

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Permasalahan Sampah Perkotaan

Permasalahan sampah di kota besar selalu menjadi topik yang hangat untuk dibicarakan dan didiskusikan tentang bagaimana cara pengolahannya. Berbagai macam cara pengolahan sampah baik dengan cara tradisional dengan mengumpulkan ke suatu Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sudah dilakukan di berbagai tempat, namun pembuangan sampah secara tradisional mempunyai keterbatasan yaitu tempat penampungan yang terbatas sehingga perlu dilakukan metode pengolahan sampah yang dapat mengatasi hal tersebut.

Pemerintah ikut mendorong percepatan penanganan masalah sampah melalui peraturan perundang-undangan yaitu: UU No. 18 Th 2008 tentang pengelolaan sampah, PP No. 81Th 2012 tentang pengolahan sampah rumah tangga, PP No. 27 Th 2020 tentang pengolahan sampah spesifik dan P.24/MENLHK/SETJEN/KUM.1/5/2019 tentang bantuan biaya layanan pengolahan sampah dalam rangka percepatan pembangunan instalasi pengolah sampah menjadi energi listrik berbasis teknologi ramah lingkungan

Untuk mengatasi permasalahan sampah ada beberapa teknik pengolahan dan pemanfaatan sampah antara lain (BPSDM PU, 2018):

- a. Insenerasi
- b. Landfill Gas
- c. Gasifikasi Plasma

a. Insenerasi

Insenerasi adalah teknik pengolahan sampah dengan menggunakan metode pembakaran limbah sampah dalam ruang bakar (furnace) yang menghasilkan panas, kemudian panas tersebut digunakan untuk memanaskan air menjadi uap air panas (Steam) sebagai penggerak dari turbine uap (Steam turbine) untuk menghasilkan energi listrik (Winanti, 2018). Kelemahan dari teknik pengolahan sampah insenerasi adalah polusi dari gas buang yaitu Nitrogen dioksida dan Sulfur dioksida (NO_2 dan SO_2).

b. Landfill Gas

Landfill adalah teknik pengolahan sampah dengan mengumpulkan gas methane (CH_4) dari sumur landfill area (*well head*) dengan menggunakan jaringan installasi pipa, gas methane (CH_4) yang terkumpul digunakan sebagai bahan bakar mesin gas generator (gas engine generator) untuk menghasilkan energi listrik (ESDM-EU TCF, 2015). Kelemahan dari teknik pengolahan sampah *landfill* gas adalah membutuhkan area yang luas.

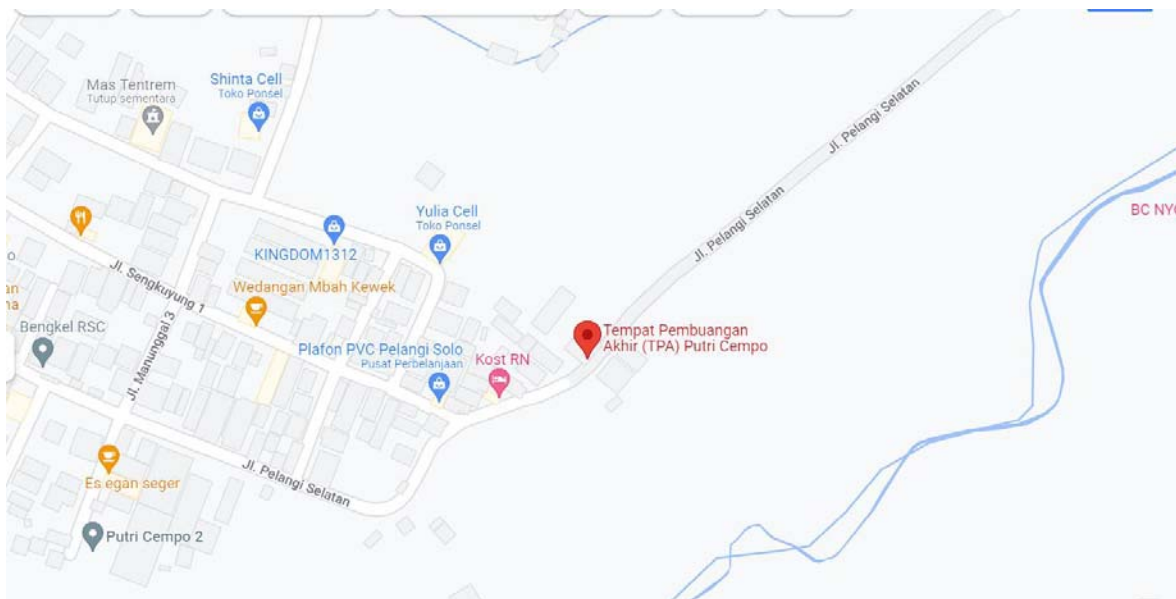
c. Gasifikasi Plasma

Gasifikasi adalah teknik pengolahan sampah dengan menggunakan teknologi plasma gasifikasi dengan cara menguraikan senyawa dalam sampah baik organik maupun anorganik diubah menjadi elemen-elemen dasar oksigen, *carbon*, *hydrogen*. Dimana setiap pembentukan gas dalam proses gasifikasi untuk menghasilkan energi selalu terdapat plasma yang dapat dimanfaatkan sebagai energi yang bermanfaat. Manfaat dari teknologi plasma gasifikasi adalah dihasilkannya clean syngas sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi dan pembangkit tenaga listrik. Teknologi plasma gasifikasi sendiri tidak memerlukan pemisahan sampah dan pengeringan sampah sehingga tidak membutuhkan biaya dan waktu untuk pemisahan sampah. Teknologi plasma gasifikasi juga lebih ramah lingkungan dikarenakan tidak adanya emisi gas buang selama proses gasifikasi.

2.2 TPA Cempo Solo

TPA Putri Cempo Solo terletak di daerah kawasan Kampung Jatirejo Kelurahan Mojosongo yang berjarak 5 km dari pusat Kota Surakarta. Tempat Pembuangan Akhir Putri Cempo Solo berdiri di atas lahan tanah seluas 7 Ha dengan kapasitas tampung 100.000 Ton dan sudah beroperasi sejak tahun 1987(Lesmana et al., 2016). Dengan produksi sampah kota Surakarta 303,82 Ton/hari di tahun 2019 dalam kurun waktu 1 tahun sudah mengalami kelebihan kapasitas daya tampungnya. (DLHK, 2020)

