



Added Value of Energy Resources

# Seminar Nasional

# AVOER

Added Value of Energy Resources

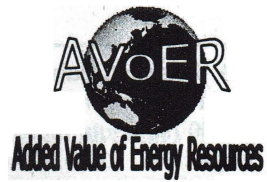
Prosiding

Palembang, 21 Mei 2008



ISBN : 979-587-316-4

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SRIWIJAYA



## **SEMINAR NASIONAL ENERGI**

# **AVOER**

Added Value of Energy Resources

# **PROSIDING**

**Palembang, 21 Mei 2008**

**Gedung Pascasarjana, UNSRI**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SRIWIJAYA**



**Kelentuan Pidana**  
**Kutipan Pasal 72 Undang-Undang Republik Indonesia**  
**Nomor 19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta**

- Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan sebagaimana dimaksud dalam pasal 2 ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp. 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).
- Barang dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau hak terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

**PENANGGUNG JAWAB :**

**Ketua Unit Penelitian dan Pengabdian Masyarakat**  
**Fakultas Teknik Unsri**

**PENYUNTING**

**DINAR DA PUTRANTO**  
**YOHANES ADIYANTO**  
**BETTY SUSANTI**  
**RHAPTYALYANI**  
**SALOMAH**

---

# **PROSIDING**

## **SEMINAR NASIONAL ENERGI**

### **Added Value of Energy Resources (AVoER)**

---



Hak penerbitan pada Penerbit Universitas Sriwijaya

---

Cetakan Pertama, Mei 2008

---

Desain Cover : *Dinar DA Putranto, Yohanes Adiyanto*

x + 302 hlm, illus: 29,7 cm.

**ISBN: 979-587-316-4**

---

Dicetak di Percetakan Universitas Sriwijaya

Isi diluar tanggung jawab percetakan

# KATA PENGANTAR

Kebijakan pemerintah yang dituangkan dalam kebijakan Nasional tentang Energi hingga tahun 2025, telah mengarahkan pengelolaan sumberdaya alam tak terbarukan seperti bahan tambang, mineral dan sumber daya energi diarahkan untuk tidak dikonsumsi secara langsung, melainkan diperlakukan sebagai input untuk proses produksi berikutnya yang dapat menghasilkan nilai tambah yang optimal. Outputnya diarahkan untuk dijadikan sebagai modal kumulatif. Hasil atau pendapatan yang diperoleh dari kelompok SDA ini diarahkan untuk percepatan pertumbuhan ekonomi dengan diinvestasikan pada sektor-sektor lain yang produktif, juga untuk upaya reklamasi, konservasi, dan memperkuat pendanaan dalam pencarian sumber-sumber energi alternatif dan atau bahan substitusi yang terbarukan seperti biomassa, biogas, mikro hidro, energi matahari, arus laut, dan tenaga angin yang lebih ramah lingkungan.

Atas dasar tersebut, dalam mendukung Provinsi Sumatera Selatan sebagai Lumbung Energi Nasional, Universitas Sriwijaya, melalui Fakultas Teknik ingin memberikan sumbangsih pemikiran dengan mengajak para peneliti, lembaga swasta dan pemerintah yang peduli terhadap masalah Energi untuk memaparkan hasil pemikirannya, dari penelitian, studi pustaka maupun kajian yang dapat memberikan kontribusi positif terhadap masalah energi di Indonesia.

Akhir kata, panitia mengucapkan terimakasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah mendukung kegiatan ini, terutama ditujukan kepada : Pemerintah Provinsi Sumatera Selatan, PT. Pertamina, PT. Bukit Asam, Rektor Universitas Sriwijaya dan Direktur Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya atas bantuannya demi terselenggarakannya kegiatan ini

Semoga prosiding ini dapat bermanfaat sebagai hasil kajian yang dapat digunakan sebagai referensi untuk mengambil kebijakan dalam mencari nilai tambah ekonomi bidang Energi di Indonesia.

**Panitia**



## SAMBUTAN

### DEKAN FAKULTAS TEKNIK, UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Seperti diketahui bersama, bahwa Sumatera Selatan telah ditetapkan sebagai Lumbung Energi Nasional dan melalui Kementerian Riset dan Teknologi, Universitas Sriwijaya ditetapkan untuk mengelola Rusnas Energi, yang bertujuan untuk mengembangkan teknologi maupun penelitian yang berkaitan dengan Energi.

Berbagai upaya pemanfaatan teknologi telah digariskan dalam roadmap energi (2005 - 2025), yang bertujuan untuk :

- (1) Terwujudnya energi (primer) mix yang optimal
- (2) Peranan minyak bumi menurun menjadi 26,2% pada tahun 2025
- (3) Peranan gas bumi meningkat menjadi 30,6% pada tahun 2025
- (4) Peranan batubara meningkat menjadi 32,7% pada tahun 2025
- (5) Pemanfaatan brown coal
- (6) Coal Liquefaction
- (7) Briket Batubara

Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2005 – 2025, telah menempatkan peranan batu bara yang makin meningkat. Adapun sasaran Energi Mix Nasional untuk tahun 2025 (skenario optimalisasi) telah menargetkan sumbangan batubara mencapai 32,7%, dibandingkan dengan tahun 2003 yang hanya menyumbang sebesar 14,1%.

Dalam kaitan tersebut, beberapa strategi kebijakan dalam mencari nilai tambah dibidang energi seperti penerapan DMO (domestic market obligation) terhadap batubara, dengan memberikan insentif ekonomi untuk mendorong pasokan dan penggunaan dalam negeri termasuk fuel liquefaction, upgrading brown coal (UBC) dan gasifikasi batubara serta teknologi batubara bersih lainnya, pengembangan IPTEK energi, aplikasi teknologi energi berbahan bakar ganda, antara lain batubara dengan energi lainnya, khususnya biomassa, teknologi barubara kalori rendah (Upgraded Brown Coal – UBC), Batubara cair (Coal Liquefaction), Integrated coal gasification, dan Coal bed methane, telah menempatkan peranan teknologi dalam memenuhi kebijakan tersebut.

Atas kebijakan tersebut, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya mencoba mengambil langkah kongkrit dengan mengadakan seminar nasional dibidang energi dengan tema Added Value of Energy Resources (AVoER), yang diharapkan akan menghasilkan masukan dari berbagai latar belakang peneliti dalam makalahnya untuk memberikan sumbangan pemikiran dalam memenuhi kebijakan seperti yang telah digariskan dalam road map Energi hingga tahun 2025.

