

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Komposisi dan Kualitas Batubara

Batubara merupakan senyawa hidrokarbon padat yang terdapat di alam dengan komposisi yang cukup kompleks. komposisi batubara secara garis besar terdiri dari : (Muchjidin. 2006)

- A. Air yang terikat sedara fisika, dapat dihilangkan pada suhu sampai 105°C, disebut *moisture*.
- B. Senyawa batubara atau *coal substance* atau *coal matter*, yaitu senyawa organik yang terutama terdiri atas atom karbon, hidrogen, oksigen, sulfur, dan nitrogen.
- C. Zat mineral atau mineral *matter*, yaitu suatusenyawa anorganik. Berdasarkan ASTM D388-12batubara dapat di klasifikasi seperti pada tabel 2.1:

Tabel 2. 1. *Classification of coal by rank* (ASTM D388-12)

| Classification of Coal by Rank (ASTM D388-12) | | | | |
|-----------------------------------------------|-----------------------|------------|----------|-----------------|
| Coal Rank | | Fix Carbon | Volatile | Gross Calorific |
| | | % | % | Btullb |
| | | Dmmf | dmmf | Moisture mmf |
| | Meta- Anthracite | 98 | <2 | |
| | Anthracite | 92-98 | 2-8 | |
| | Semi-Anthracite (Lean | | | |
| | Low Volatile | 78-86 | 14-22 | |
| | Medium Volatile | | | |
| | High Volatile A | <69 | >31 | 14,000 |
| | High Volatile B | <69 | >31 | 13,000- 14,000 |
| | High Volatile C | | | 11,500 - 13,000 |
| | High Volatile C | | | 10,500 - 11,500 |
| | Subbituminous A coal | | | 10,500 - 11,500 |
| | Subbituminous B coal | | | 9,500 - 10,500 |

| | | | | |
|--|----------------------|--|--|---------------|
| | Subbituminous C coal | | | 8,300- 9,500 |
| | Lignite A | | | 6,300 - 8,300 |
| | Lignite B | | | <6,300 |

Untuk menentukan kualitas batubara juga perlu memperhatikan beberapa hal berikut: (Muchjidin. 2006)

A. Heating Value

Heating value dinyatakan dalam kal/g, merupakan jumlah kalori yang dihasilkan oleh batubara tiap satuan berat. Dikenal nilai kalor net (*net calorific value* atau *low heating calorific value*), yaitu nilai kalor hasil pembakaran di mana semua air dihitung dalam keadaan gas dan nilai kalor gross (*gross calorific value* atau *high heating value*), yaitu nilai kalor hasil pembakaran di mana semua air dihitung dalam keadaan cair. Semakin tinggi *heating value* maka aliran batubara setiap jamnya semakin rendah, sehingga kecepatan *coal feeder* harus disesuaikan agar panas yang ditimbulkan tidak melebihi panas yang diperlukan dalam proses industri.

B. Moisture Content

Kandungan *moisture* mempengaruhi jumlah pemakaian udara primer pada proses pembakaran. Pada batubara dengan *moisture* tinggi akan membutuhkan udara primer lebih banyak guna mengeringkan batubara tersebut pada temperatur tertentu. Selain itu kandungan air ini akan banyak pengaruhnya pada pengangkutan, penanganan, penggerusan, maupun pembakarannya. Apabila batubara dipergunakan sebagai bahan bakar, sebagian panas yang dihasilkan digunakan untuk menguapkan air yang terdapat pada batubara. Akibatnya, panas yang dihasilkan berkurang.

C. Ash

Apabila batubara dipanaskan, material penyusun akan meleleh secara bersamaan. Semakin tinggi kandungan abu, akan mempengaruhi tingkat pengotoran udara apabila abu sampai terlepas ke *atmosfer*, dapat

pula menyebabkan keausan dan korosi pada peralatan yang digunakan, pengotoran (*fouling*), pembentukan kerak dan gangguan pada *blower*. Semakin tinggi kadar abu pada jenis batubara yang sama, semakin rendah nilai kalorinya.

D. Kandungan Belerang (*Sulfur*)

Sulfur yang ada secara alamiah akan membentuk asam sulfat yang akan mempercepat terjadinya korosi pada alat angkut yang terbuat dari besi, roda-roda pada *belt conveyor*, alat penggiling batubara dan alat penyortir ukuran batubara.

Uap sulfur yang terlepas ke udara sekitar daerah industri yang menggunakan batubara, akan berakibat tidak baik terhadap manusia, juga pada tingkat korosi bangunan yang terbuat dari besi.

E. *Volatile Matter*

Volatile matter didefinisikan sebagai bahan yang mudah menguap. Kandungan *volatile matter* sangat erat kaitannya dengan kelas batubara tersebut. Semakin tinggi nilai *volatile matter* semakin rendah kelasnya. Pada pembakaran batubara, maka kandungan *volatile matter* yang tinggi akan lebih mempercepat pembakaran karbon padatnya.

F. *Fixed Carbon*

Fixed carbon didefinisikan sebagai material yang tersisa setelah berkurangnya *moisture*, *volatile matter* dan *ash*. Semakin rendah kandungan *moisture* maka nilai *fixed carbon* semakin tinggi. Semakin tinggi nilai *fixed carbon*, maka semakin tinggi juga nilai kalornya.

G. *Hardgrove Grindability Index* (HGI)

Batubara yang diperoleh dari tambang masih berbentuk bongkahan dengan ukuran bervariasi. Sebelum batubara dimanfaatkan, bongkahan harus dijadikan butir dengan ukuran seragam. Hal ini dilakukan dengan menggiling. *Hardgrove Grindability Index* (HGI) merupakan petunjuk

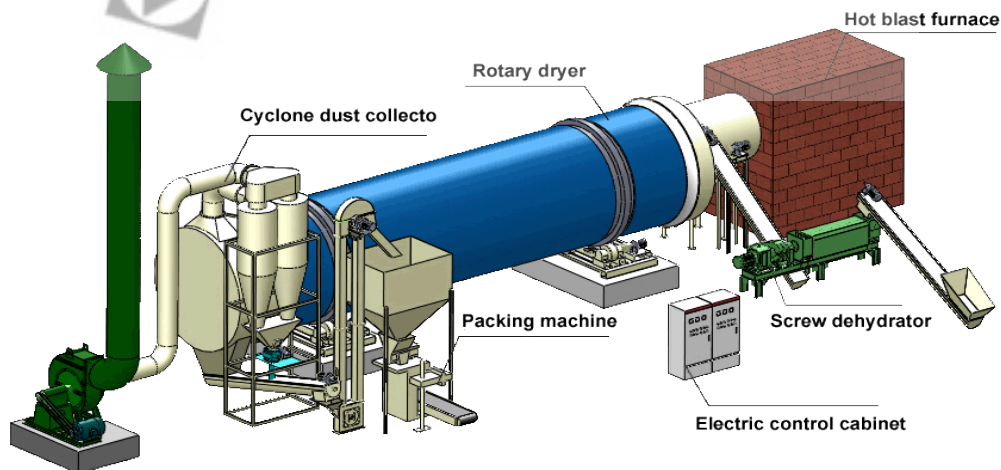
mengenai mudah sukanya batubara untuk digiling. Makin kecil nilai HGI, makin keras keadaan batubara dan makin mudah untuk digiling.

H. Porositas dan Luas Permukaan

Batubara merupakan suatu material yang bersifat *porous*. Dengan demikian porositasnya dan luas permukaannya memiliki pengaruh yang dapat dipertimbangkan terhadap perilaku selama penambangan, preparasi, penanganan dan penggunaannya.

Porositas batubara berkurang dengan meningkatnya kandungan karbon. Ukuran pori-pori juga bervariasi dengan meningkatnya kandungan karbon (*rank*); sebagai contoh, pori-pori makro (*macrospore*) merupakan pori-pori yang banyak terdapat dalam batubara dengan kandungan karbon yang paling rendah, sedangkan batubara dengan kandungan karbon yang paling tinggi utamanya memiliki pori-pori mikro (*microspore*).

2.2. Coal Upgrading dryer rotary



Gambar 2. 1. Strukur rotary dryer direct

(Sumber : Ahmad Z, dkk, 2015)

Rotary dryer atau yang disebut juga pengering putar adalah jenis pengering industri yang digunakan untuk mengurangi atau meminimalkan cairan atau kelembaban suatu materi seperti batu bara, bubuk batubara, limbah industri, tanah liat dan lain sebagainya. Pengering *rotary* ini secara luas biasanya digunakan dalam bahan bangunan, metalurgi, dan industri kimia.

Secara umum *rotary dryer* dapat diklasifikasikan sebagai *direct*, *indirect-direct*, *indirect*, and tipe *special*. Klasifikasi ini tergantung oleh metode transfer panas yang terjadi antara bahan padat dengan aliran gasnya. Untuk “*direct*” berarti panas yang ditambahkan atau dipindahkan ke bahan padat pertukarannya dilakukan secara langsung antara aliran gas dengan bahan padatnya. Sedangkan “*indirect*” berarti transfer panas tidak dilakukan secara langsung tetapi melalui suatu perantara yaitu dinding silinder (baja) sehingga nantinya akan terjadi kontak panas antara bahan padat dengan dinding baja. Klasifikasi diatas dapat dijelaskan sebagai berikut:(Ahmad Zikri, dkk. Thn 2015)

1. *Direct heat, counter current flow*

Untuk material yang akan dipanaskan pada temperatur tinggi, seperti mineral, pasir, tanah liat (*clays*), batu gamping (*limestone*) dan sebagainya. Gas yang digunakan untuk proses pengeringan bisa digunakan *flue gas*. Untuk substansi yang tidak bisa dipanaskan secara berlebihan produk seperti bahan kimia yang berupa kristal, seperti NH_4SO_4 dan gula tebu dapat dipanaskan dengan menggunakan udara panas.

