapat digunakan untuk menggerakkan turbin gas. Gas sintetis yang telah digunakan pada turbin gas selanjutnya dapat diolah ulang agar kembali dapat menggerakkan turbin uap, menciptakan siklus pemanfaatan yang saling mendukung. Teknologi yang mengintegrasikan kedua proses ini dikenal dengan sebutan Integrated Gasification Combine Circle (IGGC), yang mampu mengonversi energi termal menjadi listrik dengan efisiensi mencapai 45% (Syah, 2017).



Gambar 5 Siklus Kerja PLTSA Plasma Gasifikasi

1.8.5. Potensi Energi Pada Sampah

Kemajuan teknologi belakangan ini udah bawa banyak inovasi keren di dunia PLTSA. Salah satunya adalah penerapan teknologi gasifikasi plasma cara canggih yang membantu mengubah sampah jadi energi. Intinya, gasifikasi plasma ini memakai plasma (zat bermuatan tinggi) untuk memecah sampah pada suhu ekstrem, sehingga menghasilkan syngas (gas sintesis) dengan efisiensi yang lebih oke dan emisi yang jauh lebih rendah jika dibandingin sama metode konvensional. Keunggulan teknik ini, misalnya, adalah kemampuannya untuk mengolah bermacam-macam jenis sampah, bahkan sampah yang susah di daur ulang sekalipun, dan menghasilkan produk sampingan yang bisa langsung dimanfaatkan sebagai bahan bakar atau bahan baku di sektor industri. Jadi, teknologi ini menjadi alternatif menarik buat mengoptimalkan pemanfaatan sampah di Indonesia, apalagi tantangannya makin nyata dengan pertumbuhan penduduk dan urbanisasi yang terus meningkat (Manoj Thakur et al, 2024).

Meski potensinya besar, penerapan PLTSA juga tidak lepas dari berbagai tantangan. Salah satu masalah utama yang muncul adalah biaya investasi awal yang lumayan tinggi. Selain itu, teknologi ini harus disesuaikan dengan karakteristik sampah yang ada dan kondisi lingkungan lokal jadi tidak bisa sembarangan pakai satu model yang sama di semua daerah. Prosesnya sendiri cukup kompleks dan memerlukan tenaga ahli yang paham teknologi, serta harus dikelola dengan perawatan rutin supaya sistemnya tetap berjalan dengan baik dan aman. Maka dari itu, edukasi dan perubahan cara pandang masyarakat tentang manfaat energi terbarukan dari sampah itu sama pentingnya dengan sisi teknis. Pendukung utama sehari-hari teknologi ini tentu juga butuh dukungan penuh dari pemerintah, baik dari

segi kebijakan maupun insentif finansial, supaya adopsi PLTSa bisa makin tersebar dan jadi bagian dari strategi energi nasional (Wibawa Utama, 2021)

Menurut pandangan global, beberapa negara maju telah mengaplikasikan *waste-to-energy* untuk mengelola limbah yang ada di negara mereka. Mereka melakukan hal tersebut untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan juga sekaligus untuk mengurangi dampak dari emisi gas rumah kaca melalui konversi limbah menjadi energi (Manoj Thakur et al, 2024).

1.8.4.1. Municipal Solid Waste (MSW)

Municipal Solid Waste (MSW) merupakan limbah padat yang dihasilkan dari aktivitas rumah tangga, komersial, dan institusional di wilayah perkotaan, yang mencakup berbagai material mulai dari limbah organik seperti sisa makanan, dedaunan, dan kertas, hingga limbah anorganik seperti plastik, kaca, logam, serta limbah elektronik yang semakin meningkat; di Indonesia, MSW semakin kompleks karena pertumbuhan populasi dan urbanisasi yang pesat sehingga menghasilkan volume limbah yang tinggi dan menyulitkan pengelolaan karena keterbatasan lahan untuk tempat pembuangan akhir (TPA) dan infrastruktur pengelolaan sampah yang belum optimal, sehingga pemerintah menerapkan pendekatan 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*) serta teknologi *waste-to-energy* untuk mengurangi beban TPA dan memungkinkan pemanfaatan kembali sampah sebagai sumber energi; komposisi limbah ini sangat dipengaruhi oleh pola konsumsi masyarakat dan kegiatan komersial yang menghasilkan limbah organik dan anorganik dalam proporsi yang berbeda-beda, sehingga berbagai upaya seperti pemilahan di sumber, pengumpulan terintegrasi, dan peningkatan sistem daur ulang sangat diperlukan untuk mengolah MSW secara efektif, sambil mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat (Andi Wibowo et al., 2017).

