

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Kajian Pustaka

Najib dkk (2012) melakukan penelitian tentang karakteristik proses gasifikasi biomassa tempurung kelapa sistem *downdraft* kontinyu dengan variasi perbandingan udara-bahan bakar (AFR) dan ukuran biomassa. Dari penelitian tersebut diperoleh kesimpulan, bahwa gasifikasi tempurung kelapa dengan jenis *downdraft* sistem kontinyu mampu menghasilkan nyala api yang stabil. Semakin besar AFR, semakin kecil kompresi *flammable gas* dan LHV *syngas*. Ukuran tempurung Kelapa yang lebih kecil mempunyai efisiensi gasifikasi yang lebih besar.

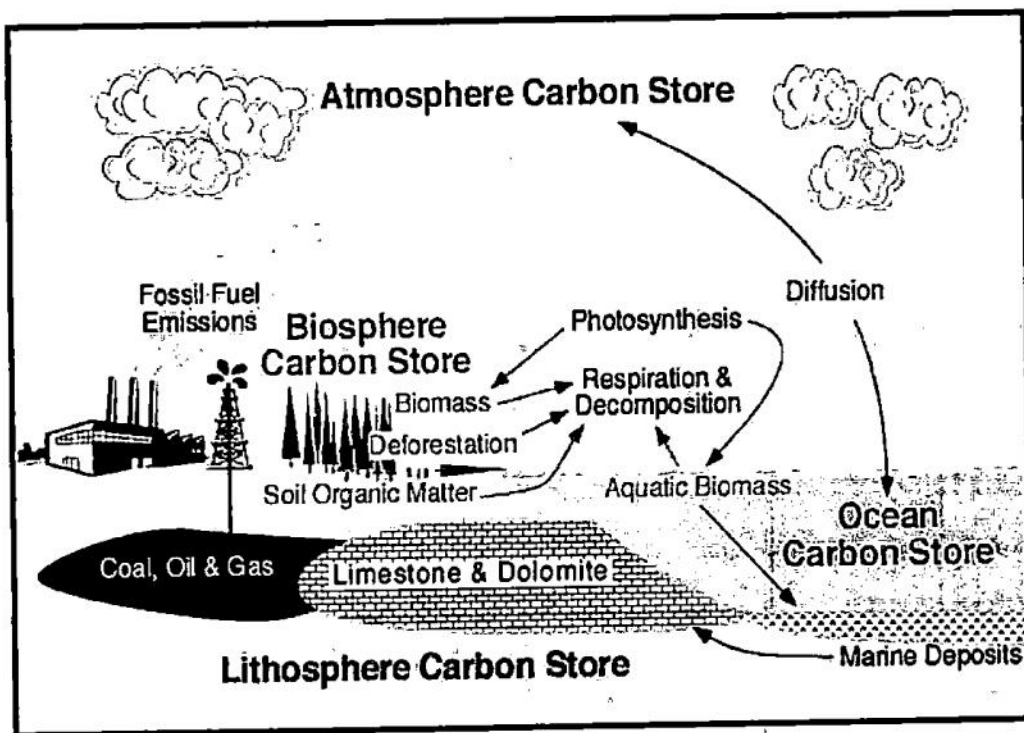
Affendi dkk (2010) melakukan penelitian tentang uji variasi beban listrik dan rasio gas hasil gasifikasi Sekam Padi pada Mesin Diesel *Dual Fuel*. Dari hasil penelitian tersebut menghasilkan gas hasil gasifikasi untuk menggantikan BBM solar pada mesin Diesel-Genset sehingga menghasilkan energi listrik untuk menggerakkan mesin-mesin *Dryer* dan *Huller* di pabrik penggilingan beras. Setelah diganti dengan gas hasil gasifikasi diperoleh penghematan BBM solar pada Mesin Diesel *Dual Fuel* sampai 60% atau konsumsi spesifik bahan bakar minyak (*SFC*) sampai 0,086 liter/kWh, dibandingkan dengan *SFC* Mesin Diesel *Single Fuel* sekitar 0,25 liter/kWh. Uji variasi beban listrik dari pembangkit listrik Diesel *Dual Fuel* dari beban 0 kW sampai beban listrik 82 kW dan rasio gas hasil gasifikasi dengan udara 50%, 70%, dan 80% diperoleh hasil :

- a. Semakin mendekati kapasitas daya genset (100 kW) akan diperoleh efisiensi yang optimal.
- b. Pada cekikan yang rendah (rasio gas hasil gasifikasi dengan udara 50%) tidak banyak penghematan BBM.
- c. Pada cekikan paling besar (rasio gas hasil gasifikasi dengan udara 80%) penghematan BBM sampai 60%.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Biomassa

Biomassa adalah produk fotosintesis yang menyerap energi surya dan mengubah karbondioksida, dengan air menjadi campuran karbon, hidrogen dan oksigen. Biomassa merupakan material biologis yang dapat digunakan sebagai sumber bahan bakar, baik secara langsung maupun setelah diproses melalui serangkaian proses yang dikenal sebagai konversi biomassa. Tanaman dapat mengambil CO_2 dari atmosfer dan menyimpannya untuk perubahan. Pembakaran biomassa di rumah tangga, proses industri, aktivitas pembangkitan energi, ataupun transportasi mengembalikan CO_2 yang tersimpan tersebut ke atmosfer. Tanaman akan terus menjaga keseimbangan siklus karbon di atmosfer melalui penangkapan kembali CO_2 . Siklus karbon seperti ini, dikenal dengan nama *net-zero carbon cycle*, akan terus terjaga selama biomassa tumbuh kembali di dalam siklus-siklus selanjutnya.