2. *Direct heat, concurrent flow*

Pengering jenis ini dapat mengeringkan zat padat dengan *flue gas* tanpa adanya kontaminasi tetapi zat yang dikeringkan tersebut tidak bisa dipanaskan pada temperatur tinggi karena akan menimbulkan kerusakan. Material yang bisa dikeringkan dengan *cocurrent-flow dryer* meliputi: gypsum, besi pirit, dan bahan organik seperti peat, alfalfa.

Prinsip kerja dari *Rotary dryer* atau pengering putar adalah sebagai berikut:

1. Coal dimasukkan kedalam silinder yang berputar kemudian bersamaan dengan itu aliran panas mengalir dari tungku atau dari *exhaust* boiler .
2. Didalam drum yang berputar terjadi gerakan pengangkatan coal dan menjatuhkannya dari atas kebawah sehingga kumpulan coal basah yang menempel tersebut terpisah dan proses pengeringan bisa berjalan lebih efektif. Pengangkatan memerlukan desain yang hati-hati untuk mencegah dinding yang asimetri.
3. Setelah itu bahan bergerak dari bagian ujung *dryer* keluar menuju bagian ujung lainnya akibat kemiringan drum. Posisi miring ini tujuannya yaitu untuk mempercepat penyampaian materi melalui pengering di bawah gravitasi.
4. Bahan coal yang telah kering kemudian keluar melalui suatu lubang yang berada dibagian belakang pengering drum.
5. Sumber panas didapatkan dari gas yang diubah menjadi uap panas dengan cara pembakaran.

Keuntungan *Rotary Dryer*

1. Lebih baik bisa mengeringkan lapisan luar yang padat atau dalam Penanganan material yang baik untuk menghindari terjadinya gesekan
2. Proses pencampuran yang baik, memastikan terjadinya pengeringan seragam yang seragam
3. Efisiensi termal yang tinggi
4. operasi terus menerus
5. Instalasi mudah Menggunakan sedikit daya listrik

Kekurangan dari *Rotary Dryer*

1. Dapat menyebabkan pengurangan ukuran karena erosi atau kerusakan
2. Karakteristik produk kering tidak konsisten
3. Efisiensi energi rendah
4. Perawatan alat yang sulit
5. Tidak ada pemisahan debu yang jelas

2.3. Energi untuk sistem pengeringan

Energi untuk pengeringan Kadar air kadar dapat di hitung melalui beberapa tahap berikut ini. (Yudi saputro, 2015)

C_p batu bara = panas jenis batu bara (kkal/kg °C)

C_{pair} = panas jenis air, kkal/kg °C

T_{da} = temperatur rata-rata udara pengering dari *exhaust boiler*

T_a = temperatur awal batu bara

T_b =temperatur batu bara keluar dari pengering

W_f = kadar air kering batu bara

W_i = kadar air basah batu bara

W_{bb} = berat batu bara

h_{fg} = panas laten air (kkal/kg)

$$Q_d = Q_t + Q_w + Q_i \dots \dots \dots (2.1.)$$

Dimana :

Q_d = energi pengeringan batu bara, kkal

Q_t = energi pemanas batu bara, kkal

Q_w = energi pemanas air batu bara kkal

Q_i = energi penguapan air batu bara kkal

1. Energi pemanas batu bara

$$Q_t = w_{bb} \times C_p \text{ bb } (T_b - T_a) \dots \dots \dots (2.2.)$$

2. Berat air batu bara yang di keluarkan selama proses penegrimgan

$$W_r = W_i - W_f$$

3. Energi pemanas air batu bara

$$Q_w = W_r \times C_p \text{ air } (T_b - T_a) \dots \dots \dots (2.3.)$$

4. Energi penguapan batu bara

$$Q_i = W_r \times h_{fg} \text{ air } \dots \dots \dots (2.4.)$$

5. Maka energi untuk pengeringan batu bara

$$Q_d = Q_t + Q_w + Q_i \dots \dots \dots (2.5.)$$

2.4. Pemanfaatan Panas Buang (Waste Heat Recovery)

Panas buang merupakan panas yang dihasilkan dalam suatu proses pembakaran maupun proses kimia dan kemudian dibuang ke lingkungan atau dapat dimanfaatkan kembali. Karena gas buang yang dihasilkan memiliki suhu yang bervariasi mulai dari suhu rendah dari cooling water hingga suhu tinggi hasil keluaran furnace, dimana semakin tinggi suhu panas buang maka semakin baik dan efektif pemanfaatan panas buang yang dihasilkan.

Dalam proses pemanfaatan panas buang terdapat tiga komponen penting yaitu adanya sumber panas buang yang dimanfaatkan seperti dari hasil pembakaran, teknologi untuk memanfaatkan panas buang seperti *regenerator*, *recuperator*, *economizer* serta *waste heat boiler* dan kegunaan dari panas buang seperti pemanfaatan panas buang dalam proses preheating (*feedwater* pada *boiler*, bahan bakar serta udara bakar). (Turner , 2008)

Tabel 2. 2. Sumber Panas Buang dan Kualitasnya

(Sumber : Turner , 2008)

| No | Sumber Panas Buang | Kualitas |
|----|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Panas pada gas buang | Semakin tinggi suhunya, semakin besar potensi pemanfaatan panas buang |
| 2 | Panas pada aliran uap | Seperti diatas, namun ketika dikondensasi panas laten juga dapat dipulihkan |
| 3 | Panas konveksi dan radiasi dari permukaan peralatan | Kualitas tidak baik, jika dimanfaatkan akan berupa pemanasan ruang |
| 4 | Panas yang terkandung pada <i>cooling water</i> | Kualitas tidak baik, panas yang dihasilkan digunakan untuk proses pertukaran panas berikutnya |

| | | |
|---|-------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 5 | Panas yang tersimpan dari produk yang telah diproses | Kualitas tergantung yang dihasilkan |
| 6 | Panas dalam bentuk gas dan cairan yang telah diproses | Kualitas buruk terkontaminasi |

Indonesia memiliki klasifikasi gas buang yang dapat di manfaatkan untuk kebutuhan lainya. Kalsifikasi gas buang yang dapat di manfaatkan dapat di lihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 3. Klasifikasi Suhu Panas Buang serta Pemanfaatannya

(Sumber : Turner , 2008)

| Range Suhu | Sumber Panas Buang | Suhu Proses (°C) | Pemanfaatan |
|-------------------------|-------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Suhu tinggi (>650°C) | Pemurnian nikel | 1370-1650 | <i>Preheat</i> udara pembakaran pada <i>furnace</i> |
| | Pemurnian tembaga | 760-820 | |
| | Pemanasan baja | 930-1040 | |
| | Pelelehan kaca | 1300-1540 | |
| | Pemurnian seng | 760-1100 | |
| Suhu Sedang (230-650°C) | Keluaran boiler | 230-480 | <i>Preheat</i> udara pembakaran Siklus Rankine untuk pembangkit energi |
| | Keluaran turbin gas | 370-540 | |
| | Oven pengering | 230-600 | |
| | Kiln semen | 450-620 | |
| | Kondensat uap | 50-90 | Pemanasan ruang Pemanas air Siklus Rankine |
| | <i>Cooling water</i> dari kompresor udara | 30-50 | |
| | <i>Cooling water</i> dari mesin las | 30-90 | |
| Suhu Rendah (<230°C) | <i>Cooling water</i> dari pompa | 30-90 | |
| | <i>Cooling water</i> dari AC | 30-45 | |

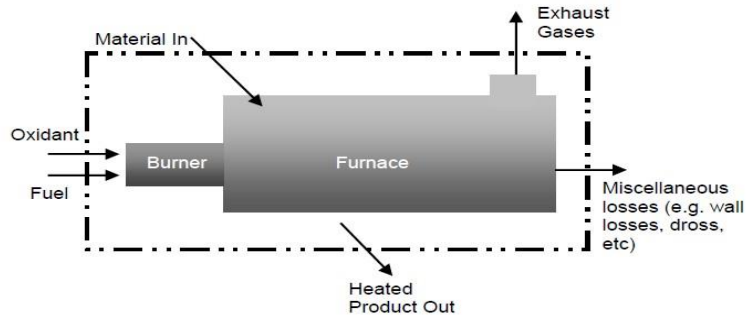
| | | | |
|--|------------------------------------|-------|--|
| | | | |
| | Cooling water dari kompresor udara | 30-50 | |

Berdasarkan data pada tabel 2.3, suhu pada gas buang hasil pembakaran di boiler berkisar diantara 230-480°C dimana suhu gas buang hasil pembakaran di boiler Indonesia sebesar 300°C. Keuntungan dari pemanfaatan panas buang dapat diklasifikasikan dalam dua kategori yaitu manfaat langsung dan manfaat tidak langsung. Manfaat langsung dari pemanfaatan panas buang berpengaruh pada efisiensi proses yang berhubungan langsung dengan pengurangan biaya pemakaian peralatan dan biaya proses produksi. Manfaat tidak langsung dari pemanfaatan panas buang terdiri dari pengurangan polusi lingkungan dan pengurangan konsumsi energi yang dibutuhkan.