1.8.4.2. Nilai Kalor

Nilai kalor merupakan besaran yang menggambarkan jumlah energi panas yang dihasilkan saat suatu bahan dibakar sempurna, di mana besaran ini umumnya diekspresikan dalam satuan kJ/kg atau MJ/kg dan sangat krusial untuk mengukur efisiensi konversi energi dalam sistem pembangkit listrik atau aplikasi lainnya seperti PLTSa Plasma Arc Gasification; nilai kalor terbagi menjadi dua kategori utama, yakni Higher Heating Value (HHV) yang mencakup seluruh energi, termasuk energi yang dilepaskan dari kondensasi uap air, dan Lower Heating Value (LHV) yang hanya mempertimbangkan energi yang benar-benar tersedia untuk melakukan pekerjaan karena mengesampingkan energi kondensasi, sehingga perbedaan ini membantu dalam menentukan desain sistem yang tepat dan pengoptimalan pemanfaatan energi; pengukuran nilai kalor umumnya dilakukan menggunakan alat seperti bomb kalorimeter, yang memungkinkan proses pembakaran berlangsung dalam ruang tertutup sehingga memberikan pengukuran akurat terhadap total energi yang dilepaskan.

Tabel 1 Nilai Kalor (Suhada & Almahdy, 2017)

No	Komponen	%	Kadar air (%)	Nilai kalor (Kkal/kg)
1	Organik	73,8	47,08	674,57
2	Kertas	10,18	4,97	235,55
3	Kaca	1,75	-	-
4	Plastik	7,86	2,28	555,46
5	Logam	2,04	-	-
6	Kayu	0,98	0,32	38,28
7	Kain	1,57	0,63	42,64
8	Karet	0,55	0,02	7,46
9	Battery	0,29	-	-
10	Lain-lain	0,86	-	-
Total		100	55,3	1553,96

1.8.4.3. Syngas

Syngas, atau gas sintesis, adalah campuran gas yang terutama terdiri dari karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H₂), yang dihasilkan melalui proses gasifikasi bahan karbon seperti biomassa atau limbah, dan pembentukannya melibatkan serangkaian reaksi kimia penting pada tingkat molekuler yang saling berkaitan. Proses awal terbentuknya syngas dimulai dengan reaksi water-gas, di mana karbon (C) yang terdapat dalam bahan baku bereaksi dengan uap air (H₂O) untuk menghasilkan CO dan H₂ ($\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$) yang merupakan reaksi yang dapat mengubah karbon padat menjadi suatu gas, dan juga dapat menyuplai hidrogen ke dalam campuran.

Pada proses plasma arc gasification syngas merupakan produk utama sekaligus memiliki fungsi vital yaitu sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik melalui pembakaran turbin ataupun mesin pembakaran internal, syngas ini juga tidak hanya untuk menjalankan turbin saja, tetapi juga digunakan untuk menutupi kebutuhan energi internal sistem, seperti halnya ikut membantu untuk menjalankan plasma torch yang akan meningkatkan efisiensi proses gasifikasi secara keseluruhan. Semakin baik syngas yang dihasilkan maka nilainya akan semakin tinggi yang berarti hasil daripada pembakaran syngas tersebut akan meminimalkan emisi zat pencemar yang akan dihasilkan dan dilepaskan ke atmosfer bumi dan akan mengurangi permasalahan efek rumah kaca (Sayye et al, 2024).

