

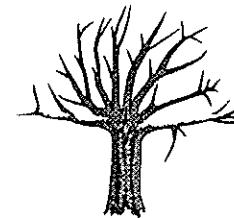


Hak Cipta dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang menyalin, memindahkan, menyebarkan, serta menggunakan tanpa izin.
a. Pergantian halaman official komunitas wajib dilakukan dengan cara mengganti halaman
b. Penggantian halaman wajib menggunakan wajah IPB University
2. Dilarang menggunakan tanpa persetujuan dan wajib memberitahukan kepada Dikti dalam bentuk surat atau email

“ Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang yang berakal ”.

“ Yaitu orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri, atau duduk, atau dalam keadaan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): “ Ya Tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha suci Engkau, maka peliharalah kami dari siksa neraka ”.

(QS: 3 : 190 -191).



*Untuk Yang tercinta,
Ibunda dan Ayahanda.*



F / TEP
1996
0322

AUDIT ENERGI PADA SISTEM KOMBINASI PANAS DAN DAYA (COGENERATION) PUSRI I-B PT. PUSRI (PERSERO), PALEMBANG

@Het cipta muk IPB University

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang menyalin dan mengalih gunakan tanpa izin.
2. Penggunaan buku ini dalam kegiatan akademik wajib bertujuan belajar, penelitian dan tugas akhir.
3. Pengguna tidak diperbolehkan mengambil bagian selain tata letak.

4. Dilarang menggunakan buku ini untuk perjudian, seksual, dan sejenisnya.

5. Penggunaan buku ini dalam kegiatan akademik wajib bertujuan belajar, penelitian dan tugas akhir.

6. Pengguna tidak diperbolehkan mengambil bagian selain tata letak.

7. Penggunaan buku ini dalam kegiatan akademik wajib bertujuan belajar, penelitian dan tugas akhir.

8. Pengguna tidak diperbolehkan mengambil bagian selain tata letak.

9. Penggunaan buku ini dalam kegiatan akademik wajib bertujuan belajar, penelitian dan tugas akhir.

10. Pengguna tidak diperbolehkan mengambil bagian selain tata letak.

Oleh :

FAKHRUR RAZI

F.29. 0302



1996

FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR

IPB University



FAKHRURRAZI. F 29. 0302. Audit Energi Pada Sistem Kombinasi Panas dan Daya (*Cogeneration*) Pusri I-B. Di bawah bimbingan Ir. Sri Endah Agustina, MS (IPB) dan Ir. Partedjo Mawarto (PT. Pusri).

RINGKASAN

Selama PJP II pertumbuhan ekonomi Indonesia diproyeksikan mencapai sekitar 7,00 % per tahun, sehingga pendapatan per kapita diharapkan meningkat empat kali lipat dari keadaan sekarang. Untuk mencapai pertumbuhan ekonomi di atas, diharapkan sumbangsih terbesar dari sektor industri, dengan proyeksi pertumbuhan sebesar sektor industri 9,20% per tahun. Dalam pembangunan PJP II sektor industri yang diperkirakan akan mengalami pertumbuhan cukup tinggi berasal dari subsektor industri kimia, dengan rata-rata pertumbuhan 12,00% per tahun. Industri pupuk urea merupakan salah satu dari industri kimia yang mengalami pertumbuhan cukup tinggi tersebut, yaitu sebesar 7,90% per tahun.

Untuk mendukung program pemerintah dalam hal ini Departemen Pertambangan Dan Energi dalam usaha konservasi energi, maka industri yang dikembangkan merupakan industri dengan menggunakan teknologi tepat guna, berwawasan lingkungan dan mempunyai efisiensi yang tinggi, aman dan handal. Salah satu penerapan teknologi tepat guna di industri adalah dengan menerapkan sistem Kombinasi Panas dan Daya (*Cogeneration*). Sistem ini merupakan sistem pembangkit energi listrik dan energi uap dalam satu instalasi pembangkit.

Untuk mengetahui peluang-peluang penghematan energi pada industri dalam rangka konservasi energi, maka audit energi merupakan langkah yang tepat, karena audit energi dapat membantu untuk mengetahui tingkat produktivitas dan efisiensi, serta mengidentifikasi dan mengevaluasi peluang penghematan energi.

Tujuan penelitian yang dilakukan adalah, melakukan perhitungan energi pada sistem Kombinasi Panas dan Daya di Pusri I-B dan menghitung masukan energi yang



diperlukan untuk menghasilkan per satuan produk pupuk. Sedangkan sasaran lebih jauh dari penelitian ini adalah untuk mengetahui peluang-peluang penghematan energi yang mungkin dapat dilakukan pada sistem produksi di Pusri I-B, khususnya pada unit penghasil energi listrik dan energi uap, yang pada akhirnya akan berpengaruh pada kondisi energi untuk produksi pupuk secara keseluruhan.

Audit energi yang dilakukan merupakan audit energi rinci, yang terdiri dari perencanaan, pengukuran, dan evaluasi data dan analisa kerja. Pengambilan data dilakukan selama satu bulan mulai tanggal 1 Juni sampai 30 Juni 1996. Sedangkan evaluasi dan analisa kerja dilakukan selama empat hari dari tanggal 25 Juni sampai 28 Juni 1996.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan tiga macam metoda pengamatan yaitu pembacaan alat ukur yang ada di lapangan, pembacaan data dari komputer pada ruang pengendali (*control room*), dan data sekunder dari Dinas Teknik Proses.

Berdasarkan hasil audit energi yang dilakukan di Pusri I-B, diperoleh nilai efisiensi Turbin Gas 19,50%, dengan kehilangan panas 3694,63 kkal/Kwh. Pada unit Ketel Panas Buang diperoleh nilai efisiensi 76,92%, dengan kehilangan panas 267,34 kkal/kg uap. Sedangkan nilai efisiensi dari sistem Kombinasi Panas dan Daya adalah sebesar 89,14% dengan kehilangan energi 5,47%. Konservasi energi yang dapat dilakukan untuk menekan kerugian energi dari sistem ini adalah dengan mengontrol secara teratur sistem pembakaran, baik di unit Turbin Gas maupun di unit Ketel Panas Buang. Apabila konservasi energi pada sistem Kombinasi Panas dan Daya Pusri I-B ini berhasil, maka untuk setiap kenaikan efisiensi 1% akan dapat menghemat pemakaian gas alam sebesar 202.037.846,50 kkal/hari, atau 91,76 MMBTU/hari, atau 22.983,72 SLM/hari. Nilai ini setara dengan 211.048,00 Rupiah/hari.

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan di unit urea, diperoleh rata-rata kebutuhan energi untuk memproduksi setiap 1 kg urea adalah sebesar 0,013 Mkal dari



energi listrik dan 0,89 Mkal dari energi uap, dengan masukan bahan baku 0,75 kg CO₂, 1,43 kg H₂O, dan 0,57 kg NH₃.

Secara keseluruhan energi yang dibutuhkan Pusri I-B untuk menghasilkan per ton urea adalah 25.98 MMBTU/MT Urea, atau setara dengan 6555,11 kkal/kg urea. Nilai ini tergolong lebih baik, bila dibandingkan dengan pabrik pupuk Kaltim I, Kaltim II, Pupuk Kujang, AAF, PIM, Pusri II, Pusri III, dan Pusri IV.



AUDIT ENERGI PADA SISTEM KOMBINASI PANAS DAN DAYA (COGENERATION) PUSRI I-B PT. PUSRI (PERSERO), PALEMBANG

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN

Pada JURUSAN MEKANISASI PERTANIAN

Fakultas Teknologi Pertanian

Institut Pertanian Bogor

Oleh:

FAKHRRU RAZI

F 29. 0302

1996

JURUSAN MEKANISASI PERTANIAN

FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN

INSTITUT PERTANIAN BOGOR

BOGOR



INSTITUT PERTANIAN BOGOR
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN

AUDIT ENERGI PADA SISTEM KOMBINASI
PANAS DAN DAYA (COGENERATION) PUSRI I-B

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN

Pada JURUSAN MEKANISASI PERTANIAN

Fakultas Teknologi Pertanian

Institut Pertanian Bogor

Oleh:

FAKHURRAZI

F 29.0302

Tanggal lulus, 13/11/1996

Disetujui,



Ir. Partedjo Mawarto
Pembimbing II (PT. Pusri)

Ir. Sri Endah Agustina, MS
Pembimbing I (IPB)



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kekhadirat *Allah SWT*, yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga, *Alhamdulillah* penulisan Tugas Akhir (Skripsi) ini dapat diselesaikan pada waktunya.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Ir. Sri Endah Agustina, MS, sebagai Pembimbing I dari IPB, yang telah banyak meluangkan waktu dalam membimbing penulis.
2. Bapak. Ir. Partejdo Mawarto, sebagai Pembimbing II dari PT.Pusri Palembang , yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Segenap Pimpinan PT. Pusri, Palembang yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melaksanakan penelitian di PT. Pusri.
4. Bapak Dr. Ir. Abdul Kohar Irwanto, Msc, yang telah meluang waktu untuk menguji penulis.
5. Bapak Mardono, Bsc, Kabag Utilitas Pusri I-B.
6. Bapak Ir. Firdaus Roshad, Wakabag Utilitas Pusri I-B.
7. Bapak Ir. Bob Indiarto, staf Teknik Proses Pusri I-B.
8. Segenap operator unit Utilitas dan Urea Pusri I-B.
9. Fakhri, Msc, Staf *Laboratory for Process Equipment*, TU Delf.
10. Zakky Sulistiawan, Msc, Staf LSDE, BPP Teknologi.
11. Bapak Ir. Rabindra Siregar, Staf PT. Koneba.
12. Bapak Ir. Yus Sadewo, Staf PT. Koneba.
13. Khususnya untuk Ibunda, Ayahanda yang tercinta, Uda Fakhri, Uni Ida, dan Bapak Marzuan beserta keluarga.
14. Saudara-saudaraku seiman atas do'anya.



Skripsi ini jauh dari sempurna, karena itu saran-saran untuk peningkatan mutu akan penulis terima dengan senang hati, *InsyaAllah* skripsi ini bermanfaat bagi yang membutuhkan.

Bogor, November 1996

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
DAFTAR ISTILAH	ix
I. PENDAHULUAN	
A. LATAR BELAKANG.....	1
B. TUJUAN PENELITIAN.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. POSES PRODUKSI PUPUK UREA PUSRI I-B.....	6
B. PENGGUNAAN ENERGI DI INDUSTRI PUPUK.....	7
1. Energi Langsung.....	7
2. Energi Tidak Langsung.....	8
3. Tenaga Manusia.....	9
C. KONSERVASI ENERGI DI INDUSTRI PUPUK.....	9
D. KONSERVASI ENERGI DENGAN SISTEM KOMBINASI PANAS DAN DAYA.....	13
1. Konsep Dasar Sistem Kombinasi Panas dan Daya.....	13
2. Jenis Sistem Kombinasi Panas Dan Daya.....	15
3. Sistem Kombinasi Panas Dan Daya Pusri I-B.....	15
E. PRINSIP AUDIT ENERGI.....	19
1. Pengertian Dan Tujuan.....	19
2. Tahapan Audit energi.....	20



3. Prosedur Audit Energi.....	21
F. DASAR TEORI AUDIT ENERGI.....	22
1. Analisa Energi.....	22
2. Neraca Massa.....	28
3. Neraca Energi.....	29
4. Entalpi.....	30
III. METODA PENELITIAN	
A. BATASAN SISTEM.....	31
B. PENDEKATAN MASALAH.....	31
1. Unit Turbin Gas.....	31
2. Unit Ketel Panas Buang	32
3. Kesetimbangan Energi Pada Turbin Gas dan Ketel Panas Buang.	
3.1. Perhitungan Neraca Massa.....	34
3.2. Perhitungan Neraca Energi.....	34
3.3. Analisa Konsumsi Energi.....	42
3.4 Analisa Konsumsi Energi Spesifik.....	44
3.5. Analisa Intensitas Energi.....	44
C. TEMPAT DAN WAKTU PENELITIAN.....	44
D. BAHAN DAN ALAT.....	44
E. METODA AUDIT.....	45
F. METODA PENGAMBILAN DATA.....	46
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. NERACA ENERGI SPESIFIK UNIT TURBIN GAS.....	47
B. NERACA ENERGI SPESIFIK UNIT WHB.....	51
C. NERACA ENERGI SPESIFIK SISTEM KOMBINASI PANAS DAN DAYA.....	57
D. KONSUMSI ENERGI SPESIFIK UNTUK LISTRIK.....	59
E. KONSUMSI ENERGI SPESIFIK UNTUK UAP.....	61



F. KONSUMSI ENERGI SPESIFIK UREA.....	62
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	66
DAFTAR PUSTAKA.....	69
LAMPIRAN.....	72



DAFTAR TABEL

No.	Teks	
1.	Pemakaian Energi Selama PJP-I.....	2
2.	Proyeksi Pertumbuhan Industri Kimia.....	3
3.	Potensi Penghematan Energi di Industri.....	3
4.	Konsumsi Energi Per Ton Urea di Beberapa Industri Pupuk Urea di Indonesia	4
5.	Kebutuhan Energi Listrik Untuk Industri dan Non Industri Non Pupuk Urea	4
6.	Perbandingan Kinerja Sistem Kombinasi Panas dan Daya.....	14
7.	Faktor Kelebihan Udara Berbagai Bahan Bakar.....	39
8.	Faktor Kelembaban Udara.....	39
9.	Hubungan Produksi Uap Terhadap Kerugian Radiasi.....	42
10.	Neraca Energi Spesifik Turbin Gas.....	47
11.	Neraca Energi Spesifik Ketel Panas Buang.....	52
12.	Neraca Energi Spesifik Sistem Kombinasi Panas dan Daya.....	58
13.	Konsumsi Energi Spesifik Untuk Listrik.....	60
14.	Konsumsi Energi Spesifik Untuk Uap.....	62
15.	Nilai Konsumsi Energi Pusri I-B	65



DAFTAR GAMBAR

No	Teks
1.	Proses Produksi Pupuk Urea.....
2.	Sistem Kombinasi Panas Dan Daya Pusri I-B.....
3.	Komponen Utama Turbin Gas.....
4.	Sistem Industri.....
5.	Sistem Industri Dengan Pemisahan.....
6.	Aliran Material dan Energi Untuk Suatu Sistem Dengan Produk Buangan.....
7.	Ketergantungan Energi Spesifik Sistem Terhadap Efisiensi Konversi.....
8.	Operasi Liner Sederhana Dengan Efisiensi Konversi Material.....
9.	Blok Diagram dan Aliran Proses Turbin Gas.....
10.	Blok Diagram dan Aliran Proses WHB.....
11.	Keseimbangan Energi Turbin Gas.....
12.	Kerugian Energi di Turbin Gas.....
13.	Hubungan Konsumsi Bahan Bakar, Energi Listrik Terhadap Tanggal Pengamatan.....
14.	Kesetimbangan Energi Di Ketel Panas Buang
15.	Keseimbangan Energi Di Desuperheater.....
16.	Keseimbangan Energi Di BlowDown.....
17.	Hubungan Konsumsi Bahan Baku, Produksi Uap Terhadap Tanggal Pengamatan.....
18.	Persentase Konsumsi, Produksi, dan Energi Hilang di KPD.....
19.	Persentase Pemakaian Energi Listrik.....
20.	Konsumsi Energi Spesifik Urea Harian Terhadap Tanggal Pengmatan.....
21.	Karakteristik Sesaat (jam) pada Pabrik Pupuk Urea.....



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Teks	
1.	Produksi, Konsumsi dan Intensitas Energi Harian.....	72
2.	Produksi, Konsumsi, dan Intensitas Energi Bulanan.....	73
3.	Produksi Urea, Konsumsi Energi, dan Energi Spesifik Harian.....	74
4.	Produksi Urea, Konsumsi Energi, dan Energi Spesifik Bulanan.....	75
5.	Titik Pengukuran Turbin Gas.....	76
6.	Titik Pengukuran Ketel Panas Buang.....	78
7.	Contoh-Contoh Perhitungan.....	79
8.	Gambar-Gambar.....	80
9.	Tabel Entalpi Gas Buang	89
10.	Diagram <i>Mollier</i>	97



DAFTAR ISTILAH

<i>Ammonia converter</i>	: Alat pengkonversi gas sintesa menjadi ammonia
<i>Blowdown</i>	: Uap tekanan rendah yang tidak diolah menjadi uap berguna karena mengandung padatan atau kotoran.
<i>Blowdown drum</i>	: Tangki penerima uap bertekanan rendah
<i>Boiler</i>	: Ketel
<i>Boiler Feed water</i>	: Air pengisi <i>boiler</i>
<i>Burner</i>	: Tungku
<i>Bottoming cycle</i>	: Siklus bawah
<i>By pass damper</i>	: Alat pembuang kelebihan udara
<i>Cogeneration</i>	: Sistem Kombinasi Panas dan Daya
<i>Cooling tower</i>	: Menara pendingin
<i>Control Room</i>	: Ruang pengendali operasi
<i>Condensate cooler</i>	: Alat pendingin kondesat uap
<i>Decomposition</i>	: Proses penguraian ammonium karbamat
<i>Depletion</i>	: Pengurangan
<i>Desuperheater</i>	: Tempat pengambilan uap terjenuhkan
<i>Detailed audit</i>	: Audit energi rinci
<i>Draft gauge</i>	: Pengukur tekanan
<i>Dryer</i>	: Alat pengering
<i>Economizer coil</i>	: Alat untuk pemanas awal BFW
<i>Energi balance</i>	: Kesetimbangan energi
<i>Energy auditing</i>	: Perhitungan energi



<i>Evaporator</i>	: Alat penghasil uap
<i>Flash drum</i>	: Tabung untuk penyalaan/pencahayaan
<i>Finishing</i>	: Tempat mengeringkan kristal-kristal urea pada daerah kristalisasi
<i>Flow diagram</i>	: Diagram alir
<i>Intensif energy</i>	: Banyak mengkonsumsi energi
<i>Load</i>	: Beban operasi
<i>Losses</i>	: Rugi-rugi
<i>Low pressure</i>	: Tekanan rendah yang digunakan <i>decomposser</i> untuk pemisahan ammonium karbamat
<i>MMBTU</i>	: <i>Metrik Mega British Thermal Unit</i>
<i>Outlet stack gas</i>	: Cerobong gas buang
<i>Package boiler</i>	: Ketel paket yang menghasilkan uap air untuk proses produksi pupuk urea
<i>Power Generator</i>	: Pembangkit energi listrik
<i>Preheating</i>	: Pemanasan mula
<i>Preliminary audit</i>	: Audit energi permulaan
<i>Prilling tower</i>	: Tempat penampungan hasil pengeringan urea untuk disaring pada daerah kristalisasi
<i>Recovery</i>	: Pemanfaatan kembali larutan yang tidak dipakai
<i>Reformer</i>	: Tungku pembakaran di unit ammonia
<i>Rotary</i>	: Alat sirkulasi
<i>Safety pressure</i>	: Alat untuk mengamankan tekanan pada Turbin Gas
<i>Slurry</i>	: Larutan yang tidak bereaksi dan dikembalikan padat daerah <i>recovery</i>
<i>SBM</i>	: Setara Barel Minyak

<i>Smoke tester</i>	: Alat untuk mengukur kandung CO ₂
<i>Steam</i>	: Uap
<i>Steam condensate tank</i>	: Tabung tempat uap air dan kondesat uap air
<i>Steam drum</i>	: Tangki penampung uap
<i>Steam heater</i>	: Uap pemanas
<i>Superheated steam</i>	: Uap lewat jenuh
<i>Steam Medium (MS)</i>	: Steam tekanan sedang, dengan tekanan 42,2 kg/cm ²
<i>Steam Low (LS)</i>	: Steam tekanan rendah, dengan tekanan 3,5 kg/cm ²
<i>Termocoupel</i>	: Alat untuk mengukur suhu
<i>Termopanel</i>	: Kontrol suhu
<i>Tie-in</i>	: Sistem sinkronisasi listrik dengan pabrik Pusri yang lain
<i>Topping cycle</i>	: Siklus atas
<i>Urea prill</i>	: Urea butir
<i>Vacuum crystallizer</i>	: Tempat pengkristalan urea yang ada di daerah kristalisasi
<i>Waste heat boiler</i>	: Ketel panas buang
<i>Waste product</i>	: Produk buangan



I. PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Dalam amanat GBHN 1993 disebutkan bahwa pembangunan energi diarahkan untuk mendorong kegiatan pembangunan dan peningkatan kesejahteraan rakyat, serta memenuhi kebutuhan energi masyarakat dengan menjamin tersedianya energi dan peningkatan mutu serta pelayanannya. Untuk menjaga kelestarian sumber energi, perlu diupayakan pemanfaatan secara cermat, penganekaragaman, penggunaan berbagai sumber energi secara optimal, dan penggunaan peralatan dan teknologi hemat energi dalam kerangka kebijaksanaan energi nasional yang menyeluruh dan terpadu.