2.5. Perhitungan Kalor Panas Buang Hasil Pembakaran

Perhitungan panas buang hasil pembakaran dilakukan dengan cara menghitung persentase energi masuk yang hilang terhadap gas panas buang, menghitung total energi yang dikonsumsi selama proses dilakukan serta menghitung total panas buang yang hilang selama prosesnya. Persentase panas buang bergantung dari furnace yang digunakan, komposisi gas buang dan suhu gas buang. Dalam perhitungan panas buang hasil pembakaran, digunakan asumsi sebagai berikut. (Turner, 2008)

- a. Seluruh laju aliran massa dan perpindahan energi berlangsung pada keadaan steady
- b. Masukan pada furnace pada keadaan suhu dan tekanan yang standar
- c. Gas keluaran berada pada tekanan atmosfer
- d. Gas buang merupakan gas ideal (kecuali H₂O)
- e. Furnace memiliki excess air sebesar 10%
- f. Pembakaran yang terjadi pada furnace merupakan pembakaran sempurna.



Gambar 2. 2. Kestimbangan Energi pada Furnace Industri.

(Sumber : Turner ,2008)

Persamaan kesetimbangan energi pada gambar 2.12 sebagai berikut. (Turner , 2008)

$$E_{in} = E_{OUT} \dots \dots \dots (2.7.)$$

$$E_{in} = E_{exh} + E_p + E_{misc} \dots \dots \dots (2.6.)$$

Dimana :

- Ein merupakan energi yang masuk kedalam *furnace*
- Eexh merupakan energi yang terkandung pada gas buang
- Ep merupakan panas yang terkandung pada produk yang meninggalkan *furnace*
- Emisc merupakan panas buang lainnya seperti pada dinding

Perhitungan gas panas buang Eexh yang merupakan fungsi dari laju aliran massa gas buang dan entalpinya, yang bergantung pada komposisi kimia dan suhu, sebagai berikut. (Anonim, 2008)

$$E_{exh} = \dot{m}_{exh} \sum_i [x_i h_i(t)] \dots \dots \dots (2.8.)$$

$$E_{exh} = \dot{m}_{exh} [(x_{CO_2} h_{CO_2}) + (x_{H_2O} h_{H_2O}) + (x_{N_2} h_{N_2})] \dots \dots \dots (2.9.)$$

Dimana :

- \dot{m} merupakan laju aliran massa gas buang
- $h(t)$ merupakan entalpi gas
- x_i merupakan fraksi massa tiap-tiap spesies pada gas buang
- $h_i(t)$ merupakan entalpi tiap spesies pada gas buang

Entalpi $h_i(t)$ dari tiap spesies merupakan fungsi suhu (t). Entalpi $h_i(t)$ tiap spesies dapat dihitung berdasarkan kapasitas spesifik panas dan tabel referensi. Laju aliran massa gas buang

dan fraksi massa tiap spesies dapat ditentukan dari konsumsi bahan bakar dan kesetimbangan massa, berdasarkan persamaan reaksi untuk pembakaran bahan bakar. Sehingga, persamaan 2.9 dapat diubah menjadi berikut. (Anonim, 2008).

$$E_{exh} = \dot{m}_{exh} \left(\frac{\dot{m}_{exh}}{\dot{m}_{fuel}} \sum_i [x_i h_i(t)] \right) \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana :

- \dot{m}_{fuel} merupakan laju bahan bakar yang masuk
- $(\dot{m}_{exh}/\dot{m}_{fuel})$ merupakan laju aliran massa gas buang terhadap bahan bakar yang masuk

Sehingga fraksi panas buang yang hilang terhadap energi yang masuk dapat dijabarkan menjadi berikut. (Anonim, 2008)

$$\frac{E_{exh}}{E_{in}} = \frac{\dot{m}_{exh} \left(\frac{\dot{m}_{exh}}{\dot{m}_{fuel}} \sum_i [x_i h_i(t)] \right)}{\dot{m}_{fuel} hc} \dots \dots \dots (2.11.)$$

$$\frac{E_{exh}}{E_{in}} = \frac{\dot{m}_{exh} \left(\frac{\dot{m}_{exh}}{\dot{m}_{fuel}} \sum_i [x_i h_i(t)] \right)}{hc} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana :

- hc merupakan nilai Higher Heating Value (HHV) dari bahan bakar

Berdasarkan persamaan 2.12 diatas, kandungan energi pada gas buang dapat diperhitungkan dengan menentukan nilai dari parameter-parameter berikut, yaitu :

- a. konsumsi bahan bakar
- b. komposisi kimia gas buang dan laju aliran massa terhadap bahan bakar yang masuk (dihitung berdasarkan konsumsi bahan bakar, kuantitas udara pembakaran dan reaksi kimia dari proses pembakaran)
- c. suhu gas buang
- d. entalpi $h_i(t)$ dari tiap spesies gas buang

Perhitungan kalor yang digunakan untuk mengurangi kandungan air pada bahan bakar dirumuskan sebagai berikut.

$$Q_{drying} = Q_{sensible} + Q_{latent} \dots \dots \dots (2.13)$$

$$Q_{drying} = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T + \dot{m} \cdot L \dots \dots \dots (2.14.)$$

Dimana :

- Q_{drying} merupakan kalor yang dibutuhkan untuk mengurangi kandungan air pada bahan bakar
- $Q_{sensible}$ merupakan kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan atau menurunkan suhu suatu zat namun tidak mengubah fasa zat tersebut
- Q_{latent} merupakan kalor yang dibutuhkan untuk mengubah fasa suatu zat pada suhu konstan
- \dot{m} merupakan laju aliran massa bahan bakar yang dikeringkan
- c merupakan panas jenis suatu zat
- ΔT merupakan perbedaan suhu
- L merupakan kalor uap suatu zat

Perhitungan kalor yang terkandung pada bahan bakar setelah melewati proses pengeringan dirumuskan sebagai berikut.

$$E_{in} = E_{out}$$

$$E_{in} = Q_{drying} + Q_{biomassa} \dots \dots \dots (2.15.)$$

$$E_{in} = E_{exh} - Q_{drying} \dots \dots \dots (2.16.)$$

2.6. Penggunaan HYSYS

Hysys merupakan software process engineering untuk mensimulasikan suatu unit process atau multi unit process. Simulator Hysys bermanfaat untuk aplikasi di industri kimia seperti. (Hartono, 2012)

1. Perancangan suatu industri kimia
2. Memonitor kemampuan dari industri kimia yang telah exist
3. Melacak permasalahan process yang terjadi di industri kimia
4. Kemungkinan peningkatan kapasitas produksi dari plant.

Area penggunaan dari simulator Hysys adalah, Conceptual analysis, Process design, Project design, Operability and safety, Automation, Asset utilization

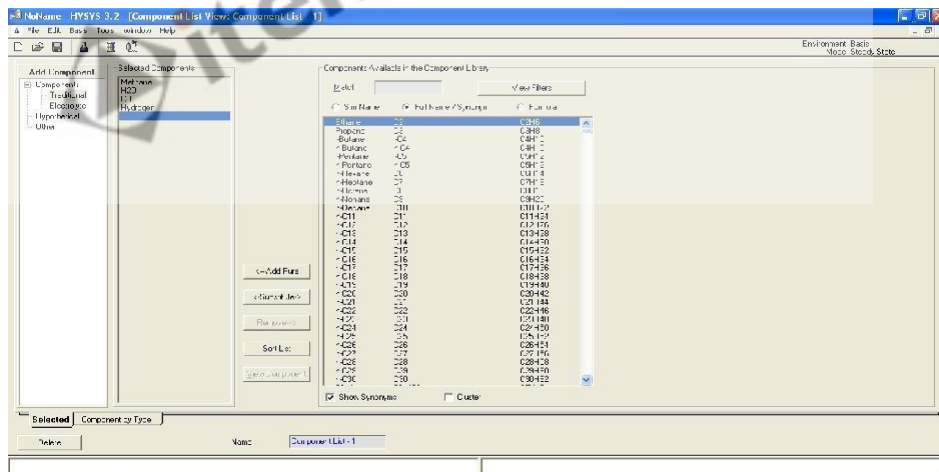
Hysys dapat dipergunakan untuk mensimulasikan unit-unit process secara steady state dan dynamic. Pada pelatihan ini hanya dijelaskan simulasi dengan Hysys dalam kondisi steady state (tunak). Langkah-langkah dasar untuk melakukan simulasi dengan Hysys Langkah membuat simulasi menggunakan HYSYS adalah berikut: 1. Memilih komponen (Selection of components) 2. Memilih model termodinamik (Selection of a thermodynamic properties package) 3. Membuat flowsheet 4. Menspesifikasi komposisi dan kondisinya aliran. 5. Menjalankan program (Running the simulation program) 6. Menganalisa hasil (Interpretation of the results). Yang mana langkah –langkah tersebut dapat dilakukan sebagai berikut :

1. Membuka case baru yang ada di bagian file (*File New Case*)
2. Setelah dipilih new case kemudian muncul jendela *simulation basis manager*, **Simulation basis manager** terdiri dari beberapa bagian seperti.

a.Components

Pada bagian ini dipergunakan untuk memasukan data komponen-komponen yang terlibat pada unit-unit process yang akan disimulasikan (**fasilitas add**). Hysys telah mengelompokkan komponen-komponen dalam satu group seperti Hydrocarbon, Solid, Alkohol dengan menggunakan fasilitas View Filters. Group komponen yang telah dipilih untuk simulasi Hysys dapat diberi nama lain (**default Component List-1**). Komponen yang akan dipergunakan dapat dimasukkan ke dalam kolom *selected component* dengan melalui tahap berikut ini:

- masukkan formula atau nama dari komponen di bagian **Match**
- bila komponen yang akan dipergunakan telah dimasukkan maka klik **Add Pure**
- bila ingin menghilangkan komponen yang telah dipilih dengan komponent lain cukup pilih komponen yang akan dipilih dan yang diganti kemudian klik bagian **Substitute**



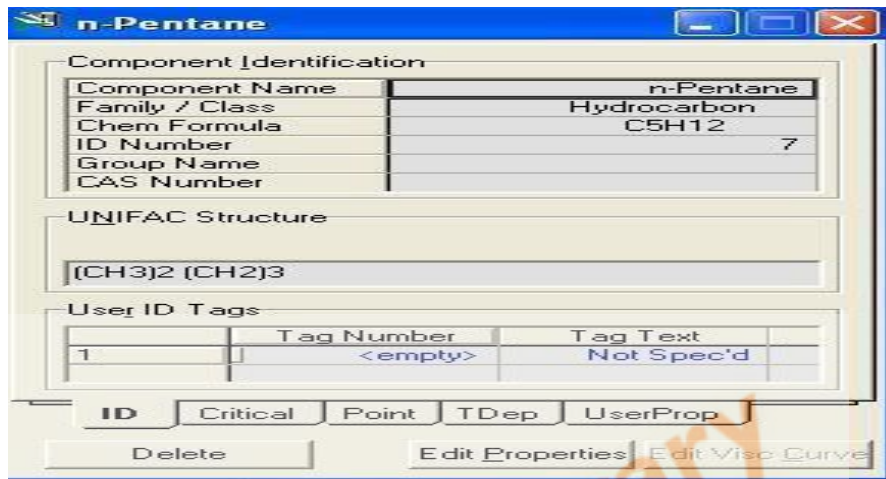
Gambar 2. 3. Jendela Component view list

(Sumber : Hartono (2012)

Komponen-komponen yang telah dipilih dapat dilihat datanya dengan mengklik komponen tersebut. Data tersebut adalah ID komponen di simulasi Hysys dan beberapa properties dari komponen tersebut.

Contoh adalah komponen n-Pentana

- **Data ID** adalah class (kelompok) Hydrocarbon dengan formulat C₅H₁₂ dengan ID number 7
- **Data critical** seperti berat molekul dan titik didih



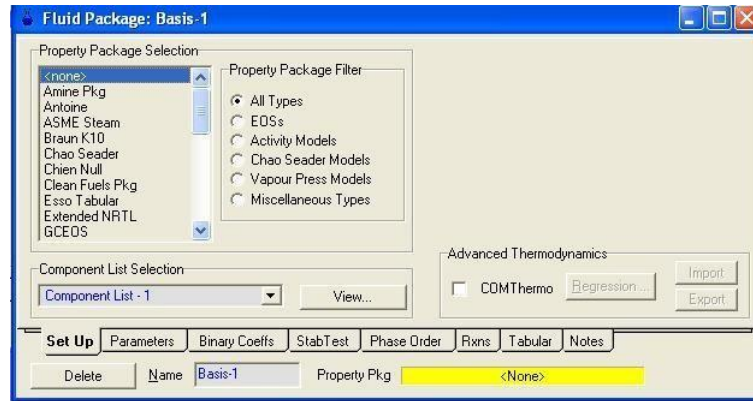
Gambar 2. 4. Data Critical

(Sumber : Hartono (2012)

b. Fluid Pkgs

Pemilihan persamaan keadaan termodinamika seperti Peng-Robinson, Van Laar, Wilson, Margules, NRTL. Tahapan pemilihan fluid package adalah

- Pada bagian simulation basis manager pilih fluid package dan klik **add** untuk setiap kasus baru.
- Maka muncul windows seperti dibawah ini



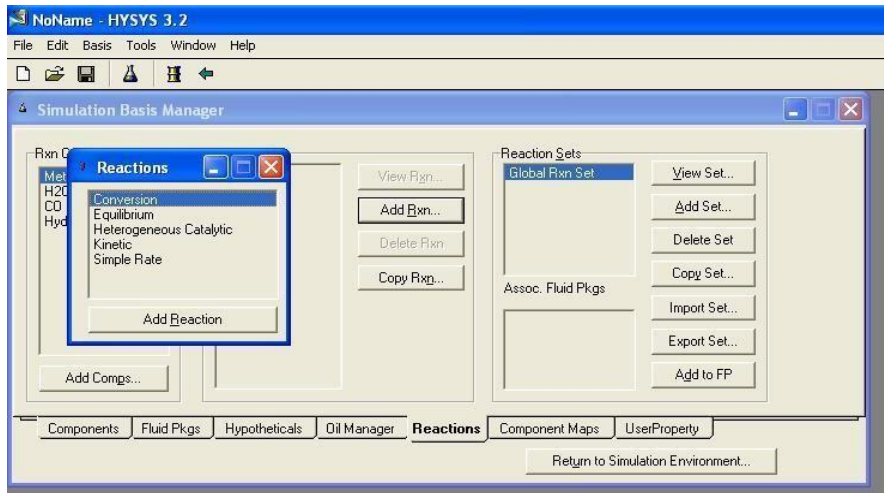
Gambar 2. 5. Fluid Package

(Sumber : Hartono, 2012)

- Pada bagian **Property Package Selection** ditemui bermacam-macam Property Package. Bagian **Equation of State (Persamaan Keadaan)**.
- Error dengan tampilan tidak direkomendasikan (not recommended) artinya fluid package yang dipergunakan tidak direkomendasikan untuk menjalankan simulasi tersebut maka dapat dilakukan dengan pemilihan fluid package yang lainnya.
- Error dengan tampil incompatible component dengan perbaikan sama mempergunakan fluid package lainnya yang cocok untuk komponent dalam list tersebut.

Reaction

Dari **simulation basis manager** klik bagian **Reactions** kemudian klik **Add Rxn**, maka akan muncul tipe dari reaksi.

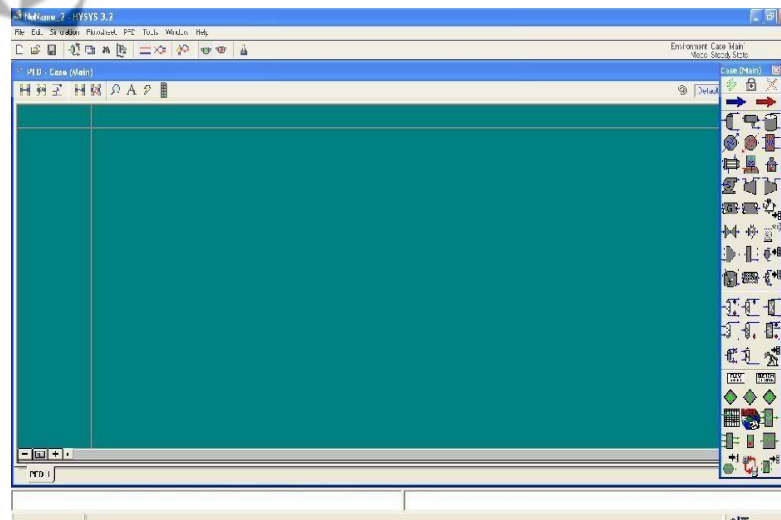


Gambar 2. 6. Reactions

(Sumber Hartono, 2012)

Hysys menyediakan 5 macam tipe reaksi yaitu Conversion, Equilibrium, Kinetic, Heterogen Catalytic dan Simple Rate

3. Kemudian Press *Enter Simulation Environment*, maka muncul jendela *PFD (Process Flow Diagram)* yang akan dipergunakan untuk menggambarkan process yang akan disimulasikan dengan Hysys. Pada bagian kanan muncul pula unit-unit process yang tersedia di program simulator Hysys ini.



Gambar 2. 7. Process Flow Diagram

(Sumber : Hartono (2012)

4. Aliran massa dan energi

Aliran massa dipergunakan untuk mengetahui kondisi dari komponen-komponen yang ada dalam aliran tersebut pada tekanan (P) dan temperatur (T) yang terjadi pada aliran tersebut. Pada aliran tersebut dapat diset P dan T atau fraksi mol dan tekanan (P).

Contoh kasus air (H_2O) pada tekanan 1 atm bila temperatur $50^{\circ}C$ maka tidak terdapat fasa uap bila pada temperature $110^{\circ}C$ akan diperoleh seluruhnya berfasa uap.

Tanda panah dibawah ini menunjukkan kondisi dari data yang dimasukkan. Bila berwarna biru muda maka data aliran belum lengkap dan biru tua menandakan data telah lengkap.