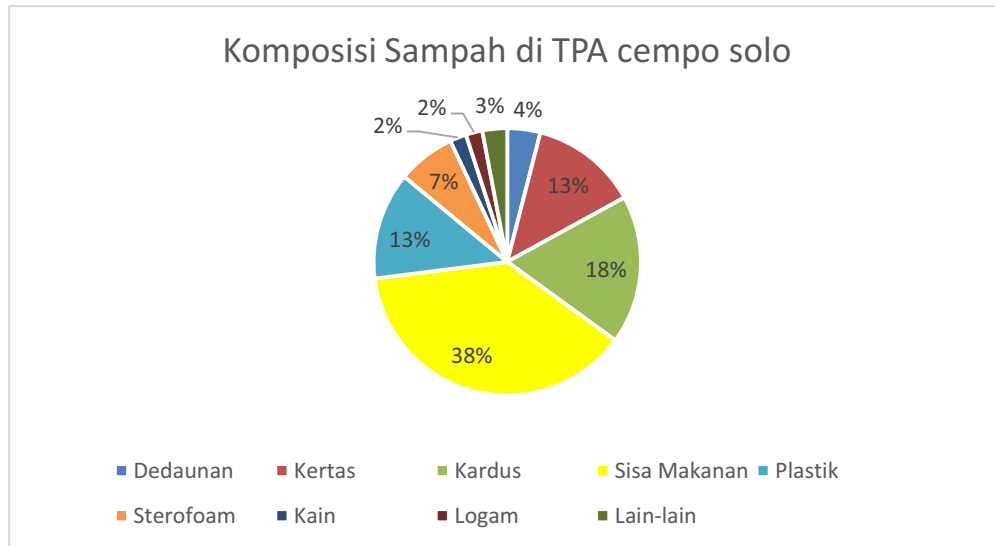
Teknologi yang digunakan pada saat ini untuk pengelolaan sampah di TPA Putri Cempo Solo adalah Pengolah Sampah menjadi Energi Listrik (PSEL).



Gambar 2.1 Lokasi TPA Putri Cempo Solo

2.3 Komposisi sampah di TPA Cempo Solo

TPA Putri Cempo Solo adalah tempat pembuangan akhir di daerah Surakarta dimana pada tahun 2021 menurut data sumber dari Dinas lingkungan Hidup Surakarta menampung sampah dengan komposisi dedaunan 4%, kertas 13%, kardus 18%, sisa makanan 38%, plastik 13%, sterofoam 7%, kain 2%, logam 2%, lain-lain 7% ditunjukkan dalam gambar 2.2.



Gambar 2.2 sampah di TPA Putri Cempo Solo

Komposisi sampah di TPA Putri Cempo Solo yang diambil sampel dari perumahan, taman, komersial dan pasar ditunjukkan dalam tabel 2.1.

Tabel 2.1 Tabel komposisi fisik sampah di TPA cempo solo tahun 2021(Dinas lingkungan hidup Surakarta)

| Komponen | Perumahan(%) | Taman(%) | Komersial(%) | Pasar(%) |
|--------------|--------------|------------|--------------|------------|
| Dedaunan | 9 | 54 | 2 | 2 |
| Kertas | 13 | 8 | 9 | 14 |
| Kardus | 12 | 8 | 18 | 19 |
| Sisa Makanan | 33 | 1 | 62 | 30 |
| Plastik | 13 | 25 | 3 | 20 |
| Sterofoam | 5 | 1 | 2 | 7 |
| Kain | 4 | 1 | 1 | 2 |
| Logam | 2 | 1 | 1 | 4 |
| Lain-lain | 9 | 1 | 2 | 2 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 |

Sifat komposisi fisik dan kimia sampah di perkotaan ternyata relatif sama (Montiel-Bohórquez et al., 2021), sehingga untuk komposisi kimia di TPA Putri Cempo Solo menggunakan hasil dari penelitian sebelumnya (Naryono et al., 2015) yang ditampilkan dalam tabel 2.2.

Tabel 2.2 Komposisi kimia sampah

| MSW tipe | HHV (MJ/kg) | Ultimate analysis (wt % dry base) | | | | | Proximate analysis (wt dry base) | | | MC (wt %) | O/C (Molar rasio) | (F/A) stq |
|-----------|-------------|-----------------------------------|------|-------|------|------|----------------------------------|-------|-------|-----------|-------------------|-----------|
| | | C | H | O | N | S | FC | VM | ASH | | | |
| Perumahan | 16.03 | 40.59 | 5.18 | 36.53 | 1.31 | 0.39 | 19.47 | 64.53 | 16 | 20,0 | 0.8999 | 0.26 |
| Taman | 15.58 | 38.74 | 4.96 | 34.28 | 1.25 | 0.37 | 20.18 | 59.42 | 20.4 | 25,0 | 0.8848 | 0.23 |
| Komersial | 15.70 | 39.47 | 5.07 | 35.55 | 1.28 | 0.38 | 18.53 | 63.22 | 18.25 | 27.95 | 0.9006 | 0.23 |
| Pasar | 16.32 | 40.00 | 5.22 | 36.60 | 1.32 | 0.39 | 22 | 62.81 | 15.2 | 23.6 | 0.9150 | 0.23 |

Data komposisi kimia sampah pada tabel 2.2 akan digunakan untuk Analisa tekno ekonomi pengolahan sampah perkotaan menjadi energi di PLTSa Putri Cempo Solo.

2.4 Pemrosesan Sampah Menjadi Energi

Permasalahan yang ditimbulkan akibat dari pengolahan sampah secara konvensional memunculkan permasalahan baru yaitu penumpukan sampah atau timbulan sampah yang besar, sehingga berakibat sektor publik tidak dapat menyediakan layanan yang efektif (Ibrahim & Mohamed, 2016). Seperti kita ketahui bahwa timbulan sampah akan terus meningkat terutama seiring dengan pertumbuhan penduduk, perubahan kebiasaan konsumsi penduduk dan masyarakat, serta pola pembangunan masyarakat, dan kecenderungan perpindahan penduduk / urbanisasi. Sampah perkotaan akan menjadi residu dan volumenya akan terus meningkat di dunia apabila tidak dilakukan pengelolaan dengan teknologi yang baik. Kondisi ini menunjukkan bahwa kebutuhan pengelolaan sampah dengan teknologi baru yang ramah lingkungan akan semakin meningkat (Leme et al., 2014).

Pemrosesan sampah dengan teknologi baru yang memadai tidak hanya mengurangi dampak lingkungan namun juga mengurangi emisi GRK dan menghemat penggunaan energi fosil serta berdampak baik bagi iklim dan lingkungan (Wang et al., 2012). Untuk mengatasi permasalahan tersebut, pengelola TPA cenderung menggunakan teknologi modern untuk menjawab kebutuhan masyarakat, pemerintah, dan investor (Fetanat et al., 2019).

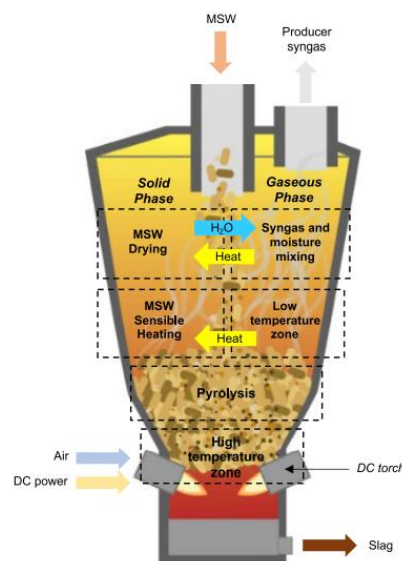
Teknologi *Waste-to-Energy* (WtE) saat ini menjadi trend baru dalam modernisasi pengelolaan sampah karena dapat menyelesaikan masalah sampah dan kelangkaan energi (Byun et al., 2011). Proses WtE merupakan proses pemulihan energi dari limbah melalui pembakaran langsung (insinerasi, pirolisis, dan gasifikasi), atau dengan produksi bahan bakar dalam bentuk metan, hidrogen, dan bahan bakar sintetis lainnya (Samudro et al., 2019). Aplikasi teknologi ini tergantung pada faktor-faktor pendorong lokal, regional, and nasional baik untuk pengelolaan sampah maupun pemulihan energi (Lino & Ismail, 2013).