Gambar 2.1. Net-zero carbon cycle
(Sumber : <http://www.eoearth.org>)

a. Bahan baku biomassa

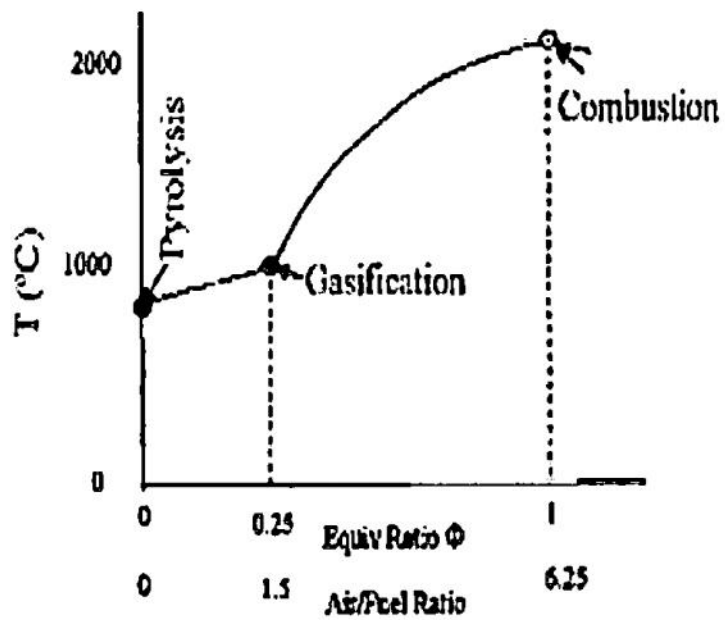
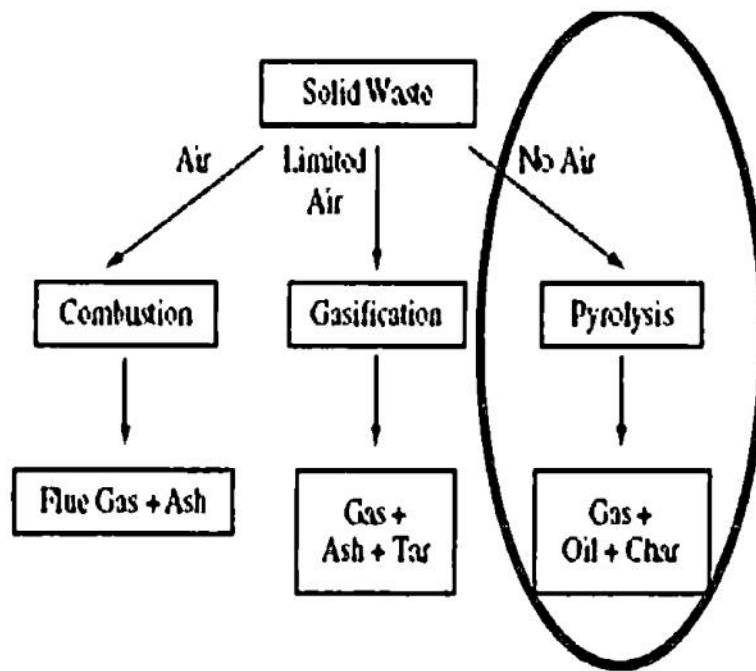
Bahan baku (*feedstock*) energi biomassa sangat beragam jenisnya yang pada dasarnya merupakan hasil produksi dari makhluk hidup. Biomassa dapat berasal dari tanaman perkebunan atau pertanian, hutan, peternakan dan juga dari sampah. Bio energi yang biasa disebut biofuel adalah energi yang berasal dari tanaman hidup (biomassa) yang terdapat di sekitar kita. Energi ini tidak akan habis selama energi matahari masih menyinari, adanya air dan tersedianya tanah.

b. Potensi Energi Biomassa di Indonesia

Indonesia sebagai negara agraris yang beriklim tropis, memiliki potensi yang besar untuk dikembangkan sumber energi terbarukan antara lain energi hidro dan mikro hidro, energi geotermal, energi biomassa, energi surya dan energi angin. Potensi energi biomassa Indonesia, secara teori diperkirakan mencapai sekitar 49.810MW. Angka ini diasumsikan dengan dasar kadar energi dari produksi tahunan sekitar 200 juta ton biomassa dari residu pertanian, kehutanan, perkebunan dan limbah padat perkotaan. Jumlah potensi yang besar tidak sebanding dengan kapasitas yang terpasang yaitu sebesar 302,4MW atau 0,64% yang dimanfaatkan. Bila kita maksimalkan potensi yang ada dengan menambah jumlah kapasitas terpasang, maka akan membantu penghematan bahan bakar fosil yang selama ini menjadi tumpuan utama dari penggunaan energi. (KESDM 2008).

2.2.2. Gasifikasi Biomassa

Gasifikasi biomassa adalah proses konversi energi secara termokimia dari bahan bakar padat menjadi gas yang mudah terbakar (*flammable gas*). Tujuan dari proses gasifikasi adalah mengubah unsur-unsur pokok dari bahan bakar dalam bentuk gas yang lebih mudah dibakar, sehingga hanya menyisakan abu dan sisa-sisa material yang tidak ikut terbakar (*inert*). Gasifikasi berbeda dengan pirolisis dan pembakaran. Ketiga dibedakan berdasarkan kebutuhan udara yang diperlukan selama proses. Jika jumlah udara atau bahan bakar AFR (*air fuel ratio*) sama dengan 0, maka proses disebut pirolisis. Jika AFR yang diperlukan selama proses kurang dari 1,5, maka proses disebut gasifikasi. Dan Jika AFR yang diperlukan selama proses lebih dari 1,5, maka proses disebut pembakaran.



Gambar 2.2. Perbedaan pirolisis, gasifikasi dan pembakaran

(Sumber : <http://invasibiomasa.blogspot.com>)

a. Proses Gasifikasi

Proses gasifikasi biomassa merupakan proses konversi secara termo-kimia bahan biomas padat menjadi bahan gas. Proses gasifikasi biomassa dilakukan dengan cara melakukan pembakaran secara tidak sempurna didalam sebuah ruangan yang mampu menahan temperatur tinggi yang disebut dengan reaktor gasifikasi. Agar proses pembakaran berlangsung tidak sempurna, maka udara dengan jumlah yang lebih sedikit dari kebutuhan stokiometrik pembakaran dialirkan kedalam reaktor. Untuk mensuplai kebutuhan oksigen menggunakan *fan/blower*. Proses pembakaran yang terjadi menyebabkan reaksi termo-kimia yang menghasilkan CO, H₂, dan gas metah (CH₄). Selain itu dalam proses ini juga dihasilkan uap air (H₂O) dan karbondioksida (CO₂) yang tidak ikut terbakar.