Data yang diberikan ke aliran belum lengkap



Data yang diberikan ke aliran telah lengkap



| Worksheet | Stream Name | 1 | Vapour Phase |
|-----------------|---------------------------------------------|-------------|--------------|
| Conditions | Vapour / Phase Fraction | 1.0000 | 1.0000 |
| Properties | Temperature [C] | 105.0 | 105.0 |
| Properties | Pressure [kPa] | 100.0 | 100.0 |
| Compositor | Molar Flow [kgmole/h] | 111111 | 111111 |
| K Value | Mass Flow [kg/h] | 900.8 | 900.8 |
| Use Variables | Std. Ideal Liq Vol Flow [m ³ /h] | 0.9026 | 0.9026 |
| Notes | Molar Entropy [kJ/kgmole-C] | -2.384e+005 | -2.384e+005 |
| Cool Parameters | Heat Flow [kJ/h] | 1.192e+007 | 1.192e+007 |
| | Liq Vol Flow @Std Cond [m ³ /h] | 0.8876 | 0.8876 |
| | Fluid Package | Basis-1 | |

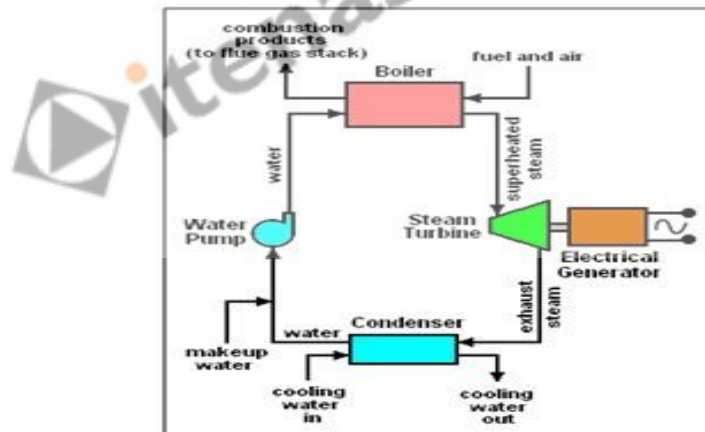
Gambar 2. 8. worksheet

(Sumber : Hartono,2012)

2.7. Termodinamika Pembangkit Listrik Prinsip Kerja PLTU

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan suatu siklus yang terdiri dari komponen – komponen peralatan utama yang dihubungkan untuk menghasilkan karakteristik termodinamika yang optimum seperti temperatur, tekanan, dan kapasitas massa uap yang diintegrasikan untuk menghasilkan listrik yang dibutuhkan. Komponen sebuah PLTU biasa terdiri dari turbin, generator, *boiler*, kondenser, dan pompa air umpan. Proses konversi energi pada PLTU berlangsung melalui 3 tahapan, yaitu : (cahyadi, 2015)

- a. Energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas dalam bentuk uap bertekanan dan temperatur tinggi didalam *boiler*.
- b. Energi panas (uap) diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk Putaran dalam turbin
- c. Energi mekanik diubah menjadi energi listrik pada generator.



Gambar 2. 9. Skema Pemngkit listrik tenaga uap

(Sumber : Cahyadi,2015)

PLTU menggunakan fluida kerja air uap yang bersirkulasi secara tertutup. Siklus tertutup artinya menggunakan fluida yang sama secara berulang-ulang. Urutan sirkulasi secara singkat adalah sebagai berikut :

Pertama, air diisikan ke *boiler* hingga mengisi penuh seluruh luas permukaan pemindah panas. Didalam *boiler* air ini dipanaskan dengan gas panas hasil pembakaran bahan bakar dengan udara sehingga berubah menjadi uap.

Kedua, uap hasil produksi *boiler* dengan tekanan dan temperatur tertentu diarahkan untuk memutar turbin sehingga menghasilkan daya mekanik berupa putaran.

Ketiga, generator yang dikopel langsung dengan turbin berputar menghasilkan energi listrik sebagai hasil dari perputaran medan magnet dalam kumparan, sehingga ketika turbin berputar dihasilkan energi listrik dari terminal output generator

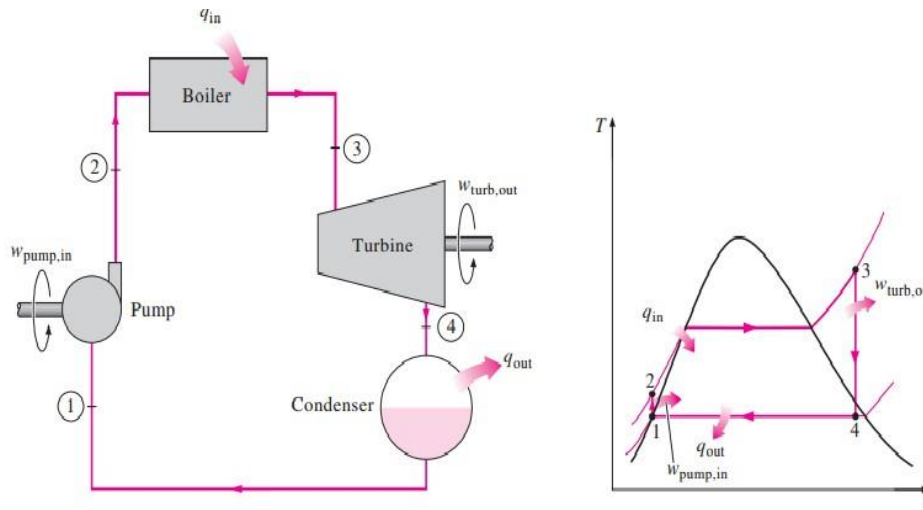
Keempat, uap bekas keluar turbin masuk ke kondensor untuk didinginkan dengan air pendingin agar berubah kembali menjadi air yang disebut air kondensat. Air kondensat hasil kondensasi uap kemudian digunakan lagi sebagai air pengisi *boiler*.

Demikian siklus ini berlangsung terus menerus dan berulang-ulang.

2.7.1. Siklus Rankine Sederhana

Pada instalasi pembangkit daya dengan memanfaatkan uap bertekanan tinggi untuk menggerakkan turbin uap digunakan suatu acuan siklus kerja yang menjadi dasar dari pengoperasian instalasi tersebut. Siklus kerja yang digunakan pada PLTU adalah siklus *rankine*, ciri utama siklus *rankine* adalah fluida kerja yang digunakan yaitu air.

Siklus *Rankine* merupakan siklus ideal untuk pembangkit daya uap. Pada siklus *rankine* ideal sederhana terdiri dari 4 proses yang dapat dilihat pada gambar diagram T-s dibawah ini: Pada proses 1-2 terjadi kompresi isentropik yang terjadi di dalam pompa, hal ini mengakibatkan tekanan fluida kerja menjadi naik. Pada proses 2-3 terjadi penambahan panas dengan tekanan konstan di dalam *boiler*. Pada proses 3-4 terjadi ekspansi isentropik di dalam turbin yang menyebabkan tekanan menjadi turun. Pada proses 4-1 terjadi pembuangan panas ke lingkungan oleh kondensor pada tekanan konstan.



Gambar 2. 10. Siklus Rankine Sederhana

(Sumber : Cahyadi,2015.)

Analisa Termodinamika Siklus Rankine Ideal

Untuk menganalisa pada siklus rankine ideal/sederhana maka dapat di lakukan beberapa proses yaitu:

- a. Proses 1 – 2 adalah proses kompresi isentropik atau kerja pompa

$$w_p = h_2 - h_1 = v_1 \times (P_2 - P_1) \dots \dots \dots (2.17.)$$

Dan

$$h_2 = h_1 + w_p \dots \dots \dots (2.18.)$$

Dimana $h_1 = h_f$ dan $v_1 = v_f$ diperoleh dari tabel uap air berdasarkan pada tekanan titik 1.

- b. Proses 2 – 3 adalah proses penambahan panas pada tekanan konstan dalam ketel uap

$$q_{in,boiler} = h_3 - h_2 \dots \dots \dots (2.19.)$$

- c. Proses 3 – 4 adalah proses kerja ekspansi isentropik atau kerja keluaran turbin.

$$w_{T,1} = h_3 - h_4 \dots \dots \dots (2.20.)$$

- d. Proses 4 – 1 adalah proses pelepasan panas pada tekanan konstan dalam kondensor

$$q_{out} = h_4 - h_1 \dots \dots \dots (2.21.)$$

e. Sementara untuk menentukan efisiensi thermal siklus dapat ditentukan:

$$\eta_{Th} = \frac{w_{net}}{q_{in,net}} = \frac{WT - Wp}{q_{in}} \dots \dots \dots (2.22.)$$

e. Laju Aliran massa uap

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}_{net}}{w_{net}} \dots \dots \dots (2.23.)$$

Atau :

$$\dot{W}_{net} = \dot{m} \times w_{net}$$

f. Laju Suplai Bahan Bakar Batu Bara yang telah digunakan

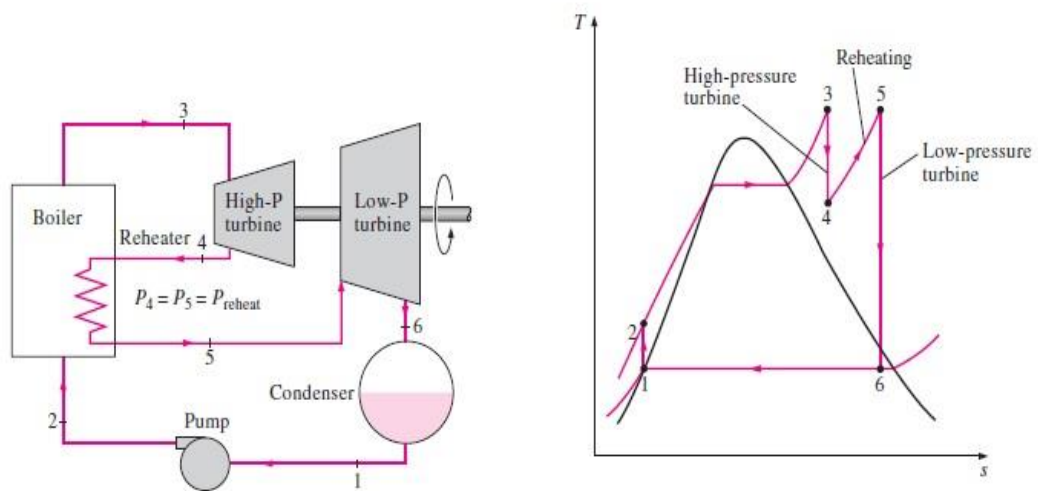
$$\dot{m} = \frac{Q_i}{c_{batu\ bara}} \dots \dots \dots (2.24.)$$

Untuk harga Q_{in} :

$$Q_{in} = \frac{w_{net}}{\eta_{overall}} \dots \dots \dots (2.25.)$$

2.7.2. Siklus Rankine Reheat Ideal

Pada siklus Rankine *reheat* ideal terjadi 2 kali proses ekspansi. Pada ekspansi pertama (*high-pressure turbine*), uap diekspansikan secara isentropik ke tekanan medium dan dikirimkan kembali ke *boiler* untuk dipanaskan kembali dengan tekanan konstan. Lalu pada proses ekspansi ke kedua (*low-pressure turbine*) uap diekspansikan secara isentropik ke tekanan kondenser.