Pemanfaatan sampah menjadi energi alternatif dapat menjawab kelangkaan energi akibat dari menurunnya cadangan energi fosil. Apalagi permintaan global terhadap energi terbarukan diperkirakan meningkat antara enam sampai dengan tujuh kali lipat pada satu dekade ke depan (*BP Energy Outlook ,2019*)

2.4.1 Pemrosesan Sampah Menggunakan Gasifikasi Thermal

Pemrosesan sampah dengan menggunakan plasma gasifikasi adalah teknologi yang ramah lingkungan dikarenakan minimnya gas buang dan limbah untuk menghasilkan energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif pengganti energi fosil.

Gasifikasi plasma mengolah sampah dengan menggunakan panas yang tinggi menggunakan reaktor plasma torch yang dapat merubah sampah menjadi gas sintetis (*syngas*). Gas hasil dari gasifikasi plasma kemudian didinginkan dan dibersihkan sehingga dapat dimanfaatkan untuk energi pembangkit listrik dan industri kimia seperti ethanol, methanol, oksigen, hidrogen yang disajikan dalam gambar 2.5 (Byun et al., 2012).



Gambar 2.2. Updraft gasifier (Montiel-Bohórquez et al., 2021)

Proses pengolahan sampah dengan menggunakan gasifikasi plasma dibagi dalam beberapa tahapan, yaitu:

- Waste Handling* (Penanganan Sampah)
- Plasma Treatment* (Pembentukan Plasma)
- Gas Treatment* (Pemurnian Gas)
- Energy Generation or Syngas Storage* (Pembentukan Energi atau Penyimpanan Syngas)

Untuk keterangan beberapa proses pengolahan sampah dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. *Waste Handling*

Waste Handling adalah penanganan sampah di fasilitas pengolahan sampah dengan menghancurkan sampah menjadi potongan-potongan yang lebih kecil (di dalam *crusher*) sehingga akan membuat transfer thermal yang lebih efektif. *Waste Handling* adalah proses penanganan sampah dengan cara :

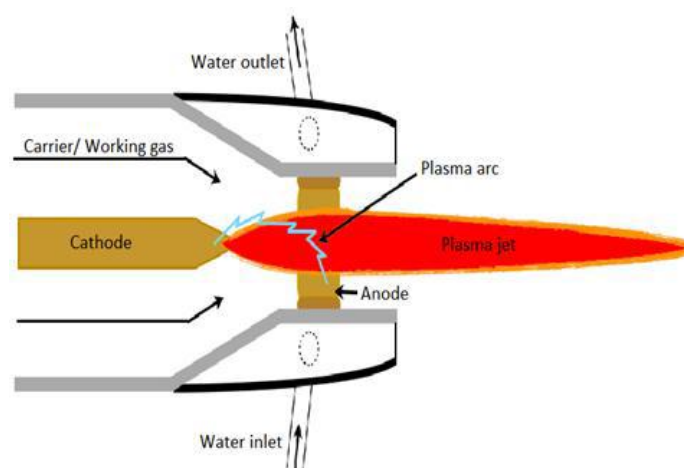
- Menghancurkan sampah menjadi bagian yang lebih kecil (di dalam *crusher*) sehingga akan membuat transfer thermal lebih efektif.
- Memilah sampah yang mengandung metal (logam) yang mempunyai nilai kalor yang tinggi.

b. *Plasma Treatment*

Plasma Treatment adalah proses menghasilkan gas dalam reaktor plasma torch. Dalam suhu yang sangat tinggi di dalam reaktor plasma torch material sampah plastik dan organik diubah menjadi komponen dasar (yaitu: oksigen, hidrogen, carbon, sulfur, halogen dan atom-atom lainnya), Sedangkan sampah yang mengandung logam dan kaca akan dikeluarkan dalam bentuk slag. Dalam *plasma treatment* menghasilkan:

- Syn Gas yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi
- Slag yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bangunan seperti aspal, dlsb

Sebelum berbicara mengenai proses kimiawi secara detail. Kita lihat bersama cara kerja dari plasma torch.

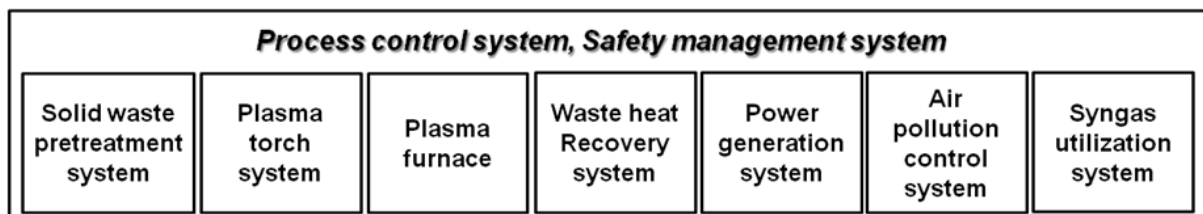


Gambar 2.3. Plasma Torch(Gandhi, 2015)

Plasma Torch adalah sebuah peralatan utama yang digunakan dalam proses plasma gasifikasi. Sistem kerja plasma torch terdiri dari dua buah elektrode yang mengionisasi fluida (gas

oksigen, gas hidrogen, argon, helium dan air) dengan daya 5 KW sampai dengan 2500 KW sehingga menghasilkan obor plasma yang diinjeksi menggunakan udara atau oksigen untuk menjaga kestabilan obor plasma tersebut. Dan putaran magnetic field juga membentuk plasma secara terus menerus sehingga menstabilkan spark di dalam plasma torch sehingga oksigen maupun udara atau fluida yang lain menjadi plasma sehingga kestabilan obor plasma dapat terjaga. Dikarenakan temperatur yang sangat tinggi dan berjalan terus menerus dibutuhkan *water cooling system* untuk menjaga kestabilan kinerja plasma torch (Gandhi, 2015)

Proses plasma gasifikasi adalah proses kimiawi untuk menghasilkan syngas, plasma torch mengoksidasi dan memutus rantai *carbon* molekul organik sehingga menjadi *carbon*, oksigen, hidrogen dengan struktur gas CO , H₂