Kami mengucapkan terima kasih atas kehadiran dan keaktifan Bpk/Ibu sekalian dalam seminar ini, dan semoga makalah yang Bpk/ibu paparkan dapat memberikan sumbangan yang besar bagi pengembangan energi di Indonesia.

Dekan,

**DR. Ir. H. Hasan Basri**

## **SAMBUTAN**

### **REKTOR UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

Kebutuhan Energi di Indonesia semakin meningkat tajam, seiring dengan pertumbuhan penduduk dan keberhasilan pembangunan yang membutuhkan energi. Tingkat konsumsi energi yang semakin besar, membutuhkan ketersediaan sumberdaya energi yang semakin besar pula. Sementara produksi sumberdaya energi di Indonesia dari tahun ke tahun, belum mampu mengimbangi kebutuhan konsumsi energi, sehingga Indonesia selain sebagai produsen energi, juga menjadi negara yang mengimport energi. Disamping itu, harga energi dunia semakin meningkat, sehingga kebijakan energi di Indonesia yang masih memberlakukan subsidi, telah memberatkan keuangan negara.

Atas dasar tersebut, melalui forum ilmiah Added Value of Energy Resources (AVoER), kami ingin mengajak para peneliti, pemikir, dan pemerhati masalah energi, baik dari lembaga riset, lembaga peneliti, dari instansi pemerintah, perguruan tinggi, maupun swasta untuk mempresentasikan hasil pemikiran, penelitian, maupun kajian yang dapat memberikan masukan pada pemerintah dalam mengambil kebijakan untuk mencari nilai tambah di bidang Energi, sehingga akan meningkatkan kualitas dan kuantitas energi yang dapat meningkatkan nilai tambah di bidang energi.

Seminar Nasional Energi ini, diharapkan akan dapat memberikan sumbangan pemikiran yang dihimpun dari para peneliti, untuk diberikan kepada pemerintah, sekaligus sebagai dukungan Universitas Sriwijaya terhadap penetapan provinsi Sumatera Selatan sebagai Lumbung Energi dan Universitas Sriwijaya sebagai pengelola Rusnas Energi, bersama-sama dengan Kementerian Riset dan Teknologi.

Kami mengucapkan terima kasih atas kehadiran Bapak/Ibu sekalian, baik sebagai undangan ataupun para peneliti yang akan mempresentasikan hasil penelitian dan pemikirannya, yang kami harapkan akan memberikan sumbangsih yang sangat berarti di bidang energi, sekaligus diharapkan sebagai awal kebangkitan Indonesia di bidang Energi dalam menyambut peringatan 100 tahun Kebangkitan Nasional.

**Rektor,**

**Badia Perizade**



# DAFTAR ISI

## JUDUL PAPER

---

<b>DEVELOPMENT OF HIGH PERFORMANCE SYNTHETIC POLYMERIC MEMBRANCE FOR ENHACEMENT OF GQS SEPARATION PROCESSES</b> <i>AHMAD FAUZI ISMAIL</i>	1 - 17
<b>PENGARUH KONDISI OPERASI DAN BERAT KATALIS Cr/Mo ZEOLIT ALAM AKTIF TERSULFIDASI TERHADAP KALOR PEMBAKARAN DAN DENSITAS PRODUK HIDROCRACKING TIR BATUBARA</b> <i>ADDY RAHMAT, ZAINAL FANANI</i>	19 - 27
<b>PENGARUH DIAMETER CEROBONG DARI TUNGKU SERBUK GERGAJI TERHADAP PEMBAKARAN</b> <i>KAPRAWI</i>	28 - 34
<b>PENGARUH PUTARAN MOTOR DIESEL PADA KOIL PEMANAS TERHADAP LAJU KALOR YANG DISERAP DARI PEMANAS GAS BUANG MOTOR DIESEL UNTUK PEMANAS AIR</b> <i>ISMAIL THAMRIN</i>	35 - 42
<b>KINETIKA DALAM FLOTASI BATUBARA PADA SEL FLOTASI KOLOM BERDASARKAN UKURAN PARTIKEL</b> <i>RR. HARNUKE EKO HANDAYANI</i>	43 - 58
<b>PENGARUH KELENGKUNGAN SUDU POMPA SENTRIFUGAL TERHADAP TAHANAN GESEK</b> <i>KAPRAWI</i>	59 - 70
<b>EVALUASI KINERJA WASTE HEAT RECOVERY UNIT DI PT. PETROCHINA INTERNASIONAL JABUNG LTD</b> <i>MYSON, HASAN BASRI, YULI RODIAH, SRI AGUSTINA</i>	71 - 83
<b>STUDI PENDAHULUAN PEMANFAATAN LIMBAH PADAT HASIL PENGOLAHAN INDUSTRI KARET MENJADI BATAKO (Studi Kasus Pabrik Pengolahan Karet P.T.Badja Baru)</b> <i>ERNA YULIWATI</i>	84 - 93
<b>STUDY OF MIKRO-DISKGAS TURBINE SYSTEM USING HYDROGEN FUEL BRIKETDARI SERBUKGERGAJI DENGAN COAL FLYASH SEBAGAI PENGUAT</b> <i>SRI SUDADIYO</i>	94 - 98

# Evaluasi Kinerja Waste Heat Recovery Unit di PT. Petrochina Internasional Jabung Ltd

Myson<sup>1\*</sup>, Hasan Basri<sup>2</sup>, Yuli Rodiah<sup>3</sup>, Sri Agustina<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Mesin Stiteknas Jambi ,

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya,

<sup>3</sup> Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Bengkulu

<sup>4</sup> Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya

\*Koresponensi Pembicara. Email: [myson\\_ade@yahoo.com](mailto:myson_ade@yahoo.com)

## ABSTRACT

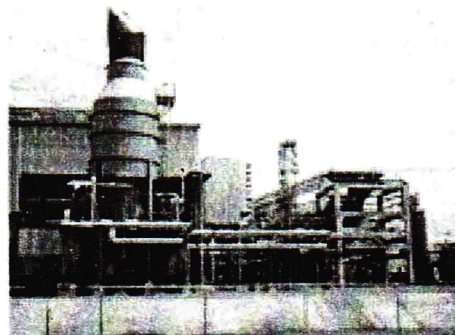
Sistem kogenerasi adalah produksi simultan listrik dan panas dalam satu sistem yang terintegrasi. Dengan melakukan evaluasi dan perhitungan kinerja WHRU pada PT Petrochina Jambi, panas yang dibutuhkan untuk pemanasan gas butane adalah 99.754,7 kkal/jam dan penghematan dengan menggunakan analisa exergy yaitu sebesar 153.768,7 Btu/jam. Peningkatan kinerja dibandingkan dengan efisiensi konvensional hanya 0,33%.