Gambar 2. 11. Siklus Rankine Reheat Ideal

(Sumber : Cahyadi,2015)

Penggunaan dari pada *reheat* tunggal pada pembangkit listrik modern menaikkan efisiensi siklus menjadi 4 sampai 5 persen dengan cara meningkatkan suhu rata-rata uap yang ditransferkan kembali.

Siklus *reheat* diperkenalkan pada pertengahan tahun 1920, tapi kemudian ditinggalkan pada tahun 1930an karena tingkat kesulitan yang tinggi dalam pengoperasiannya. Karena kenaikan tekanan *boiler* yang stabil seiring berkembangnya waktu maka siklus *reheat* tunggal kembali diperkenalkan pada tahun 1940 an dan *reheat* ganda pada awal tahun 1950an.

Analisa Termodinamika Siklus *Rankine reheat Ideal*

Untuk menganalisa pada siklus rankine ideal/sederhana maka dapat di lakukan beberapa proses yaitu:

- a. Proses 1 – 2 adalah proses kompresi isentropik atau kerja pompa

$$w_p = h_2 - h_1 = v_1 \times (P_2 - P_1) \dots \dots \dots (2.26.)$$

Dan

$$h_2 = h_1 + w_p \dots \dots \dots (2.27.)$$

Dimana $h_1 = h_f$ dan $v_1 = v_f$ diperoleh dari tabel uap air berdasarkan pada tekanan titik 1.

b. Proses 2 – 3 adalah proses penambahan panas pada tekanan konstan dalam ketel uap

$$q_{in,boiler} = h_3 - h_2 \dots \dots \dots (2.28.)$$

c. Proses 3 – 4 adalah proses kerja ekspansi isentropik atau kerja keluaran turbin.

$$w_{T,1} = h_3 - h_4 \dots \dots \dots (2.29.)$$

d. Proses 4 – 5 adalah proses pemanasan ulang pada tekanan konstan pada *reheater*

$$q_{reheater} = h_4 - h_5 \dots \dots \dots (2.30.)$$

e. Proses 5 – 6 adalah proses kerja ekspansi isentropik atau kerja keluaran turbin tingkat II (tekanan rendah)

$$w_{T,2} = h_5 - h_6 \dots \dots \dots (2.31.)$$

f. Proses 6 – 1 adalah proses pelepasan panas pada tekanan konstan dalam kondensor.

$$q_{out} = h_6 - h_1 \dots \dots \dots (2.32.)$$

2.7.3. Siklus Rankine Regeneratif ideal

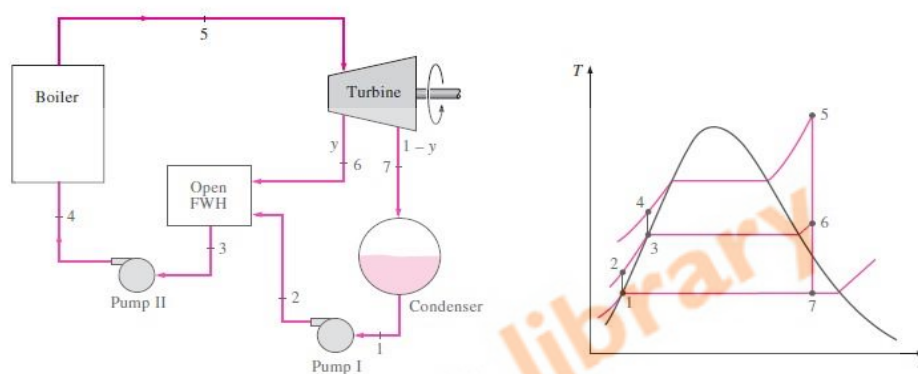
Salah satu cara untuk menaikkan efisiensi siklus adalah dengan meningkatkan suhu air (*feedwater*) sebelum masuk ke dalam *boiler*. Salah satu cara menaikkan suhu ini adalah dengan mengirimkan panas ke *feedwater* dari uap ekspansi turbin yang dialirkan kembali sebagian yang disebut dengan proses regenerasi.

Proses regenerasi pada pembangkit tenaga uap didapatkan dari ekstraksi uap dari turbin pada titik atau *stages* tertentu. Uap ini digunakan untuk memanaskan *feedwater*. Alat untuk memanaskan *feedwater* pada regenerasi disebut dengan *feedwater heater*. Proses regenerasi tidak hanya berfungsi untuk menaikkan efisiensi

siklus, tapi juga dapat melakukan proses deaerasi (membuang kandungan gas pada air) pada *feedwater* yang akan mencegah korosi pada *boiler*.

- ***Open Feedwater Heaters***

Open Feedwater Heaters pada dasarnya adalah *mixing chambers*, dimana uap hasil ekstraksi dari turbin dicampur dengan *feedwater*. Skema dari pembangkit listrik tenaga uap dengan satu *open feedwater heater* dan diagram T-s ditunjukkan oleh gambar 2.5 berikut ini :



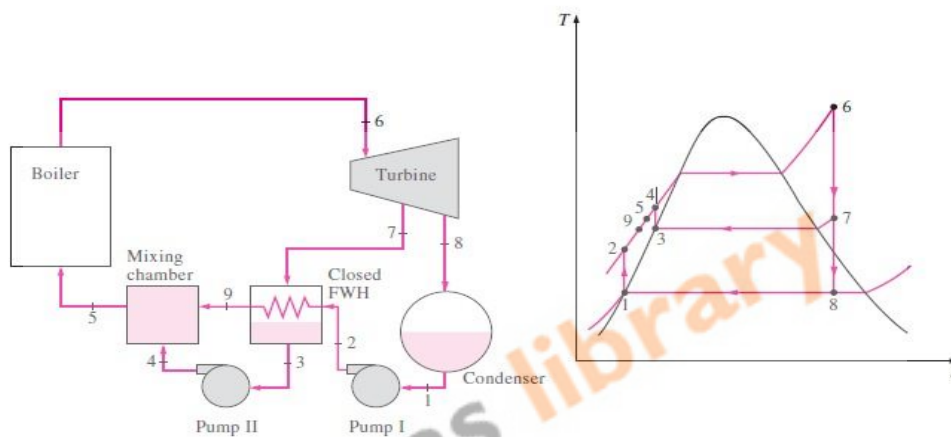
Gambar 2. 12. Siklus Rankine Regeneratif dengan Open Feedwater Heater

(Sumber : Cahyadi,2015)

Pada siklus regeneratif Rankine ideal, uap masuk ke turbin pada tekanan *boiler* (kondisi 5) dan diekspansikan secara isentropik ke tekanan medium (kondisi 6). Beberapa uap akan diekstraksi dan dikirim kembali ke *feedwater heater*, sementara uap yang tersisa diekspansikan lanjut secara isentropik ke tekanan kondenser (kondisi 7). Air kondensasi yang juga disebut dengan *feedwater* dipompakan kembali ke *feedwater heater*, dimana disana akan dicampur dengan uap ekstraksi dari turbin. Fraksi dari uap ekstraksi meninggalkan *heater* sebagai uap saturasi pada tekanan *heater* (kondisi 3). Pompa kedua meningkatkan tekanan air hingga mencapai tekanan *boiler* (kondisi 4). Siklus berakhir dengan dipanaskan air pada *boiler* hingga kondisi masuk turbin (kondisi 5).

- **Closed Feedwater Heaters**

Tipe *feedwater* heater lainnya yang biasa digunakan adalah *Closed Feedwater Heaters*, dimana panas yang ditransfer dari uap ekstraksi ke *feedwater* tanpa dicampur terlebih dahulu. Kedua aliran dapat berada pada tekanan yang berbeda karena mereka tidak bercampur. Skema dari pembangkit listrik tenaga uap dengan satu *closed feedwater heater* dan diagram T-s dari siklus ditunjukkan oleh gambar 2.6 berikut ini:



Gambar 2. 13. Siklus Rankine Regeneratif dengan Closed Feedwater Heater

(Sumber : Cahyadi,2015)

Pada *Closed Feedwater Heater* yang ideal, *feedwater* dipanaskan hingga suhu keluar dari uap ekstraksi, dimana idealnya meninggalkan *heater* sebagai cairan jenuh pada tekanan ekstraksi. Pada sistem pembangkit tenaga aktual, *feedwater* meninggalkan *heater* dibawah suhu keluar dari uap ekstraksi karena perbedaan suhu beberapa derajat diperlukan untuk efektifitas perpindahan panas. Uap kondensasi baik yang dipompakan ke aliran *feedwater* maupun dikembalikan lagi ke *heater* lainnya atau ke kondenser disebut dengan trap. Trap dapat membuat cairan dipompakan ke tekanan yang lebih rendah.