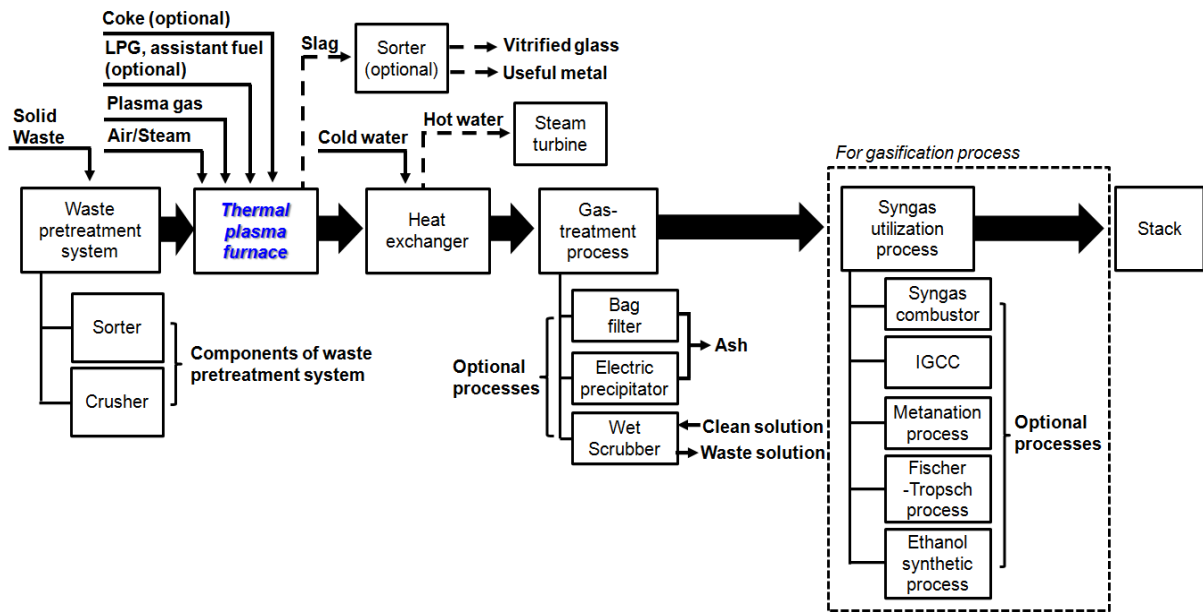
Gambar 2.4. Proses Gasifikasi Plasma (Byun et al., 2012)

c. Gas Treatment

Gas Treatment adalah proses pemurnian Syngas yang terdiri dari dari 2 tahapan penting yaitu:

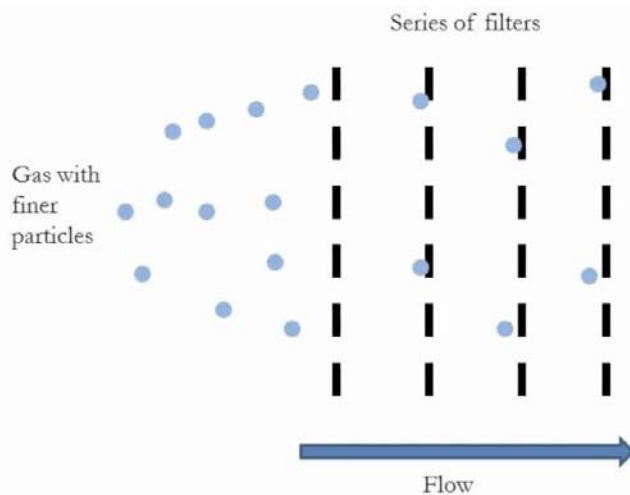
- *Gas Cooling*
- *Gas Cleaning*

Proses *Gas Cooling* yaitu pendinginan gas dengan cara menghentikan pembentukan dioxin beracun dan digunakan untuk pemulihan energi di dalam *Gas Cooling* dengan menurunkan temperatur gas sekitar 600⁰ C untuk menghilangkan pembentukan gas beracun toxic dan dioxide. Beberapa perusahaan menggunakan *Heat Echanger* untuk proses *Gas Cooling*.



Gambar. 2.5 Skema Proses lengkap Gasifikasi Plasma (Byun et al., 2012)

Proses *Gas Cleaning* yaitu pemurnian gas dari bahan kimia dan partikel yang tidak diinginkan yang berbahaya bagi manusia dan lingkungan serta dapat merusak peralatan, proses tersebut dapat dilihat dalam gambar 2.6. Gas yang masih tercampur partikel yang tidak diinginkan dibersihkan kembali untuk mendapatkan syngas yang tidak tercampur partikel yang tidak diinginkan dalam filter yang terdapat di dalam peralatan plasma torch.



Gambar 2.6. Proses Pemisahan Partikel ([Plasma gasification explained - Bing video](#))

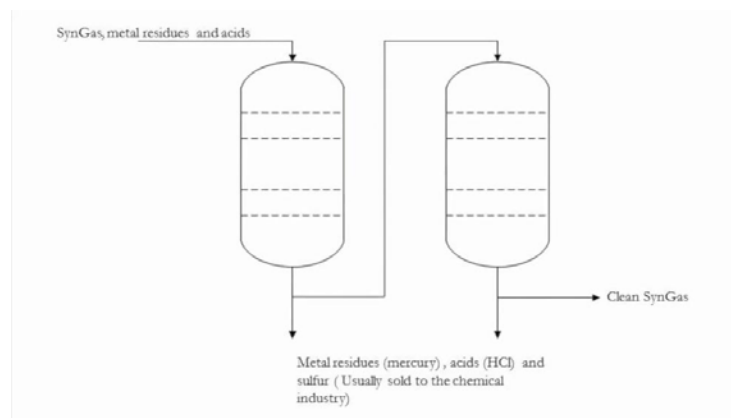
Peralatan tersebut berupa *Selective Catalytic Converter* yang membuang *toxic* dan partikel yang tidak diinginkan



Gambar 2.7. Selective Catalytic converter ([Plasma gasification explained - Bing video](#))

Partikel yang tidak diinginkan masuk ke dalam *selective catalytic converter* dibuang dalam bentuk *concentrate* dan syngas yang dihasilkan dari pemisahan partikel dialirkan ke inlet syngas.

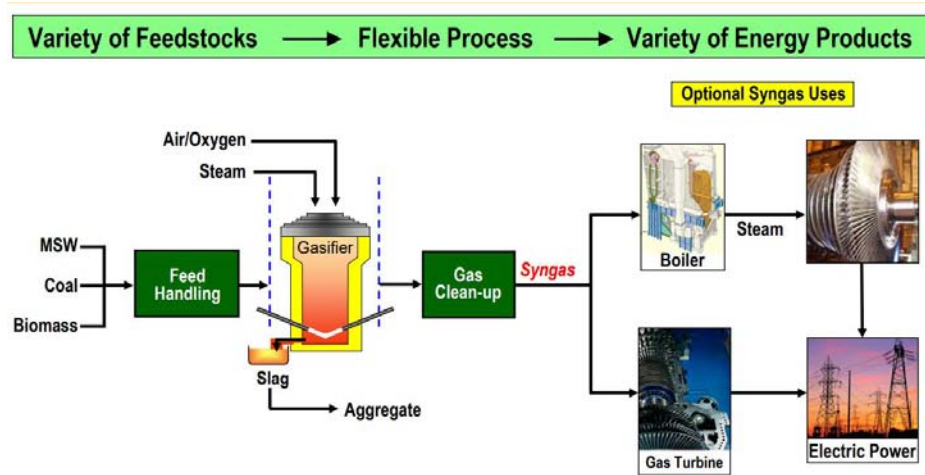
Proses selanjutnya syngas yang dihasilkan dialirkan *ke syngas metal reduces and acids* untuk menghilangkan metal reduces (Mercury), acid (HCl) dan sulfur. Sehingga didapatkan *Clean Syngas* yang dapat dimanfaatkan bahan bakar (*fuel*) dan pembangkit energi (*Energy Generation*)



Gambar 2.8. Proses Production Clean Syngas ([Plasma gasification explained - Bing video](#))

d. Pembangkit Energi (*Energy Generation*)

Pembangkitan Energi adalah pemanfaatan *Clean Syngas* yang dihasilkan dari proses *cleaning* dan *cooling* dialirkan ke *Combustion Engine* (Motor Bakar/ Generator Turbine) atau ke *Boiler* untuk menghasilkan *steam* yang digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik.