**Keywords:** Kogenerasi, pemanfaatan panas buangan, perpindahan panas

## 1. PENDAHULUAN

Salah satu langkah kebijakan energi yang paling tepat dilakukan untuk memanfaatkan sumber daya energi secara efisien adalah konservasi energi. Peluang konservasi energi dapat dilakukan diberbagai sektor seperti industri, rumahtangga, bangunan komersial, transportasi, listrik, dan bangunan pemerintah. Tingkat penghematan yang harus diperbesar adalah pada sektor industri mengingat penggunaan energi mencapai 40% dari total energi komersial. Berdasarkan penelitian Dirjen Listrik dan Energi, potensi penghematan yang cukup besar di sektor industri yaitu 5-10% tanpa investasi dan 10-30% dengan investasi .

Konservasi energi dapat dilakukan melalui kegiatan audit energi dan identifikasi potensi, perbaikan efisiensi proses, perbaikan efisiensi sarana dan perbaikan efisiensi peralatan. Langkah yang dapat dilakukan adalah optimasi pengoperasian proses dan sistem, perancangan sistem sarana dan peralatan yang berorientasi pada penggunaan energi secara hemat seperti perbaikan efisiensi, perawatan dan pemanfaatan panas buangan (*Waste Heat Recovery*, WHR) dan penggunaan kogenerasi.



**Gambar 1.** Unit Waste Heat Recovery PT. Petrochina



*Waste Heat Recovery Unit (WHRU)* merupakan unit pemanfaatan panas dari exhaust atau gas buang Turbin gas pada kegiatan eksplorasi minyak PT. Petrochina yang berlokasi di Betara Gas Plant Jabung. Unit ini dirancang dengan memperhitungkan bahwa panas dari exhaust turbin gas cukup besar (sekitar 980°F) yang dapat dimanfaatkan, dalam hal ini digunakan untuk pemanasan gas butane hasil eksplorasi untuk mempermudah pendistribusiannya.

Gas yang masuk ke WHRU :

- Regeneration gas (gas butane)
- Gas buang dari exhaust Turbin

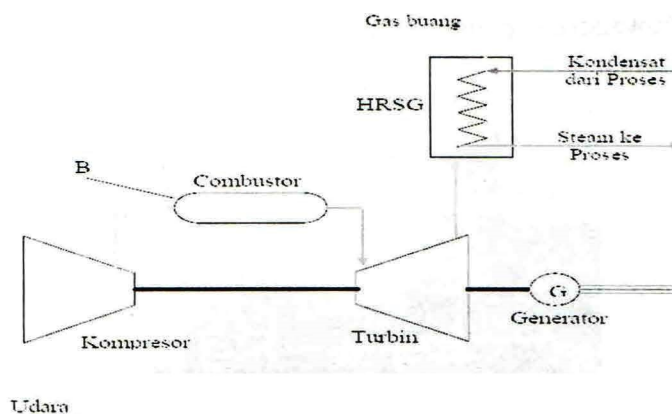
Dengan keberadaan unit WHRU sebagai peralatan pemanfaatan panas buang perlu evaluasi kinerja untuk mengetahui berapa jumlah panas gas buang turbin gas dimanfaatkan pada WHRU untuk memanaskan gas butane serta bagaimana penghematan yang telah dilakukan dengan memanfaatkan panas gas buang turbin gas ini.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Sistim kogenerasi adalah serangkaian atau pembangkitan secara bersamaan beberapa bentuk energi yang berguna (biasanya mekanikan dan termal) dalam satu sistim yang terintegrasi (M.M. El-Wakil, 1984). Sistim CHP (*Combined Heat Power*) terdiri dari sejumlah komponen individu - mesin penggerak/mesin panas (yang terdiri dari mesin reciprocating pembakaran atau turbin gas, turbin uap, turbin mikro dan sel bahan bakar), generator pemanfaatan kembali panas, dan sambungan listrik – tergabung menjadi suatu integrasi. Jenis peralatan yang menggerakkan seluruh sistim (mesin penggerak) mengidentifikasi secara khusus sistim CHPnya.

### Sistim Kogenerasi Turbin Gas

Sistim turbin gas beroperasi pada siklus termodinamika yang dikenal dengan siklus Brayton. Hampir seluruh sistim turbin gas yang tersedia saat ini, beroperasi pada siklus Brayton terbuka (siklus Joule) dimana kompresor mengambil udara dari atmosfer dan membawanya pada tekanan yang lebih tinggi ke pembakar. Suhu udara juga meningkat karena kompresi. Unit yang lebih tua dan lebih kecil beroperasi pada perbandingan tekanan sekitar 15:1 sementara unit yang lebih baru dan lebih besar beroperasi pada perbandingan tekanan mendekati 30:1.



Turbin Gas Kogenerasi Siklus Terbuka [2]

Udara dikirimkan melalui sebuah diffuser ke ruang pembakaran yang bertekanan konstan, dimana bahan bakar diinjeksi dan dibakar. Diffuser menurunkan kecepatan udara ke nilai yang dapat diterima dalam pembakar. Terdapat penurunan tekanan/ pressure drop di dalam pembakar sekitar 1,2%. Pembakaran berlangsung dengan udara berlebih. Gas buang keluar pembakar pada suhu tinggi dengan konsentrasi oksigen sampai 15-16%. Semakin tinggi suhu pada siklus ini, akan semakin tinggi efisiensi siklusnya. Batas atasnya ditentukan daya tahan material turbin terhadap suhu, juga oleh efisiensi sudu-sudu pendingin. Batasan suhu pada teknologi terbaru adalah sekitar 1300°C.

Gas buang yang bersuhu dan bertekanan tinggi ini menuju turbin gas menghasilkan kerja mekanis untuk menggerakkan kompresor dan beban (generator listrik). Gas buang meninggalkan turbin pada suhu yang cukup besar (450-600 ° C), yang ideal untuk dimanfaatkan kembali panas yang bersuhu tinggi.

### Pemanfaatan Panas Buangan

Panas buangan adalah panas hasil proses yang dibuang ke lingkungan padahal dapat dimanfaatkan secara ekonomis. Suhu gas buang tergantung jenis peralatan konversi dan bahan bakar yang digunakan. Pemanfaatan gas buang dinilai dari kualitas panas buangan tersebut. Kualitas panas buangan dapat dicari dengan persamaan :

$$Q = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Dimana:

- Q = panas yang terkandung
- V = volume alir
- $\rho$  = berat jenis gas buangan
- $C_p$  = panas jenis gas buangan
- $\Delta T$  = beda temperatur

Panas buangan dapat dimanfaatkan dengan teknik kogenerasi atau WHR. Pemanfaatan panas gas buang dapat mengurangi pemakaian sistem.