Dalam kurun waktu PJP-I struktur ekonomi Indonesia berubah dari agraris menjadi industri. Perubahan struktur ekonomi ini mengakibatkan perubahan pola penggunaan energi. Pada awal Pelita I sektor penggunaan energi yang paling besar adalah sektor rumah tangga yaitu sebesar 18,06 juta SBM atau sebesar 47,11%, sedangkan sektor industri 8,18 juta SBM atau sebesar 21,33%, dan sektor transportasi 38,4 juta SBM atau sebesar 31,56% dari total penggunaan energi. Namun pada akhir tahun Pelita V sektor industri menjadi sektor penggunaan energi paling besar yaitu 108,06 juta SBM atau sebesar 38,00%, sedangkan sektor lainnya yaitu transportasi 105,49 juta SBM atau sebesar 37,10%, dan rumah tangga 60,30 juta SBM atau sebesar 24,90% dari total penggunaan energi. Rincian penggunaan energi selama PJP-I dapat dilihat pada Tabel 1. Pada PJP-I ini juga ditandai dengan peningkatan peranan industri dalam pendapatan negara. Awal PJP-I peran industri dalam PDB adalah 9,20%, pada tahun 1992 menjadi 21,00%, dan pada tahun 1993 meningkat menjadi 22,40% (Arismunandar, 1994).

Pada PJP-II pembangunan dititik beratkan pada bidang ekonomi yang pelaksanaannya bertumpu pada Trilogi Pembangunan. Pada PJP-II ini laju pertumbuhan ekonomi diproyeksikan rata-rata 7,00% per tahun. Sektor industri akan memegang peranan semakin penting dalam pertumbuhan ekonomi tersebut, dengan proyeksi pertumbuhan rata-rata sebesar 9,20 % per tahun.

Tabel 1. Penggunaan Energi Selama PJP-I (Juta SBM).

Repelita	Rumah tangga	Industri	Transportasi	Jumlah
Awal Pelita I	18,10	8,20	12,10	38,40
Akhir Pelita I	25,00	13,90	21,40	60,30
Akhir Pelita II	45,30	36,70	36,40	118,40
Akhir Pelita III	52,30	58,20	51,50	161,90
Akhir Pelita IV	53,30	71,40	69,50	194,20
Akhir Pelita V	73,20	113,80	107,50	294,50

Sumber: Departemen Pertambangan dan Energi (1995).

Industri-industri yang mengalami pertumbuhan cukup tinggi berasal dari industri kimia, dengan pertumbuhan rata-rata 12,00% per tahun, seperti terlihat pada Tabel 2. Sedangkan pertumbuhan industri secara umum, diproyeksikan akan meningkatkan penggunaan energi rata-rata sebesar 7,41% per tahun, sehingga pada tahun terakhir PJP-II kebutuhan energi diperkirakan sebesar 2 miliar SBM atau sekitar 6,50 kali dari akhir tahun PJP-I (Arismunandar, 1994).

Setiap peningkatan penggunaan energi harus diimbangi dengan usaha konservasi energi, sehingga dapat dilakukan langkah-langkah penghematan penggunaan energi sekaligus menekan biaya produksi. Konservasi energi di industri pada khususnya, harus didukung dengan menjajemn energi dan menerapkan teknologi bersih, berwawasan lingkungan, aman, handal, serta mempunyai efisiensi yang tinggi. Teknologi yang diterapkan merupakan teknologi

tepat guna di semua sektor pemakai energi dengan mengacu pada teknologi, dampak lingkungan, dan kemampuan dalam segi penguasaannya (Arismunandar, 1994).

Tabel 2. Proyeksi Pertumbuhan Rata-Rata Industri Kimia di Indonesia.

Industri	Satuan	Akhir Repelita V	Akhir Repelita VI	Laju pertumbuhan Repelita VI (%)
Pulp	juta ton	1,30	3,10	18,30
Kertas	juta ton	2,50	4,10	10,40
Asam Lemak	ribu ton	237,70	383,00	10,00
Pupuk Urea	juta ton	5,30	7,80	7,90
Semen	juta ton	18,70	33,10	12,10
PTA	ribu ton	207,00	506,00	19,60
Metanol	ribu ton	270,80	369,00	7,90
Raraxylene	ribu ton	261,90	369,00	7,10
Polypropylene	ribu ton	159,00	323,00	15,20

Sumber: Bapenas dalam Arismunandar (1994).

Berdasarkan konservasi energi yang telah dilaksanakan oleh PT. Koneba terhadap 50 industri di Indonesia, yang mencakup industri kimia, pupuk, semen, gelas, keramik, teh, gula, ban, baja, dan timah, diperoleh potensi penghematan energi seperti terdapat dalam Tabel 3.

Tabel 3. Potensi Penghematan Energi di Industri.

Industri	Potensi Penghematan (%)
Pupuk	15,00
Tekstil	10,00
Semen	10,00
Keramik	15,50
Besi dan Baja	20,00
Ban	10,00
Teh	18,00
Fabrikasi	25,00
Gelas	20,00
Bangunan	20,00

Sumber: Hutapea (1994).

Sedangkan besarnya energi yang dibutuhkan untuk memproduksi pupuk urea tiap tonnya pada beberapa industri pupuk di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 4. Sedangkan perbandingan kebutuhan energi listrik untuk industri pupuk dan industri non pupuk urea dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 4. Konsumsi Energi Pupuk per Ton Urea di Industri Pupuk Urea Indonesia.

Industri	Konsumsi Energi (MMBTU/MT Urea)
Pusri I	42,60
Pusri II	33,60
Pusri III	32,85
Pusri IV	32,85
Pupuk Kujang	34,14
A A F	32,20
PIM	32,20
Kaltim I	36,12
Kaltim II	30,43
Kaltim III	24,73

Sumber: PII dalam Suryadi (1994).

Tabel 5. Kebutuhan Energi Listrik Untuk Industri dan Bukan Industri Pupuk Urea.

Jenis Industri	Energi	Listrik
	kWh	(%)
Industri Pupuk Urea	691.023.679,00	3,70
Industri Non Pupuk Urea	17.990.927.720,00	96,30
Total	18.681.951.403,00	100,00

Sumber: BPS dalam Suryadi (1994).

Berdasarkan Tabel 2, 3, 4 dan Tabel 5 di atas dapat disimpulkan, bahwa pelaksanaan konservasi energi di industri pupuk sangat penting untuk

dilaksanakan, karena selain mengalami pertumbuhan yang cukup tinggi, industri pupuk juga merupakan industri padat energi.

Salah satu langkah konservasi penggunaan energi di industri pupuk dapat dilakukan di unit penghasil energi, dalam hal ini unit Turbin Gas sebagai penghasil energi listrik utama, dan unit Ketel Panas Buang sebagai penghasil energi uap utama. Kedua unit penghasil energi ini dalam industri pupuk dioperasikan secara simultan, sehingga dapat menekan pemborosan energi, sekaligus dalam rangka penghematan energi. Temperatur gas buang yang tinggi keluar dari unit Turbin Gas, dimanfaatkan kembali untuk membangkitkan energi uap di unit Ketel Panas Buang. Dengan sistem ini selain meningkatkan efisiensi secara keseluruhan juga mengurangi dampak negatif dari emisi gas buang.

Untuk melaksanakan konservasi energi dalam suatu industri perlu dilakukan audit energi. Dari hasil audit ini akan diperoleh gambaran yang menyeluruh mengenai situasi penggunaan energi dari suatu sistem yang mengkonsumsi energi, lebih jauh untuk mengetahui neraca energi, efisiensi peralatan konversi energi, konsumsi energi spesifik, intensitas energi, dan sumber-sumber pemborosan energi guna mendapatkan langkah-langkah penghematan energi. Dengan demikian, dapat ditentukan tindakan-tindakan konservasi energi yang mungkin untuk dilakukan.

B. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian yang dilakukan adalah melakukan perhitungan energi pada sistem Kombinasi Panas dan Daya di Pusri I-B, dan menghitung masukan energi dalam menghasilkan per satuan produk pupuk.

Sasaran ini lebih jauh penelitian ini adalah mengetahui penghematan energi yang dapat dilakukan pada sistem produksi pupuk di Pusri I-B, khususnya pada unit pembangkit energi listrik dan uap di Pusri I-B.



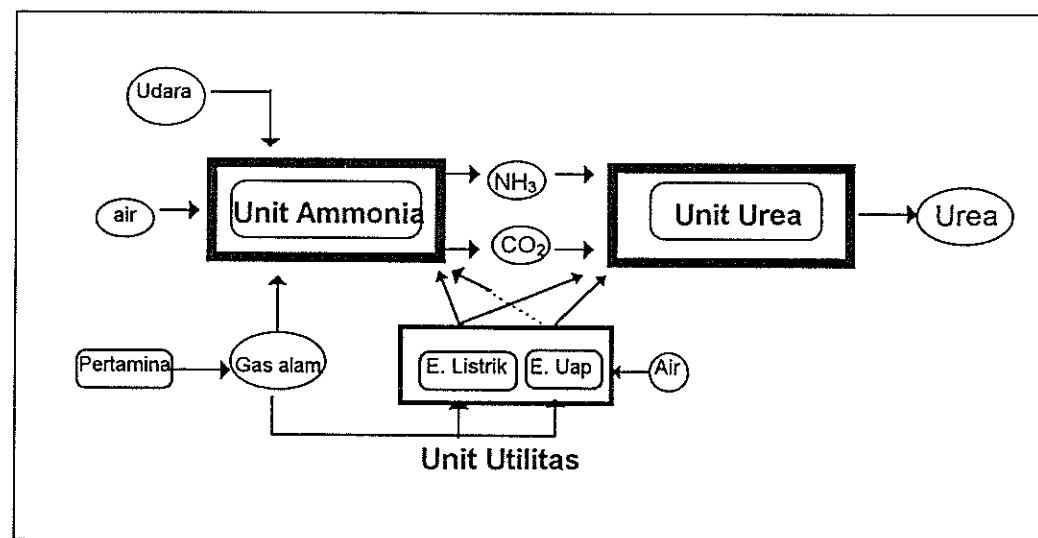


II. TINJAUAN PUSTAKA

A. PROSES PEMBUATAN PUPUK UREA DI PUSRI I-B

Proses pembuatan pupuk urea di Pusri I-B melibatkan tiga unit produksi, yaitu masing-masing unit ammonia sebagai penghasil ammonia (NH_3) dan karbondioksida (CO_2), unit urea sebagai penghasil urea *prill*, dan unit utilitas sebagai pemasok kebutuhan energi. Gambar proses secara umum dapat di lihat pada Gambar 1.

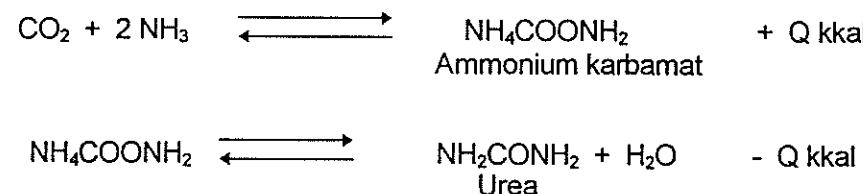
Gambar 1. Proses Pembuatan Pupuk Urea di Pusri I-B.



Di unit ammonia, gas alam, air, dan udara sebagai bahan baku mengalami beberapa tahapan proses. Akhir proses tersebut menghasilkan ammonia (NH_3) dan karbondioksida (CO_2). Tahapan proses di unit ammonia tersebut adalah pemurnian gas alam, pembuatan gas sintesa, pemurnian gas sintesa, sintesa ammonia, dan pemisahan dan pemurnian produk.

Di unit urea, ammonia dan karbondioksida dari unit ammonia direaksikan pada tekanan dan temperatur tinggi dalam reaktor kontinyu untuk membentuk ammonium karbamat. Ammonium karbamat yang terbentuk lalu didehidrasi

menjadi urea. Sintesa urea dilakukan dengan memakai jumlah ammonia berlebih untuk menggeser kesetimbangan reaksi ke arah kanan yaitu ke arah produk. Sedangkan sebagai sumber energi dipasok dari unit utilitas, berupa energi listrik dan uap.



B. PENGGUNAAN ENERGI DI INDUSTRI PUPUK

Masukan energi dalam industri pupuk dapat dibedakan menjadi energi langsung, energi tidak langsung, dan tenaga manusia.

1. Energi Langsung

Menurut Abdullah dan Irwanto (1987), yang dimaksud dengan energi langsung adalah bentuk energi yang digunakan secara langsung pada proses produksi, yaitu energi listrik dan bahan bakar fosil

Penggunaan energi langsung di industri pupuk dibedakan menjadi energi listrik, dan energi bukan listrik dalam hal ini adalah energi panas berupa uap yang dibangkitkan oleh sistem *boiler* (Koneba, 1993).

1.1. Energi Listrik

Penggunaan energi listrik di industri pupuk dapat dibagi menurut fungsinya, yaitu penggunaan energi listrik langsung terkait dengan proses produksi misalnya elektrolisa, pemanasan, pendinginan, radiasi, penggunaan energi listrik sebagai tenaga penggerak, misalnya motor-motor listrik, ban berjalan, pompa air, pendingin, penggerak alat-alat

mekanis industri di unit ammonia, unit urea, dan unit utilitas. Sedangkan penggunaan energi listrik tidak terkait langsung dengan proses produksi antara lain digunakan untuk memasok kebutuhan energi di pabrik melamin, perumahan, dan perkantoran.

1.2. Energi Uap

Penggunaan energi uap dalam industri pupuk karena sifatnya yang menguntungkan antara lain:

- a. Ada hubungan yang tetap antara tekanan dan temperatur uap, dimana temperatur uap dapat dipertahankan tetap apabila tekanan tetap.
 - b. Uap memiliki panas laten penguapan yang besar.
 - c. Uap secara kimia stabil dan tidak beracun.
 - d. Meskipun volume uap relatif besar, namun bila melakukan kerja uap akan berkondensasi dengan volume yang relatif kecil.

Penggunaan energi uap di industri pupuk memegang peranan penting, karena energi uap dapat mempunyai cakupan yang luas, diantaranya untuk pengeringan, pemanasan, pembangkit energi mekanik. Terlepas dari fungsinya, penggunaan energi uap saat ini menjadi topik sangat penting dalam industri pupuk karena kecendrungan meningkatnya harga dan ketersediaan bahan bakar minyak.

2. Energi Tidak Langsung

Energi tidak langsung merupakan energi yang digunakan tidak berkaitan langsung dalam proses produksi, seperti energi untuk pemeliharaan mesin-mesin, energi untuk membawa pupuk ke gudang pengantongan. Walau tidak terkait langsung dengan proses produksi, energi tidak langsung juga menentukan kelancaran proses produksi.

3. Tenaga Manusia

Kapasitas seseorang untuk melakukan kerja produktif berbeda-beda tergantung kepada: (a) sifat pekerjaan yang meliputi umur, kekuatan, dan tingkat keterampilan, (b) tingkat konsumsi makanan dan oksigen, (c) macam kegiatan, (d) lamanya bekerja, dan (e) kondisi lingkungan, berupa suhu dan kelembaban.

Di industri pupuk, khususnya di Pusri I-B penggunaan tenaga manusia dalam operasi industri dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu, pengendalian di dalam ruang kontrol untuk mengoperasikan komputer, dan pengendalian di lapangan. Pengendalian dalam ruang kontrol bersifat keahlian, karena menggunakan perangkat-perangkat lunak komputer, yang lebih dikenal dengan *Digital Computer System*. Penggunaan tenaga manusia untuk pengendalian di lapangan digunakan apabila terjadi masalah dengan alat pengendali di ruang kontrol. Secara keseluruhan penggunaan tenaga manusia di Pusri adalah untuk menunjang kegiatan operasional industri, seperti untuk perbaikan, pemeliharaan, pengantongan, dan perbengkelan.

C. KONSERVASI ENERGI DI INDUSTRI PUPUK

Menurut Koneba (1993), konservasi energi di industri pupuk secara umum dapat dilakukan dalam beberapa tahap, antara lain:

1. Melakukan program audit energi

Program audit energi dilakukan dalam dua tahap, yaitu audit energi awal, dan audit energi rinci. Hasil audit ini, akan membantu memberikan identifikasi peluang-peluang penghematan energi. Identifikasi ini terdiri dari pengaturan operasional, perubahan disain dan penggantian beberapa peralatan, pemilihan teknologi alternatif, seperti sistem Kombinasi Panas dan Daya.



Program ini dapat memberikan hasil berupa rekomendasi untuk optimasi penggunaan energi baik secara bahan bakar maupun sebagai pembangkit listrik dengan melaksanakan integrasi sistem distribusi uap dan listrik, penggunaan tenaga uap serta meningkatkan efisiensi penggunaan *boiler*.

2. Modifikasi proses

Investasi untuk melaksanakan modifikasi proses relatif besar, tetapi dari hasil modifikasi tersebut, akan diperoleh peningkatan volume produksi sekaligus efisiensi secara keseluruhan.

3. Efisiensi penggunaan listrik

Efisiensi penggunaan energi listrik di industri pupuk dapat dilakukan dengan mengurangi terjadinya jumlah gangguan yang terjadi dan mengurangi rugi-rugi transmisi listrik.

Langkah-langkah yang dapat ditempuh adalah memasang *thermo panel* pada peralatan utama yang mengkonsumsi energi listrik, seperti pada *reformer*, *dryer*, *rotary*, dan lain sebagainya sehingga dapat menekan rugi-rugi dari energi listrik.

4. Melakukan koordinasi antara unit pengguna energi listrik

Koordinasi dalam penggunaan energi listrik akan mudah dicapai kalau didukung dengan adanya manajemen energi, karena dapat memberikan gambaran yang sistematis untuk melaksanakan penggunaan energi listrik secara efisien tanpa mengurangi kualitas produksi maupun kenyamanan kerja.