1.8.6. LHV dan HHV

Lower Heating Value (LHV) dan *Higher Heating Value* (HHV) adalah tolok ukur energi kimiawi yang terdapat pada bahan baku dalam pembakaran PLTSA berbasis incinerator ataupun plasma gasifikasi (pada kasus ini adalah sampah kota) dan juga gas sintetis yang telah dihasilkan, hal inilah yang menjadi dasar untuk merancang, mengoperasikan, dan mengevaluasi suatu kinerja sistem. HHV

menggambarkan bagaimana potensi energi total teoritis bahan bakar termasuk panas kondensasi uap air, sedangkan LHV menunjukkan energi yang benar benar dapat dimanfaatkan dalam pembangkitan listrik. Dengan kedua variabel ini dapat ditentukan kapasitas suatu reaktor plasma, kualitas *syngas* (MJ/Nm^3), dapat juga digunakan untuk menghitung efisiensi konversi energi dan kelayakan ekonomi pada pembangkit listrik tenaga sampah (Fabry et al., 2013).

LHV dan HHV ini dapat dihitung dengan rumus:

$$LHV_{mix} = \sum_i w_i \times LHV_i \quad (1)$$

Dimana:

w_i = Fraksi Massa Komponen

$$HHV_{mix} = \sum_i w_i \times HHV_i \quad (2)$$

Kemudian terdapat rumus untuk melakukan uji silang terhadap nilai HHV dan LHV yaitu dengan rumus:

$$HHV = LHV + 2,442(9H + M) \quad (3)$$

1.8.7. Konversi Energi

Dalam mendirikan pembangkit listrik, langkah awal yang diperlukan adalah menentukan kapasitas daya yang ingin dihasilkan serta menghitung seberapa besar kebutuhan bahan bakar yang diperlukan tau, sebaliknya, mengestimasi berapa daya listrik yang mungkin dihasilkan dari bahan bakar yang tersedia. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui jumlah limbah sampah yang ada, mengukur nilai kalor dari limbah tersebut, serta menghitung kapasitas daya yang dapat dihasilkan dari proses gasifikasi plasma, sehingga total energi listrik (dalam kWh) yang bisa dihasilkan dapat diperkirakan dengan tepat (Syah, 2017). Selanjutnya dapat dihitung energi teoritis dari nilai LHV menggunakan rumus

$$E_{th} = \frac{LHV \times 1000}{3,6} \quad (4)$$

Dimana:

E_{th} = Energi Teoritis per Ton Sampah (kWh/ton)

LHV = Nilai Kalor Efektif (MJ/kg)

1000 = Konfigurasi dari kg ke ton (1ton = 1000kg)

3,6 = Konversi dari MJ ke kWh (1 kWh = 3,6 MJ)

Untuk menentukan kapasitas daya pembangkitan, kemudian harus diketahui nilai dari listrik gross yang dapat dihasilkan menggunakan nilai energi teoritis yang telah ditentukan, untuk menghitung nilai listrik gross dapat digunakan rumus:

$$e_{gross} = E_{th} \times CGE \times \eta_{pgen} \quad (5)$$

Dimana:

e_{gross} = Listrik Bruto per Ton Sampah (kWh/ton)

CGE = *Cold Gas Efficiency*

η_{pgen} = Efisiensi dari Syngas

Setelah mendapatkan nilai listrik bruto, kemudian dapat dihitung nilai listrik bersih sekaligus merupakan listrik yang dapat dijual dengan rumus:

$$e_{net} = e_{gross} - (e_{torch} + e_{aux}) \quad (6)$$

Dimana:

e_{net} = Listrik Bersih per Ton Sampah (kWh/ton)

e_{torch} = Konsumsi Listrik *Plasma Torch* (kWh/ton)

e_{aux} = Konsumsi Listrik Sistem Pendukung (kWh/ton)