Analisa Termodinamika Preheater atau Regenerative Pada Siklus Rankine

Cara meningkatkan efisiensi siklus rankine yang kedua adalah dengan

menggunakan *preheater* atau pemanasan awal dari fluida kerja sebelum ia masuk ke *boiler*. Cara ini disebut dengan *Regenerative Rankine Cycle*.

Sumber panas yang digunakan untuk *preheater* berasal dari uap air yang diambil dari turbine uap pada *stage* tertentu (*Extraction Steam*). Uap panas ini dialirkan melewati pipa menuju ke *heat exchanger* dan bertemu dengan air kondensat atau *feed water*. Air kondensat yang keluar dari kondensor dipompa oleh pompa ekstraksi kondensat menuju *heat exchanger* tersebut.

Ada dua macam proses perpindahan panas yang terjadi, yang otomatis ada dua jenis juga *heat exchanger* yang biasa digunakan. Yang pertama adalah tipe *Open Feed Water Heater*, yang mana tipe ini bersifat terbuka, perpindahan panas secara konveksi, *extraction steam* akan bertemu dan bercampur langsung dengan fluida kerja di sebuah wadah tertentu. Kelemahan sistem ini adalah tidak dapat digunakan apabila antara *extraction steam* dengan fluida kerja terdapat perbedaan tekanan yang terlalu besar, tetapi memiliki kelebihan dalam sisi ekonomis dan perpindahan panas yang maksimal karena kedua media bertemu secara langsung.



Gambar 2. 14. *Heat Exchanger* yang digunakan pada Siklus Rankine dengan *Regenerative Open Feed Water Heater*

(Sumber : Cahyadi,2015)

Massa aliran fluida pada setiap komponen menjadi berbeda karena adanya *extraction steam*. Apabila 1 kg uap air masuk ke turbin, dan y kg

menjadi *extraction steam*, dan $(1-y)$ kg berlanjut menuju ke *boiler*, maka kita dapat menghitung kerja output dan kalor masuk sebagai berikut:

Jika $q = Q / m$; maka:

Heat Input:

$$q_{in} = h_5 - h_4 \dots\dots\dots(2.33.)$$

Heat Output:

$$q_{out} = (1 - y)(h_1 - h_7)\dots\dots\dots(2.34.)$$

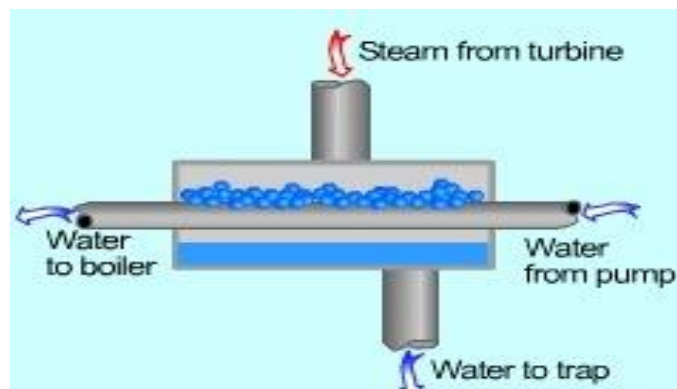
Work Output:

$$W_{turb,out} = (h_5 - h_6) + (1 - y)(h_6 - h_7)\dots\dots\dots(2.35.)$$

Work input:

$$W_{pump,in} = (1 - y)(h_2 - h_1) + (h_4 - h_3)\dots\dots\dots (2.36.)$$

Tipe yang kedua adalah tipe tertutup (*Close Feed Water Heater*), yang mana di dalamnya terjadi perpindahan panas secara konduksi, uap air pada sisi *shell* dan fluida kerja di sisi pipa. Tipe ini dapat digunakan apabila kedua media dalam kondisi perbedaan tekanan yang besar, namun kelemahannya adalah harga yang lebih mahal serta perpindahan panas yang lebih kecil karena kedua media tidak bertemu secara langsung.



Gambar 2. 15. *Heat Exchanger* yang digunakan pada Siklus Rankine dengan *Regenerative Close Feed Water Heater*

(Sumber : Cahyadi,2015)

Sama dengan *Open Feed Water Heater* apabila 1 kg uap air masuk ke turbin, dan y kg menjadi *extraction steam*, dan $(1-y)$ kg berlanjut menuju ke *boiler*, maka kita dapat menghitung kerja output dan kalor masuk sebagai berikut:

Heat Input:

$$q_{in} = h_4 - h_3 \dots\dots\dots(2.37.)$$

Heat Output:

$$q_{out} = (1 - y)(h_1 - h_6) + y(h_8 - h_1)\dots\dots\dots(2.38.)$$

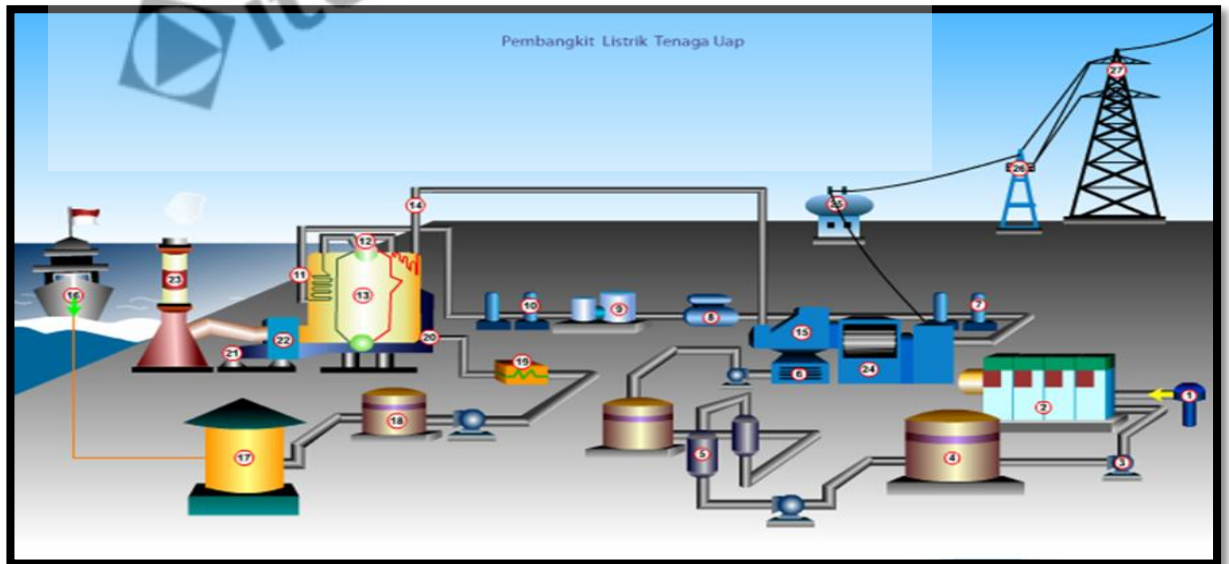
Work Output:

$$W_{turb,out} = (h_4 - h_5) + (1 - y)(h_5 - h_6)\dots\dots\dots(2.39.)$$

Work input:

$$W_{pump,in} = (h_2 - h_1)\dots\dots\dots(2.40.)$$

2.7.4. Komponen dari PLTU



Gambar 2. 16. PLTU terdiri dari beberapa bagian utama
(Sumber : Yusuf Fernando Simamora Rizky,2015)

PLTU batubara secara umum terdiri dari bagian – bagian sebagai berikut :

1. Cooling tower
2. Cooling water pump
3. Transimission line 3 phase
4. Transformer 3-phase
5. Generator Listrik 3-phase
6. Low pressure turbine
7. *Boiler* feed pump
8. Condenser
9. Intermediate pressure turbine
10. Steam governor valve
11. High pressure turbine
12. Deaerator
13. Feed heater
14. Conveyor batubara
15. Penampung batubara
16. Pemecah batubara
17. Tabung *Boiler*
18. Penampung abu batubara
19. Pemanas
20. Forced draught fan
21. *Preheater*
22. combustion air intake
23. Economizer
24. Air *preheater*
25. Precipitator
26. Induced air fan
27. Cerobong

2.7.5. Prinsip Kerja PLTU

Prinsip kerja PLTU batubara secara singkat adalah sebagai berikut :

1. Batubara dari luar dialirkan ke penampung batubara dengan conveyor, kemudian dihancurkan dengan pemecah batu bara, sehingga menjadi tepung batubara.
2. Kemudian batubara halus tersebut dicampur dengan udara panas oleh forced draught fan sehingga menjadi campuran udara panas dan bahan bakar (batu bara).
3. Dengan tekanan yang tinggi, campuran udara panas dan batu bara disemprotkan kedalam *Boilerc* sehingga akan terbakar dengan cepat seperti semburan api.
4. Kemudian air dialirkan keatas melalui pipa yang ada dinding *Boiler*, air tersebut akan dimasak dan menjadi uap, dan uap tersebut dialirkan ke tabung *boiler* untuk memisahkan uap dari air yang terbawa.
5. Selanjutnya uap dialirkan ke superheater untuk melipatgandakan suhu dan tekanan uap hingga mencapai suhu 570°C dan tekanan sekitar 200 bar yang menyebabkan pipa ikut berpijar merah.
6. Uap dengan tekanan dan suhu yang tinggi inilah yang menjadi sumber tenaga turbin tekanan tinggi yang merupakan turbin tingkat pertama dari 3 tingkatan.
7. Untuk mengatur turbin agar mencapai set point, kita dapat menyeting steam governor valve secara manual maupun otomatis.
8. Suhu dan tekanan uap yang keluar dari Turbin tekanan tinggi akan sangat berkurang drastis, untuk itu uap ini dialirkan kembali ke *boiler* re-heater untuk meningkatkan suhu dan tekanannya kembali.
9. Uap yang sudah dipanaskan kembali tersebut digunakan sebagai penggerak turbin tingkat kedua atau disebut turbin tekanan sedang dan keluarannya langsung digunakan untuk menggerakkan turbin tingkat 3 atau turbin tekanan rendah.