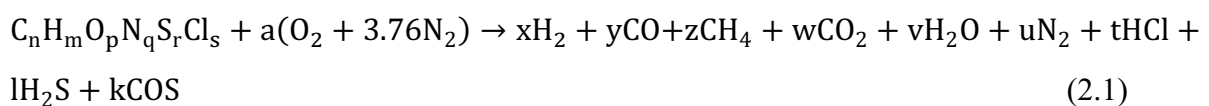
Gambar 2.9. Mesin Pembangkitan Energi (Brien, 2008)

Hasil energinya dapat digunakan untuk maintenance plasma torch sebagai sumber energi dan proses *electricity* dapat menghasilkan listrik sebagai *renewable energy* yang bersih dan ramah lingkungan. Selain dari *Production Energy Generation* dapat juga dihasilkan *clean* dan ethanol yang dapat digunakan untuk kepentingan industri yang lain.

Jadi dapat kita ketahui bersama dalam proses plasma gasifikasi selain menghasilkan produk berupa Clean syngas dan Ethanol yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi ataupun pembangkitan energi hasil buangan atau slag dari proses plasma gasifikasi dapat dimanfaatkan untuk keperluan konstruksi yaitu pengaspalan, dsb.

2.4.2 Plasma Gasifikasi sebagai Model untuk Pengolahan Sampah menjadi Energi

Pemodelan plasma gasifikasi untuk mengolah sampah menjadi energi didalam penelitian ini menggunakan asumsi gas sintetis yang dihasilkan sebagai gas ideal sehingga perumusan dalam proses gasifikasi digunakan stokiometri (Montiel-Bohórquez et al., 2021) dengan reaksi utama sebagai berikut:



Besaran energy kimia dari syngas yang digunakan adalah Cold gas efisiensi (*CGE*) yang dirumuskan sebagai berikut (Montiel-Bohórquez et al., 2021):

$$CGE = \frac{\dot{m}_{syngas} HHV_{syngas}}{\dot{m}_{MSW} HHV_{MSW} + \dot{W}_{torch}} \quad (2.2)$$

Dengan \dot{m} adalah fraksi massa dalam (Kg/s), HHV adalah nilai kalori dalam (MJ/Kg) dan \dot{W} adalah daya dalam MW

dengan Nilai HHV sebagai berikut:

$$HHV_{MSW} = 0.3491C + 1.1783H + 0.1005S - 0.1034O - 0.0151N - 0.0211ash \quad (2.3)$$

dengan ash adalah abu.

Keakuratan model di evaluasi dengan menggunakan kesalahan relatif (RE) dengan formula:

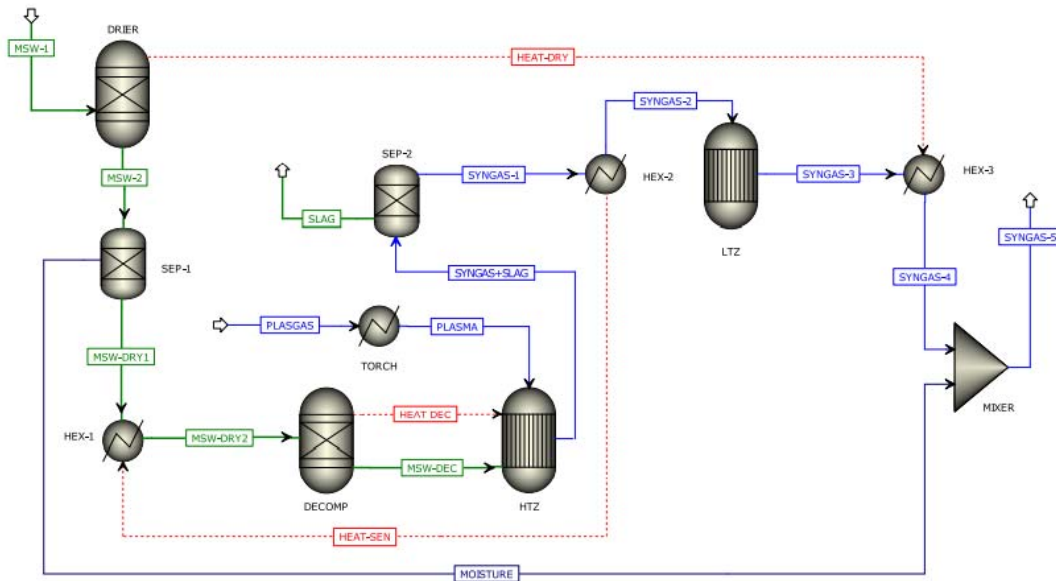
$$RE(\%) = \left(\frac{X_{reference,i} - X_{model,i}}{X_{reference,i}} \right) \times 100 \quad (2.4)$$

Persamaan tersebut diatas digunakan dengan mempertimbangkan reaksi kimia utama dalam proses gasifikasi plasma yang dirangkum dalam tabel 2.3.

Tabel 2.3 Reaksi Kimia utama dalam proses gasifikasi plasma (Indrawan et al., 2019)

| Reaksi Kimia | Formasi Energi | Nama Reaksi |
|---|----------------------|---------------------------|
| Reaksi Oksidasi | | |
| 1. $C + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO$ | -111 MJ/kmol | Carbon partial oxidation |
| 2. $CO + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO_2$ | -283 MJ/kmol | CO oxidation |
| 3. $C + O_2 \rightarrow CO_2$ | -394 MJ/kmol | Carbon oxidation |
| 4. $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$ | -242 MJ/kmol | Hydrogen oxidation |
| 5. $CH_4 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO + 2H_2$ | -36 MJ/kmol | Methane partial oxidation |
| 6. $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$ | -803 MJ/kmol | Methane oxidation |
| Reaksi Gasifikasi yang memuat steam | | |
| 7. $CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$ | 206 MJ/kmol | Steam methane reforming |
| 8. $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$ | -41 MJ/kmol | Water-gas shift reaction |
| 9. $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$ | 131 MJ/kmol | Water-gas reaction |
| 10. $C_nH_m + nH_2O \rightarrow nCO + (n + \frac{m}{2})H_2$ | Endothermic reaction | Steam reforming |
| Reaksi gasifikasi yang memuat hydrogen | | |
| 11. $C + 2H_2 \rightarrow CH_4$ | -75 MJ/kmol | Hydrogasification |
| 12. $CO + 3H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O$ | -227 MJ/kmol | Methanation |
| 13. $2CO + 2H_2 \rightarrow CH_4 + CO_2$ | 247 MJ/kmol | Methanation |
| 14. $CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$ | 165 MJ/kmol | Methanation |
| Reaksi gasifikasi yang memuat karbondioksida | | |
| 15. $C + CO_2 \rightarrow 2CO$ | 172 MJ/kmol | Boudouard reaction |
| 16. $C_nH_m + nCO_2 \rightarrow 2nCO + (\frac{m}{2})H_2$ | Endothermic reaction | Dry reforming |
| Reaksi dekomposisi tar dan hidrokarbon | | |
| 17. $pC_xH_y \rightarrow qC_nH_m + rH_2$ | Endothermic reaction | Dehydrogenation |
| 18. $C_nH_m \rightarrow nC + (\frac{m}{2})H_2$ | Endothermic reaction | Carbonization |