Setelah nilai listrik bersih yang dapat dijual dapat ditetapkan selanjutnya dapat dihitung nilai produksi listrik harian dan juga tahunan kemudian daya rata rata listrik yang dihasilkan juga dapat dihitung dengan rumus

$$E_{harian,run} = Q_{harian} \times e_{net} \quad (7)$$

$$E_{harian,avg} = E_{harian,run} \times Availability \quad (8)$$

$$E_{tahun} = E_{harian,avg} \times 365 \quad (9)$$

$$P_{avg} = \frac{E_{harian,avg}}{24} \quad (10)$$

Dimana:

Q_{harian} = Kapasitas Olah (ton/hari)

e_{net} = Listrik Bersih per Ton (kWh/ton)

$Avaibility$	= Jam Operasional Efektif
$e_{harian,run}$	= Produksi Listrik saat online (kWh/hari)
$e_{harian,avg}$	= Produksi Listrik Rata-Rata (kWh/ton)
E_{tahun}	= Produksi Listrik Tahunan (kWh/ton)
P_{avg}	= Daya Rata-Rata (MW)

1.8.8. **Matrix Laboratory (MATLAB)**

MATLAB yang merupakan singkatan dari *Matrix Laboratory* merupakan sebuah perangkat lunak pemrograman tingkat tinggi sekaligus lingkungan komputasi numerik yang dikembangkan oleh perusahaan MathWorks. MATLAB dibuat dengan tujuan mempermudah operasi pada matriks, pelaksanaan algoritma, pemodelan sistem, serta visualisasi data, dan memungkinkan integrasi dengan bahasa seperti C, C++, Java, dan Python. Dapat digunakan untuk menulis skrip, fungsi, dan simulasi dinamika, MATLAB juga mendukung kemampuan menghasilkan kode sumber otomatis yang dapat dijalankan di perangkat keras tertanam. Fitur ini dilengkapi dengan sejumlah *toolbox* spesifik yang memperluas cakupan aplikasi MATLAB ke bidang-bidang seperti optimisasi, kontrol sistem, analisis citra, dan ilmu data. (Ribó-Pérez et al., 2020).

1.8.9. **Aspek Ekonomi**

Aspek Ekonomi Teknik menjadi salah satu komponen krusial dalam evaluasi kelayakan dalam pengambilan keputusan investasi proyek. Evaluasi ini mencakup beberapa metode yang bisa digunakan seperti *Net Present Value* (NPV), *Internal rate of return* (IRR), *Benefit Cost Ratio* (BRC), dan *Payback Period* (PP), semua rumus ini digunakan untuk menilai profitabilitas, resiko, dan efisiensi penggunaan daripada sumber daya dari suatu proyek yang akan dikerjakan

1.8.9.1 **Pendapatan Penjualan Listrik**

Pendapatan dari penjualan listrik merupakan penerimaan finansial yang diperoleh oleh suatu entitas pembangkit melalui distribusi energi listrik yang dihasilkan kepada konsumen maupun kepada jaringan listrik nasional. Besarnya nilai pendapatan tersebut umumnya ditentukan oleh hasil perkalian antara jumlah energi listrik yang berhasil diproduksi dan dijual (dalam satuan kWh) dengan harga jual listrik per kWh sesuai ketentuan regulasi atau kontrak jual beli energi (Samsinar & Anwar, 1979).

Dalam menghitung pendapatan penjualan listrik dapat digunakan rumus berikut:

$$R_{listrik} = E_{tahun} \times P_{kWh} \quad (11)$$

Dimana:

$R_{listrik}$ = Pendapatan Listrik Tahunan (Rp/tahun)

E_{tahun} = Produksi Listrik per Tahun (kWh/tahun)

P_{kWh} = Tarif Listrik (Rp/kWh)

1.8.9.2. Cashflow Operation

Cashflow merupakan catatan aliran masuk (*inflow*) dan aliran keluar (*outflow*) dana yang terjadi selama satu tahun operasional proyek, yang digunakan untuk menilai kinerja keuangan dan kelayakan investasi suatu usaha. Pada proyek pembangkit listrik tenaga sampah, arus kas masuk biasanya berasal dari pendapatan penjualan listrik ke jaringan listrik nasional atau konsumen

Arus nilai cashflow dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut

$$CF = R_{listrik} \times C_{opex} \quad (12)$$

Dimana:

$R_{listrik}$ = Pendapatan Listrik Tahunan (Rp/tahun)

C_{opex} = Biaya Operasi Tahunan (Rp/tahun)

CF = Arus Kas Operasi Tahunan (Rp/tahun)

1.8.9.3. Net Present Value (NPV)

NPV adalah nilai keuntungan bersih atau laba yang diperoleh pada akhir pengerjaan proyek/investasi. Perhitungan NPV sering digunakan sebagai alat bantu dalam mengukur layak atau tidaknya suatu proyek. Jika nilai sekarang dari hasil lebih besar atau sama dengan nilai sekarang dari investasi, maka proposal investasi diterima. Jika nilai sekarang dari hasil lebih kecil dari nilai sekarang dari investasi, proposal investasi ditolak (Ardyn Sari Sinaga et al., 2023).

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF}{(1+r)^t} - C_{capex} \quad (13)$$

Dimana :

r = *Discount Rate* yang Digunakan

$Capex$ = *Capital Expenditure* (Rp)

CF = *Casflow* (Rp/tahun)

n = Umur Proyek (tahun)

NPV = Nilai Bersih (Rp)

1.8.9.4. Internal Rate of Return (IRR)

internal rate of return (IRR) adalah tingkat suku bunga yang dapat membuat NPV sama dengan nol, karena arus kas PV berada pada suatu tingkat. Metode ini juga memperhitungkan nilai waktu dari uang, sehingga arus kas yang diterima didiskontokan atas dasar biaya modal atau suku bunga. Kelebihan dari IRR ini adalah dampak investasi akan terlihat jelas dalam sebuah perhitungan. Mulai dari arus kas yang masuk, konsep nilai waktu dari uang, hingga risiko investasi yang akan terjadi di masa depan. Sedangkan kelemahannya adalah IRR menilai kebutuhan berdasarkan cost of capital, sehingga tidak dapat memberikan hasil yang maksimal dalam memilih proyek dalam bentuk rasio dan kurang dapat mengambil keputusan yang pasti dan tepat untuk proyek-proyek yang saling terpisah (Ardyn Sari Sinaga et al., 2023).

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF}{(1 + IRR)^t} - C_{capex} \quad (14)$$

Dimana :

CF = Cashflow (Rp/tahun)

n = umur proyek (tahun)

$Capex$ = *Capital Expenditure* (Rp)

IRR = Tingkat diskonto yang membuat $NPV = 0$ (%)

1.8.9.5 Benefit Cost Ratio (BRC)

BCR Merupakan rasio perbandingan antara pemasukan total sepanjang waktu operasi pembangkit dengan biaya inverstasi awal. *Net Benevit Cost* > 1, maka proyek usaha layak dijalankan dan jika dibawah satu maka proyek usaha tidak layak untuk dijalankan secara finansial (Ardyn Sari Sinaga et al., 2023)

$$BCR = \frac{PV(CF)}{Capex} \quad (15)$$

1.8.9.6. Payback Period (PP)

Payback Period adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan investasi awal proyek melalui arus kas yang dihasilkan. Konsep ini konsep ini memberikan indikasi periode waktu yang dibutuhkan untuk mencapai titik impas pada suatu investasi. Semakin pendek payback period, semakin baik proyek tersebut. Payback Period adalah salah satu metode yang paling sederhana. Metode ini menghitung waktu yang dibutuhkan untuk memulihkan biaya investasi awal berdasarkan arus kas. Sederhananya, PB adalah lamanya waktu sebuah investasi mencapai titik impas (Break Even Point). Periode pengembalian yang singkat berarti lebih menarik (Ardyn Sari Sinaga et al., 2023).

$$PP = \frac{C_{Capex}}{CF} \quad (16)$$

Dimana:

PP = *Payback Period*

CF = *Cashflow* (Rp/tahun)

Capex = *Capital Expenditure* (Rp)