Dengan adanya koordinasi antara unit pengguna energi listrik, diharapkan mampu menurunkan konsumsi energi listrik, meningkatkan efisiensi penyediaan dan penggunaan energi

5. Memanfaatkan sisa panas buang

Pemanfaatan sisa panas buang selain mampu meningkatkan efisiensi, daya, dan mengurangi terjadinya polusi udara akibat emisi gas buang juga dapat digunakan untuk pengeringan atau membangkitkan energi lain, seperti energi uap.

6. Perbaikan sistem proses

Perbaikan sistem proses dilakukan dengan mengganti alat-alat yang terkait dengan proses. Dengan cara ini kapasitas industri sekaligus tingkat efisiensi penggunaan energi dapat ditingkatkan secara cepat. Biaya investasi awal yang relatif tinggi untuk mengganti alat-alat di industri, dalam jangka waktu yang singkat sesuai dengan industri, dapat dikembalikan dengan keuntungan yang berasal dari harga penghematan energi yang diperoleh.

7. Diversifikasi penggunaan bahan bakar

Diversifikasi penggunaan bahan bakar ditujukan untuk menekan biaya produksi, misalnya penggunaan bahan alternatif seperti penggunaan minyak residu untuk menggantikan bahan bakar gas alam untuk unit Turbin Gas dan unit Ketel Panas Buang. Diversifikasi perlu ditunjang dengan penelitian lebih lanjut, sehingga penggunaan bahan bakar alternatif tersebut tidak merusak lingkungan.

8. Melaksanakan program optimalisasi

Optimalisasi dapat dilakukan dengan menambah peralatan baru atau dengan simulasi proses. Penambahan peralatan baru dilakukan pada bagian yang berkaitan langsung dengan penggunaan energi, sebagai contoh pada unit ammonia industri pupuk, dengan menambah alat penukar panas pada *ammonia converter* dapat meningkatkan konversi ammonia. Sedangkan simulasi program



perangkat lunak dipakai untuk menentukan modifikasi teknologi proses pada industri dengan mengubah beberapa tahapan proses.

Menurut BPPT (1992), konservasi energi di industri dapat dikelompokan sebagai berikut:

1. Pemeliharaan yang baik.
2. Pengoperasian alat sesuai kapasitasnya.
3. Mengurangi kebocoran energi.
4. Perbaikan sistem pembakaran.
5. Pemanfaatan panas buang.
6. Penambahan peralatan kontrol.
7. Modifikasi proses.
8. Menggunakan kombinasi pembangkit listrik dan uap.

Bila ditinjau dari segi biaya, usaha konservasi energi dapat dilaksanakan dalam tiga kategori, sebagai berikut (Koneba, 1993):

1. Konservasi energi tanpa atau sedikit biaya.

Yang termasuk dalam kategori ini antara lain, pengoperasian alat secara optimal, pemeliharaan peralatan sesuai jadwal, dan perbaikan alat yang rusak.

2. Konservasi energi dengan biaya sedang.

Yang termasuk dalam kategori ini adalah, penambahan peralatan seperti kontrol otomatis di *boiler*, pemasangan kapasitor untuk perbaikan faktor daya, penggantian *bumer* yang rusak, dan penambahan *economizer* atau *air preheater* *boiler*.



3. Penghematan energi dengan biaya besar.

Yang termasuk dalam kategori ini antara lain penggantian proses produksi, penggantian peralatan utama, dan perubahan bahan bakar.

D. KONSERVASI ENERGI SISTEM KOMBINASI PANAS DAN DAYA

1. Konsep Dasar Sistem Kombinasi Panas dan Daya

Menurut Larsen (1994), sistem Kombinasi Panas dan Daya merupakan sistem pembangkit yang menghasilkan kebutuhan energi listrik dan energi uap serentak dalam satu lokasi instalasi pembangkit.

Menurut Hariana (1994), teknologi Kombinasi Panas dan Daya merupakan suatu prosedur disain proses dan konstruksi peralatan penghasil energi listrik dan uap dari satu sumber kalor. Teknologi ini lahir akibat meningkatnya kebutuhan energi, sementara cadangan minyak bumi semakin terbatas.

Sistem Kombinasi Panas dan Daya merupakan pilihan alternatif dalam pelaksanaan konservasi energi di industri untuk menambah daya, karena dengan sistem ini selain panas gas buang yang keluar dapat dimanfaatkan sebagai tambahan daya berupa uap, juga dapat mengurangi pencemaran udara karena emisi gas buang dari pembangkit listrik. Pada Tabel 6 dapat dilihat perbandingan antara sistem pembangkit yang menerapkan sistem Kombinasi Panas dan Daya dengan sistem biasa.

Secara umum keuntungan dari penerapan sistem Kombinasi Panas dan Daya dalam industri adalah sebagai berikut (Larsen, 1994):

1. Dengan jalan membangkitkan sumber energi sendiri pada suatu instalasi pembangkit, akan mengurangi ketergantungan dari sumber pembangkit lain.
2. Pemanfaatan bahan bakar yang lebih efisien.

3. Mengurangi polusi udara, disebabkan pemanfaatan bahan bakar lebih efisien.
4. Mengurangi biaya yang dikeluarkan untuk penggunaan energi.

Tabel 6. Perbandingan Kinerja Sistem Dengan dan yang bukan Kombinasi Panas dan Daya.

Sistem	Bahan bakar (satuan)	Energi listrik (satuan)	Panas terpakai (satuan)	Panas terbuang (satuan)
Kombinasi Panas dan Daya	200	56	104	40
Bukan Kombinasi Panas dan Daya	200	35	80	85
Keuntungan	-	21	24	-45

Sumber: Larsen (1994).

Industri-industri yang potensial untuk diterapkan sistem Kombinasi Panas dan Daya antara lain (Larsen 1994).

1. Penyulingan minyak.
2. Industri pupuk dan peptisida.
3. Industri gula.
4. Petrokimia.
5. Tekstil.
6. Pulp dan kertas.
7. Besi baja.

2. Jenis Sistem Kombinasi Panas dan Daya

Enercon (1991), membagi sistem Kombinasi Panas dan Daya menjadi dua bagian konfigurasi yaitu *topping cycle* dan *bottoming cycle*. Pada sistem *topping cycle* dihasilkan energi listrik dan energi uap secara simultan. Sistem





pembangkit utama menghasilkan energi listrik dan hasil sampingannya berupa gas buang yang dimanfaatkan untuk membangkitkan uap pada Ketel Uap. Penerapan sistem ini banyak digunakan untuk industri-industri padat energi yang membutuhkan energi listrik dan energi uap dalam jumlah yang besar. Dengan sistem ini selain menghemat penggunaan energi juga dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan karena pembuangan emisi gas buang sisa pembakaran.

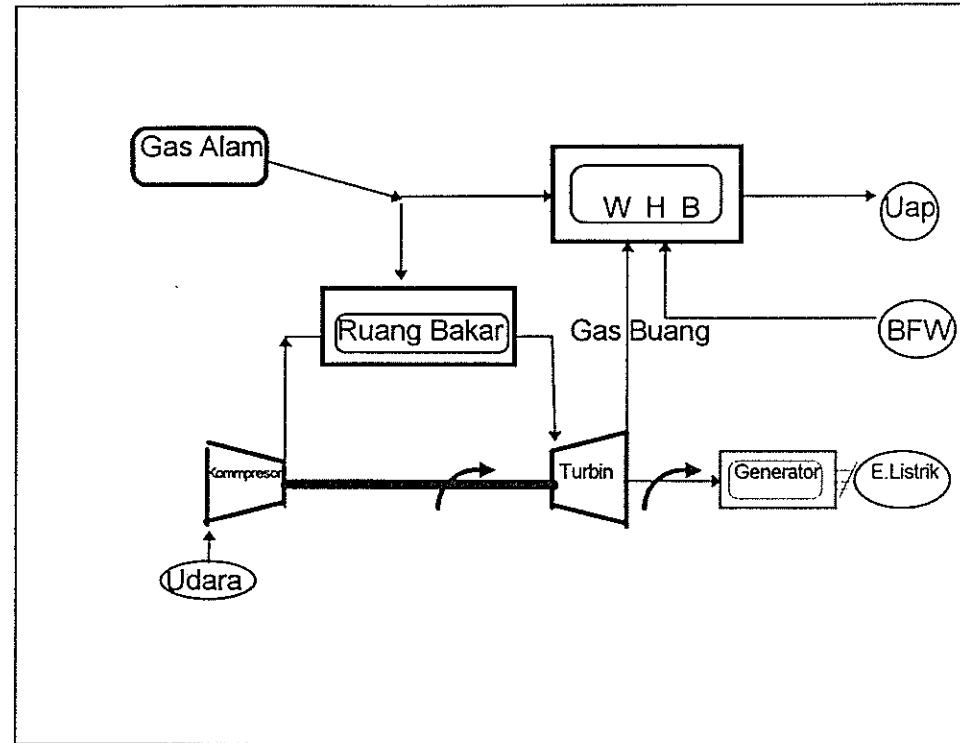
Pada sistem *bottoming cycle* hanya menghasilkan energi listrik dari unit Turbin uap yang dibangkitkan dengan menggunakan gas buang dari sebuah tungku pembakaran. Sistem ini digunakan dalam suatu keadaan dimana dihasilkan panas gas buang yang tinggi, seperti pada tempat pembakaran sampah kota.

3. Sistem Kombinasi Panas Dan Daya di Pusri I-B

Sistem Kombinasi Panas dan Daya di Pusri I-B merupakan sistem jenis *topping cycle*, dalam operasinya sistem ini berada dibawah unit utilitas Pusri I-B, dan bertanggung jawab dalam penyediaan energi listrik dan uap secara keseluruhan dalam lingkungan industri. Sistem ini terdiri dari unit Turbin Gas dan unit Ketel Panas Buang yang merupakan satu si kesatuan sistem. Prinsip kerja sistem Kombinasi Panas dan Daya di Pusri I-B dapat dilihat pada Gambar 2. Cara kerja kedua alat tersebut adalah sebagai berikut:

3.1. Unit Turbin Gas

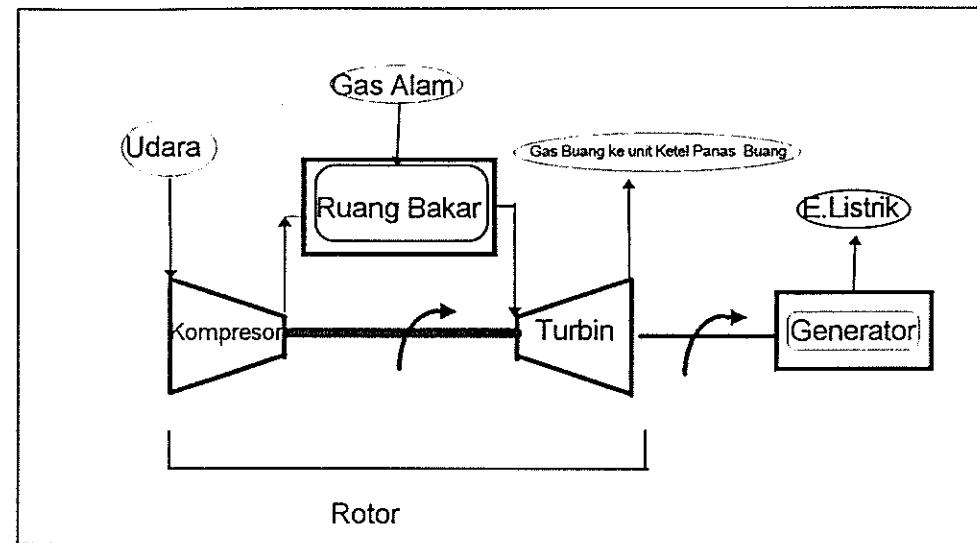
Udara dan gas alam yang telah dikempa dalam kompresor, dibakar dalam ruang pembakaran. Selanjutnya gas panas hasil pembakaran tersebut digunakan untuk menggerakkan turbin, yang kemudian digunakan memutar generator untuk menghasilkan energi listrik.



Gambar 2. Sistem Kombinasi Panas dan Daya di Pusri I-B.

Gas buang hasil pembakaran bertemperatur tinggi yang keluar dari unit Turbin Gas dimanfaatkan di unit Ketel Panas Buang untuk membangkitkan uap. Komponen-komponen utama dalam unit Turbin Gas dapat dilihat pada Gambar 3.

Unit Turbin Gas di Pusri I-B didisain untuk mampu menghasilkan energi listrik dengan daya 22,63 Mw dengan faktor daya 0.89, tegangan 13.8 kV, dan frekwensi 50 Hz. Dalam kondisi normal, daya yang dihasilkan berkisar 7 sampai 10 Mw. Listrik yang dihasilkan dipasok untuk kebutuhan energi listrik di unit urea, unit ammonia, unit utilitas, pabrik melamin, perumahan, PPU, dan interkoneksi dengan Pusri IV.



Gambar 3. Komponen Utama unit Turbin Gas

Menurut Hariana (1994), keuntungan penggunaan unit Turbin Gas dari pembangkit listrik konvensional lain sebagai sumber pembangkit pada sistem Kombinasi Panas dan Daya adalah sebagai berikut:

1. Waktu yang diperlukan sampai operasi lebih pendek.
2. Harga instalasi tiap kilowatt lebih murah sampai setengah harga pembangkit dengan tenaga batu bara.
3. Efisiensi tinggi, yaitu 10 sampai 20%.
4. Emisi yang dihasilkan sedikit.
5. Fleksibilitas dalam pemanfaatan bahan bakar.

3.2. Unit Ketel Panas Buang

Dalam keadaan normal, penghasil uap utama dari fasilitas utilitas adalah unit Ketel Panas Buang, yang memasok sekitar 60% dari keadaan seluruh produksi uap yang dibutuhkan, sedangkan sisanya (40%) dipasok dari unit Ketel Paket.



Unit Ketel Panas Buang ini dilengkapi antara lain *gas burner*, *evaporator*, *superheater*, *desuperheater*, *bypass damper*, *outlet stack gas*, *safety pressure*, *economizer Coil*, dan alat-alat pengaman instrumentasi seperti terlihat pada Lampiran 8a.

Unit Ketel Panas Buang di Pusri I-B didisain untuk mampu menghasilkan uap 90.000 kg/jam, dengan tekanan 42 kg/cm² dan *superheated steam* pada suhu 399 °C. Dalam kondisi operasi normal, uap yang dihasilkan berkisar 72.000 kg/jam. Uap yang dihasilkan dari unit Ketel Panas Buang di Pusri I-B dalam operasi normal hampir 90% digunakan untuk memasok kebutuhan uap di unit urea dan unit utilitas. Sisanya digunakan di unit ammonia yang sifatnya sebagai tambahan.

Air pengisi *boiler* dipompakan masuk dalam *Economizer Coil* sebagai pemanas awal. Dari *Economizer* diteruskan ke *Steam Drum*. Air dari *Steam Drum* secara sirkulasi alam mengalir ke *Boiler Coil*, dari sini terbentuk uap, dan uap yang terbentuk mengalir kembali ke *Steam Drum*. Dengan demikian di dalam *Steam Drum* sebagian berbentuk air dan sebagian berbentuk uap tekanan rendah. Uap basah keluar dari *Steam Drum* dipanasi lebih lanjut dalam *Superheater Coil* sehingga menjadi uap jenuh sebagai keluaran Unit Ketel Panas Buang.

Untuk menjaga total padatan yang ada di dalam air *boiler* pada konsentrasi yang ditentukan, dilakukan *blowdown*. *Blowdown* dilakukan dalam jangka waktu yang pendek dan diusahakan sejaring mungkin, karena dari *blowdown* akan terjadi kehilangan energi. Supaya energi yang terbawa dari air *blowdown* tidak terbuang semua, uap *blowdown* tersebut, diteruskan ke *boiler blowdown flash drum* untuk membentuk uap tekanan rendah, dan sebagian dibuang ke selokan.



E. PRINSIP AUDIT ENERGI

1. Pengertian dan Tujuan

Menurut Suwardjaka (1989), audit energi merupakan suatu aktivitas perhitungan energi untuk mengetahui hal-hal sebagai berikut:

1. Kwantitas energi mulai dari pasokan awal sampai dengan penggunaan akhir.
2. Pola penggunaan energi untuk tiap jenis proses produksi.
3. Efisiensi konversi, dan pemanfaatan.
4. Posisi awal untuk melaksanakan konservasi energi.

Secara matematis menurut Suwardjaka audit energi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$(\text{Audit energi masuk}) = (\text{Energi yang termanfaatkan}) + (\text{Rugi-rugi energi}) \quad (1)$$

Menurut Nugroho (1991), audit energi merupakan suatu perhitungan pada sistem yang mengkonsumsi energi. Adapun tujuannya antara lain untuk mengetahui neraca penggunaan energi, efisiensi peralatan konversi energi, konsumsi energi spesifik, dan sumber pemborosan.

Menurut Berchmans (1994), audit energi diartikan sebagai pemeriksaan dan perhitungan kesetimbangan energi atau neraca energi dari suatu mesin konversi energi berdasarkan pada pengukuran parameter-parameter yang ada. Kesetimbangan energi atau neraca energi mesin konversi energi diartikan sebagai jumlah energi masukan, energi keluaran, dan kehilangan energi mesin konversi energi. Sedangkan tujuan audit energi adalah sebagai berikut:

1. Pengukuran parameter energi.
2. Menentukan dan mendapatkan kesetimbangan energi.
3. Menentukan kinerja mesin yang di audit.



2. Tahapan Audit Energi

Secara umum pekerjaan audit energi dilaksanakan dalam dua tahapan yaitu audit energi permulaan dan audit energi rinci.

2.1. Audit Energi Permulaan

Menurut Suwardjaka (1989), audit energi awal dimaksudkan untuk mengetahui secara garis besar mengenai jumlah dan lokasi konservasi energi dan untuk menentukan arah penelitian lanjutan guna tindak lanjut konservasi energi. Biasanya dilaksanakan dalam waktu singkat.

Menurut Nugroho (1991), Audit energi awal merupakan pencatatan dan analisa konsumsi biaya energi di dalam peralatan utama yang mengkonsumsi energi selama periode waktu tertentu yang dilanjutkan dengan peninjauan lapangan untuk mengetahui kondisi, cara operasi, pemeliharaan, dan sistem instrumentasi dari peralatan konservasi energi utama. Hasil yang diharapkan dari audit energi ini adalah untuk mengidentifikasi sumber-sumber pemborosan energi yang nyata, dan untuk mendapatkan cara penghematan energi dalam waktu jangka pendek.

Menurut Berchmans (1994), audit energi awal merupakan pemeriksaan perhitungan kesetimbangan energi dengan mengandalkan data-data yang telah tersedia di industri. Dari data tersebut dapat diperkirakan kinerja kasar mesin konversi yang diaudit. Audit energi awal diperlukan untuk persiapan untuk melakukan audit energi rinci untuk suatu pembangkit energi yang besar.

2.2. Audit Energi Rinci

Menurut Suwardjaka (1989), audit energi rinci merupakan kelanjutan dari energi awal. Tujuannya adalah untuk mengetahui kesetimbangan

energi dalam sistem yang diaudit, menentukan nilai ekonominya, dan selanjutnya menentukan tindakan-tindakan yang mungkin dapat diambil dalam rangka penghematan energi. Pelaksanaan relatif lebih lama dan dilakukan hanya pada satu bagian atau beberapa bagian dari industri saja.

Menurut Nugroho (1991), audit energi rinci dilakukan untuk mendapatkan parameter-parameter penting dan untuk mendapatkan data kinerja dari peralatan atau bagian proses utama. Berdasarkan data tersebut, dihitung efisiensi dan neraca energi peralatan untuk mendapatkan penghematan energi di peralatan yang diaudit.