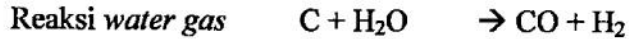
Proses gasifikasi biomassa terdiri dari 4 tahapan utama dan beberapa tahapan tambahan yaitu :

1. Tahapan pertama adalah tahap pengeringan (*drying*), dimana pada tahap ini merupakan proses penurunan nilai kadar air biomassa agar dapat diproses ke tahapan berikutnya. Proses pengeringan terjadi pada suhu $T < 150^{\circ}\text{C}$
2. Tahapan kedua adalah pirolisis yang terjadi ketika biomassa mulai mengalami kenaikan temperatur. Pada tahap ini volatil yang terkandung pada biomassa terlepas dan menghasilkan Arang (*Char*). Proses pirolisis terjadi pada suhu pada suhu sekitar $150 - 900^{\circ}\text{C}$.
3. Tahapan ketiga adalah terjadinya proses pembakaran (*combustion*). Pada tahapan ini volatil dan sebagian Arang yang memiliki kandungan karbon (C) bereaksi dengan oksigen membentuk CO₂ dan CO serta menghasilkan panas yang digunakan pada tahap selanjutnya yaitu tahap gasifikasi. Proses oksidasi gas hasil pirolisa pada suhu $900 - 1400^{\circ}\text{C}$, reaksi yang terjadi pada tahap ini adalah:



4. Tahapan berikutnya adalah tahap reduksi, yaitu terjadi ketika arang bereaksi dengan CO₂ dan uap air yang menghasilkan CO dan H₂ yang merupakan

produk yang diinginkan dari keseluruhan proses gasifikasi. Proses reduksi terjadi pada suhu pada suhu 600 – 900°C, Reaksi kimia yang terjadi :

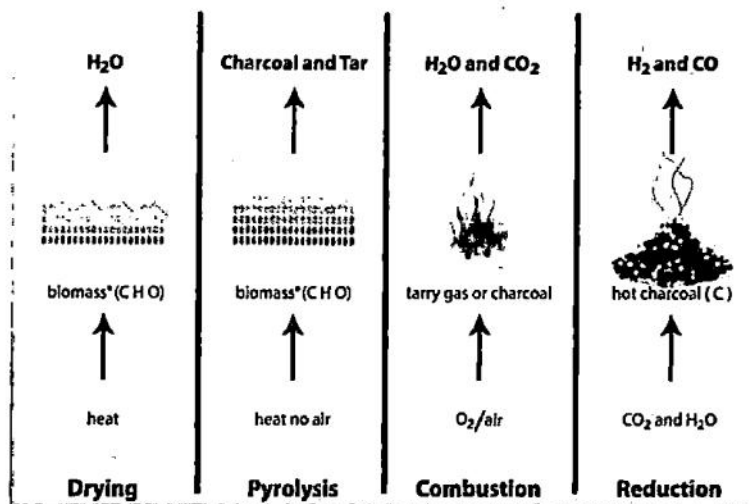


Baik proses pirolisa maupun reduksi yang berlangsung dalam Reaktor gasifikasi, berlangsung dengan menggunakan panas yang diperoleh dari proses oksidasi. Gasifikasi berlangsung dalam keadaan kekurangan oksigen. Dengan kata lain, gasifikasi biomassa sebagai reaksi oksidasi parsial biomas menghasilkan campuran gas yang masih dapat dioksidasi lebih lanjut (bersifat bahan bakar)

5. Tahap tambahan dalam proses ini adalah tahap *water shift reaction*. Melalui tahapan ini, reaksi termo-kimia yang terjadi di dalam reaktor gasifikasi mencapai keseimbangan. Sebagian CO yang terbentuk dalam reaktor bereaksi dengan uap air dan membentuk CO₂ dan H₂. Reaksi *water shift reaction* adalah:



Jika proses gasifikasi dapat dikendalikan hingga temperatur yang terjadi di bawah 1000°C, maka akan terjadi reaksi pembentukan CH₄. Hal ini terjadi ketika C bereaksi dengan H₂, sesuai dengan reaksi :



Gambar 2.3. Proses 4 tahapan utama pada gasifikasi

(Sumber : <https://fbcdn-sphotos-a-a.akamaihd.net>)

b. Peralatan dan Mesin Gasifikasi

• Peralatan yang digunakan dalam sistem gasifikasi adalah :

1. Peralatan sistem gasifikasi tambahan

Bahan baku memerlukan sistem transportasi untuk memindahkan dari tempat penampungan menuju ke sistem pengumpanan. Sistem yang digunakan bisa berupa Konveyor atau manual seperti Lori

2. Peralatan sistem pengumpanan bahan baku

Sistem pengumpanan bahan baku kedalam reaktor biasanya berjalan melalui pengaturan sistem keseluruhan. Bahan baku dimasukkan saluran yang sangat rapat, untuk mencegah kebocoran gas dan masukkan udara berlebihan kedalam reaktor. Sistem dapat berupa konveyor yang dilengkapi sistem katup buka-tutup.

3. Reaktor gasifikasi

Reaktor ini tempat terjadinya proses konversi melalui beberapa tahap pengeringan, pirolisis, oksidasi parsial dan reduksi, mengubah aliran umpan biomassa menjadi aliran gas dengan bentuk produk yang diinginkan adalah (H_2 , CO , $C H$, CO_2 , N_2) dan produk yang tidak diinginkan seperti material partikulat, debu, jelaga, polutan anorganik dan polutan organik (tar) juga sisa abu.

4. Peralatan sistem pembersih gas

Tujuan sistem pembersih gas adalah untuk menjaga kekonstanan kualitas gas producer terhadap perubahan-perubahan yang disebabkan karena proses yang tidak berkesinambungan dan proses pengumpanan. Pembersih gas berfungsi untuk menghilangkan debu dan tar yang terbawa oleh gas. Sistem pembersih gas bisa berupa penangkap debu atau filter.