1.8.10. Volume Sampah TPA Tamangapa

Berdasarkan data yang dimiliki oleh Dinas Lingkungan Hidup Kota Makassar (DLH) Volume Sampah yang terdapat pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Tamangapa Kota Makassar dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2 Volume Sampah TPA Tamangapa (DLH Kota Makassar,2025)

TOTAL TIMBULAN SAMPAH KE TPA				
TAHUN	kg/Tahun	Ton/Tahun	Ton/Bulan	Ton/Hari
2008	141.191.640	141.191,64	11.765,97	386,83
2009	166.555.971	166.555,97	13.879,66	456,32
2010	194.451.559	194.451,56	16.204,30	532,74
2011	193.405.559	193.405,56	16.117,13	529,88
2012	203.419.001	203.419,00	16.951,58	557,31
2013	246.970.841	246.970,84	20.580,90	676,63
2014	247.182.733	247.182,73	20.598,56	677,21
2015	246.271.225	246.271,23	20.522,60	674,72
2016	237.851.884	237.851,88	19.820,99	651,65
2017	290.222.000	290.222,00	24.185,17	795,13
2018	258.392.000	258.392,00	21.532,67	707,92
2019	254.253.494	254.253,49	21.187,79	696,58
2020	255.565.015	255.565,02	21.297,08	700,18
2021	277.882.067	277.882,07	23.156,84	761,32

Lanjutan Tabel 2

TAHUN	kg/Tahun	Ton/Tahun	Ton/Bulan	Ton/Hari
2022	274.912.294	274.912,29	22.909,36	753,18
2023	375.651.001	375.651,00	31.304,25	1.029,18
2024	379.648.260	379.638,26	31.647,32	1.041,28

Selanjutnya diperlukan adanya proyeksi agar mempermudah. Untuk melakukan analisis mengenai kelayakan proyek dalam beberapa tahun yang akan datang, berdasarkan proyeksi ini juga dapat dilakukan analisis tambahan berupa gambaran masa depan daripada proyek tersebut, apakah akan dilakukan penambahan unit atau cukup dengan satu unit saja, proyeksi ini biasanya dapat kita hitung dengan menggunakan metode regresi linear dengan persamaan (Lestari et al., 2023)

$$Y = a + bX \quad (17)$$

Dimana :

Y = Timbulan sampah (ton/hari)

a = *intercept*

b = *slope*

X = Tahun

Selanjutnya untuk mencari nilai a (*intercept*) dapat digunakan persamaan:

$$a = \frac{\sum Y - b(\sum X)}{n} \quad (18)$$

Kemudian untuk mencari nilai b (*slope*) dapat digunakan persamaan

$$b = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (19)$$

Dengan rumus regresi tersebut kemudian dapat ditentukan perkiraan proyeksi dari nilai jumlah sampah pada TPA Tamangapa pada 30 tahun mendatang.

1.8.11. Penelitian Yang Relevan

Penelitian Usmadiansyah (2017) mengkaji potensi konversi sampah Kota Pontianak menjadi energi listrik melalui teknologi gasifikasi plasma yang mengubah sampah secara termal dengan bantuan plasma sehingga menghasilkan syngas dan slag; dengan asumsi nilai kalor sampah sebesar 2200 kkal/kg, perhitungan menunjukkan bahwa 1 ton sampah dapat menghasilkan sekitar 787,54 kWh listrik, dan dengan volume sampah harian mencapai 683,82 ton, potensi energi listrik yang dapat dihasilkan mencapai sekitar 21,85 MW atau 196.564,77 MWh per tahun. Analisis lebih lanjut dalam penelitian ini mencakup evaluasi aspek ekonomi, di mana biaya produksi listrik diperkirakan berkisar antara Rp1.041,34/kWh hingga Rp1.417,16/kWh, sedangkan pendapatan tahunan dari penjualan energi listrik bahkan mencapai triliunan rupiah, sehingga teknologi gasifikasi plasma ini terbukti tidak hanya efektif untuk mengatasi permasalahan sampah yang berdampak lingkungan,