Menurut Berchmans (1994), audit energi rinci merupakan pemeriksaan dan perhitungan neraca energi dengan melakukan pengukuran parameter-parameter energi secara rinci dengan menggunakan alat-alat ukur yang telah dikalibrasi.

3. Prosedur Audit Energi

Menurut Suwardjaka (1989), Nugroho (1991), dan Berchmans (1994), prosedur atau langkah-langkah dalam audit energi adalah sebagai berikut:

3.1. Pengumpulan Data Historis

Data historis merupakan data-data teknik dan data-data operasi. Yang termasuk data-data teknik adalah diagram alir, spesifikasi peralatan, kapasitas, sistem konversi, dan distribusi energi. Yang termasuk data operasi adalah data produksi, konsumsi energi untuk harian, bulanan, dan tahunan, serta data modifikasi operasi yang ada.

3.2. Survai Lapangan

Survai yang dilakukan bertujuan untuk meneliti kebocoran-kebocoran, dan pengukuran yang diperlukan sebagai bahan perbandingan terhadap instrumen yang ada.





3.3. Evaluasi dan Analisa Data

Data-data yang telah terkumpul dianalisa lebih lanjut untuk mendapatkan gambaran mengenai kesetimbangan energi dan kehilangan energi untuk bagian yang diaudit. Hasil analisa diperoleh kesetimbangan energi, intensitas energi, energi spesifik, dan efisiensi sistem yang diaudit.

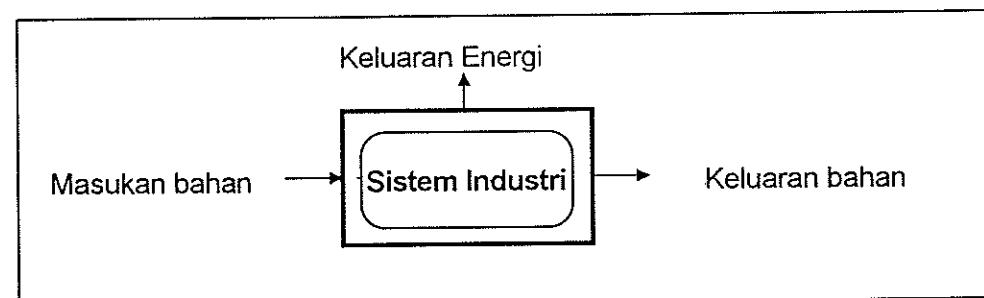
3.4. Laporan

F. DASAR TEORI AUDIT ENERGI

1. Analisa Energi

1.1. Konsep Analisa Energi

Menurut Boustead dalam Hermawan (1990), aspek fundamental dari konsep analisa energi adalah hukum kekekalan massa dan energi, yaitu massa atau energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan. Jika prinsip itu diterapakan untuk suatu sistem akan berlaku $M_i = M_o$, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



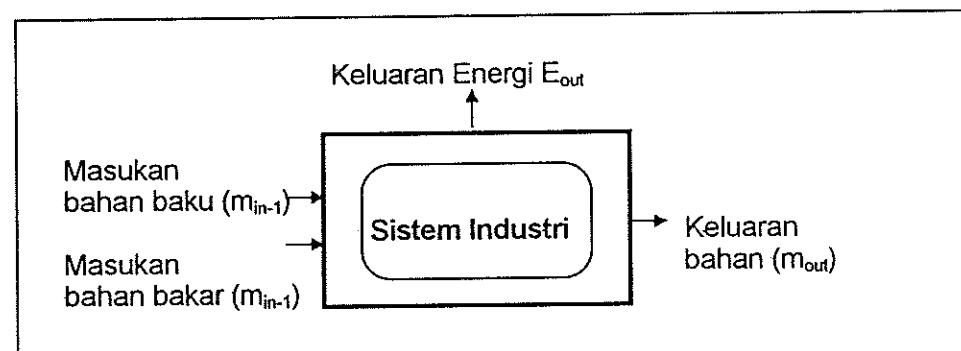
Gambar 4. Sistem Industri (Hermawan 1990).

Prinsip yang sama dapat diterapkan pada suatu rangkaian komponen yang saling berinteraksi, sehingga dapat digunakan untuk memeriksa



keadaan kebenaran harga laju aliran massa masuk maupun keluar dari masing-masing komponen.

Bahan yang masuk kedalam sistem dibedakan atas bahan baku dan bahan bakar (lihat Gambar 5).



Gambar 5. Sistem Industri dengan Pemisahan Masukan (Hermawan, 1990).

1.2. Bahan Masukan dan Keluaran (Produk)

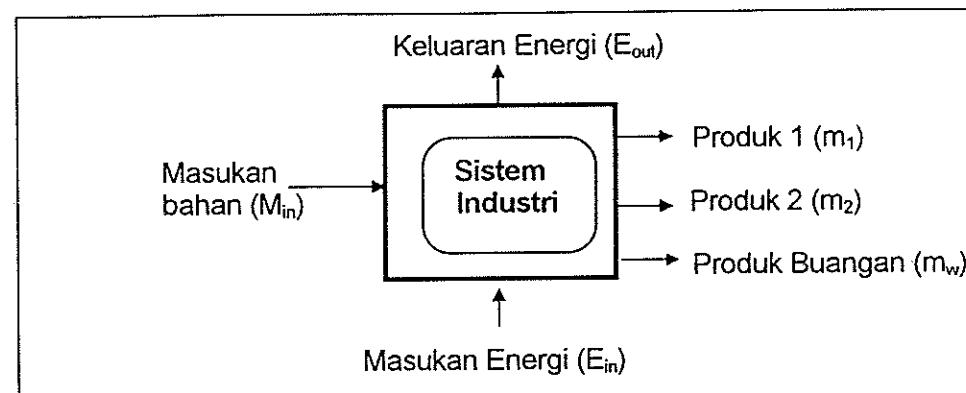
Menurut Boustead dalam Hermawan (1990), di dalam industri nil lebih ditekankan pada proses operasi industri secara keseluruhan. Hal ini sangat diperlukan untuk mengetahui efisiensi konversi bahan dari sebuah operasi industri. Pada kenyataannya, bahan keluaran (produk) dari suatu proses industri terdiri dari lebih satu macam. Hal ini disebabkan karena disamping produk berguna terdapat produk buangan. Penyajian sederhana yang lebih terperinci dapat dilihat pada Gambar 6.

Penerapan hukum kekekalan massa pada sistem produk Gambar 6 akan memperoleh persamaan berikut (Boustead dalam Hermawan, 1990):

$$M_{in} = m_1 + m_2 + m_w \quad (2)$$

dimana;

$$m_1 + m_2 + m_w = M_{out} \quad (3)$$



Gambar 6. Aliran bahan dan energi untuk suatu sistem dengan produk buangan (Hermawan, 1990).

Sehingga untuk komponen yang menghasilkan produk buangan dapat dikatakan mempunyai efisiensi konversi bahan (C), yang dinyatakan sebagai berikut (Boustead dalam Hermawan 1990).

$$C = \frac{\text{Jumlah massa produk berguna}}{\text{Jumlah massa masukan}} \quad (4)$$

Jika persamaan (4) diterapkan pada kondisi seperti ditunjukkan dalam Gambar 7 didapat persamaan sebagai berikut (Boustead dalam Hermawan 1990):

$$C = \frac{m_1 + m_2}{M_i} = \frac{m_1 + m_2}{m_1 + m_2 + m_w} \quad (5)$$

Perhitungan numerikal yang sederhana tersebut menunjukkan dasar evaluasi konversi bahan.

1.3. Energi Spesifik

Energi spesifik didefinisikan sebagai energi yang dibutuhkan untuk pembuatan satu satuan massa produk. Secara matematis dapat dijabarkan sebagai berikut (Li Kam, W dan A. Paul dalam Hermawan, 1990):



$$E_s = \frac{\text{Energi masukan}}{\text{Massa keluaran total}} \quad (6)$$

Jika persamaan (6) diterapkan pada sistem dalam Gambar 4, akan diperoleh persamaan sebagai berikut (Li Kam, W dan A. Paul dalam Hermawan, 1990):

$$E_s = \frac{E_{in}}{M_{out}} \quad (7)$$

Apabila perhitungan energi spesifik didasarkan pada massa produk terpakai, maka akan diperoleh persamaan sebagai berikut (Li Kam, W dan A. Paul dalam Hermawan, 1990):

$$E'_s = \frac{E_{in}}{m_1 + m_2} \quad (8)$$

Substitusi persamaan (4) ke dalam persamaan (7) menghasilkan persamaan:

$$E'_s = \frac{E_{in}}{C \times M_{in}} \quad (9)$$

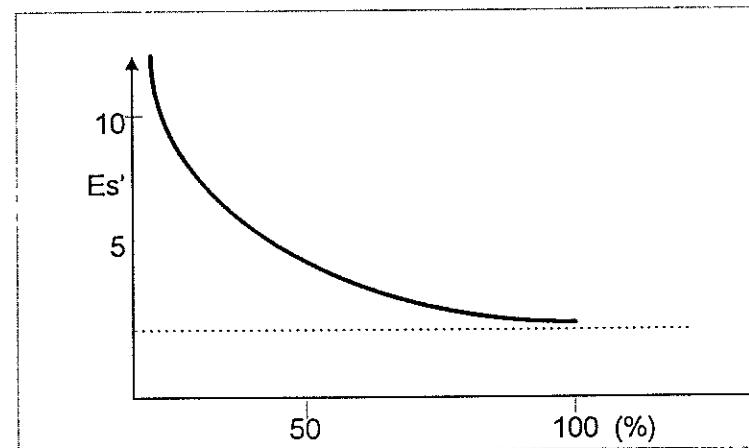
Penggabungan persamaan (7) dan (9) memberikan hubungan sederhana antara E_s dan E'_s sebagai berikut:

$$E'_s = \frac{E_s}{C} \quad (10)$$

Terlihat pada persamaan (10), bahwa harga E'_s akan bervariasi dari harga minimum jika tidak ada produk buangan yang terbentuk, dan harga

E_s' menjadi sangat besar pada harga C yang mendekati nol, yang berarti massa produk buangan besar sekali.

Ketergantungan harga E_s' terhadap efisiensi konversi bahan dapat dilihat pada Gambar 7. Harga energi spesifik akan menjadi dua kali harga semula, jika efisiensi konversi bahan turun dari 100 % menjadi 50 %. Pada efisiensi konversi bahan yang rendah, penurunan efisiensi akan menyebabkan kenaikan energi spesifik yang besar



Gambar 7. Ketergantungan Energi Spesifik Sistem (E_s') (Benedictus, 1986).

1.4. Kombinasi Energi Spesifik dari Beberapa Sub Sistem

Tahap terakhir dari perhitungan penggunaan energi suatu sistem, adalah penggabungan harga energi untuk masing-masing sub sistem ke dalam suatu harga yang dapat menyatakan penggunaan energi untuk keseluruhan sistem. Jika sub sistem dipandang sebagai bagian dari sistem yang lengkap, maka dapat didefinisikan konsumsi energi untuk masing-masing sub sistem per unit massa produk.

Hubungan matematis antara energi spesifik sub sistem dengan energi spesifik seluruh sistem dapat dilihat pada persamaan berikut (Li Kam, W dan A. Paul dalam Hermawan, 1990):



$$E_{kom} = m \times E \quad (11)$$

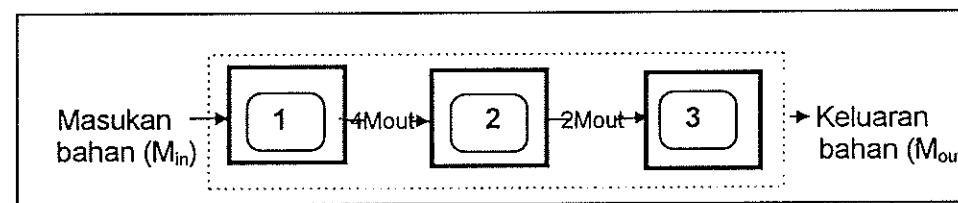
dimana;

E_{kom} = Kombinasi energi setiap sub sistem per satuan produk sistem,

m = Massa produk sub sistem

E = Konsumsi energi sub sistem per satuan massa produk.

Sebagai contoh dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Operasi linier yang sederhana dengan efisiensi konversi bahan sebesar 50% untuk setiap langkah (Hermawan, 1990).

Jadi energi yang dikonsumsi masing-masing sub sistem per unit massa produk sistem, jika efisiensi konversi bahan masing-masing sub sistem 50 % dan $M_{out} = 1$, adalah:

$$E_{kom1} = 4 \times E_1 \quad (12)$$

$$E_{kom2} = 2 \times E_2 \quad (13)$$

$$E_{kom3} = E_3 \quad (14)$$

Konsumsi energi bagi keseluruhan sistem di atas adalah penjumlahan dari harga energi dari masing-masing sub sistem. Energi untuk suatu sistem tidak selalu merupakan penjumlahan sederhana dari semua harga energi sub sistem, sebab harga ini tidak terlepas dari dari ketergantungan macam rangkaian yang ada dalam sistem yang dianalisa.

2. Neraca Massa

Neraca massa merupakan suatu bentuk perhitungan bahan masuk, keluar, tinggal atau yang dikosongkan dari suatu sistem dalam jangka waktu operasi tertentu (Felder, 1986).



Dasar perhitungan neraca massa adalah hukum kekekalan massa yang pada dasarnya menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan. Hukum ini berlaku bagi semua proses, kecuali di dalam proses tersebut terdapat kesetaraan massa dan energi dari teori relativitas Einstein atau terjadi reaksi nuklir (Felder, 1986).

Secara matematis perhitungan neraca massa dapat ditulis dalam bentuk sebagai berikut:

$$(\text{Massa aliran masuk} - \text{massa aliran keluar}) = (\text{massa terakumulasi}). \quad (15)$$

atau,

$$(m_{\text{in}} - m_{\text{out}}) = dm \quad (16)$$

Dalam perhitungan neraca massa, asumsi-asumsi yang digunakan adalah antara lain:

- a. Aliran bahan masuk dan keluar setiap sub sistem terjadi secara kontinyu,
- b. Setiap sub sistem yang ada berlaku sebagai sistem terbuka,
- c. Di dalam setiap sub sistem atau peralatan yang ada tidak terjadi akumulasi atau pengurangan bahan.
- d. Tidak terdapat kesetaraan massa dengan energi dari teori relativitas Einstein disetiap proses yang terjadi.

3. Neraca Energi

Neraca energi merupakan suatu bentuk perhitungan untuk menghitung distribusi penggunaan energi di peralatan energi atau merupakan persamaan matematis yang menyatakan hubungan antara energi masuk dan energi keluar dalam suatu peralatan energi (Felder, 1986).



Dasar perhitungan neraca energi adalah hukum termodinamika ke-satu yang menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan, energi hanya dapat berubah bentuk, dan dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{array}{l} \boxed{(masukan energi ke sistem)} \\ -(keluaran Energi dari sistem) \\ +(Penggunaan energi dalam sistem) \end{array} = (\text{Akumulasi energi dalam sistem}) \quad (17)$$

Pernyataan di atas dapat dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$E_i - E_o \pm Q = \Delta U \quad (18)$$

Untuk keadaan yang mantap, maka energi dalam sistem, dapat dituliskan sebagai berikut:

$$E_i - E_o \pm Q = 0 \quad (19)$$

Anggapan yang diterapkan dalam perhitungan neraca energi dalam suatu sistem adalah:

1. Aliran *stasioner* dan fluida berada dalam tingkat keadaan kesetimbangan termodinamika pada stasiun masuk dan keluar
2. Aliran satu dimensi pada stasiun masuk dan stasiun keluar
3. Energi kinetik dan energi potensial dapat diabaikan
4. Entalpi

Entalpi merupakan penjumlahan antara energi dalam dan perkalian antara tekanan dengan perubahan volume. Penyajian secara matematis defenisi tersebut adalah sebagai berikut (MC, Sandlers, S.I., 1977):

$$H = U + P dv \quad (20)$$

Untuk fluida sederhana, entalpi merupakan fungsi dari tekanan dan temperatur. Pada tingkat dimana harga tekanan, dan temperatur dipilih bebas, maka harga entalpi dapat ditulis (MC, Sandlers, S.I, 1977):

$$H = F(P, T) \quad (21)$$

Deferensiasi harga H didapat persamaan:

$$dH = (dH/dt)_P dt + (dH/dP)_T dP \quad (22)$$

Turunan $(dH/dt)_P$ disebut panas jenis pada tekanan konstan (C_P) Untuk gas nyata panas jenis merupakan sifat yang merupakan fungsi temperatur, dan dapat ditulis sebagai berikut (Felder, 1986):

$$H =_{T_1} /^{T_2} C_P \cdot dT \quad (23)$$



III. METODA PENELITIAN

A. BATASAN SISTEM

Sistem diartikan sebagai kumpulan dari komponen-komponen yang bekerja sama untuk suatu tujuan bersama. Batasan wilayah sistem yang akan dianalisa didekati dengan anggapan bahwa proses produksi merupakan suatu kesatuan dengan unit utilitas sebagai penghasil energi utama.

Audit energi yang dilakukan dalam penelitian ini dibatasi pada sistem Kombinasi Panas dan Daya di Pusri I-B, sebagai penghasil energi utama. Gambar sistem Kombinasi Panas dan Daya di Pusri I-B dapat dilihat lampiran 8b, 8c, 8d.

B. PENDEKATAN MASALAH

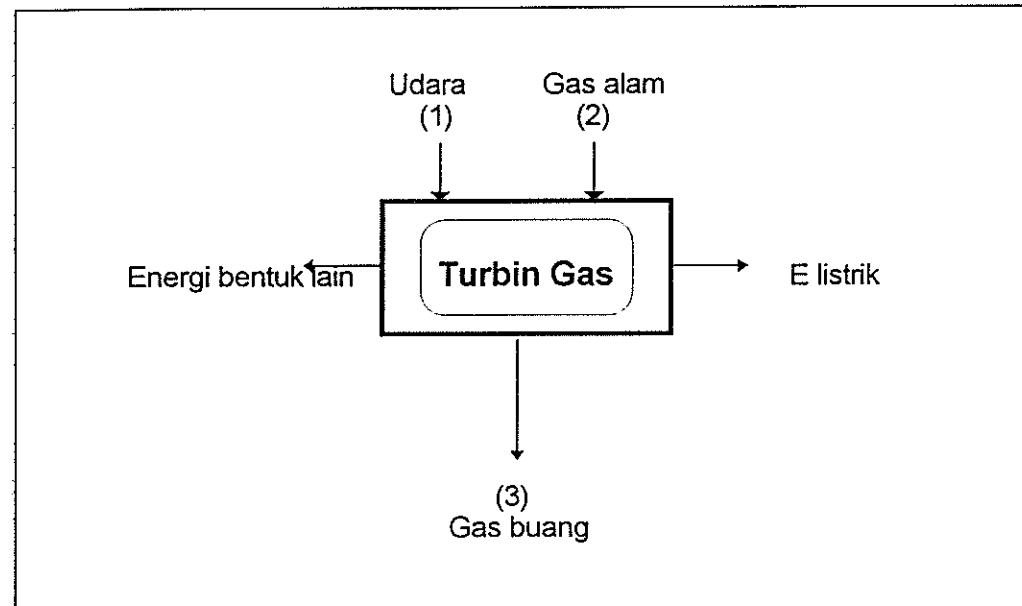
1. Unit Turbin Gas

Yang tidak termasuk ke dalam perhitungan di unit Turbin Gas adalah:

- a. Perhitungan panas yang hilang akibat pendinginan *fluida*.
- b. Perhitungan daya untuk penggerak kompresor dan generator.
- c. Perpindahan panas di dalam ruang bakar.
- d. Perhitungan panas yang diakibatkan oleh adanya gesekan antara gas dengan permukaan dalam dinding saluran.