10. Uap keluaran dari turbin tingkat 3 mempunyai suhu sedikit diatas titik didih, sehingga perlu di alirkan ke condensor agar menjadi air untuk dimasak ulang.
11. Air tersebut kemudian dialirkan melalui deaerator oleh feed pump untuk dimasak ulang. awalnya dipanaskan di feed heater yang panasnya bersumber dari high pressure set, kemudian ke economiser sebelum di kembalikan ke tabung *boiler*.
12. Sedangkan Air pendingin dari condensor akan di semprotkan kedalam cooling, dan inilah yang meyebabkan timbulnya asap air pada cooling tower. kemudian air yang sudah agak dingin dipompa balik ke condensor sebagai air pendingin ulang.
13. Ketiga turbin di gabung dengan shaft yang sama dengan generator 3 phase, Generator ini kemudian membangkitkan listrik tegangan menengah (20-25 kV).
14. Dengan menggunakan transformer 3 phase, tegangan dinaikkan menjadi tegangan tinggi berkisar 250-500 kV yang kemudian dialirkan ke sistem transmisi 3 phase.
15. Sedangkan gas buang dari *boiler* di isap oleh kipas pengisap agar melewati electrostatic precipitator untuk mengurangi polusi dan kemudian gas yg sudah disaring akan dibuang melalui cerobong. (Yusuf Fernando Simamora Rizky 2015)

2.8. Prinsip Perhitungan *Cycle tempo*

Cycle tempo memiliki *closed* dan *open system* dalam kombinasi sistemnya. Penomoran yang urut diperlukan dalam mempersiapkan *input* data untuk semua skema proses dari pipa dan *apparatus* agar mudah untuk diidentifikasi dan urutan siklus tidak terpecah. Prosedur perhitungan ini terdapat 7 tahapan yaitu:(Training Manual. *Cycle tempo* Version 5.1)

A. Langkah 1 : Pembacaan Awal

Dalam pembacaan awal yang perlu di perhatikan adalah

- a. Parameter yang menentukan ukuran dari sistem, seperti banyak *apparatus*, pipa, turbin, dll.
- b. Data *apparatus* yang lebih spesifik yang berada pada tiap *apparatus*.

c. *Topology* dari sistem yang menjelaskan program bagaimana pipa dapat terhubung dengan tiap *apparatus*.

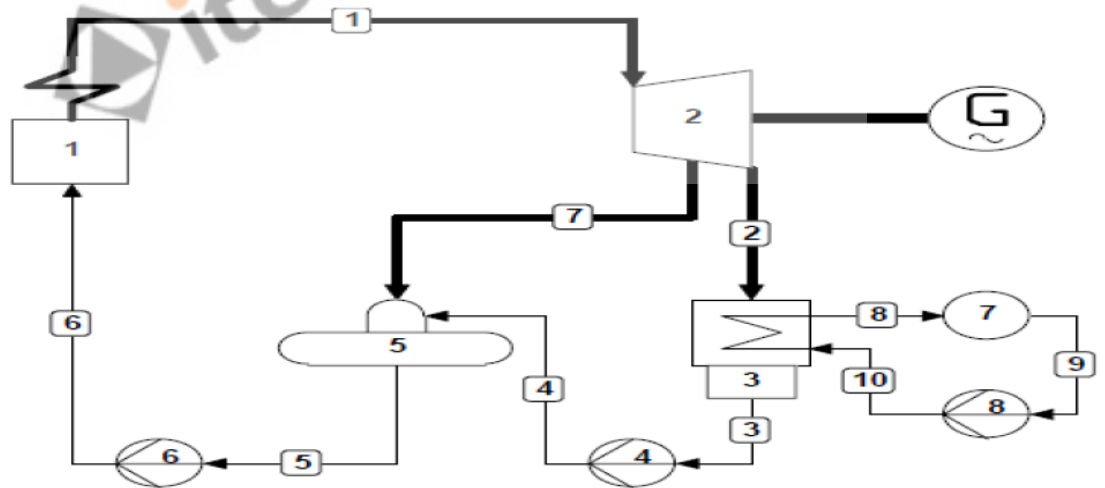
d. Medium data tiap pipa.

e. Pembacaan awal data pilihan yang menjelaskan data tambahan lain yang diperlukan dalam perhitungan

Dalam memasukkan *input* data diperlukan pengecekan tiap langkah dikarenakan untuk setiap langkah yang *error* pasti langsung terdapat pesan *error* dari *software* ini. Data-data tersebut harus dimasukkan agar mendapatkan hasil yang mendekati kondisi aktual dari pembangkit.

B. Langkah 2 : Pembuatan Sistem Matriks

Perhitungan dimulai dengan melakukan pembuatan sistem matriks untuk perhitungan aliran masa. Perhitungan ini dilakukan agar dapat menentukan jumlah aliran masa sebanding dengan jumlah pipa. Jumlah aliran masa dan jumlah pipa yang tidak sebanding mendapatkan *pesan error* dari program sehingga programmerhenti.



Gambar 2. 17. Contoh skema pembangkit dalam *Cycle tempo*

(Sumber : Training Manual. *Cycle tempo* Version 5.1)

C. Langkah 3 : *Input Data dan Apparatus*

Langkah yang dilakukan dalam *input data dan apparatus* adalah pembuatan skema sistem pembangkit terlebih dahulu. Proses *input data* awal pada tiap *apparatus* dapat dilakukan setelah membangun skema agar membantu perhitungan sistem.

D. Langkah 4 : *Penyelesaian Sistem Matriks*

Pada *Cycle tempo* digunakan hukum eliminasi *Gauss*. Perhitungan *enthalpy* di substitusi menggunakan perhitungan analisis energi untuk mendapatkan aliran masa pada sistem.

E. Langkah 5 : *Menentukan Karakteristik Aliran Massa*

Langkah untuk menentukan karakteristik dari iterasi utama adalah dengan menentukan jumlah pipa dengan aliran masa. Jika kondisi tersebut sudah terpenuhi, maka aliran masa yang terakhir dihitung adalah hasil dari system tersebut. Kondisi ini kembali ke langkah 2 bila kondisi tersebut tidak *convergent*.

F. Langkah 6 : *Perhitungan p, T, dan h*

Pressure, temperature, dan enthalpy yang belum diketahui pada langkah 3 *input data dan apparatus* memerlukan pengecekan dari setiap *apparatus* pada langkah 5. Program yang berhasil *running* dapat dilihat pada pesan "*Data for all Pipes*" untuk mengetahui:

- a) Aliran Massa
- b) Tekanan masuk dan keluar
- c) Temperatur masuk dan keluar
- d) *Enthalpy* masuk dan keluar

G. Langkah 7 : *Output*

Output dari *Cycle tempo* dapat ditentukan melalui *running* skema yang sudah *convergent* dengan membuka "*system efficiencies*" pada *Cycle Ttempo*. Hasil yang didapatkan dari langkah tersebut adalah daya dari efisiensi *netto* serta *gross*.

H. Hasil dari Diagram Alir

Setelah data yang diperoleh dimasukkan dalam tiap apparatus dan hasil dari diagram alir tersebut dapat *run* tanpa terjadi *error* dalam memasukkan data maka hasil yang didapat dari pembuatan diagram alir tersebut diantaranya sebagai berikut:

1. Efisiensi Sistem

Efisiensi sistem yang diperoleh meliputi:

- a) *input energy*
- b) *energy consumption*
- c) *power production*
- d) *heat production*

2. Energy Balance

- a) *Energy balance* yang diperoleh meliputi:
- b) aju aliran energi dalam *enthalpy*
- c) laju aliran energi dari total energi saat *environtal condition (water asliquid)* ditambahkan *higher heating value*
- d) laju aliran energi dari total energi saat *environtal condition (water as vapor)* dikurangi *lower heating value*

3. Composition of Fluids

Composition of Fluids diperoleh bila perhitungan data GASMIX dan FUEL dimasukkan dalam *apparatus*.

4. Heating Value

Heating Value ini juga didapat bila perhitungan data GASMIX dan FUEL dimasukkan dalam *apparatus*.

- a) **Data untuk semua pipa**
- b) *Losses in Pipes*
- c) *Energy and Exergy flows*
- d) *Exergy Values in the System*
- e) *Rotating Equipment*
- f) **Motor dan Generator**
- g) *Heat Exchanging Equipment*