Penelitian Achmad Zubair dan Haeruddin (2012) mengkaji potensi daur ulang sampah di TPA Tamangapa, Kota Makassar dengan menganalisis komposisi sampah yang didominasi oleh sampah organik (80,71%) serta komponen plastik (9,23%) dan kertas (7,03%). Studi tersebut menemukan bahwa setiap harinya dapat didaur ulang sekitar 48 ton sampah kering (misalnya plastik, kertas, kaca, dan kaleng/besi) dan sampah organik sebesar 334,3 ton dapat diolah menjadi kompos. Secara ekonomi, nilai jual sampah kering diperkirakan mencapai Rp86.050.000 per hari (atau Rp2,6 milyar per bulan) yang mampu menopang sekitar 3000 tenaga kerja, sementara pengolahan sampah organik menjadi kompos berpotensi menghasilkan revenue harian sebesar Rp161.275.000 (atau sekitar Rp4,8 milyar per bulan) yang dapat menghidupi sekitar 6000 orang. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengelolaan sampah terpadu melalui daur ulang dan pengomposan tidak hanya mengurangi volume sampah di TPA tetapi juga memberikan manfaat ekonomi yang signifikan bagi kota Makassar..

Penelitian oleh Andi Wibowo Kinandana et al. mengkaji penerapan teknologi gasifikasi plasma sebagai solusi terintegrasi untuk mengatasi masalah sampah perkotaan sekaligus menghasilkan energi listrik. Teknologi ini memanfaatkan plasma torch untuk menghasilkan suhu tinggi (sekitar 2500 °C) dalam reaktor sehingga sampah diubah secara termokimia menjadi syngas yang terutama terdiri atas karbon monoksida (CO), hidrogen (H₂), dan karbon dioksida (CO₂) serta slag yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan bangunan.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Lokasi Penelitian ini ditunjukkan pada Gambar, tepatnya pada TPA Tamangapa yang merupakan satu satunya Tempat Pembuangan Akhir yang berada di Kota Makassar dan memiliki fungsi untuk menampung keseluruhan sampah yang berasal dari Kota Makassar.



Gambar 6 Lokasi Penelitian

Sumber: (Google Earth diakses pada : 2025)

Penelitian akan dilaksanakan pada bulan juli 2025 sampai dengan bulan september 2025.

2.2. Alat dan Bahan

Untuk mengumpulkan data terkait bagaimana perencanaan yang akan dilakukan untuk membangun PLTSa *Plasma Arc Gasification* dibutuhkan beberapa alat dan bahan, yaitu:

Laptop dengan aplikasi *MATLAB*

2.3. Metode Pengumpulan Data

Adapun beberapa metode yang dilakukan untuk mengumpulkan data yang nantinya akan diolah dan dianalisa, yaitu:

1. Studi Literatur

Serangkaian pengumpulan dari berbagai referensi yang membahas terkait dengan masalah dan tujuan penelitian yang terdapat dalam buku, jurnal ilmiah dan artikel terdahulu, sumber-sumber yang dapat diakses melalui internet ataupun bahan pustaka lainnya yang relevan untuk mendapatkan wawasan yang luas terkait objek yang akan diteliti.

2. Pengambilan data

Data yang diperoleh pada penelitian ini yaitu mengenai volume sampah yang berada di TPA Tamangapa dan data jumlah sampah yang masuk tiap harinya ke TPA Tamangapa.

2.4. Metode Pengolahan Data

Pengolahan data pada penelitian ini mencakup beberapa hal antara lain yaitu:

2.4.1. Konstruksi Sipil

Menentukan letak strategis posisi pembangunan PLTSa dengan mempertimbangkan pengantaran sampah kedalam PLTSa yang akan dirancang.

2.4.2. Mekanis

Menentukan model tipe PLTSa yang akan dibangun pada TPA Tamangapa Kota Makassar, sehingga pemanfaatan sampah akan lebih efisien.