Blok diagram dan penomoran aliran proses neraca energi dari unit Turbin Gas dapat dilihat pada Gambar 9.

Energi masuk terdiri dari energi gas alam dengan nomor notasi 1, dan energi udara dengan nomor notasi 2. Sedangkan energi keluar terdiri dari energi listrik, energi gas buang dengan nomor notasi no 3, dan energi bentuk lain.



Gambar 9. Blok Diagram, dan Aliran Proses di Unit Turbin Gas Pusri I-B.

Dengan demikian neraca massanya adalah:

$$M_1 = M_2 + M_3 \quad (24)$$

dan neraca energinya adalah;

$$E_1 + E_2 = E_3 + EL + E_{\text{bentuk lain}} \quad (25)$$

2. Unit Ketel Panas Buang

Yang tidak termasuk ke dalam perhitungan analisis meliputi:

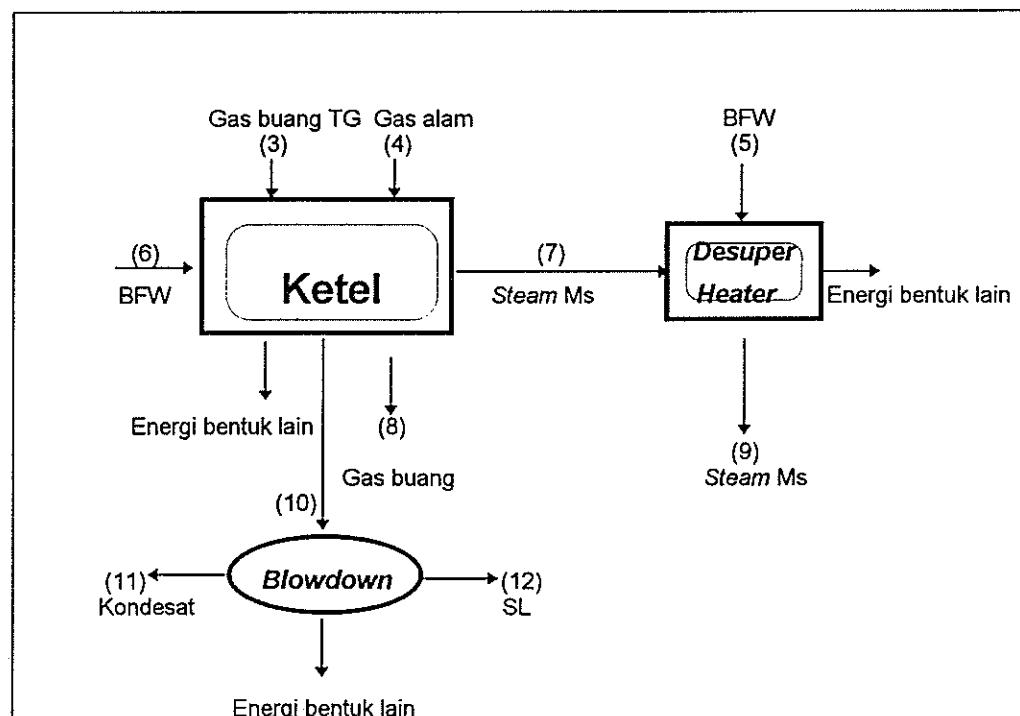
- Perhitungan neraca panas gas dalam ketel.
- Perhitungan panas yang diakibatkan oleh adanya gesekan antara gas proses dengan permukaan dinding dalam saluran.
- Perpindahan panas dari dinding ke lingkungan.

Blok diagram dan penomoran langkah aliran dapat dilihat pada Gambar 10.

Unit ini terdiri dari tiga komponen, yaitu ketel uap, Desuperheater dan Blowdown drum.



Energi masuk terdiri dari energi gas alam dengan nomor notasi 4, energi panas dalam bentuk gas buang dari Turbin Gas dengan nomor notasi 3, dan energi air umpan ketel dengan nomor notasi 6 dan 5. Sedangkan energi keluar terdiri dari energi untuk memproduksi *middle steam* dengan nomor notasi 9, *low steam* dengan nomor notasi 11, kondensat dengan nomor notasi 12, energi panas hilang dalam bentuk gas buang dengan nomor notasi 8, dan energi bentuk lain.



Gambar 10. Aliran Proses Unit Ketel Panas Buang.

Maka neraca massa pada Ketel Uap dapat ditulis sebagai berikut :

$$M_8 = M_3 + M_4 \quad (26)$$

$$M_6 = M_7 + M_{10} \quad (27)$$

dan neraca energinya adalah;

$$E_3 + E_4 + E_6 = E_7 + E_8 + E_{10} + E_{\text{bentuk lain}} \quad (28)$$



Neraca massa pada *Desuperheater* adalah:

$$M_9 = M_5 + M_7 \quad (29)$$

dan neraca energinya;

$$E_9 = E_5 + E_7 + E_{\text{bentuk lain}} \quad (30)$$

Neraca energi pada *Blowdown drum* adalah:

$$M_{10} = M_{11} + M_{12} \quad (31)$$

dan neraca energinya adalah;

$$E_{10} = E_{11} + E_{12} + E_{\text{bentuk lain}} \quad (32)$$

3. Kesetimbangan Energi di Turbin Gas Dan Ketel Panas Buang

3.1. Perhitungan Neraca Massa

Untuk perhitungan neraca massa seperti yang terdapat dalam Gambar 9 dan Gambar 10, berlaku hukum kontinuitas berikut (Reynold, W.C. dan Perkin, 1979):

$$(\text{Laju aliran masuk sistem}) = (\text{Laju aliran keluar sistem}) \quad (33)$$

3.2. Perhitungan Neraca Energi

a. Perhitungan Neraca Energi Turbin Gas

Energi masukan pada Turbin Gas terdiri dari gas alam dan udara pembakaran. Energi masukan gas alam didekati dengan persamaan berikut (Li Kam, W dan A. Paul dalam Hermawan 1990):

$$Q_{bb} = m_{bb} \times HHV_n \quad (34)$$

dimana;

Q_{bb} = Panas masuk ke sistem bahan bakar, (kkal/jam).

m_{bb} = Laju aliran gas alam, (kg/Jam).

HHV_n = Nilai kalor gas alam bersih, (kkal/kg).



Nilai HHV_n dicari dengan mengalikan HHV_g dengan faktor kompresibilitas (pengempaan). Perhitungannya dapat dilihat pada lampiran 7.

Energi masukan dari udara pembakaran untuk pembakaran gas alam didekati dengan persamaan berikut:

$$Q_u = M_u \times (H_{ud} - H_{ref}) \quad (35)$$

dimana;

Q_u = Energi udara, (kkal/jam).

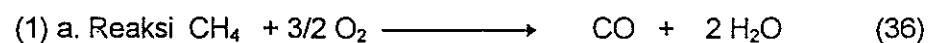
M_u = Laju aliran massa udara, (kg/jam).

H_{ud} = Entalpi udara pada entalpi lingkungan, (kkal/kg).

H_{ref} = Entalpi udara pada temperatur referensi pada 25°C , (kkal/kg).

Untuk menghitung kebutuhan udara untuk pembakaran, diperhitungkan dengan meninjau reaksi pembakaran unsur-unsur kimia dengan oksigen. Perhitungan nilai pembakaran dapat dilakukan secara analisa kimia dari bahan bakar dengan meninjau nilai pembakaran tiap-tiap unsur.

Reaksi pembakaran untuk tiap-tiap komponen gas alam terjadi dalam dua tahap yaitu, reaksi pertama merupakan pembentukan gas karbonmonoksida, dan reaksi kedua merupakan reaksi pembentukan gas karbondioksida:



Bila kedua reaksi di atas digabungkan, maka akan didapatkan reaksi sebagai berikut, dan hal ini berlaku untuk reaksi pembakaran selanjutnya.



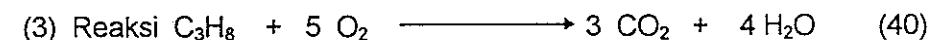
1 kmol	2 kmol	1 kmol	2 kmol
16,01 kg	64 kg	28 kg	32 kg

Maka pembakaran 1 kg CH_4 membutuhkan oksigen sebanyak $64/16,01$ kg atau 4,0 kg. CO_2 yang dihasilkan adalah $44/16,01$ kg atau 2,7483 kg, dan H_2O



1 kmol	3,5 kmol	2 kmol	3 kmol
30,07 kg	112 kg	88 kg	54 kg

Maka pembakaran 1 kg C_2H_6 membutuhkan oksigen sebanyak $112/30,07$ kg atau 3,7246 kg, CO_2 yang dihasilkan adalah $88/30,07$ kg atau 2,9265 kg, dan H_2O yang dihasilkan adalah $54/30,07$ kg atau 1,7958 kg.



1 kmol	5 kmol	3 kmol	4 kmol
44,09 kg	160 kg	132 kg	72 kg

Maka pembakaran 1 kg C_3H_8 membutuhkan oksigen sebanyak $160/44,09$ kg atau 3,2689 kg, CO_2 yang dihasilkan adalah $132/44,09$ kg atau 2,9939 kg, dan H_2O yang dihasilkan adalah $72/44,09$ kg atau 1,6330 kg.

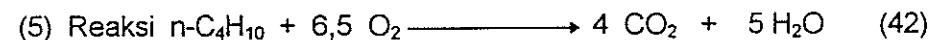


1 kmol	6,5 kmol	4 kmol	5 kmol
58,12 kg	208 kg	176 kg	90 kg

Maka pembakaran 1 kg $\text{i-C}_4\text{H}_{10}$ membutuhkan oksigen sebanyak $208/58,12$ kg atau 3,5788 kg, CO_2 yang dihasilkan adalah $176/58,12$ kg

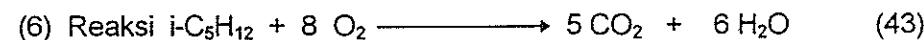


atau 3,0282 kg, dan H₂O yang dihasilkan adalah 90/58,12 kg atau 1,5485 kg.



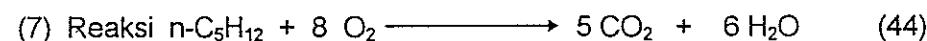
1 kmol	6,5 kmol	4 kmol	5 kmol
58,12 kg	208 kg	176 kg	90 kg

Maka pembakaran 1 kg n-C₄H₁₀ membutuhkan oksigen sebanyak 208/58,12 kg atau 3,5788 kg, CO₂ yang dihasilkan adalah 176/58,12 kg atau 3,0282 kg, dan H₂O yang dihasilkan adalah 90/58,12 kg atau 1,5485 kg.



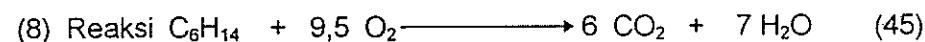
1 kmol	8 kmol	5 kmol	6 kmol
72,15 kg	256 kg	220 kg	108 kg

Maka pembakaran 1 kg i-C₅H₁₂ membutuhkan oksigen sebanyak 256/72,15 kg atau 3,5482 kg, CO₂ yang dihasilkan adalah 220/72,15 kg atau 3,0493 kg, dan H₂O yang dihasilkan adalah 108/72,15 kg atau 1,4969 kg.



1 kmol	8 kmol	5 kmol	6 kmol
72,15 kg	256 kg	220 kg	108 kg

Maka pembakaran 1 kg n-C₅H₁₂ membutuhkan oksigen sebanyak 256/72,15 kg atau 3,5482 kg, CO₂ yang dihasilkan adalah 220/72,15 kg atau 3,0493 kg, dan H₂O yang dihasilkan adalah 108/72,15 kg atau 1,4969 kg.



1 kmol	9,5 kmol	6 kmol	7 kmol
86,18 kg	304 kg	264 kg	126 kg

Maka pembakaran 1 kg C_6H_{14} membutuhkan oksigen sebanyak $304/86,18$ kg atau 3,5275 kg, CO_2 yang dihasilkan adalah $264/86,18$ kg atau 3,0634 kg, dan H_2O yang dihasilkan adalah $126/86,18$ kg atau 1,46,21 kg.

Berdasarkan reaksi pembakaran tersebut, dapat ditentukan kebutuhan oksigen minimum seperti persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{O}_{\min} = & (4,00 \% \text{CH}_4 + 3,7246 \% \text{C}_2\text{H}_6 + 3,2689 \% \text{C}_3\text{H}_8 + 3,5788 \text{i-C}_4\text{H}_{10} \\ & + 3,5788 \% \text{n-C}_4\text{H}_{10} + 3,5482 \% \text{i-C}_5\text{H}_{12} + 3,5482 \% \text{i-C}_5\text{H}_{12} \\ & + 3,5275 \% \text{C}_6\text{H}_{14}) \text{ kg/kg gas alam} \end{aligned} \quad (46)$$

Oksigen pembakaran diambil dari udara bebas. Secara praktis udara bebas terdiri dari 79% N_2 dan 21% O_2 , maka kebutuhan udara secara teoritis menjadi:

$$\text{L}_{\min} = 100/21 \text{ O}_{\min}, (\text{kg/kg gas alam}) \quad (47)$$

Proses pembakaran yang terjadi diharapkan sempurna, oleh karena itu dipertimbangkan faktor udara lebih dan faktor kelembaban seperti terlihat pada Tabel 7 dan Tabel 8. Dengan mempertimbangkan unsur E dan f, maka kebutuhan udara sebenarnya adalah:

$$\text{L}_{\text{aktual}} = \text{L}_{\min} \times E \times f, (\text{kg/kg gas alam}) \quad (48)$$

Tabel 7. Faktor Kelebihan Udara Berbagai Bahan Bakar (E).

Bahan Bakar	E (tidak ada satuan)
Batu Bara	1,10 - 1,40
Kokas	1,20 - 1,40
Kayu	1,25 - 1,45
Ampas Tebu	1,25 - 1,45
Minyak	1,08 - 1,15
Gas Alam	1,05 - 1,10
Gas Minyak Bumi	1,08 - 1,15
Gas Kokas	1,05 - 1,10

Sumber: Ledineeq dalam Hermawan, (1990)

Tabel 8 Faktor Kelembaban Udara (f)

Temperatur (°C)	f (tidak ada satuan)
0	1,0058
10	1,0049
20	1,0190
30	1,0350
40	1,0630

Sumber : Ledineeq dalam Hermawan. (1990)

Total masukan energi ke dalam sistem Turbin Gas adalah:

$$Q_{\text{tot}} = Q_{bb} + Q_{ud} \quad (49)$$

Energi keluaran Turbin Gas terdiri dari energi berguna listrik, energi gas buang, dan energi panas lainnya. Untuk menghitung energi listrik menggunakan persamaan (Li Kam dan Priddy dalam Hermawan, 1990):



$$EL = PL * 0.24 \quad (50)$$

dimana;

EL = Energi listrik, (kkal/jam).

PL = Produksi listrik, (kW).

0.24 = Faktor konversi, (tidak ada satuan).

Perhitungan rugi-rugi energi Turbin Gas dijabarkan dalam persamaan kehilangan energi berikut:

Untuk menghitung energi yang terbuang di gas buang menggunakan persamaan, (Felder, 1986):

$$Q_{gb} = M_{gb} \times \Sigma H_{gb} \quad (51)$$

dimana;

Q_{gb} = Energi gas buang, (kkal/jam).

M_{gb} = Laju aliran massa gas buang unsur ke-i, (kg/jam).

ΣH_{gb} = Entalpi gas buang ke-i, (kkal/kg), nilai ΣH_{gb} ini dapat dilihat pada Lampiran 9.

Panas yang terbawa oleh air pendingin didekati dengan persamaan berikut:

$$Q_a = M_a \times C_{pa} \times (T_{oa} - T_{ia}) \quad (52)$$

dimana;

M_a = Laju aliran air pendingin, (kg/jam).

C_{pa} = Panas jenis air pendingin, (kkal/kg °C).

T_{oa} = Temperatur air keluar, (°C).

T_{ia} = Temperatur air masuk, (°C).

Rugi panas radiasi dari badan Turbin Gas didekati dengan persamaan berikut:



$$Q_{\text{rad}} = h \times A \times T_{\text{bulk}} \quad (53)$$

dimana;

h = Entalpi temperatur lingkungan, (kkal/kg).

A = Luas permukaan badan mesin, (m^2).

$T_{\text{bulk}} = (T_w + T_{\text{ref}})/2$, ($^{\circ}\text{C}$).

T_w = Temperatur permukaan badan mesin, ($^{\circ}\text{C}$).

T_{ref} = Temperatur referensi, ($^{\circ}\text{C}$).

Efisiensi langsung Turbin Gas adalah sebagai berikut;

$$\eta = \frac{Q_{\text{el}}}{Q_{\text{bb}} + Q_{\text{ud}}} , (\%) \quad (54)$$

b. Perhitungan Neraca Energi Untuk Ketel Panas Buang

Energi masukan pada Ketel Panas Buang terdiri dari gas alam, udara, dan air pengisi *boiler*.

Untuk menghitung energi gas alam dan udara pembakaran didekati dengan persamaan yang sama dengan Turbin Gas, yaitu dengan persamaan (34) dan (35).

Energi keluaran Ketel Panas Buang adalah energi berguna dari uap tekanan menengah, tekanan rendah, dan kondesat, energi gas buang dan rugi-rugi energi.

Energi berguna dalam bentuk uap dan kondesat didekati dengan persamaan berikut, (Li Kam dan Priddy dalam Hermawan, 1990);

$$E_s = M_s * H_s, \quad (55)$$

dimana;

E_s = Energi yang diserap untuk uap atau kondesat, (kkal/jam).

M_s = Laju aliran uap atau kondesat, (kg/jam).

H_s = Entalpi uap atau kondesat, (kkal/kg).



Perhitungan ini juga berlaku untuk perhitungan di *blowdown* dan air pengisi *boiler*. Rugi-rugi panas di Ketel Panas Buang dijabarkan sebagai berikut:

Rugi-rugi gas buang didekati sama dengan rugi gas buang pada Turbin Gas , yaitu dengan menggunakan persamaan (45). Sedangkan untuk rugi energi karena radiasi disebabkan kebocoran pancaran Ketel Panas Buang ke sekeliling sulit untuk ditentukan, tetapi dalam prakteknya ada hubungan antara kerugian radiasi dengan besarnya produksi uap seperti terdapat dalam Tabel 10.

Efisiensi langsung WHB dihitung dengan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{Q_{bh} + Q_{BEW} + Q_{ud}}{Q_{SM} + Q_{SL} + Q_{kondesat}}, (\%) \quad (56)$$

Tabel 10. Hubungan Produksi Uap terhadap Kerugian Radiasi.

Produksi Uap (ton/jam)	Kerugian radiasi (kkal/kkal uap)
4	0,050
10	0,031
20	0,022
50	0,014
100	0,010

Sumber: Ledineeg dalam Hermawan, (1990).