5. Peralatan sistem pendinginan gas

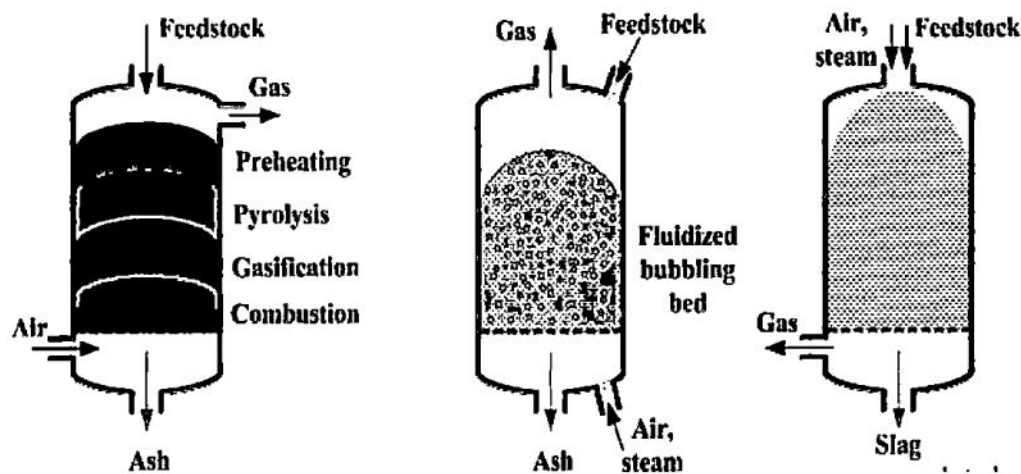
Tujuan dari pendingin gas adalah untuk menurunkan temperatur gas producer untuk memenuhi kebutuhan proses berikutnya. Tujuan lain dari pendinginan gas adalah untuk mencairkan tar yang terbentuk dan uap air yang terbawa oleh gas sehingga gas dingin yang dikeluarkan lebih bersih dan lebih kering. Sistem pendingin gas bisa berupa scrubber atau unit kondensor.

- **Mesin gasifikasi dapat dibedakan berdasarkan:**

1. Berdasarkan mode fluidiasi

Berdasarkan mode fluidasi, mesin gasifikasi dapat dibedakan menjadi :

- a. Gasifikasi unggun bergerak (*Mixed bed gasifier*) yaitu mesin gasifikasi yang beroperasi pada tekanan atmosfer. Bahan bakarnya berbentuk partikel-partikel besar dan masuk ke dalam Reaktor akan tertampung di atas pelat besi berlubang (*grate*) tahan api. Bahan bakar bergerak perlahan ke bawah melalui *grate*, dan bereaksi dengan gas kandungan oksigen tinggi yang dihembuskan dari bawah berlawanan dengan arah aliran bahan bakar di dalam Reaktor.
- b. Gasifikasi unggun terfluidasi (*Fluidized bed gasifier*) yaitu mesin gasifikasi yang mengalami proses *mixing* atau pengadukan di Reaktor, sehingga partikel bahan bakar baru dan partikel bahan bakar yang sudah menjalani gasifikasi tercampur secara efisien dengan dihembuskan gas yang kaya oksigen.
- c. Gasifikasi aliran semburan (*Entrained flow gasifier*) yaitu mesin gasifikasi yang bahan bakar dan udara dimasukkan melalui satu lubang masuk pada bagian atas Reaktor untuk mempercepat reaksi gasifikasi karena tahap pengeringan berlangsung saat bahan bakar masuk dan melalui asap padat pada Reaktor. *Entrained flow gasifier* memiliki kemampuan menangani hampir semua bahan baku padat dan menghasilkan syngas yang bersih bebas dari tar.



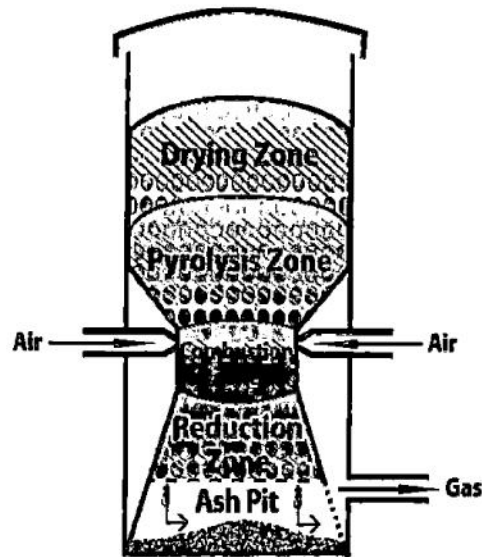
Gambar 2.4. *Moving bed gasifier* (kiri), *Fluidized bed gasifier* (tengah), *Entrained flow gasifier* (kanan)

(Sumber : <http://www.substech.com>)

2. Berdasarkan arah aliran

Berdasarkan arah aliran, mesin gasifikasi dibedakan menjadi :

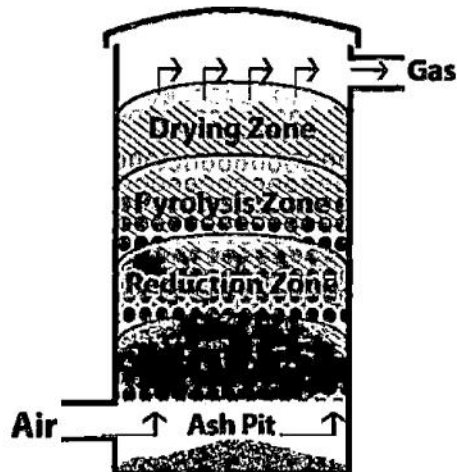
- gasifikasi aliran searah (*downdraft gasifier*), yaitu arah aliran gas dan arah aliran padatan adalah sama-sama kebawah.



Gambar 2.5. Skema *downdraft gasifier*

(Sumber : <http://www.gekgasifier.com>)

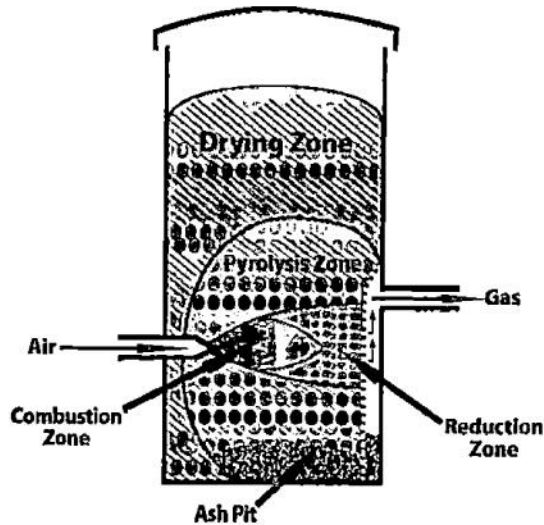
- Gasifikasi arah berlawanan (*updraft gasifier*), yaitu arah aliran padatan ke bawah sedangkan arah aliran gas ke atas.



Gambar 2.6. Skema *upraft gasifier*

(Sumber : <http://www.gekgasifier.com>)

- Gasifikasi arah menyilang (*crossdraft gasifier*), yaitu arah aliran padatan ke bawah, sedangkan arah aliran gas dari samping.