dengan $X_{reference,i}$ adalah nilai dari *syngas* hasil dari penelitian Montiel-Bohórquez et al., 2021 dan $X_{model,i}$ adalah nilai *syngas* hasil dari penelitian ini.



Gambar 2.10 Flow diagram updraft plasma gasifikasi (Montiel-Bohórquez et al., 2021)

Reaksi kimia yang tercantum dalam table 2.3 dan Flow diagram updraft gasifikasi plasma pada gambar 2.10 menjadi acuan untuk perhitungan teknik untuk mendapatkan nilai LHV, HHV, CGE yang digunakan untuk pembangkitan energi.

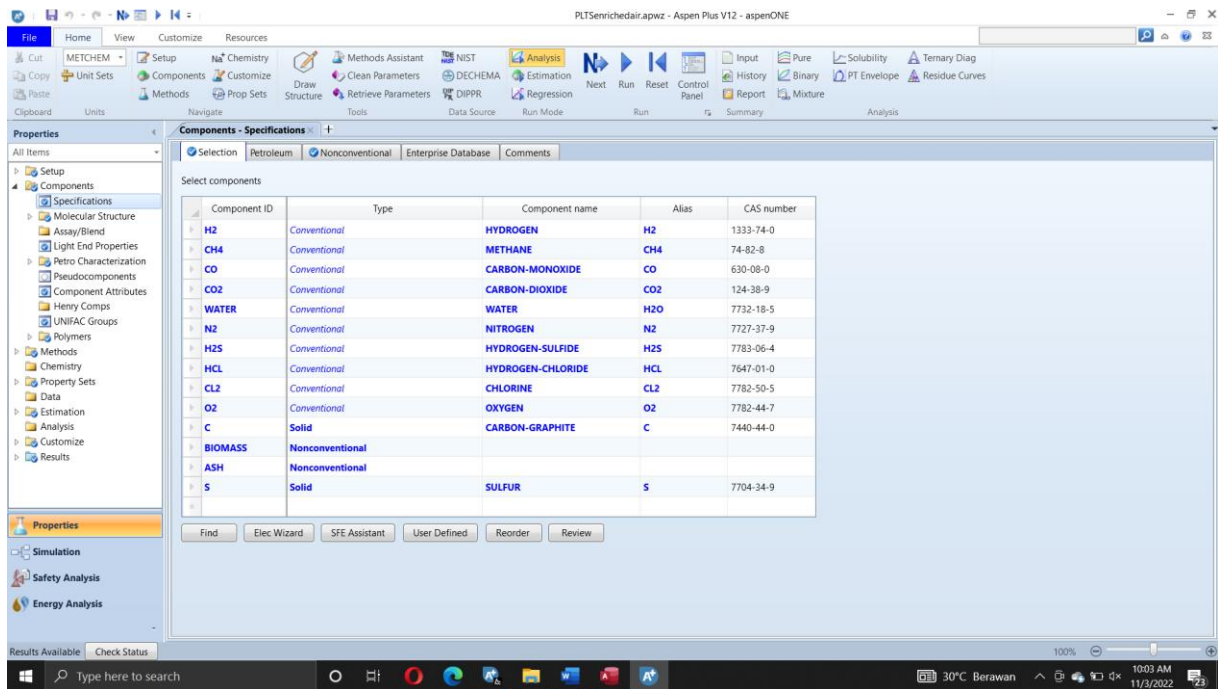
2.4.3 Pemodelan Aspen plus untuk pengolahan sampah menjadi energi

Aspen plus adalah salah satu pemodelan berbasis simulasi yang dapat digunakan menyelesaikan perhitungan teknik dalam sebuah rancang bangun sebuah installasi pabrik. Kelebihan dari program Aspen Plus adalah pengguna (User) dapat memodifikasi peralatan teknik, fluida, suhu dan pressure disesuaikan dengan kebutuhan pengguna sehingga dapat dipergunakan dengan lebih mudah dan sederhana. Tampilan awal dari program Aspen plus dapat kita lihat dalam gambar 2.11



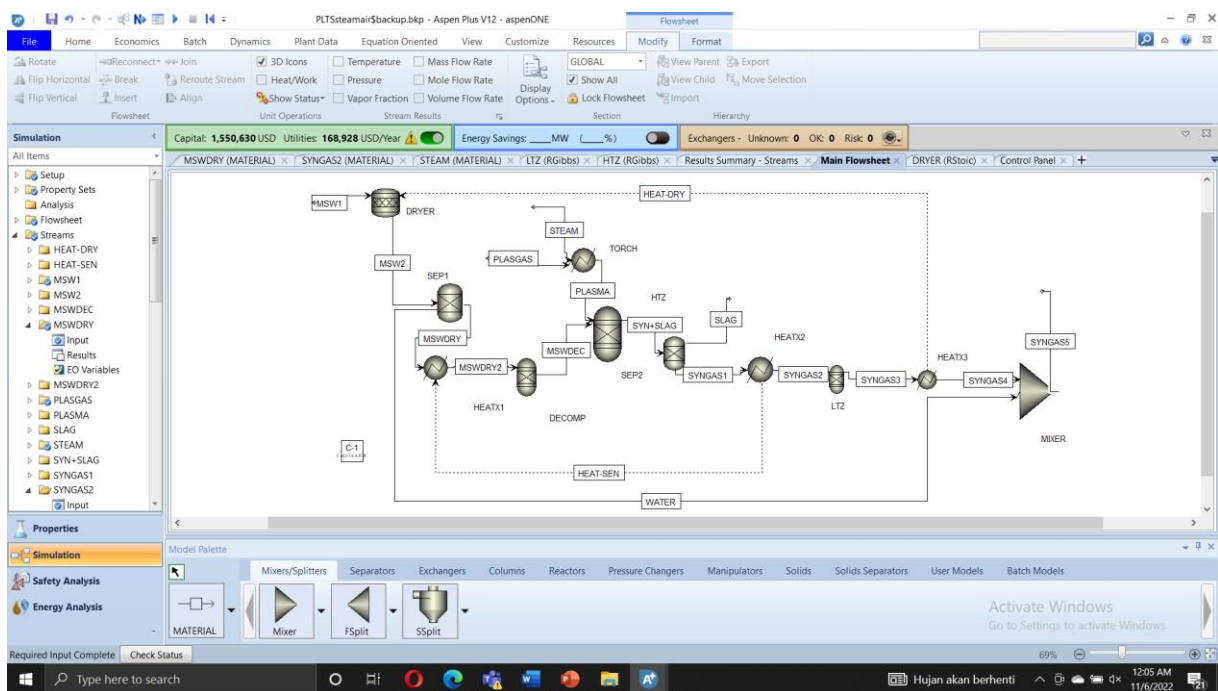
Gambar. 2.11 Tampilan awal program Aspen Plus