3.3. Analisa Konsumsi Energi

a. Energi Listrik

Besarnya energi listrik yang diperlukan dalam produksi pupuk urea didekati dengan persamaan berikut:

$$EI = (D \times t) / Q \quad (57)$$



sedangkan;

$$D = V \times I \times \cos\alpha \quad (58)$$

dimana;

E_l = Energi listrik yang digunakan per kg urea (kWh/kg).

t = Waktu (jam).

Q = Jumlah produksi urea, (kg).

V = Tegangan, (volt).

I = Arus (ampere).

$\cos\alpha$ = Faktor daya, (tidak ada satuan).

b. Energi Bahan Bakar

Energi bahan bakar untuk memproduksi urea didekati dengan persamaan berikut:

$$E_{bb} = (A_i \times R_i) / Q \quad (59)$$

dimana;

E_{bb} = Jumlah energi yang berasal dari bahan bakar, (kkal/kg).

A_i = Konsumsi bahan bakar, (kg).

R_i = Nilai kalor bahan bakar, (kkal/kg).

Q = Jumlah produksi urea, (kg).

c. Energi Uap

Energi uap didekati dengan persamaan berikut:

$$E_{uap} = (E_u \times H_u) / Q \quad (60)$$

dimana;

E_{bb} = Jumlah energi yang berasal dari bahan bakar, (kkal/kg).

A_u = Konsumsi uap, (kg).

H_u = Entalpi uap, (kkal/kg).

Q = Jumlah produksi urea, (kg).



C. TEMPAT DAN WAKTU PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di PT. PUSRI (Persero) Palembang, di bagian Sarana Penunjang Pusri I-B. Sedangkan pengolahan data dilakukan di PT. Pusri dan di IPB Bogor. Penelitian ini dilakukan selama empat bulan, mulai tanggal 14 Mei sampai 1 September 1996.

D. BAHAN DAN ALAT

Peralatan yang digunakan pada pelaksanaan penelitian ini terdiri dari alat-alat yang terpasang di lapang dan alat-alat yang ada di ruang pengendali. Adapun peralatan yang ada di ruang pengendali berupa seperangkat komputer, sedangkan alat-alat dilapangan, seperti *Termocoupel* dan *Infrared Thermometer* untuk mengukur suhu, *Combustion Tester O₂, CO₂, CO* untuk mengukur komposisi O₂, CO₂, CO, *Smoke* khusus untuk mengukur komposisi CO₂, *Draft Gauge* untuk

3.4. Analisa Konsumsi Energi Spesifik

Analisa konsumsi energi spesifik didasarkan pada massa produk berguna atau terpakai, dihitung dengan persamaan (Li Kam, dan A. Paul dalam Hermawan, 1990), sebagai berikut:

$$\text{SEC} = (\text{Energi terpakai}) / (\text{Massa produk berguna}), (\text{kcal/kg urea}) \quad (61)$$

3.5. Analisa Intensitas Energi

Intensitas energi merupakan perhitungan energi berguna dalam bentuk umum, dihitung dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{Intensitas energi} &= (\text{Energi terpakai}) / (\text{Satuan produk berguna}) \\ &(\text{MMBTU/kWh atau MMBTU/ton uap}) \end{aligned} \quad (62)$$



mengukur tekanan. Sedangkan bahan yang digunakan di dalam melakukan penelitian ini adalah gas alam, udara dan uap air (*steam*).

E. METODA AUDIT

Audit energi yang dilakukan dalam penelitian ini merupakan Audit Energi Rinci berdasarkan Suwardjaka (1989), dan Berchmans (1994).

Dalam pelaksanaannya audit ini diselesaikan dalam empat langkah, seperti berikut:

1. Perencanaan,

Perencanaan dimaksudkan untuk persiapan dalam melakukan pengukuran parameter-parameter energi. Dalam perencanaan ini ditentukan metoda penelitian, prosedur penelitian yang dipilih, persiapan alat pengukur, dan titik pengukuran, seperti yang terdapat dalam Gambar 8 dan Gambar 9.

2. Pengukuran

Pengukuran dalam penelitian ini dilakukan di unit utilitas antara lain, unit Turbin Gas dan unit Ketel Panas Buang. Data yang diambil antara lain temperatur, tekanan, laju aliran massa, kosumsi gas alam, produksi uap air, dan listrik. Titik pengambilan data dapat dilihat dalam Lampiran 8e,8f, dan 8g. Sedangkan data dari unit urea merupakan data sekunder yang diperoleh dari Dinas Teknik Proses.

3. Evaluasi data dan analisa kerja

Evaluasi data merupakan kegiatan menyusun dan memformat data-data hasil pengukuran sehingga memudahkan dalam analisa data. Dalam evaluasi data dilakukan penyeragaman satuan. Sistem satuan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem Satuan Internasional (SI).

Analisa kerja merupakan perhitungan neraca energi, neraca massa, efisiensi dan parameter lainnya. Analisa juga dilakukan untuk mengetahui kemungkinan penghematan energi yang mungkin dapat dilakukan.

4. Penyusunan laporan

F. METODA PENGAMBILAN DATA

Dalam penelitian ini, data yang diambil terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer adalah data yang diambil langsung dari lapangan, data dari ruang pengendali (*control room*), dan data dari *log sheet*. Sedangkan data sekunder merupakan data yang diambil dari Dinas Teknik Proses. Data-data itu terdiri dari data disain, hasil analisa gas alam, dan hasil analisa gas buang.

Pengambilan data dilakukan selama satu bulan, yaitu 1 Juni sampai 30 Juni 1996. Sedangkan evaluasi dan analisa data dilakukan selama empat hari yaitu 25 juni sampai 28 Juni 1996. Data yang dievaluasi dan dianalisa mengikuti kondisi sebagai berikut:

- Data pada kondisi industri diatas 96%.
- Data tersebut relatif tetap untuk selang waktu.

Berdasarkan hal di atas, maka data yang dievaluasi dan dianalisa merupakan data kondisi industri pada beban operasi 103% pada tanggal 25 Juni sampai 28 Juni 1996.



IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. NERACA ENERGI SPESIFIK UNIT TURBIN GAS DI PUSRI I-B

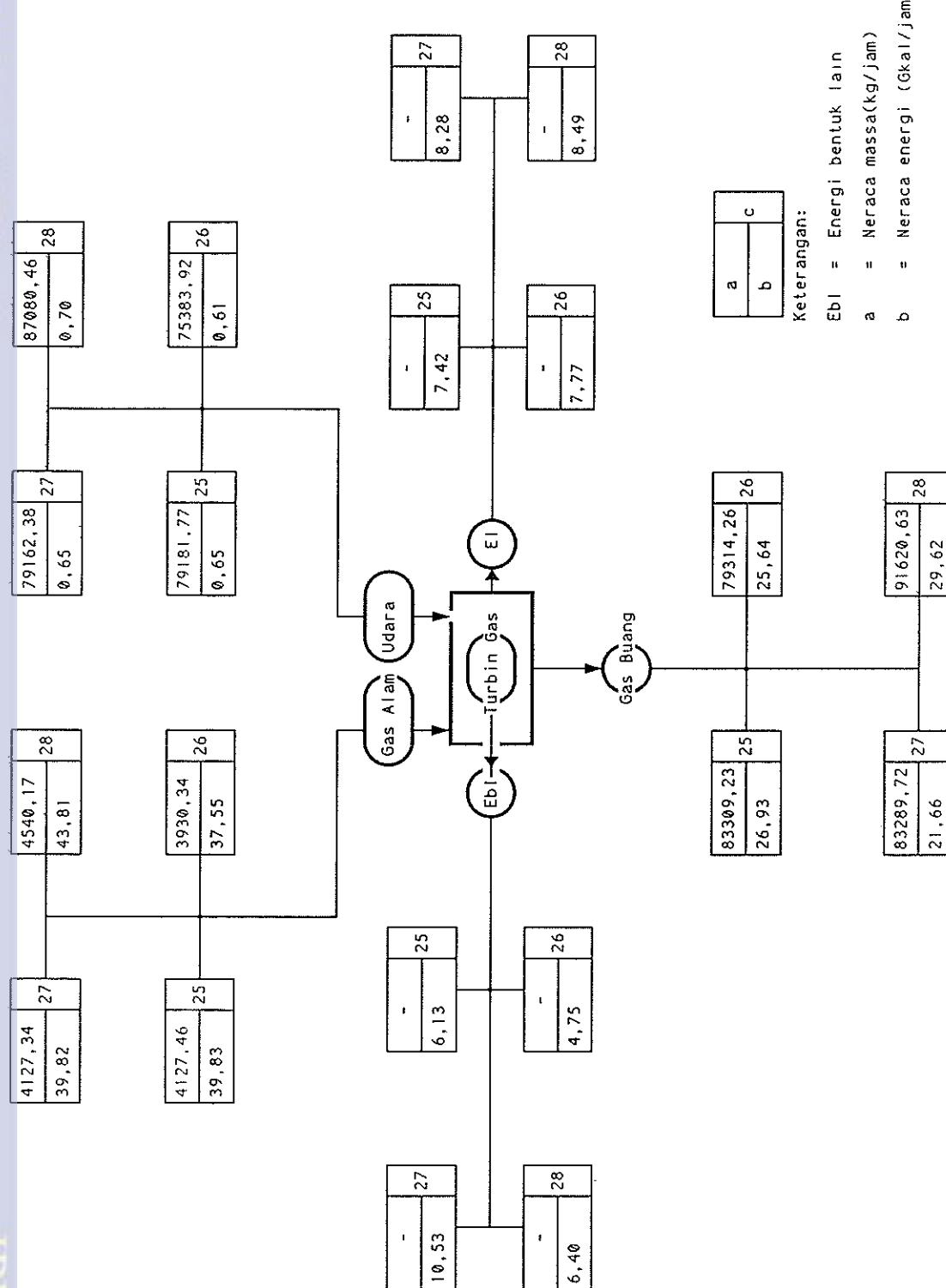
Dari hasil pengukuran kondisi operasi, dapat ditentukan aliran massa, energi masuk dan keluar sistem. Hasil tersebut kemudian disajikan dalam bentuk kesetimbangan energi, seperti yang terdapat dalam Gambar 11. Yang kemudian diolah dalam bentuk khusus, yaitu energi per satuan produk (lihat Tabel 10). Sedangkan data rinci hasil pengukuran dapat dilihat pada Lampiran 5.

Tabel 10. Neraca Energi Spesifik Unit Turbin Gas di Pusri I-B (kkal/kWh).

	Tanggal Pengamatan, Juni 1996			
	25	26	27	28
Masukan:				
Gas alam	4613,51	4196,71	4134,88	4110,85
Udara	75,48	72,12	67,65	65,97
Jumlah:	4688,99	4268,83	42020,20	4499,80
Keluaran:				
Listrik	859,68	859,68	859,68	859,68
Panas hilang:				
Gas buang	3119,17	2779,31	2881,06	2835,12
Radiasi dan konduksi	122,19	116,72	109,50	106,77
Air pendingin	0,70	0,66	0,69	0,70
Bentuk lain	587,25	512,46	351,27	679,72
Jumlah:	3829,31	3409,15	3342,52	3616,22
Efisiensi	18,63%	20,14%	20,46%	19,17%



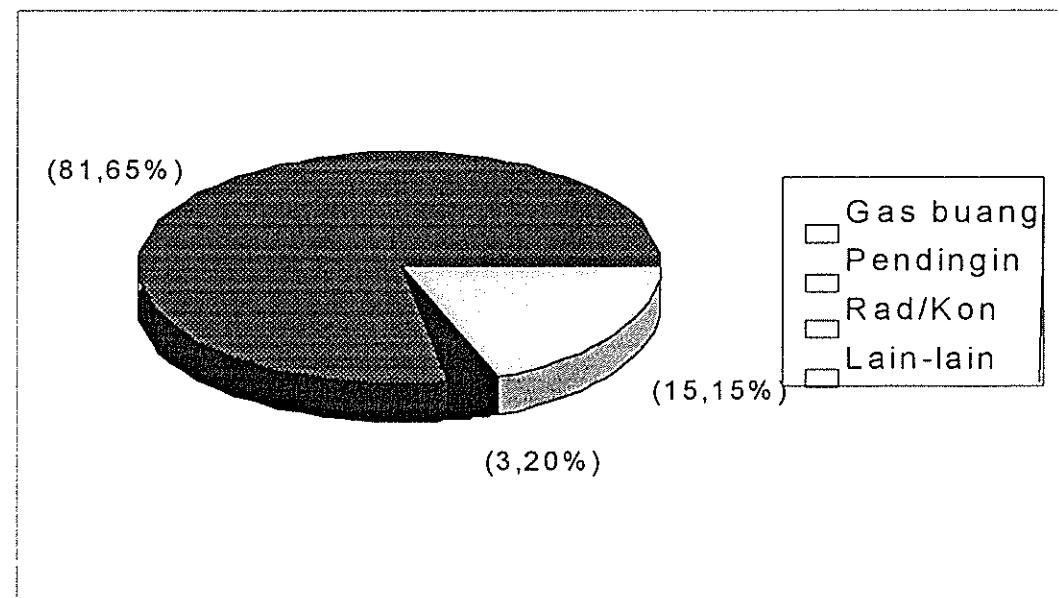
Grafik energi LEP University





Berdasarkan hasil perhitungan, besarnya energi listrik yang dihasilkan Turbin Gas di Pusri I-B sebesar 859,68 kkal/kWh. Secara finansial energi listrik yang dihasilkan tersebut setara dengan 50.755.250 Rupiah. Untuk menghasilkan energi tersebut dibutuhkan masukan energi sebesar 4415,89 kkal/kWh yang berasal dari udara dan gas alam.. Nilai tersebut setara dengan 9.252.843 Rupiah, yang berasal pembelian gas alam dari Pertamina. Jadi dengan membangkitkan energi listrik sendiri diperoleh penghematan energi 41.502.407 rupiah per hari, dibandingkan jika pihak Pusri harus membeli listrik dari PT. PLN.

Kerugian energi di unit Turbin Gas adalah sebesar 3556,37 kkal/kWh. Kerugian energi tersebut berasal dari gas buang sebesar 81,65%, radiasi dan konduksi dari badan unit Turbin Gas sebesar 3,20%, air pendingin mesin dan energi bentuk lain sebesar 15,15%. Persentase kerugian tersebut dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Kerugian Energi di unit Turbin Gas Pusri I-B.

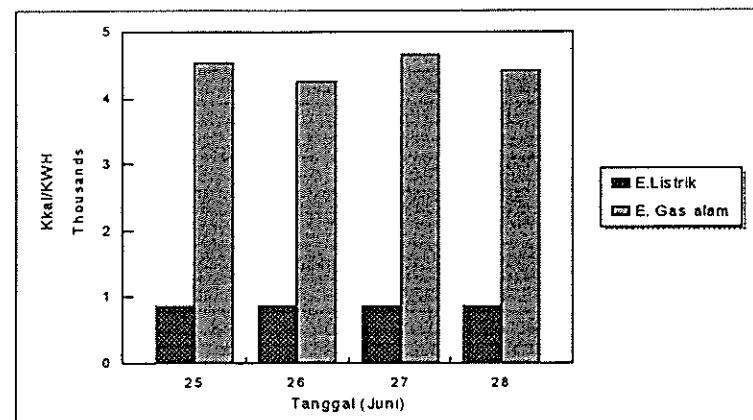
Dari hasil perhitungan di unit Turbin Gas Pusri I-B, diperoleh nilai efisiensi sebesar 19,50%. Nilai efisiensi ini lebih baik dari unit Turbin Gas di Pusri II, III, dan

Pusri IV hasil penelitian PT. Koneba pada bulan Januari 1989. Hasil penelitian yang dilakukan oleh PT. Koneba tersebut diperoleh nilai efisiensi sebagai berikut, di Pusri II nilai efisiensinya sebesar 12,35%, Pusri III sebesar 16,17%, dan Pusri IV sebesar 17,86%. Sedangkan hasil penelitian Suryadi di unit Turbin Gas PT. Pupuk Kujang diperoleh nilai efisiensi sebesar 23,72%

Kehilangan energi di unit Turbin Gas Pusri I-B, banyak terjadi disebabkan tingginya kehilangan energi di gas buang yang mencapai 81,65% dari total kehilangan energi di unit Turbin Gas. Untuk menurunkan kehilangan energi dapat dilakukan dengan mengontrol sistem pembakaran secara teratur. Pengontrolan tersebut dapat dilakukan dengan mengandalikan udara berlebih pembakaran dalam kondisi optimal, dan membersihkan permukaan penukar panas dalam ruang bakar secara teratur. Sistem pembakaran yang jelek dapat dilihat dari tingginya suhu gas buang. Suhu gas buang yang tinggi menunjukkan perpindahan panas dari sistem penukar panas tidak cukup untuk memindahkan energi yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi berguna.

Walau memiliki efisiensi yang rendah, kinerja unit Turbin Gas di Pusri I-B relatif stabil. Hal ini dapat dilihat dari nilai intensitas energi unit Turbin Gas yang relatif tetap, yaitu sebesar 0,18 MMBTU/kWh. Sedangkan perbandingan antara bahan baku dan energi listrik yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 13. Dari gambar tersebut dapat dilihat perbedaan yang tajam antara sumber energi bahan baku dengan produk. Hal tersebut menunjukkan bahwa efisiensi unit Turbin Gas Pusri I-B masih rendah.

Walau efisiensi unit Turbin Gas lebih rendah dari efisiensi sumber pembangkit lain, pada umumnya industri-industri besar menggunakan unit Turbin Gas sebagai sistem pembangkit energi listriknya karena ketahanannya untuk dioperasi secara terus menerus dalam jangka waktu yang lama (BPPT, 1996).