### Perpindahan Panas pada Jaringan Siklus

Perpindahan panas dalam jaringan siklus ditinjau dari kebutuhan panas minimum dan batas pendinginan. Dalam suatu jaringan setiap komponen perpindahan mempunyai interval temperatur berbeda yang dapat dimanfaatkan. Kebutuhan panas dalam siklus dapat dicari dengan rumus [4] :

$$Q_i = [ \sum (FC_p)_{hot,i} - FC_p)_{cold,i} ] \Delta T$$

### Perpindahan Panas Konduksi

Konduksi panas hanya dapat terjadi dalam suatu benda apabila ada bagian benda ini berada pada suhu yang tidak sama, dan arah alirannya selalu dari titik yang suhunya lebih rendah.

Kita katakan bahwa energi berpindah secara konduksi (*conduction*) atau hantaran dan bahwa lagi perpindahan kalor itu sebanding dengan gradien suhu normal

$$\frac{q}{A} = \frac{\partial T}{\partial x} \quad (\text{hukum Fourier})$$

jika dimasukkan konstanta proporsionalitas, maka :



$$q = -k.A.\frac{\partial T}{\partial x}$$

Dimana q adalah laju perpindahan kalor dan  $\frac{\partial T}{\partial x}$  merupakan gradien suhu kearah

perpindahan kalor. Konstanta positif k disebut konduktivitas atau kehantaran termal benda itu, sedangkan tanda minus diselipkan agar memenuhi hukum thermodynamika, yaitu kalor mengalir ketempat yang lebih rendah dalam skala suhu.

Analisis antara sistem termal ini dengan sistem listrik tidak jauh berbeda yaitu dengan membuat perbandingan

$$\frac{h.A}{\rho.c.v} = \frac{1}{R_{th}.C_{th}}$$

$$R_{th} = \frac{1}{h.A}$$

$$C_{th} = \rho.c.v$$

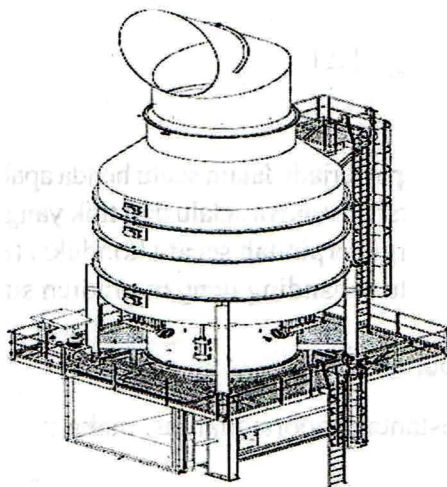
sama dengan  $\frac{1}{R_e.C_e}$ , dimana  $R_e$  ialah tahanan dan  $C_e$  adalah kapasitas. Aliran energi dalam

sistem termal disebut kalor, aliran muatan listrik disebut arus listrik. Besaran  $\frac{c.\rho.v}{h.A}$  disebut

konstanta waktu dan sistem itu, karena mempunyai dimensi waktu, jika  $\tau = \frac{c.\rho.v}{h.A}$

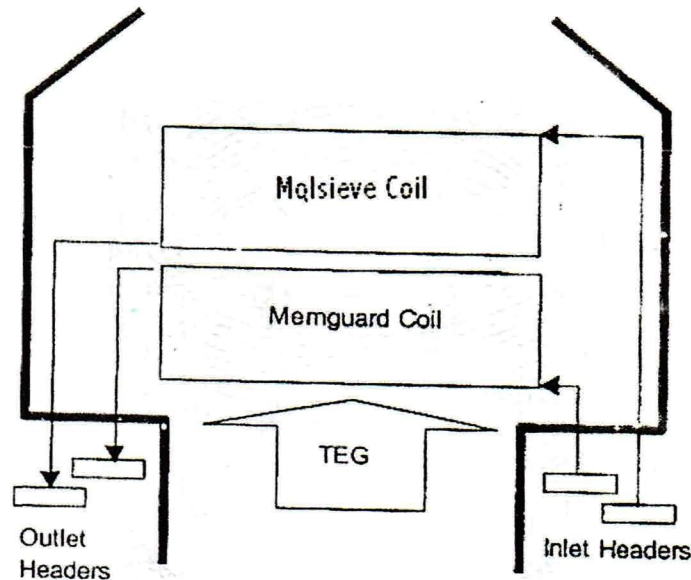
#### **Waste Heat Recovery Unit ( WHRU )**

*Waste Heat Recovery Unit ( WHRU )* merupakan alat yang memanfaatkan panas dari *exhaust* turbin untuk memanaskan *regeneration gas* yang akan dipakai untuk mengeringkan atau menghilangkan kandungan air (  $H_2O$  ) di *molsieve dryer* dan Hi Fi Hydrocarbon pada *memguard absorber*. Alat ini terdiri atas sebuah drum yang digerakkan oleh sistem hidrolik melalui sebuah ram, selain itu ada dua buah coil yang melilit memutar antara drum dan dinding *WHRU*, coil yang diatas untuk *molsieve* dan dibawah untuk *memguard*.



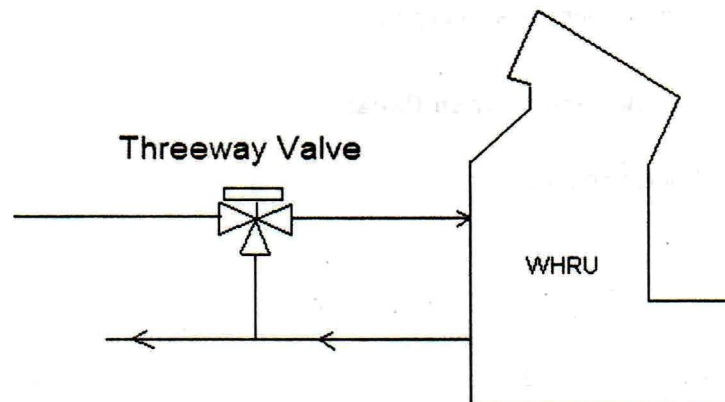
**Gambar 4. WHRU**

Ada tiga buah *WHRU* [7] di *Betara Gas Plant*, *WHRU A*, *WHRU B*, dan *WHRU C*. Dari tiga *WHRU* ini hanya dua buah yang aktif dan satu dalam posisi *standby*, walaupun dalam *WHRU* ini hanya dua buah coil, tetapi hanya satu yang aktif, misalnya *WHRU B* dan *WHRU C* yang aktif, maka coil untuk *molsieve* pada *WHRU B* dan coil untuk *memguard* pada *WHRU C*, atau sebaliknya.