Tahap selanjutnya setelah pengguna membuka Aspen plus pengguna (user) dapat memilih icon properties untuk menentukan sifat karakteristik dari material yang digunakan dalam simulasi, sebagai contoh dalam penelitian ini kita menggunakan MSW(Biomass) , Ash, H₂, CH₄, CO, CO₂, H₂O, N₂, NH₃, HCl, Cl₂, O₂, C dan S. Untuk Gas H₂, CH₄, CO, CO₂, H₂O, N₂, NH₃, HCl, Cl₂, O₂ kita didefinisikan sebagai tipe Konvensional karena sesuai dengan sifat dan karakteristik daarnya. MSW dan Ash kita definisikan sebagai tipe Non Konvensional karena tidak sesuai dengan karakteristiknya. Gas C dan S kita definisikan sebagai tipe Solid. Gambar 2.12 menunjukkan sifat dan karakteristik material yang digunakan dalam penelitian plasma gasifikasi.



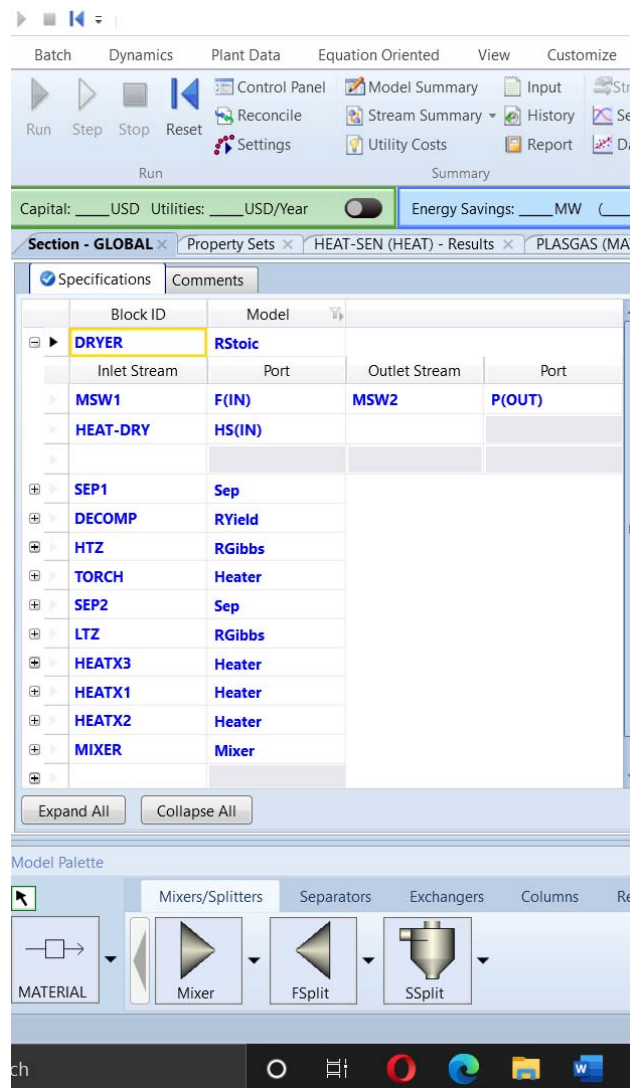
Gambar 2.12 Karakteristik Material MSW yang digunakan dalam pemodelan

Langkah selanjutnya menggambarkan dan memodifikasi main flowsheet dari pemodelan gasifikasi plasma yang digunakan sebagai model dan perhitungan teknisnya. Main flowsheet di tunjukkan dalam gambar 2.13.



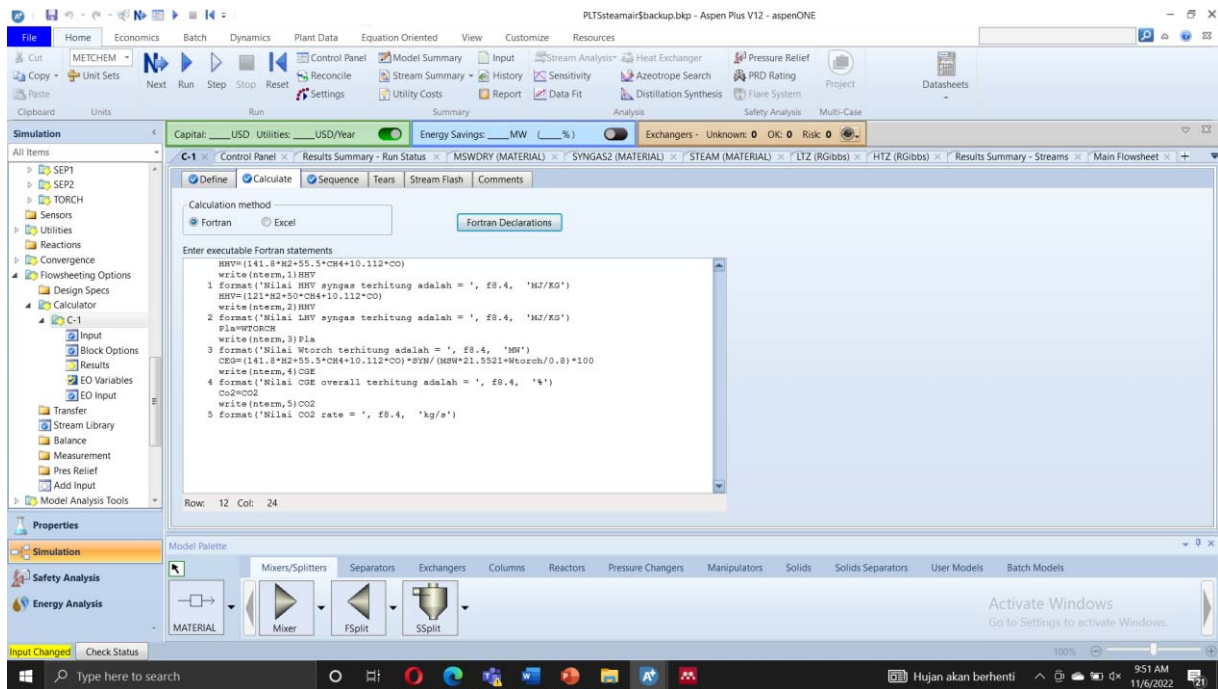
Gambar 2.13 Main flowsheet plasma gasifikasi dengan modifikasi

Main flow sheet yang sudah dimodifikasi kita lakukan pengecekan pada stream (Laju aliran) material pada setiap block untuk memastikan setiap parameter yang dibutuhkan dalam perhitungan sudah di input. Pengecekan stream (Laju aliran) ditunjukkan dalam gambar 2.14



Gambar 2.14 Pengecheckan stream dalam setiap block

Tahapan terakhir dalam program Aspen plus adalah mendefinisikan perhitungan (Calculation) yang digunakan untuk keperluan simulasi. Dalam penelitian perhitungan yang akan disimulasikan adalah CGE(Cold gas efisiensi) ditunjukkan dalam gambar 2.15.