Gambar 2.7. Skema *crossdraft gasifier*
(Sumber : <http://www.gekgasifier.com>)

c. Bahan bakar gasifikasi

Bahan bakar yang cocok untuk gasifikasi biomassa adalah bahan biomassa kering seperti kayu kering, daun kering, sekam padi, arang, ampas tebu, bongkol jagung dan batok kelapa. Perbedaan mendasar antara gasifikasi biomassa dan produksi biogas adalah dalam bahan baku produksinya yaitu jika biogas bahan bakunya organik basah seperti kotoran hewan yang bekerja oleh mikroba untuk menghasilkan metana. Nilai kalor rendah (LHV, *lower heating value*) biomassa (15 – 20 MJ/kg) lebih rendah dibanding nilai kalor batubara (25-33 kJ/kg) dan bahan bakar *gasoline* (42,5 MJ/kg). Artinya untuk setiap kg biomassa hanya mampu menghasilkan 2/3 dari energi 1 kg batubara dan 1/2 dari energi 1kg *gasoline*. Nilai kalor berhubungan langsung dengan kadar C dan H yang dikandung oleh bahan bakar padat. Semakin besar kadar kandungannya semakin besar nilai kalor yang dikandung.

Pengujian kandungan biomassa secara *proximate* dan *ultimate* untuk mengetahui karakteristik komposisi dari suatu material secara fisik, kimia dan *fuel properties* biomassa yang akan dipakai. Analisa *proximate* bertujuan untuk

menganalisa kandungan air (*moisture*), *volatile matter*, karbon tetap dan abu. Sedangkan analisa *ultimate* bertujuan mengetahui komposisi karbon, hidrogen, nitrogen, belerang dan oksigen. Hasil analisa *ultimate* dan *proximate* umumnya diberi tambahan keterangan *daf* (*dry ash free*) yang memiliki arti bahwa hasil analisa pada biomass tidak mengikutsertakan kandungan air dan abu. Massa biomass awal umumnya diistilahkan sebagai *as received* (mengandung air, abu, *volatile* dan karbon). Kadar abu dari biomass berkisar dari 1-12% untuk kebanyakan jerami-jeramian. Abu dari biomass lebih ramah dibandingkan dengan abu dari batubara karena mengandung banyak mineral seperti fosfat dan potassium. Pada saat pembakaran maupun gasifikasi, abu dari biomass juga lebih aman dibandingkan abu dari batubara. Dengan temperatur operasi tidak lebih dari 950 - 1000°C, abu dari biomass tidak menimbulkan terak. Abu biomass juga mempunyai jumlah oksida keras (*silica* dan *alumina*) yang lebih rendah.

2.2.3. Sengon Laut

Sengon sering kita jumpai di daerah pegunungan-pegunungan dan juga perbukitan yang struktur tanahnya cenderung datar. Di beberapa tempat, nama sengon laut ini dikenal juga dengan nama Maluku (*selawaku*), Papua (*Bae, Bai*), Malaysia (*Batai*), Jawa (*Albasiah* atau *Albise*). Sedangkan dalam bahasa ilmiahnya, sengon laut disebut *Paraserianthes Falcataria* yang masih menjadi anggota suku *Fabaceae*. Kayu sengon merupakan jenis tumbuhan yang banyak dijumpai di Indonesia dan dibudayakan oleh petani untuk dijadikan bahan baku dalam berbagai produk yang beragam mulai dari kerajinan, bahan bangunan dan bahan penunjang pekerjaan produksi. Industri pengolahan kayu Sengon banyak ditemukan di daerah Kabupaten Wonosobo (Kec. Sapuran dan Kec. Kepil) dan Temanggung (Kec. Pringsurat). Industri tersebut mengolah kayu Sengon dijadikan sebagai bahan bangunan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri dan luar negeri seperti Negara Jepang dan Cina. Permasalahan pengolahan limbah Sengon pasca penggunaan belum dipikirkan secara mendalam. Limbah pengolahan di setiap industri biasanya mencapai 2 - 5 m³/hari dan belum terolah secara maksimal oleh pemilik industri.



Gambar 2.8. Pohon Sengon Laut
(Sumber : wordpress.com/2011)

Menurut Danang dkk (2012), dalam penelitiannya tentang karakterisasi briket dari limbah pengolahan kayu sengon dengan metode cetak panas, sebelum penelitian kayu Sengon dilakukan uji proksimat di Laboratorium Energi Biomassa, Fakultas Kehutanan UGM sesuai dengan ASTM D1762-84. Dari hasil pengujian tersebut, kayu sengon memiliki nilai kadar air 8,158 %, kadar volatil 90,001 %, kadar abu 1,593 %, kadar karbon terikat 0,243 % dan nilai kalor 4247,967 Kalori/gram.

Kadar air didefinisikan sebagai perbandingan berat kering bahan dengan berat kering tanur. Kadar air dapat mengakibatkan penurunan nilai kalor, hal ini dikarenakan panas yang dihasilkan terlebih dahulu digunakan untuk menguapkan air dalam bahan bakar sebelum menghasilkan panas. Kadar volatil meter tinggi mengakibatkan penyalaan awal dan pembakaran lebih mudah, tetapi mempunyai karbon terikat yang rendah. Abu yang terkandung dalam biomassa mempunyai titik leleh yang rendah, sehingga meninggalkan kotoran pada permukaan tungku akibatnya menurunkan konduktifitas termal dan kualitas pembakaran. Kadar karbon terikat akan mempengaruhi besarnya nilai kalor, semakin tinggi kandungan karbon terikat maka nilai kalornya semakin tinggi.

2.2.4. Mahoni

Mahoni yang bahasa latinnya (*swietenia marchophylla king*) merupakan tanaman asli Hindia barat dan dapat tumbuh di wilayah yang mengandung pasir payau dekat dengan pantai, tempat yang cukup sinar matahari (tidak ternaungi), dan tempat gersang meskipun tidak disirami selama berbulan-bulan. Mahoni sudah lama dikenal sebagai tanaman penghasil kayu, yang biasanya digunakan dalam industri meubel dan kerajinan tangan.