Gambar 13. Grafik Hubungan Konsumsi Bahan Bakar Energi Listrik terhadap tanggal Pengamatan

B. NERACA ENERGI SPESIFIK UNIT KETEL PANAS BUANG DI PUSRI I-B

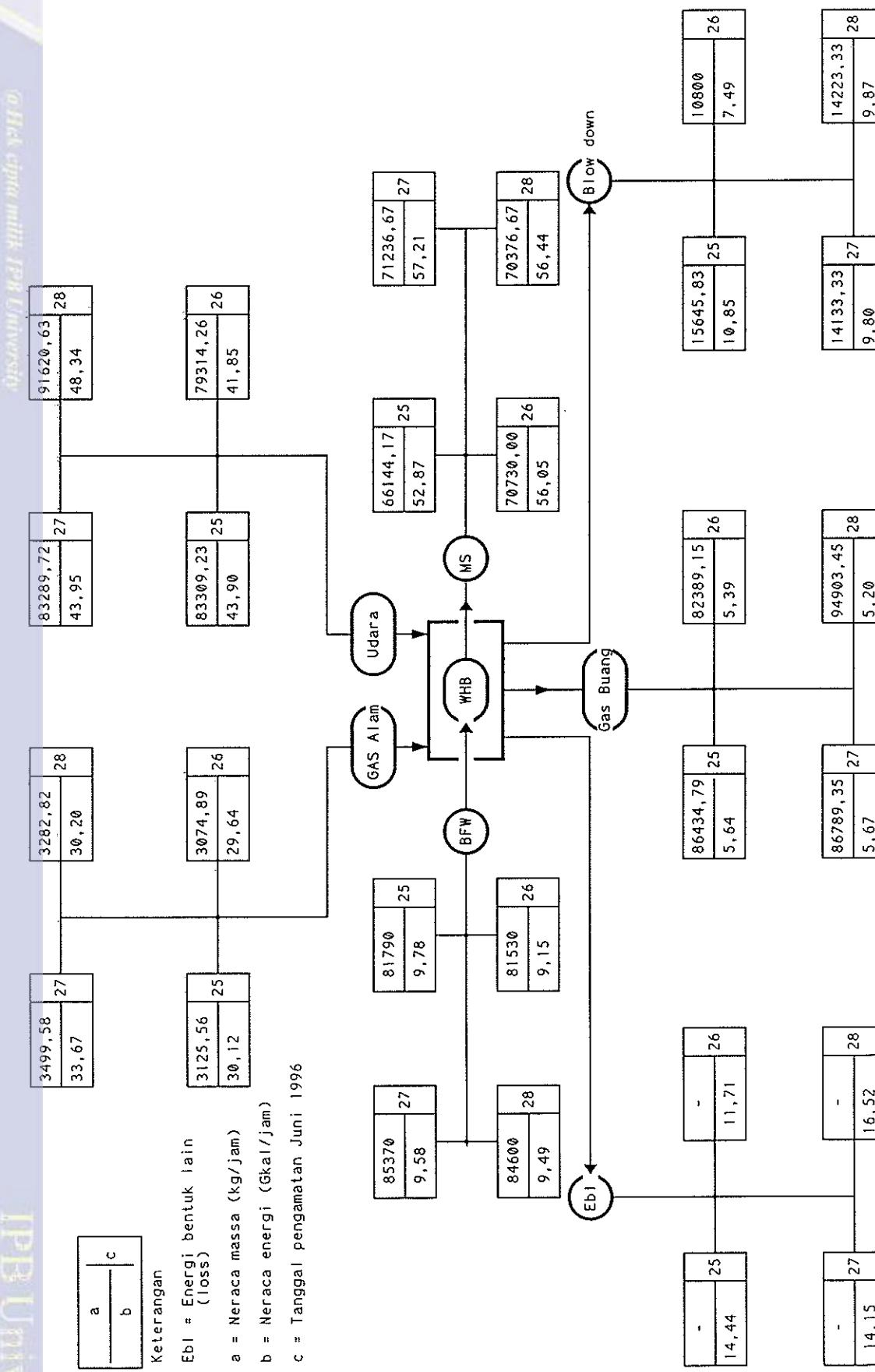
Dari hasil perhitungan, diperoleh nilai kesetimbangan energi dan neraca energi spesifik unit Ketel Panas Buang di Pusri I-B seperti yang terlihat pada Tabel 11. Sedangkan nilai kesetimbangan energi unit Ketel Panas Buang di Pusri I-B dapat dilihat pada Gambar 14, 15, dan 16.

Dari hasil perhitungan, masukan energi rata-rata untuk unit Ketel Panas Buang di Pusri I-B selama pengamatan adalah sebesar 1154,04 kkal/kg uap. Energi itu bersumber dari energi gas alam 47,00%, udara pembakaran 53,39%, dan sisanya sebesar 10,83% dari air pengisi *boiler*.

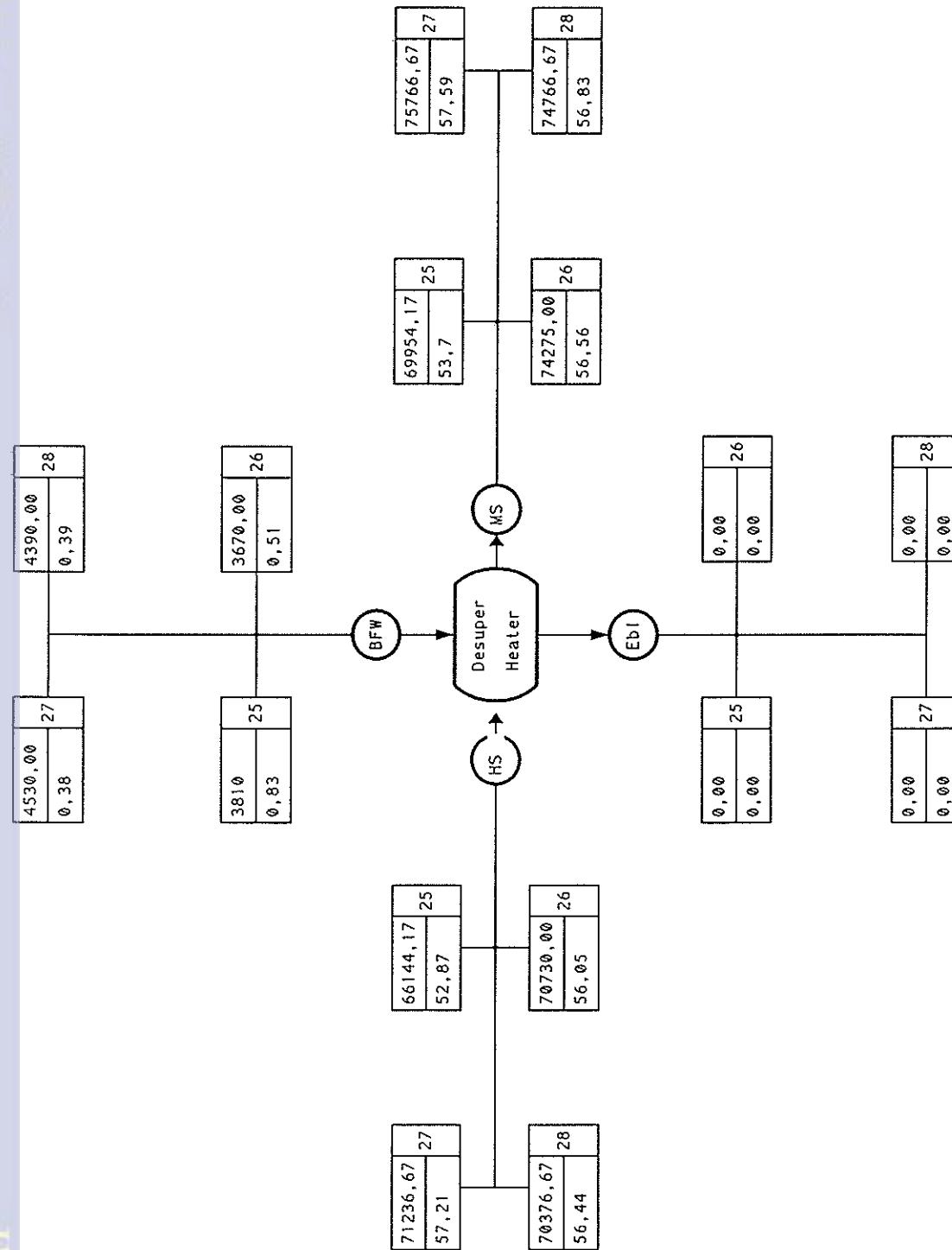
Energi yang terkandung dalam uap unit Ketel Panas Buang di Pusri I-B adalah sebesar 760,38 kkal/kg uap. Sebagian besar energi tersebut berasal dari uap tekanan menengah (*steam MS*) 99%, dan sisanya berasal dari uap tekanan rendah (*steam SLL*). Secara finansial uap yang diperoleh setara dengan 23.032.198 Rupiah. Sedangkan pengeluaran energi berasal dari pembelian alam dari Pertamina dengan nilai 7.207.096 Rupiah, sehingga tiap harinya dapat dihemat dari pengeluaran energi sebesar 15.825.102 Rupiah

Tabel 12. Neraca Energi Spesifik Ketel Panas Buang Pusri I-B (kkal/kg uap)

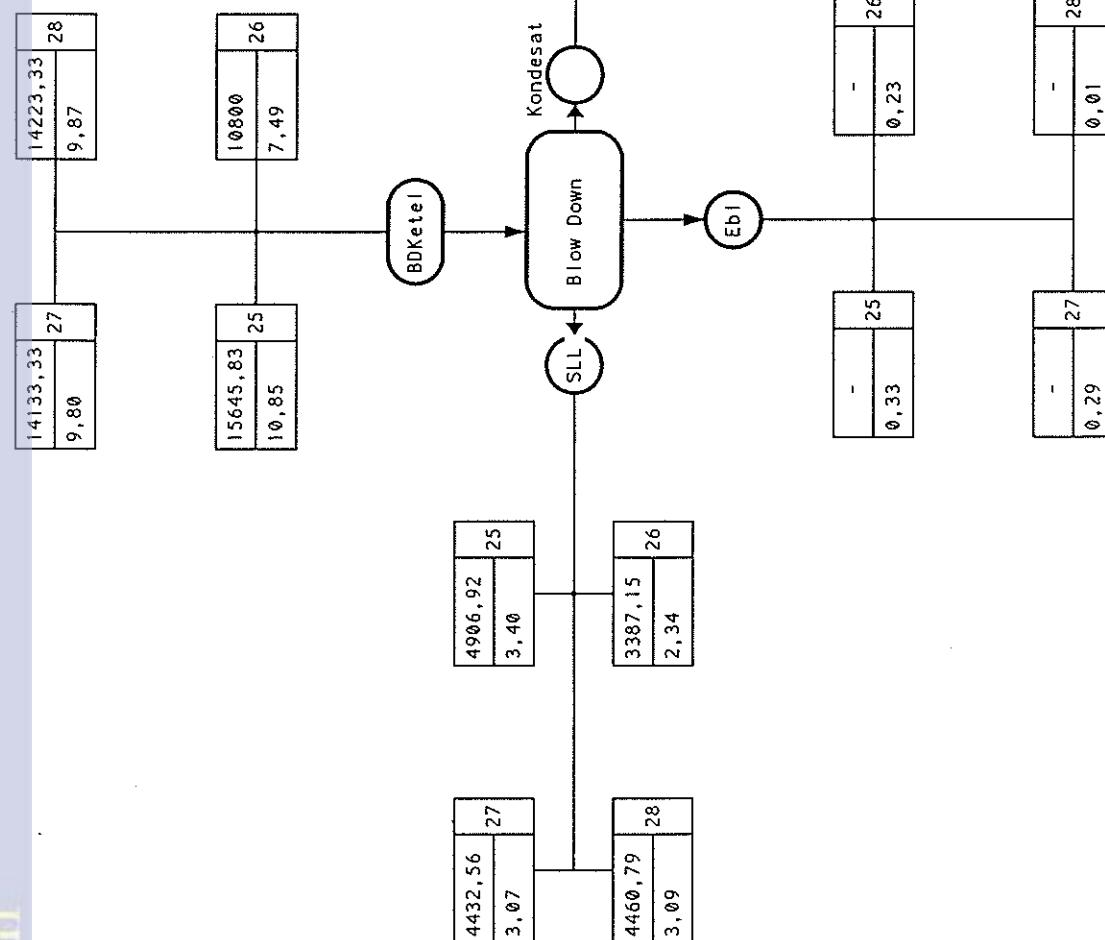
	Tanggal Pengamatan, Juni 1996			
	22	26	27	28
Masukan:				
Gas Alam	430,50	398,94	445,10	423,12
Udara	0,00	0,00	0,00	0,00
Gas Buang dari T.Gas	628,38	563,45	580,04	646,59
Air Umpan Ketel	123,57	123,14	126,40	126,94
Jumlah:	1182,45	1085,53	1151,54	1196,65
Keluaran:				
Middle Steam:	760,12	760,25	760,16	760,12
Low Steam:	46,65	31,63	40,58	41,38
Kondesat	101,83	86,64	64,90	90,56
Jumlah:	760,12	760,88	760,43	760,12
Panas hilang:				
Gas Buang	81,00	50,84	76,99	78,52
Radiasi dan konduksi	0,014	0,015	0,015	0,015
Bentuk lain	98,91	136,16	208,90	226,06
Jumlah:	271,85	207,01	285,90	304,59
Efisiensi:	77,00%	80,93%	75,17%	74,55%



Gambar 14. Keseimbangan Massa dan Energi Unit Ketel Panas Buang (WHB) Di Pusri I-B



Gambar 15. Keseimbangan Massa dan Energi pada Desuperheater Unit Ketel Gas Buang (WHB) Di Pusri 1-B

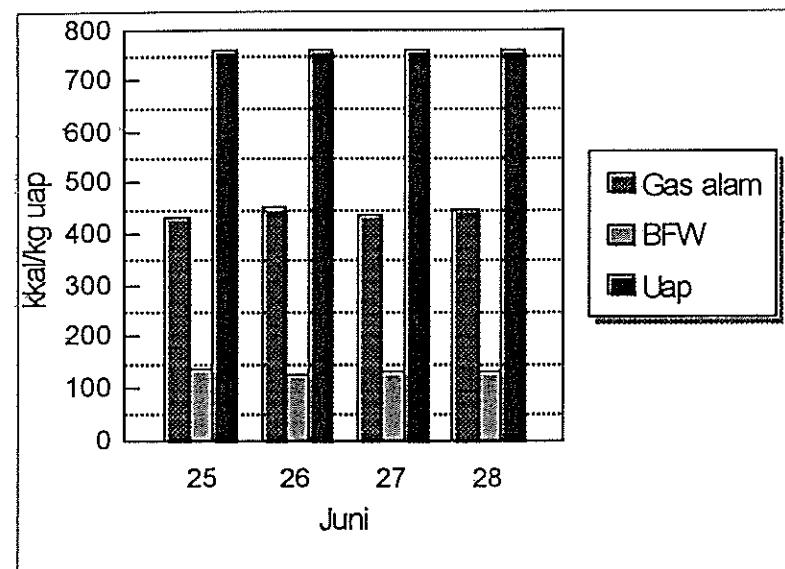


Gambar 16. Keseimbangan Massa dan Energi pada Blowdown drum di Unit Ketel Gas Buang (WKB) Di Pusri I-B

Rata-rata kerugian energi unit Ketel Panas Buang di Pusri I-B adalah sebesar 267,34 kkal/kg uap atau sebesar 23,17% dari total masukan energi. Rugi energi tersebut berasal energi konduksi dan radiasi dari badan unit Ketel Panas Buang, pembakaran tidak sempurna, dan energi yang dibawa oleh uap air dalam gas buang. Secara keseluruhan nilai kehilangan energi dari unit Ketel Panas Buang di Pusri I-B rendah.

Nilai efisiensi unit Ketel Panas Buang di Pusri I-B adalah 76,92%. Nilai efisiensi ini lebih baik dari yang ditetapkan oleh standar internasional yaitu sebesar 70,41%. Sebagai perbandingan, dapat dilihat nilai efisiensi unit Ketel Panas Buang di Pusri II, III, dan Pusri IV hasil penelitian PT. Koneba pada bulan Januari 1989. Hasil penelitian tersebut adalah sebagai berikut, di Pusri II diperoleh nilai efisiensi sebesar 61,39%, Pusri III sebesar 78,29%, dan Pusri IV sebesar 75,83%. Sedangkan hasil penelitian Suryadi di unit Ketel Panas Buang PT. Pupuk Kujang adalah 74,32%. Indikasi tingginya efisiensi unit Ketel Panas Buang dapat dilihat dari tingginya nilai intensitas energi seperti yang terlihat dalam Lampiran 3 dan 4.

Pada Gambar 17 dapat dilihat nilai perbandingan bahan baku dan produksi energi yang diperoleh. Dari gambar tersebut dapat dilihat kemampuan dari unit Ketel Panas Buang untuk menkonversi sumber energi dari air pengisi *boiler* dengan menggunakan bahan bakar dan panas gas buang dari unit Turbin Gas menjadi energi berguna berupa energi uap (*steam*). Konsumsi energi rata-rata air pengisi *boiler* 126,92 kkal/kg uap dapat dikonversi menjadi energi berguna dengan energi rata-rata 886,71 kkal/kg uap, atau sekitar tujuh kali lipat.



Gambar 17. Grafik Hubungan Konsumsi Bahan Baku dan Produksi Uap terhadap Tanggal Pengamatan

C. NERACA ENERGI SPESIFIK UNTUK SISTEM KOMBINASI PANAS DAN DAYA DI PUSRI I-B

Sistem Kombinasi Panas dan Daya di Pusri I-B, terdiri dari unit Turbin Gas dan unit ketel Panas Buang, dalam operasinya kedua unit ini bekerja secara simultan. Apabila pada sub bab di atas masing-masing unit pembangkit dilihat secara terpisah, maka pada sub bab ini masing-masing unit pembangkit tersebut dilihat sebagai satu kesatuan sistem, seperti yang dioperasikan oleh Pusri I-B. Sehingga gas buang dari Turbin Gas bukanlah dianggap kerugian energi karena gas buang tersebut digunakan sebagai masukan energi di unit Ketel Panas Buang . Berdasarkan perhitungan hukum Fisika tentang konversi massa dan energi terhadap sistem Kombinasi Panas dan Daya Pusri I-B, didapatkan nilai kesetimbangan energi, yang kemudian diolah dalam bentuk energi spesifik, seperti yang terlihat pada Tabel 12.

Hasil perhitungan terhadap nilai efisiensi sistem Kombinasi Panas dan daya Pusri I-B, diperoleh nilai efisiensi sebesar 89,14%. Sebagai perbandingan, dapat



dilihat nilai efisiensi untuk sistem Kombinasi Panas dan Daya di Pusri II, Pusri III, dan Pusri IV yang merupakan hasil penelitian PT. Koneba pada bulan Januari 1989. Hasil penelitian tersebut diperoleh nilai efisiensi sebagai berikut, Pusri II sebesar 62,31%, Pusri III sebesar 80%, dan Pusri IV, sebesar 76,77%.

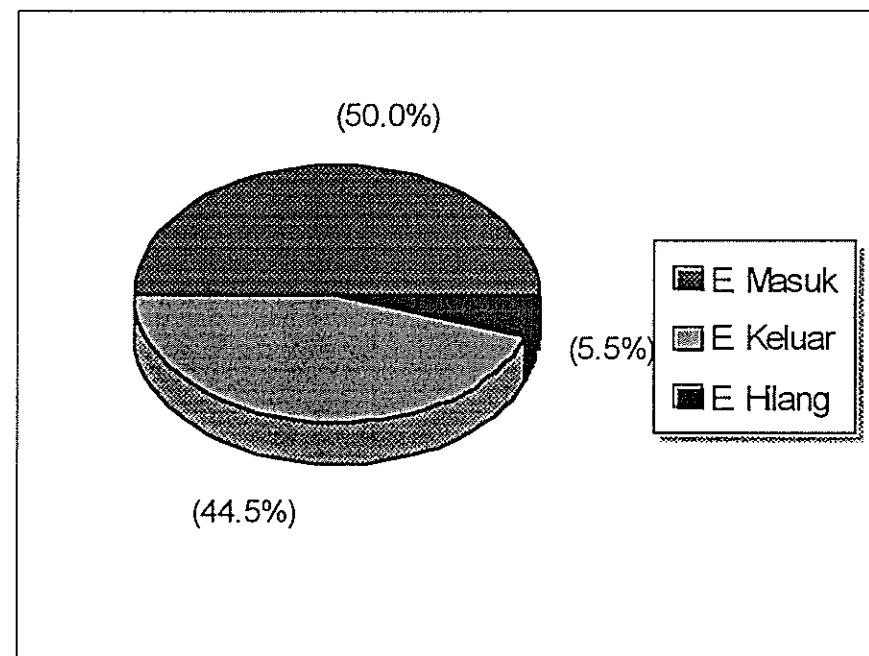
Tabel 12. Neraca Energi Spesifik Sistem Kombinasi Panas dan Daya di Pusri I-B (kkal/kg uap).