Gambar 2.15 Block Calculation yang diperlukan untuk simulasi pemodelan

2.5 Ekonomi Teknik dalam Pengelolaan Sampah

2.5.1 Definisi Ekonomi Teknik

Tujuan utama dari analisis ekonomi adalah untuk menentukan harga *Renewable Natural Gas* untuk solusi terpilih yang memastikan pengembalian investasi masuk waktu yang diasumsikan solusi terpilih yang memastikan pengembalian investasi masuk waktu yang diasumsikan. Untuk mencapai tujuan tersebut dilakukan perhitungan menggunakan metode diskonto berdasarkan perhitungan *Net Present Value* (NPV). NPV adalah salah satunya indikator yang paling umum digunakan untuk evaluasi ekonomi investasi. Ini adalah jumlah dari arus kas diskonto (CF) yang direalisasikan selama waktu analisis (N) dan didiskontokan menggunakan nilai diskonto yang diketahui rate (r) menurut rumus berikut (Ikhsan et al., 2015):

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CIF_t}{(1+k)^t} - COF \quad (2.4)$$

dengan *NPV* adalah Net Present Value, *K* adalah Discount Rate, *COF* adalah Cash Outflow dan *CIF_t* adalah Cash in Flow

Internal Rate of Return (IRR)

Tingkat keuntungan yang digunakan untuk melunasi jumlah uang yang dipinjam agar tercapai keseimbangan ke arah nol dengan pertimbangan keuntungan adalah IRR. Untuk mengetahui nilai IRR dapat menggunakan persamaan berikut (Ikhsan et al., 2015):

$$IRR = i_1 + (i_2 - i_1) \left[\frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \right] \quad (2.5)$$

dengan *IRR* adalah Internal Rate of Return (%), i_1 adalah tingkat bunga pertama (%), i_2 adalah tingkat bunga kedua (%), NPV_1 adalah Net Present Value dengan tingkat bunga rendah (Rp) dan NPV_2 adalah Net Present Value dengan tingkat bunga tinggi (Rp)

Payback Period (PP)

Waktu yang untuk mengembalikan dana investasi adalah *Payback Period*. Semakin cepat waktu pengembalian investasi, maka semakin baik untuk diusahakan. Dirumuskan dalam persamaan (Ikhsan et al., 2015):

$$PP = \frac{\text{Investment Cost}}{\text{Annual CIF}} \quad (2.6)$$

dengan *PP* adalah payback period, *Investment Cost* adalah investasi awal dan *Annual CIF* adalah kas bersih pertahun.

2.5.2 Analisis Ekonomi dalam Pembangunan PLTSa dengan Teknik Gasifikasi Plasma

Perhitungan biaya investasi pembangkitan listrik, biaya operasional, biaya pemeliharaan dan nilai penjualan energi listrik yang diproduksi selama setahun dilakukan Analisa kelayakan secara Ekonomi. Secara umum analisis ekonomi teknik digunakan sebagai analisis ekonomis dari suatu investasi pembangkit energi listrik untuk menghitung biaya produksi energi listrik, tarif dan sebagainya

a. Biaya Modal (*Capital Cost*)

Semua pengeluaran yang dibutuhkan selama proyek berlangsung mulai dari pra survey sampai proyek selesai di bangun adalah Biaya Modal. Biaya tersebut dipengaruhi oleh tingkat suku bunga dan umur ekonomis suatu pembangkit. Biaya modal (*capital cost*) antara lain:

- Biaya pekerjaan survey.
- Biaya pekerjaan sipil.
- Biaya pekerjaan mekanikal dan elektrikal.
- Biaya pekerjaan jaringan distribusi.
- Biaya tidak langsung (biaya tak terduga)

Biaya modal/*Capital Cost* (*CC*) dirumuskan pada persamaan berikut (Usmadiansyah, 2017):

$$CC = BP \times CRF \quad (2.7)$$

Dengan nilai *CRF* adalah

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{i(1+i)^n - 1} \quad (2.8)$$

dimana *BP* adalah biaya pembangunan (Rp), *E* adalah jumlah pembangkitan energi listrik (kWh), *CRF* adalah Capital Recovery Faktor, *i* adalah suku bunga dan *n* adalah tahun.

b. Biaya Operasional dan Perawatan

Biaya yang digunakan selama pembangkit beroperasi adalah biaya Operasional dan Perawatan. Biaya tersebut meliputi biaya tetap (*fixed cost*) yaitu biaya yang tidak berhubungan terhadap besar tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit dan biaya tidak tetap (*variabel cost*) yaitu pengeluaran untuk biaya peralatan dan perawatan yang digunakan selama produksi pembangkitan listrik.

c. Biaya Bahan Bakar

Pada pembangkit ini menggunakan bahan bakar dari sampah sehingga biaya bahan bakar ditiadakan. Biaya bahan bakar yang digunakan adalah operasional pengangkutan sampah dari lokasi TPS ke lokasi Pembangkitan.

d. Biaya Total

Penjumlahan biaya modal, biaya operasional dan biaya bahan bakar dalam setahun adalah Biaya Total. Biaya total dapat dirumuskan sebagai berikut (Usmadiansyah, 2017):

$$TC = CC + OM + FC \quad (2.9)$$

dengan *TC* adalah biaya total, *CC* adalah biaya modal, *OM* adalah biaya operasional dan pemeliharaan dan *FC* adalah biaya bahan bakar.

e. Pendapatan per Tahun (*Cash in Flow*)

Pendapatan pertahun (*Cash in Flow*) dirumuskan pada persamaan berikut (Usmadiansyah, 2017) :

$$CIF = H \times P - TC \times E \quad (2.10)$$

dengan H adalah harga jual (Rp/kWh), P adalah daya yang di jual (kWh), TC adalah biaya pembangkitan total (Rp/kWh) dan E adalah energi yang dihasilkan (kWh).

Pengkajian dari analisis tekno ekonomi ini dengan membandingkan $NPV > 0$ selama periode kembali modal (*Payback period*). Untuk perhitungan Analisa Tekniknya akan menggunakan LEAP untuk memprediksi Timbulan sampah yang menjadi feedstock pada PLTSa dan program Aspen Plus untuk menganalisa parameter yang dibutuhkan (proximate analisis, ultimate analisis, LHV dan HHV) yang dibutuhkan untuk mengetahui cold gas efisiensi (CGE) yang digunakan sebagai energi/pembangkitan listrik.