2.4.3. Elektrik

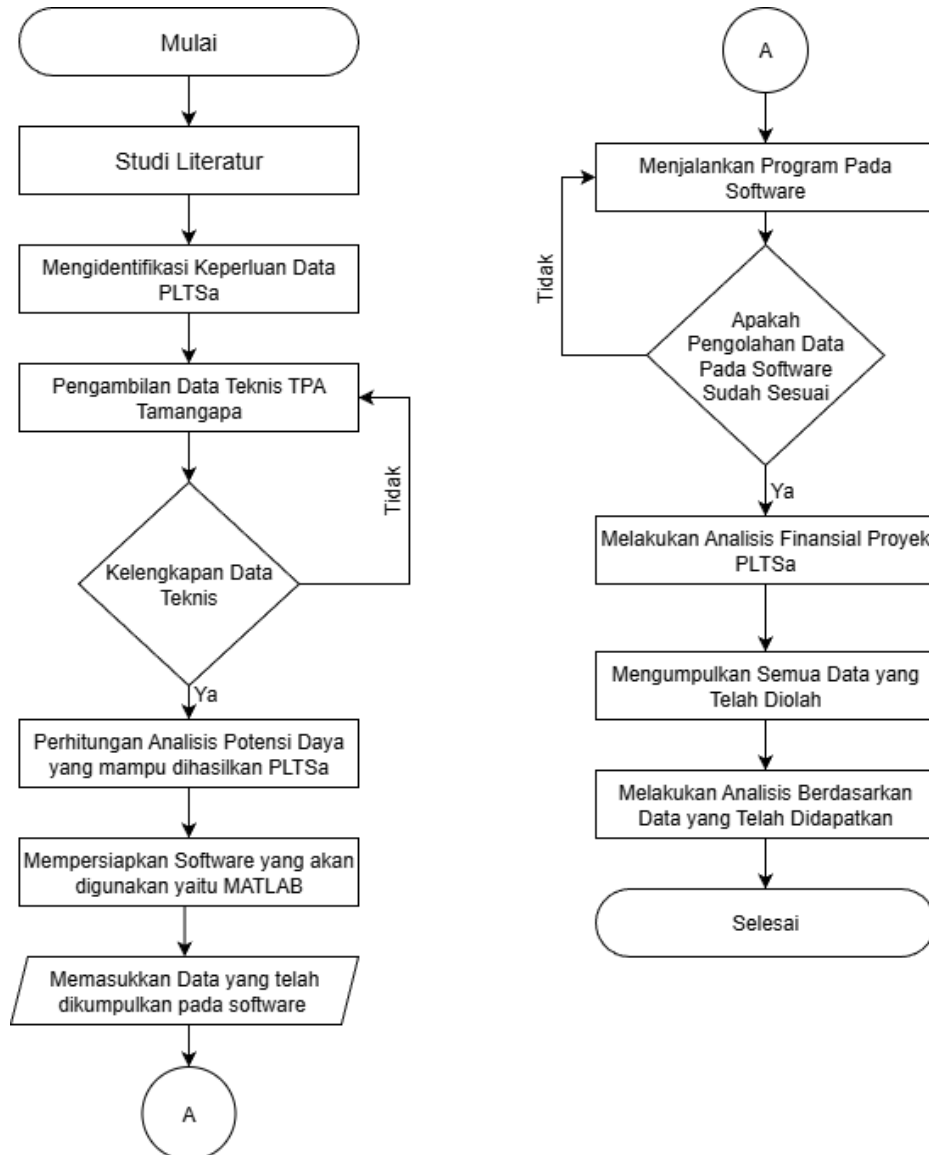
Menentukan besar daya listrik yang dihasilkan oleh PLTSa dengan metode *Plasma Arc Gasification*

2.4.4. Analisa Menggunakan Aplikasi *Matrix Laboratory (MATLAB)*

1. Mensimulasikan PLTSa dengan berfokus pada analisa energi.
2. Mensimulasikan PLTSa dengan berfokus pada analisa ekonomi.

2.5. Diagram Alir Penelitian

Untuk memudahkan dalam mengerjakan penyelesaian penelitian ini, maka dibuatlah suatu diagram alir penelitian yang berisikan langkah-langkah pengerjaan dalam penulisan ini yang dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 7
Diagram Alir Penelitian