**Gambar 5.** Proses *WHRU*

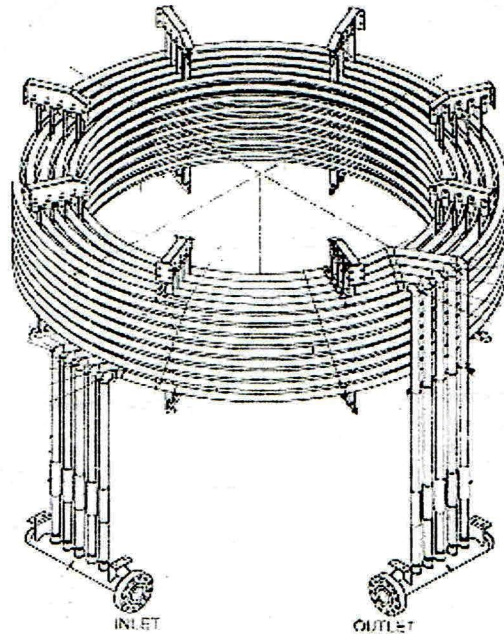
Konstruksi *WHRU* di desain oleh Chiyoda dengan panjang ram 36 inchi atau 91,44 cm, berarti ketika drum membuka atau menutup akan menempuh jarak 36 inchi sampai menutup atau membuka penuh. Drum mengangkat dalam tiga puluh langkah ketika membuka penuh dan turun dalam tiga puluh langkah ketika menutup. Setiap langkah membutuhkan waktu enam detik, jadi waktu yang dibutuhkan untuk membuka dan menutup penuh membutuhkan waktu tiga menit ( 30 langkah x 6 detik). Diluar dari *WHRU* itu ada sebuah *threeway valve* untuk mengatur pemasukan gas yang akan masuk ke *WHRU*, ketika gas sudah tercapai temperaturnya, maka gas dialirkan tidak melewati *WHRU* lagi. Dibawah ini gambar alur gas melalui *threeway valve*.



**Gambar 6.** Alur gas melalui *threeway valve*



Dengan konstruksinya seperti gambar dibawah ini, terdiri atas coil sebagai jalur gas yang akan dipanaskan, kemudian ada sebuah drum yang digerakkan dengan sistem hidrolik, dimana drum berfungsi untuk menutup dan membuka *exhaust* turbin. Ketika drum menutup *exhaust* turbin maka gas panas hasil pembakaran turbin keluar melalui celah-celah coil, pada saat itulah terjadi perpindahan panas.



**Gambar 7. Coil**

**Persamaan Energi pada Aliran Merata**

Perpindahan panas mengandung prinsip keseimbangan energi, dimana energi keluar sama dengan energi diterima.

Persamaan kesetimbangan energi dalam masa atur adalah

$$dQ = du + dW$$

Dimana:

$dQ$  = penambahan energi masa atur

$du$  = energi dalam sistem

$dW$  = Energi dalam bentuk kerja (panas)

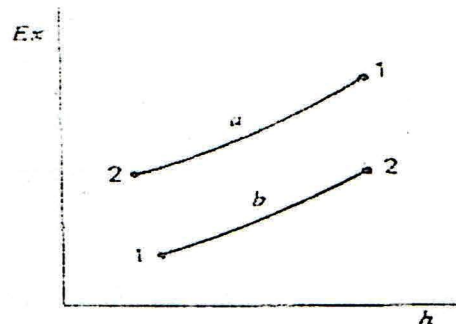
**Persamaan Exergi untuk Perpindahan Panas**

$$\underline{Ex}_m = (h_m - h_o) - T_o (s_m - s_o)$$

Heat Balance – ideal performance

$$\Delta h_a = h_{a1} - h_{a2}$$

$$\Delta h_b = h_{b1} - h_{b2}$$



**Energy change – actual performance**

$$\Delta E x_a = (h_{a1} - h_{a2}) - T_o (s_{a2} - s_{a1})$$

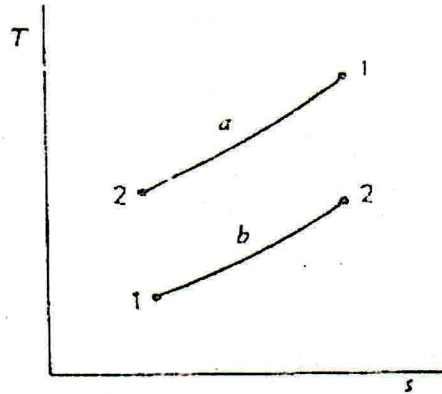
$$\Delta E x_b = (h_{b1} - h_{b2}) - T_o (s_{b2} - s_{b1})$$

**Energy Loss**

$$E x_{loss} = \Delta E x_a - \Delta E x_b$$

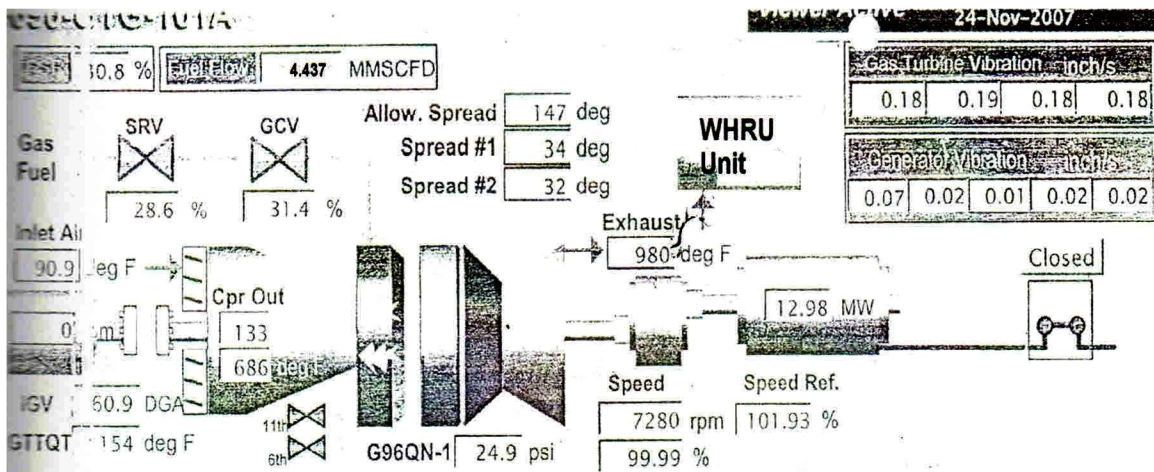
$$E x_{loss} = T_o (\Delta s_a - \Delta s_b)$$