Gambar 2.9. Pohon Mahoni

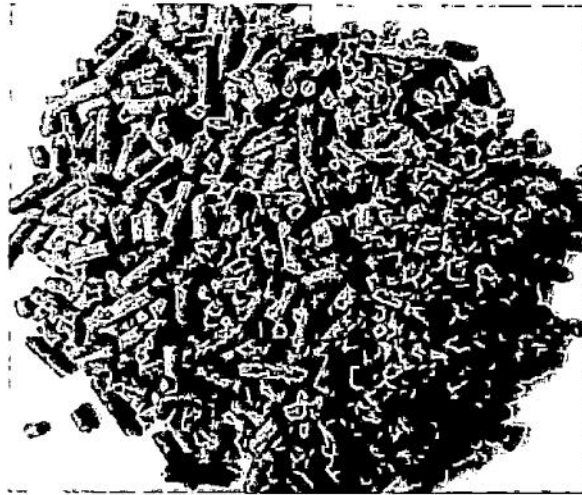
(Sumber : <http://ptpn12.com>)

Menurut Usman (2010), dalam penelitiannya tentang penentuan kadar kalor pada bahan kayu dan hubungannya dengan nilai densitas bahan, kayu Mahoni memiliki kadar air 13,37 %, densitas $1,022 \text{ kg/m}^3$, energi kalor 8696 Kalori, dan nilai kalori 579, 656 Kalori/ gram.

2.2.5. Pelet Hutan

Pelet Hutan merupakan bahan bakar alternatif ramah lingkungan terbuat dari pengolahan limbah kayu menjadi serbuk yang dipadatkan sehingga berbentuk silindris sebagai pengganti bahan bakar fosil. Pelet Hutan dikatakan ramah lingkungan karena selain emisi CO_2 yang dikeluarkan dari hasil pembakarannya

rendah, juga berasal dari bahan baku terbarukan yang bersifat karbon netral. Emisi CO₂ dari pelet Hutan sekitar sepuluh kali lebih rendah dibandingkan dengan batu bara dan bahan bakar minyak serta delapan kali lebih rendah daripada gas, (Subarudi, 2012). Pelet Hutan dapat disebut juga sebagai *carbon neutral* karena dianggap tidak menambah emisi CO₂ ke atmosfer. Semasa pertumbuhan, pohon telah menyerap CO₂ dengan jumlah yang diserap dapat lebih besar daripada yang dilepaskan, bahkan bisa menjadi karbon negatif.



Gambar 2.10. Pelet Hutan

Bahan baku untuk membuat Pelet Hutan tersedia banyak dan mudah ditemukan, yaitu seperti sisa kayu penebangan, cabang dan ranting pohon, limbah industri perikanan berbentuk potongan, serbuk gergaji dan kulit kayu, limbah pertanian seperti jerami dan sekam (Woodpellets, 2000). Proses pembuatan Pelet Hutan cukup sederhana dan ada dua metode dalam pembuatannya, yaitu dengan cara kering dan basah. Metode kering yaitu bahan baku dikeringkan sampai kadar air maksimal 10%, selanjutnya dipres dengan tekanan tinggi dan dipanaskan pada suhu sekitar 120 – 1800°C. Sedangkan untuk metode basah, yaitu menggunakan bahan baku dengan kadar air tinggi dengan ditambah tepung kanji dan air secukupnya kemudian dipres dengan tekanan tinggi tanpa pemanasan yang selanjutnya dikeringkan.

Pelet Hutan berbentuk silindris dengan diameter 6-10 mm dan panjang 1-4 cm dan memiliki kepadatan rata-rata 650 kg/m³ atau 1,5 m³/ton. Pelet Kayu

menghasilkan rasio panas yang relatif tinggi antara output dan inputnya (19:1 hingga 20:1) dan menghasilkan energi sekitar 4,7 kWh/kg (Puspajak, 2013). Keunggulan lain Pelet Hutan adalah mengoptimalkan pemanfaatan berupa limbah seperti serbuk kayu yang biasa dibuang dan tidak terpakai sehingga mempunyai nilai jual yang lebih tinggi.

Ada banyak kegunaan Pelet Hutan antara lain yaitu di Eropa dan Amerika sebagai pemanas ruangan saat musim dingin. Selain itu di beberapa Negara digunakan sebagai energi pembangkit listrik (*carbon for electricity*), pengeringan jasa laundry, keperluan rumah tangga untuk memasak dan masih banyak kegunaan yang lainnya.

2.2.6. Power Pallet 10 kW

Power Pallet 10 kW adalah sebuah mesin konversi energi gasifikasi biomassa yang didukung dengan sistem lengkap dan sepenuhnya otomatis untuk menghasilkan energi listrik dengan cara mengkonversi biomassa kayu menjadi panas, tenaga poros dan energi listrik. Power Pallet 10 kW menggunakan mesin Kubota DG 972 berbahan bakar gas yang dipasangkan dengan Mecc Alte AVR generator. Hasil dari kombinasi tersebut biomassa dapat menghasilkan listrik yang stabil yaitu 120/240 VAC dengan frekuensi 50 Hz dalam satu, split atau tiga fasa.

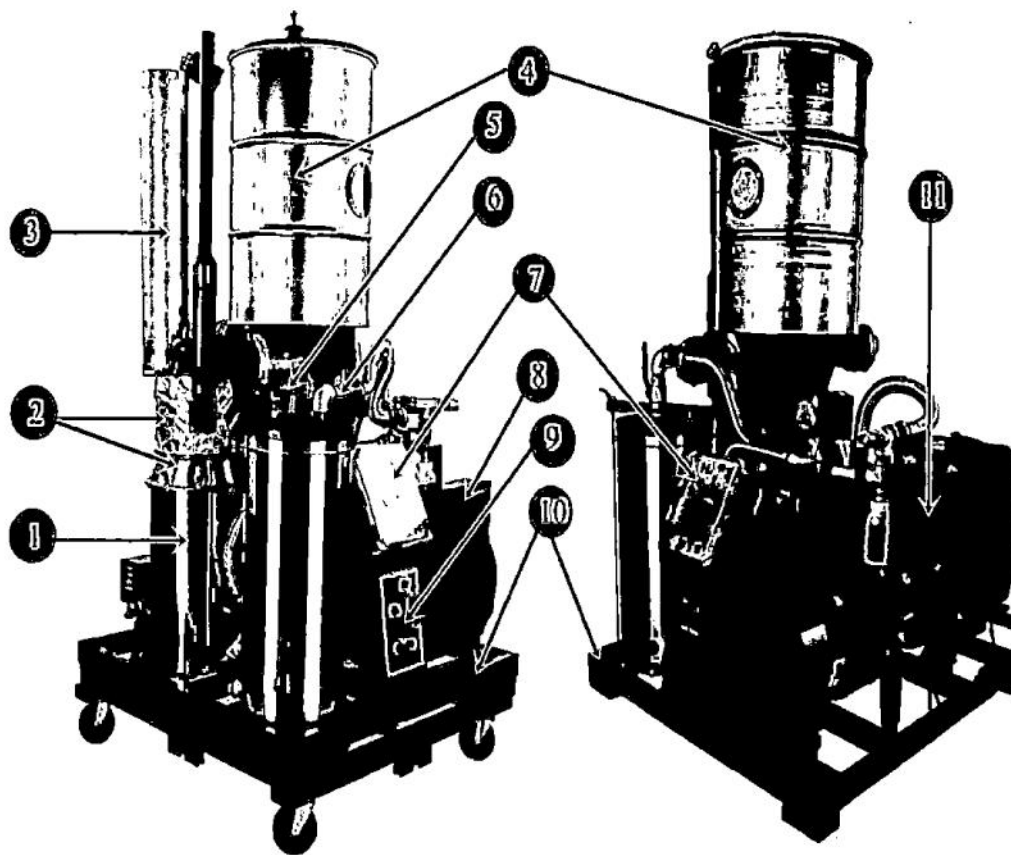
Power pallet diproduksi pertama pada tahun 2008, sampai sekarang dapat ditemukan lebih dari 500 Power Pallet di 40 negara lebih dan juga mendukung penelitian di 50 Universitas lebih. Di Indonesia, salah satu Universitas yang mendukung penelitian dengan Power Pallet berada Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