$$E x_{loss} = (h_{a1} - h_{a2}) - T_o (s_{a1} - s_{a2})$$

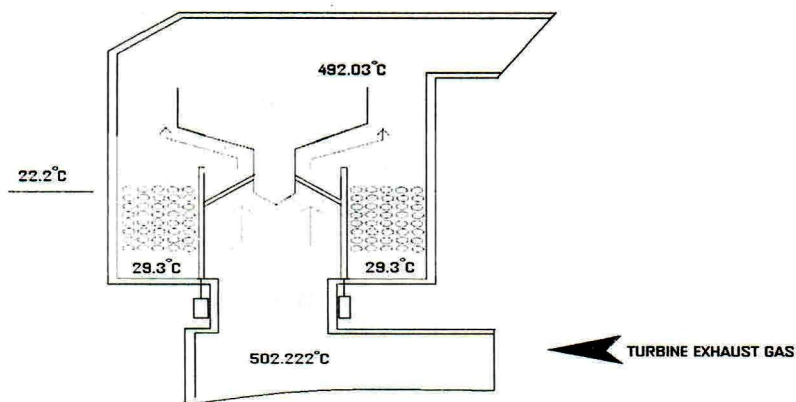


**3. PERHITUNGAN**

Berdasarkan data yang diperoleh dari data laporan harian dan informasi langsung dari operator dan pihak training centre, diperoleh data sebagai berikut :



**Gambar 8. Flow Diagram Pembangkitan Daya**



**Gambar 9. Skema aliran Panas pada WHRU**

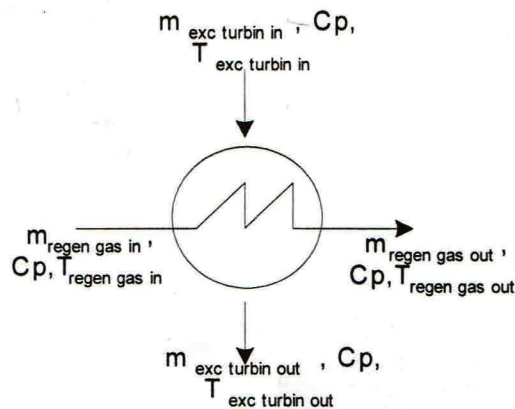


- ✍ Selama pemanasan berlangsung dua jam, temperatur rata-rata dalam WHRU adalah 458.41 derajat celcius.
- ✍ Temperatur WHRU dibawah = 505.55 derajat celcius
- ✍ Temperatur WHRU diatas = 472.4 derajat celcius
- ✍ Penurunan temperatur dinding coil selama satu jam setelah pemanasan selesai hanya 5.54 derajat celcius
- ✍ Temperatur regeneration gas masuk = 22.2 derajat celcius
- ✍ Temperatur regeneration gas keluar = 270.4 derajat celcius

### Perhitungan

Untuk mengetahui kebutuhan bahan bakar jika tidak ada kogenerasi maka dipergunakan perhitungan panas yang harus ditransfer untuk kebutuhan WHRU, dalam hal ini akan dihasilkan perhitungan kebutuhan panas untuk WHRU dan heat yang diperlukan.

Heat Exchanger merupakan komponen pentransfer panas secara konveksi fluida dan padat. Aliran regeneration gas menuju WHRU untuk dipanaskan agar tidak terjadi pengendapan saat distribusi. Proses pertukaran panas terlihat pada gambar dibawah ini :



**Gambar 10.** Kestimbangan Panas

$$m_{\text{regen gas}} \cdot c_p \cdot \Delta T_{\text{regen gas}} = m_{\text{exc turbin}} \cdot c_p \cdot \Delta T_{\text{exc turbin}}$$

#### a. Perhitungan Kebutuhan Panas WHRU

Ratio dari Specific heat capacities :

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$$

$$c_p - c_v = R$$

Dengan membagi persamaan di atas dengan  $c_v$  maka diperoleh :

$$\frac{c_p}{c_v} - 1 = \frac{R}{c_v} \Rightarrow c_v = \frac{R}{\gamma - 1} \Rightarrow c_p = \gamma c_v$$

Maka akan diperoleh :

$$c_p = \frac{\gamma R}{\gamma - 1} \Rightarrow R = \frac{\tilde{R}}{\tilde{m}}$$

dimana : R = konstanta gas spesifik,

$\tilde{R}$  = konstanta gas molar

$\tilde{m}$  = molar mass

Untuk Metane ;  $\text{CH}_4$       untuk 30 K      R = 2,2316 KJ/kg K (tabel).

Untuk Butana :  $\text{C}_4\text{H}_{10}$        $\tilde{m} = 58 \text{ kg/mol}$

$$R = \frac{8314,5}{58} = 143,35 \text{ Nm/kgK}$$

$$\gamma = 1,11 \Rightarrow c_p = \frac{1,11 \times 143,35}{1,11 - 1} = 1448,0455 \text{ J/kg.K}$$

1 Joule = 0,239 kalori

Pada suhu 25°C :

$$\text{CH}_4 = 35,31 \text{ J/mol K} = 35,31 \times 0,239 \text{ kal}/16 \cdot 10^{-3} \text{ kg K} = 527 \text{ kal/kg K}$$

$$\text{CH}_4 = 0,527 \text{ Kkal/kg K}$$

$$\text{C}_4\text{H}_{10} = 96,8 \text{ J/mol K} = 96,8 \times 0,239 \text{ kal}/58 \cdot 10^{-3} \text{ kg K} = 398,883 \text{ kal/kg K}$$

$$\text{C}_4\text{H}_{10} = 0,399 \text{ Kkal/kg K}$$

Untuk memanaskan gas butana dari 22°C hingga 270°C diperlukan panas :

$$Q = mc_p(T_1 - T_2)$$

$$T_1 = 270^\circ\text{C} = 534^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 22^\circ\text{C} = 295^\circ\text{K}$$

$$\dot{M} = 0,132 \text{ kg/s} = 475,2 \text{ kg/jam}$$

$$C_p = 0,527 \text{ kcal/kg}^\circ\text{K}$$

$$Q = 475,2 \cdot 0,527 (534 - 295) = 59852,8 \text{ kcal/jam}$$

Dengan asumsi efisiensi penyerapan panas 60 %, maka didapat

$$Q = \frac{59.852,8}{0,6} = 99.754,7 \text{ kcal/jam}$$



Panas yang harus dihasilkan dari pembakaran bahan bakar = 99.754,7 kcal/jam

$$Q_{in} = Q_{out}$$

$$99.754,7 \text{ cal/jam} = m_{bb} \cdot c_{pbb} \cdot \Delta T_{bb}$$

Dari tabel Petrogas, pembakaran bahan bakar 85 % metana di udara terbuka menghasilkan panas 1050 °F = 565,56 °C.