a. Komponen Power Pallet

Power Pallet terdiri dari 4 komponen utama, yaitu:

1. *Gek Gasifier Set*, yaitu suatu rangkaian komponen yang berfungsi untuk mengkonversi biomassa melalui beberapa tahap pengeringan, pirolisis, oksidasi dan reduksi sehingga menghasilkan *syngas* sebagai bahan bakar mesin berbahan bakar gas.

2. *Process Control Unit*, yaitu rangkaian komponen yang berfungsi untuk mengatur semua sistem kerja Power Pallet secara otomatis.
3. Mesin Kubota DG 972, yaitu Mesin berbahan bakar gas, dengan kapasitas 962cc dan 3 silinder dalam satu garis. Mesin ini digunakan untuk memutar generator.
4. Generator, yaitu berfungsi untuk mengubah gerakan putar dari motor bakar gas menjadi energi listrik, daya maksimal yang dihasilkan adalah 10 kW.



Gambar 2.11. Generator Gasifikasi tipe Power Pallet 10 kW

Keterangan gambar :

1. *Gek gasifier*, yaitu komponen gasifikasi yang berfungsi untuk mengkonversi biomassa melalui beberapa tahap hingga menghasilkan *syngas*.

2. *Totti*, yaitu sebagai tempat penampungan bahan baku setelah dari *Hopper* sekaligus sebagai pengkondisian panas dan sirkulasi sistem untuk menjaga agar bahan bakar tetap terjaga kelembabannya, sesuai dengan teloransi.
3. *Flare*, yaitu cerobong pembakaran berfungsi untuk membakar gas hasil pembakaran agar tidak terjadi polusi udara di lingkungan sekitar sebelum temperatur kerja tercapai.
4. *Hopper*, yaitu sebagai tempat penampungan awal bahan baku.
5. *Flare Gas Valve*, yaitu katup untuk mengontrol aliran gas antara *Flare Stack* dengan *Gas Filter*.
6. *Engine Gas Valve*, yaitu katup untuk mengontrol aliran gas antara *Engine* dan *Gas Filter*.
7. *Power Control Unit (PCU)*, yaitu Kontrol sistem secara otomatis untuk menyesuaikan syngas atau udara, dan parut pengocok abu.
8. *Genhead* (kepala generator), yaitu berfungsi untuk mengubah gerakan putar dari motor bakar gas menjadi energi listrik.
9. *Okygen sensors*, yaitu berfungsi untuk mengatur aliran gas dan udara secara manual.
10. *Skid Base*, yaitu dudukan berfungsi untuk menopang berat keseluruhan dari Power Pallet dan didesain tahan terhadap getaran.
11. *Engine*, yaitu mesin Kubota bahan bakar gas yang digunakan untuk memutar Generator.

2.2.7. Kualitas daya listrik

Kualitas daya listrik merupakan tingkat penyimpangan nilai nominal besarnya tegangan dan frekuensi. Dari sudut pandang konsumen, masalah kualitas daya listrik dapat didefinisikan sebagai deviasi tegangan, arus, atau frekuensi yang menimbulkan kegagalan atau tidak beroperasinya peralatan-peralatan yang dimiliki konsumen energi listrik (Dugan, 1996). Daya adalah suatu nilai dari energi listrik yang dikirimkan dan didistribusikan, dimana besarnya daya listrik tersebut sebanding dengan perkalian besarnya tegangan dan arus listriknya.

a. Jenis-jenis permasalahan kualitas daya listrik

Permasalahan kualitas daya listrik disebabkan oleh gejala-gejala atau fenomena-fenomena elektromagnetik yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Gejala elektromagnetik yang menyebabkan permasalahan kualitas daya listrik antara lain yaitu :

1. Gejala peralihan (*transient*), yaitu gejala perubahan variabel (tegangan, arus dan lain-lain) yang terjadi selama masa transisi dari keadaan operasi tunak (*steady state*) menjadi keadaan yang lain.
2. Gejala perubahan tegangan durasi pendek (*short-duration variations*), yaitu suatu gejala perubahan nilai tegangan dalam waktu yang singkat yaitu kurang dari satu menit.
3. Gejala perubahan tegangan durasi panjang (*long-duration variatio*), yaitu suatu gejala perubahan nilai tegangan, dalam waktu yang lama yaitu lebih dari satu menit.
4. Ketidak seimbangan tegangan, yaitu gejala perbedaan besarnya tegangan dalam sistem tiga fasa serta sudut fasanya.
5. Distorsi gelombang, yaitu gejala penyimpangan dari satu gelombang (tegangan dan arus) dari bentuk idealnya berupa gelombang sinusoidal.
6. Fluktuasi tegangan, yaitu gejala perubahan besarnya tegangan secara sistematis.
7. Gejala perubahan frekuensi daya, yaitu gejala penyimpangan frekuensi daya listrik pada suatu sistem tenaga listrik.