$$C_p \text{ metana} = 2,227 \text{ KJ/kg}^\circ \text{K} = 0,532 \text{ Kkal/kg}^\circ \text{K}.$$

$$Q_{out} = m_{bb} \cdot C_{pbb} \cdot \Delta T_{bb}$$

$$\Delta T_{bb} = (565,56 + 273) - (2 + 273) = 540,56 \text{ }^\circ \text{K}$$

$$99.754,7 \text{ Kcal/jam} = m_{bb} \cdot 287,57 \text{ Kcal/kg}$$

Maka,  $m_{bb} = 347,2 \text{ kg/jam}$

Dari perhitungan diatas didapatkan

kebutuhan bahan bakar untuk memanaskan gas butana yaitu 346,89 kg/jam

#### **b. Analisa Exergi Kinerja WHRU**

$$T_1 = 505,55 \text{ }^\circ \text{C} \quad (\text{stack bawah})$$

$$T_2 = 472,4 \text{ }^\circ \text{C} \quad (\text{stack atas})$$

$$T_1 = 941,99 \text{ }^\circ \text{F} \quad S_1 = 0,8362 \quad \text{Btu/lb}^\circ \text{R}$$

$$T_2 = 882,32 \text{ }^\circ \text{F} \quad S_2 = 0,8246 \quad \text{Btu/lb}^\circ \text{R}$$

$$T_0 = 25 \text{ }^\circ \text{C} = 77 \text{ }^\circ \text{F} = 537 \text{ }^\circ \text{R} \quad S_0 = 0,6003 \text{ Btu/lb}^\circ \text{R}$$

$$\begin{aligned} \Delta E_{x \text{ loss}} &= T_0 (S_1 - S_0) \quad \text{Pada stack atas} \\ &= 537 \text{ }^\circ \text{R} (0,8362 - 0,6003) \text{ Btu/lb}^\circ \text{R} \\ &= 126,67 \text{ Btu/lb} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta E_{x \text{ loss}} &= T_0 (S_2 - S_0) \quad \text{Pada stack bawah} \\ &= 537 \text{ }^\circ \text{R} (0,8246 - 0,6003) \text{ Btu atm} \\ &= 120,45 \text{ Btu / lb} \end{aligned}$$

*Maka kehilangan exergy rate di antara stack atas dan stack*

$$\Delta E_{x \text{ rate}} = 123,56 \text{ BTU / lb}$$

Exergy loss yang terjadi pada butane adalah :

Temperatur butane = 270°C = 518 °F

$$T_1 = 518 \text{ }^\circ \text{F}$$

$$S_1 = 0,7451 \text{ Btu / lb}^\circ \text{R}$$

$$S_0 = 0,6003 \text{ Btu / lb}^\circ \text{R}$$

$$T_0 = 25 \text{ }^\circ \text{C} = 77 \text{ }^\circ \text{F} = 537 \text{ }^\circ \text{R}$$

$$\begin{aligned}
 E_{x \text{ loss}} &= T_0 (s_1 - s_0) \\
 &= 537 \text{ }^\circ\text{R} (0,7451 - 0,6003) \text{ Btu / lb}^\circ\text{R} \\
 &= 77,75 \text{ Btu / lb}
 \end{aligned}$$

Maka total exergy loss dari tiap bagian (stack dan WHRU)

$$\begin{aligned}
 &= 123,56 + 77,75 \\
 &= 201,31 \text{ Btu/lb}
 \end{aligned}$$

Konsumsi bahan bakar dengan cogeneration = 282.935,13 kg/jam

Maka

$$E_x = 201,31 \text{ Btu/lb} \times 2,2 \text{ lb/kg} \times 282.935,13 \text{ kg/jam}$$

$$E_x = 125.306.876,2 \text{ Btu/jam}$$

### c. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan data sheet (lampiran data plant) maka bahan bakar untuk turbin gas adalah

$$4,437 \text{ mmscfd} = 0,18487 \text{ mmscfh} = 184.870 \text{ ft}^3/\text{jam}.$$

Density bahan bakar adalah 3,367 lb mol/ft<sup>3</sup>,  
maka laju alir bahan bakar adalah

$$\begin{aligned}
 184870 \text{ ft}^3/\text{jam} \cdot 3,367 \text{ lb/ft}^3 &= 622.457,29 \text{ lb/jam} \\
 &= 282.935,13 \text{ kg/jam}.
 \end{aligned}$$

Laju bahan bakar juga sama dengan

$$\begin{aligned}
 283.282,02 \text{ kg/jam} (1000 \text{ Btu/lb}) (2,2 \text{ lb /kg}) &= 623.220.44 \text{ Btu/jam} \times 0,251 \text{ kcal / BTU} \\
 &= 31.285.66,28 \text{ kcal / jam}
 \end{aligned}$$

Daya yang dihasilkan adalah 12,98 MW = (12.980 kW) ( 859,8452 kcal / hr )

$$= 11.160.790,7 \text{ kcal / hr}$$

Dengan melakukan analisa exergy didapatkan :

*Konsumsi bahan bakar tanpa cogeneration*

$$= 282.935,13 + 347,2 \text{ (kg/jam)}$$

$$= 283.282,33 \text{ kg/jam}$$

maka  $E_{x \text{ loss}} = 201,31 \text{ Btu/lb} \times 2,2 \text{ lb/kg} \times 283.282,33 \text{ kg/jam}$

$$= 125.460.644,9 \text{ Btu/jam}$$

Maka dengan kogenerasi bahan bakar dapat dihemat secara exergy (dalam Btu / jam) adalah :

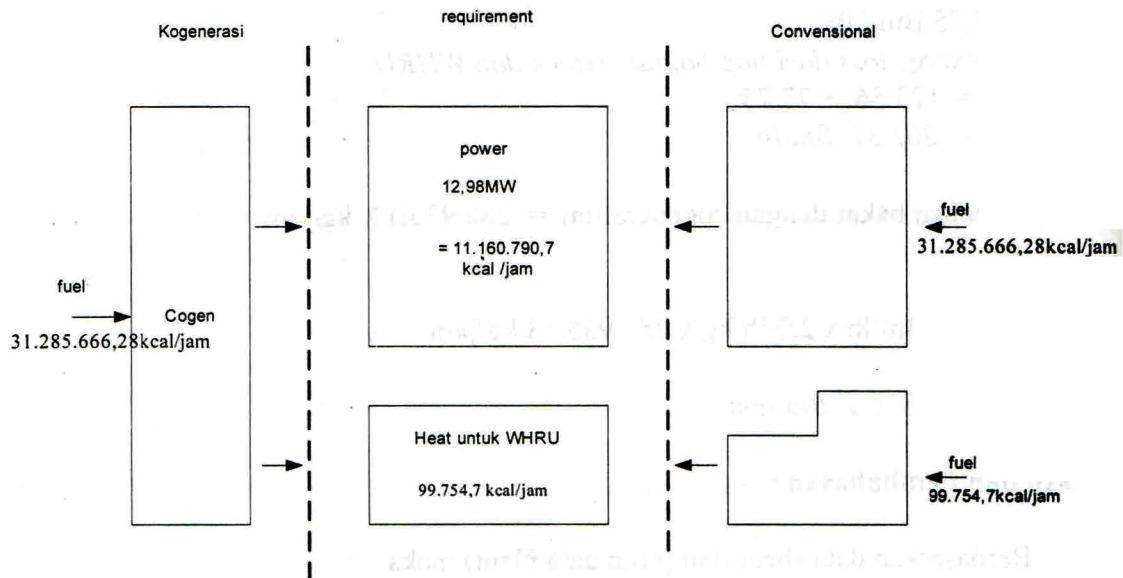
$$= (125.460.644,9 - 125.306.876,2) \text{ Btu / lb}$$

$$= 153.768,7 \text{ Btu / lb}$$

Penghematan dengan analisa exergy = 153.768,7 Btu / lb



## Diagram Perbandingan Sistem Kogenerasi dengan Konvensional<sup>5</sup> :



$$\eta_{cogen} = \frac{Power + heat}{fuel_{cogen}} \times 100\%$$

$$\eta_{cogen} = \frac{11.160.790,7 \text{ kcal / jam} + 99.754,7 \text{ kcal / jam}}{31.285.666,28 \text{ kcal / jam}} \times 100\% = 35,99\%$$

Jadi Improvement efisiensi adalah :  $= \frac{35,99 - 35,87}{35,87} \times 100\% = 0,33\%$

## 4. DISKUSI

Sistem kogenerasi menawarkan serangkaian pembangkitan secara bersama mekanik dan termal dalam satu sistem. Pemanfaatan panas buang yang telah dilakukan pada sistem WHRU di PT.Petrochina telah menunjukkan bahwa pemanfaatan sisa panas buang akan meningkatkan kinerja sistem. Berdasarkan hasil perhitungan diketahui bahwa panas yang dibutuhkan untuk pemanasan gas butane adalah 99.754,7 kcal/jam dengan nilai *exergy loss* sebesar 125.460.644,9 Btu / jam sehingga peningkatan kinerja yang dapat dilakukan dengan pemanfaatan sisa panas buang dengan sistem WHRU 0,33%, akan tetapi evaluasi ini menunjukkan bahwa peningkatan kinerja begitu sedikit dibandingkan potensi sisa panas buang yang dihasilkan yaitu 980°F. Melalui evaluasi dapat dilakukan kajian lebih lanjut untuk memanfaatkan panas buang lebih efektif lagi misalnya melalui kogenerasi kombinasi, kogenerasi ini menggunakan prinsip siklus uap kondensor di mana di dalam kondensor uap panas yang berasal dari air dingin diturunkan kemudian hal ini berakibat meningkatnya energi listrik yang dihasilkannya. Pemilihan sistem siklus kondensasi dan sistem cogeneration berdasarkan pertimbangan ekonomis. Jika siklus gas dikawinkan dengan siklus uap sehingga menjadi siklus kombinasi maka akan menyebabkan terjadinya peningkatan efisiensi. Pada siklus kombinasi ini boiler turbin uap dipanaskan hanya oleh gas buang turbin gas. Kemudian oksigen dalam pipa pembuangan turbin gas digunakan untuk pembakaran bahan bakar primer dalam suatu sistem boiler uap hilir. Kompresor memasok udara terkompresi ke boiler untuk melakukan proses super cangg

Kemudian boiler itu menghasilkan uap yang dapat menggerakkan turbin uap. Selain dari itu panas limbah dari pipa pembuangan turbin gas juga digunakan untuk memanaskan boiler yang akan menghasilkan uap untuk menggerakkan turbin uap. Di mana uap boiler itu digunakan untuk menggerakkan sebuah turbin uap yang pada gilirannya merupakan tenaga penggerak mula bagi sebuah generator listrik. Kemudian jika panas yang keluar dari pipa pembuangan turbin gas dinaikkan dan gas buang yang meninggalkan boiler digunakan untuk memanaskan kondensat yang menuju maka efisiensinya bisa meningkat .

## 5. KESIMPULAN

- ≠ Panas yang dibutuhkan untuk pemanasan gas butane = 99.754,7 kcal/jam
- ≠ Dengan melakukan analisa exergi didapatkan: " $E_{x,loss} = 125.460.644,9$  Btu/jam
- ≠ Dengan melakukan evaluasi sistem kogen bahwa pemanfaatan sisa gas buang turbin gas PT. Petrochina , peningkatan kinerja (improvement) dibandingkan dengan efisiensi konvensional hanya 0,33% dengan penghematan menggunakan analisa exergy = 153.768,7 Btu/lb.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

M.M. El-Wakil, 1984, *Powerplant Technology*, McGraw-Hill Book Company.

[www.energyefficiencyasia.org](http://www.energyefficiencyasia.org) ©UNEP, Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia

Notodisuryo, Endro Utomo, 2-3 September 1991, '*Kebijakan Konservasi energi nasional (Makalah Seminar Energi)*', Jakarta; Direktorat Pengembangan Energi Baru Departemen Pertambangan dan Energi Indonesia.

Adrian Bejan, 1988, '*Advanced Engineering Thermodynamics*', Jhon Wiley&son.Inc

Hasan Basri, Dr.Ir, 2007, '*Teknik Kogenerasi (bahan kuliah)*', PPs Unsri, Palembang.

Roger Kinsky M.Eng,Sc.,B.E.,B.Sc, '*Applied Heat*', An Introduction to thermodynamics, Second edition.

Profil dan Data Teknis PT.Petrochina.Jambi . 2007