b. Faktor eksternal dan internal pembangkit listrik PLN

Kualitas daya listrik pada sektor instalasi yang mendapatkan pasokan listrik dari PLN akan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain :

1. Kualitas daya listrik dari pembangkit listrik PLN
2. Kualitas daya listrik pada bagian transmisi dan distribusi PLN
3. Kualitas daya listrik pada instalasi (faktor internal)

Kualitas daya listrik dari pembangkit listrik, transmisi dan distribusi PLN dituntut dapat memenuhi syarat dasar kebutuhan layanan (*service requirement*) kepada konsumen. Faktor internal yang harus dipenuhi oleh PLN antara lain :

1. Dapat memenuhi beban puncak.
2. Memenuhi deviasi tegangan dan frekuensi yang minimum.
3. Distorsi gelombang tegangan dan harmonik yang minimum.
4. Terbebas dari surja tegangan.
5. Suplai sistem tegangan dalam keadaan setimbang.
6. Urutan phase terjamin dengan benar.
7. Memberikan suplai daya dan waktu layanan dengan keadaan tinggi dimana sistem dapat melayani beban secara kontinu.

Selain faktor eksternal yang disebabkan dari PLN, kualitas daya listrik suatu instalasi juga dipengaruhi oleh faktor internal pada instalasi itu sendiri. Faktor internal dari instalasi pengguna, antara lain :

1. Konsumen belum memiliki informasi yang cukup mengenai masalah kualitas daya listrik (*power quality*).
2. Besarnya kapasitas beban terpasang dengan kapasitas beban pemakaian tidak seimbang.

c. Parameter-parameter kualitas daya listrik

Secara umum kualitas daya listrik pada kondisi *steady state* ditentukan oleh parameter-parameter sebagai berikut :

1. Tegangan (Volt)
2. Frekuensi (Hz)
3. Faktor daya ($\cos \phi$)
4. Harmonisa
5. Ketidak seimbangan beban

d. Tegangan

Tegangan listrik yang ideal adalah tegangan dalam bentuk gelombang sinus murni tanpa distorsi dengan nilai amplitudo yang konstan. Karena adanya faktor gangguan yang terjadi yang tidak bisa dihindari, maka nilai tegangan menjadi

tidak konstan (turun-naik). Dalam kondisi normal, toleransi tegangan boleh naik atau turun yang diijinkan oleh PLN adalah -10% s/d +5% untuk tegangan 220 Volt. Jika dalam kondisi darurat berdasarkan IEEE Std. 446-1995 "Recommended Practice for Emergency and Standby Power System Industrial and Commercial Applications" toleransi tegangan adalah -13% s/d + 6% untuk tegangan 220 Volt.

Gangguan-gangguan pada tegangan listrik yang berpengaruh pada kualitas daya listrik antara lain :

1. Fluktuasi tegangan
2. Tegangan tidak seimbang (*unbalance voltage*)
3. Tegangan sag
4. Tegangan Swell

e. Frekuensi

Frekuensi yaitu jumlah siklus arus bolak balik (*alternating current*) per detik. Di beberapa negara termasuk Indonesia menggunakan frekuensi listrik standar sebesar 50 Hz.

Gangguan-gangguan yang terjadi pada sistem frekuensi antara lain:

1. Penyimpangan terus menerus (*continuous deviation*), yaitu frekuensi berada diluar batasnya pada saat yang lama (secara terus menerus), frekuensi standar 50 Hz dengan toleransi $\pm 0,5$ Hz (49,5 s/d 50,5 Hz)
2. Penyimpangan sementara (*transient Deviation*) yaitu penurunan atau kenaikan frekuensi secara tiba-tiba dan sesaat.

2.2.8. Perhitungan Daya Listrik (P), Laju Aliran Bahan Bakar (mf) dan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)

a. Daya Listrik (P)

Daya listrik adalah banyaknya energi listrik yang mengalir pada rangkaian listrik dalam setiap satuan waktu.

Daya listrik dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P = \frac{W}{t} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana : P = Daya (Watt atau Joule/sekon)
 W = Energi listrik (Joule)
 t = Waktu (sekon)

Karena:

$$W = V \cdot I \cdot t \dots\dots\dots(2)$$

Jika W disubstitusikan, maka persamaan daya listrik menjadi :

$$P = V \cdot I \dots\dots\dots(3)$$

Dimana : P = Daya (Watt) atau (Joule/sekon)
 V = Tegangan (Volt)
 I = Kuat arus (Ampere)

b. Laju Aliran Bahan Bakar (\dot{m}_f)

Laju aliran bahan bakar adalah banyaknya konsumsi bahan bakar yang digunakan untuk menghidupkan mesin dalam satuan waktu.

Laju aliran bahan bakar dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\dot{m}_f = \rho_{bb} \cdot \left(\frac{b}{t}\right) \dots\dots\dots(4)$$

Dimana : \dot{m}_f = Laju aliran bahan bakar (kg/menit)
 ρ_{bb} = Massa jenis bahan bakar (kg/ ℓ)
 b = Penurunan volume bahan bakar (ℓ)
 t = Waktu penurunan bahan bakar (menit)

c. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)

Konsumsi bahan bakar spesifik adalah banyaknya konsumsi bahan bakar yang terpakai dalam waktu satu jam untuk satuan daya yang dihasilkan. SFC

digunakan sebagai parameter untuk menentukan ukuran ekonomis atau tidaknya pemakaian bahan bakar dalam waktu satu jam untuk satuan daya yang dihasilkan. Semakin rendah nilai SFC menyatakan efisiensi yang lebih tinggi, dan nilai SFC yang tinggi menyatakan efisiensi yang rendah.

Konsumsi bahan bakar spesifik dapat didefinisikan dengan persamaan (Aris munandar, 2002) sebagai berikut :

$$\text{SFC} = \frac{\dot{m}_f}{P} \text{ (kg/kWh)} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana : SFC = Konsumsi bahan bakar sfesifik (kg/kWh)

P = Daya mesin (kW)

Sedangkan nilai \dot{m}_f dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\dot{m}_f = \frac{b}{t} \cdot \frac{3600}{1} \cdot \rho_{bb} \text{ (kg/jam)} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana : \dot{m}_f = Laju aliran bahan bakar per jam (kg/jam)

b = Penurunan bahan bakar atau perubahan volume (ℓ)

t = Waktu penurunan bahan bakar (s)

ρ_{bb} = Massa jenis bahan bakar (kg/ℓ)