	Tanggal Pengamatan, Juni 1996			
	25	26	27	28
Masukan:				
Gas Alam Ketel Panas Buang	430,50	398,94	455,10	423,12
Gas alam unit Turbin Gas	569,37	552,09	525,73	585,99
Udara ke T. Gas	9,11	8,35	8,56	9,59
Air Umpam Ketel	123,57	128,14	126,40	126,94
Jumlah:	1132,55	1082,52	1105,79	1145,64
Keluaran:				
Middle Steam:	760,12	760,25	760,16	760,12
Low Steam:	48,65	31,63	40,58	41,38
Kondesat	101,83	86,64	64,90	90,56
Energi listrik	106,07	104,61	109,28	113,55
Jumlah:	1016,67	983,13	974,92	1005,61
Panas hilang:				
Gas Buang	81,00	70,84	76,94	78,52
Radiasi	15,04	14,46	13,81	14,06
Air Pendingin T. Gas	0,09	0,09	0,09	0,09
Bentuk lain	19,75	14,00	40,66	47,36
Jumlah:	115,88	99,39	136,87	140,03
Efisiensi:	89,77%	90,82%	88,17%	87,78%



Usaha-usaha konservasi energi yang mungkin dilakukan untuk menekan kerugian energi pada sistem ini antara lain, pengaturan sistem pembakaran di unit Turbin Gas maupun unit Ketel Panas Buang, dan pengolahan yang lebih baik terhadap penyediaan air umpan *boiler*. Apabila konservasi energi berhasil, maka tiap peningkatan efisiensi sistem 1% akan dapat menghemat penggunaan gas alam sebesar 202.037.846,50 kkal/hari, atau 91,76 MMBTU/hari, atau 22.048,00 SLM/hari. Bila dihitung dalam Rupiah, nilai ini setara dengan 211.048,00 Rupiah/hari.

Persentase rata-rata antara energi yang masuk, energi keluar, dan energi yang hilang di sistem Kombinasi Panas dan Daya Pusri I-B dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 18. Persentase Konsumsi, Produksi, dan Energi yang hilang dalam sistem Kombinasi Panas dan Daya di Pusri I-B.



Dari grafik diatas dapat dilihat dari 50,00% energi yang masuk, yang mampu dikonversi oleh sistem ini menjadi energi berguna sebesar 44,53% dengan kehilangan energi 5,47%.

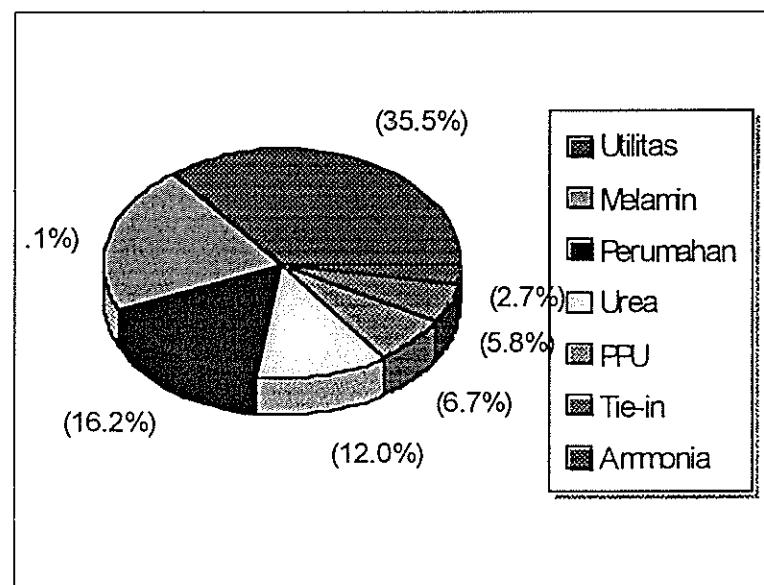
D. KONSUMSI ENERGI SPESIFIK UNTUK LISTRIK DI PUSRI I-B

Sumber energi listrik utama di Pusri I-B dipasok dari unit Turbin Gas. Dari hasil perhitungan selama pengamatan diperoleh rata-rata energi listrik yang dihasilkan sebesar 223.100 kWh. Apabila energi listrik tersebut diolah dalam bentuk energi spesifik, yaitu energi persatuan produk akhir (massa urea), nilai tersebut setara dengan 133,66 kWh/ton urea. Energi listrik yang dihasilkan unit Turbin Gas digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik baik yang terkait langsung dengan proses produksi maupun untuk kepentingan sekitar pabrik. Perincian konsumsi energi spesifik untuk listrik di Pusri I-B dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Konsumsi Energi Spesifik untuk Listrik (kWh/Ton urea)

		Tanggal pengamatan, Juni 1996			
		25	26	27	28
Masukan:					
Generator T.Gas		133,66	121,70	130,46	133,66
Keluaran:					
Urea		15,15	15,09	15,17	15,15
Unit Ammonia		3,52	3,50	3,36	3,52
Unit Utilitas		49,19	35,04	47,53	49,19
PPU-Pusri I-B		11,45	0,01	11,20	11,45
Pabrik Melamin		27,00	26,75	26,41	27,00
Perumahan		19,64	23,39	19,55	19,64
<i>Tie-in</i>		7,71	7,01	7,04	7,71
Jumlah:		133,66	121,70	130,46	133,66

Apabila dilihat persentase penggunaan energi listrik, dapat disimpulkan bahwa unit utilitas merupakan pengguna listrik terbesar, yaitu sebesar 35,50%. Sebagian besar energi listrik digunakan untuk menggerakkan pompa-pompa yang ada di unit utilitas. Selain unit utilitas, pabrik Melamin merupakan pengguna energi listrik terbesar kedua, yaitu sebesar 20,00%. Sedangkan penggunaan energi listrik di unit ammonia relatif kecil yaitu sebesar 2,70%. Gambar 19 menjelaskan rincian penggunaan energi listrik yang dihasilkan oleh Turbin Gas Pusri I-B.



Gambar 19. Rincian penggunaan Energi Listrik di Pusri I-B

E. KONSUMSI ENERGI SPESIFIK UNTUK UAP DI PUSRI I-B

Kebutuhan uap di Pusri I-B dipasok dari unit Ketel Panas Buang dan unit Ketel Paket Pusri I-B. Uap yang dipasok tersebut merupakan uap tekanan menengah dengan tekanan $42,2 \text{ kg/cm}^2$ dan suhu 399°C . Uap itu sebagian besar digunakan untuk memenuhi kebutuhan uap di unit urea, unit utilitas sendiri, dan sebagian kecil di unit ammonia. Apabila energi uap dari unit Ketel Panas Buang dan Ketel Paket tersebut diolah dalam bentuk energi spesifik, yaitu energi

persatuan urea. Energi Paket digunakan mendukung proses produksi itu setara dengan 1646,44 kkal/kg uap. Energi Paket digunakan di industri, baik yang langsung memerlukan sekitar industri. Perincian konsumsi energi spesifik untuk uap di Pusri I-B dapat dilihat pada Tabel 14.

Apabila dilihat persentase penggunaan energi uap tersebut, dapat disimpulkan bahwa unit urea dan unit utilitas merupakan pengguna uap yang terbesar yaitu sebesar 99%. Sebagian besar energi uap tersebut yang digunakan untuk menggerakkan pompa. Penggunaan uap di unit ammonia digunakan sebagai energi awal untuk menjalankan unit ammonia, dan sebagai tambahan uap apabila persediaan uap di unit ammonia tidak mencukupi.

Tabel 14. Konsumsi Energi Spesifik untuk Uap di Pusri I-B (kkal/kg urea)

	Tanggal pengamatan, Juni 1996			
	25	26	27	28
Masukan:				
Ketel Panas Buang	177,15	760,73	779,98	768,90
Ketel Paket	879,79	885,71	899,45	894,03
Keluaran:				
Unit Urea	893,51	833,90	827,24	826,45
Unit Ammonia	0,03	0,03	0,03	0,03
Unit Utilitas	700,00	811,00	850,00	834,00
Terbuang	3,4	2,51	2,16	2,45
Jumlah:	1596,94	1646,44	1679,43	1662,93

F. KONSUMSI ENERGI SPESIFIK UNTUK UREA DI PUSRI I-B

Dari hasil perhitungan konsumsi energi spesifik selama tanggal pengamatan di unit urea Pusri I-B, diperoleh nilai yang selalu berubah dari waktu ke waktu. Hal ini menunjukkan adanya variabel-variabel produksi yang berubah, antara lain, kualitas bahan baku, laju produksi, dan kondisi operasi.

Nilai konsumsi energi spesifik rata-rata selama pengamatan tersebut adalah 859,3 kkal/kg urea. Sedangkan rata-rata harian selama bulan Juni adalah sebesar 896,61 kkal/kg urea, dengan kisaran nilai antara 760,74 kkal/kg urea sampai 1717,90 kkal/kg urea. Nilai konsumsi energi spesifik untuk rata-rata harian selama bulan Juni 1996 ini dapat dilihat dalam bentuk grafik pada dalam Gambar 20. Bila dibandingkan dengan target yang ditetapkan dari Dinas Teknik Proses sebesar 1099,85 kkal/kg urea, rata-rata nilai ini lebih rendah. Hal ini menunjukkan selama tanggal pengamatan telah terjadi penghematan energi di unit urea Pusri I-B. Sedangkan nilai konsumsi energi spesifik selama bulan Januari sampai Juni 1996 dapat dilihat pada Lampiran 4, dengan nilai rata-rata 950,79 kkal/kg urea.

Industri yang hemat energi dan efisien adalah industri yang memakai energi spesifik yang rendah dari target yang telah ditetapkan, dan sebaliknya industri yang boros energi adalah industri yang memiliki nilai energi spesifik berada di atas target yang telah ditetapkan oleh pabrik yang bersangkutan. Dalam menentukan target energi spesifik dalam suatu pabrik harus melibatkan konsultan energi sehingga target yang ditetapkan tidak terlalu rendah maupun terlalu tinggi. Penurunan energi spesifik dalam periode tertentu menandakan keberhasilan industri dalam menekan kerugian-kerugian energi, sekaligus keberhasilan dalam mengadakan konservasi energi.

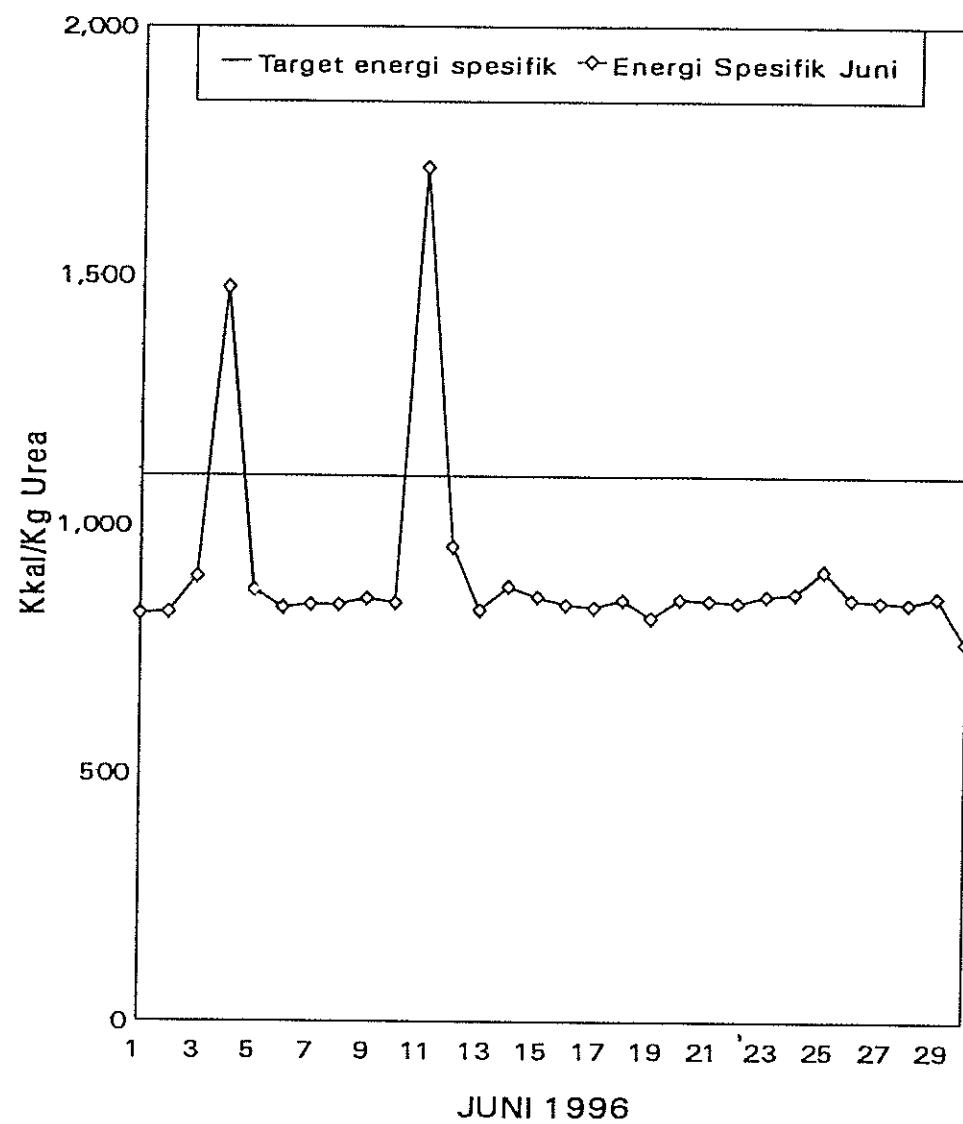


Hasil Cipta Diketahui Untuk Menghindari

1. Diketahui bahwa target pengeluaran energi pada hari ini adalah 1.100 Kkal/Kg Urea.

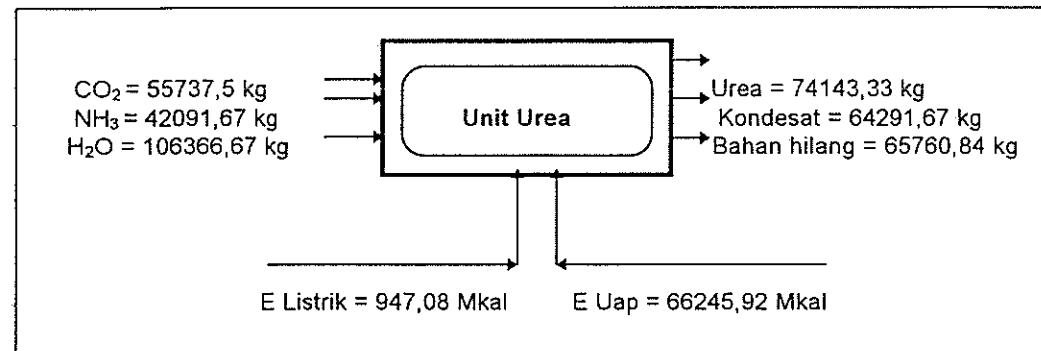
2. Pengeluaran energi untuk konsumsi air pada hari ini adalah 1.100 Kkal/Kg Urea.

3. Diketahui pengeluaran air pada hari ini adalah 1.100 Kkal/Kg Urea.



Gambar 20. Grafik Konsumsi Energi Spesifik terhadap Tanggal Pengamatan selama Bulan Juni 1996.

Karakteristik global sesaat dalam satu jam pengukuran aliran material dan masukan energi ke pabrik urea dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21. Karakteristik Global Sesaat di unit UreaPusri I-B

Dalam Gambar 21 di atas dapat disimpulkan bahwa, untuk memproduksi 1 kg urea dibutuhkan 0,75 kg CO₂, 1,43 kg H₂O, dan 0,57 kg NH₃, dengan masukan energi 0,013 Mkal dari energi listrik, dan 0,89 Mkal dari energi uap. Sedangkan konversi bahan adalah sebesar 75,79%.

Rata-rata konsumsi energi yang dibutuhkan untuk memproduksi 1 ton atau 1 kg pupuk urea di unit urea Pusri I-B adalah sebesar 25,98 MMBTU/MT urea atau 6555,11 kkal/kg urea, dan dapat dilihat pada Tabel 15.

Tabel 15. Nilai Konsumsi Energi di Pusri I-B

Tanggal pengamatan Juni 1996	Konsumsi Energi	
	MMBTU/MT Urea	kkal/MT Urea
25	27,12	6838,58
26	25,40	6404,86
27	25,69	6477,99
28	25,71	6483,03
Rata-rata	25,98	6555,11

Apabila dibandingkan dengan industri pupuk lain, seperti yang terdapat dalam Tabel 4, dapat disimpulkan bahwa Pusri I-B termasuk yang memiliki konsumsi energi yang rendah sesudah Pupuk Kaltim III.



V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan yang merupakan nilai rata-rata dari empat kali pengukuran pada penelitian mengenai audit energi pada sistem Kombinasi Panas dan Daya di Pusri I-B, dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Nilai konsumsi energi per ton urea untuk Pusri I-B adalah 25,95 MMBTU/MT urea atau 6555,11 Kkal/kg urea. Nilai ini lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai konsumsi energi untuk pabrik pupuk AAF, PIM, Kujang, Kaltim I, Kaltim II, Pusri II, Pusri III, dan Pusri IV.
2. Apabila unit Turbin Gas dan unit Ketel Panas Buang dalam operasinya dianggap berdiri sendiri-sendiri, maka diperolehkan nilai efisiensi untuk unit Turbin Gas sebesar 19,50% dan untuk unit Ketel Panas Buang sebesar 76,92%. Apabila kedua unit ini dilihat sebagai satu kesatuan sistem seperti yang dioperasikan di Pusri I-B atau dikenal dengan sistem Kombinasi Panas dan Daya di Pusri I-B, diperolehkan efisiensi sistem sebesar 89,14%. Tingginya efisiensi sistem dibandingkan apabila tiap unit berdiri sendiri-sendiri, karena gas buang yang merupakan kerugian energi dari unit Turbin Gas dimanfaatkan kembali ke unit Ketel Panas Buang untuk pembangkit energi uap panas.
3. Apabila konservasi energi di sistem Kombinasi Panas dan Daya di Pusri I-B berhasil, sehingga kerugian-kerugian energi dapat ditekan, maka untuk kenaikan efisiensi sistem 1% akan menghemat pemakaian gas alam sebesar

202.037.846,50 kkal/hari atau 91,76 MMBTU/hari, atau 22.938,72 SLM/hari. Nilai ini setara dengan 211.048,00 Rupiah/hari.

B. SARAN

Untuk dapat meningkatkan efisiensi sistem Kombinasi Panas dan Daya di Pusri I-B, hal-hal yang dapat dilakukan adalah:

1. Melakukan pengontrolan terhadap sistem pembakaran secara terus menerus, karena dengan mengontrol sistem pembakaran akan mengurangi kerugian dari panas buang. Hal yang dapat dilakukan antara lain, pertama dengan mengendalikan udara lebih dalam pembakaran, langkah yang dapat dilakukan adalah dengan menjaga supaya jangan sampai terjadi infiltrasi udara ke ruang bakar melalui celah-celah *sealing* maupun di sekeliling *bumper*, sehingga diharapkan agar semua udara pembakaran masuk ruang bakar melalui zona pembakaran. Kedua, menjaga permukaan alat penukar panas dari kotoran-kotoran yang menempel, karena kotoran-kotoran tersebut akan menghambat laju pindah panas antara energi yang dikandung menjadi energi berguna. Kalau permukaan alat pindah panas kotor, akan menyebabkan banyak energi terbuang melalui gas buang, disebabkan tidak sempurnanya konversi energi di alat pindah panas.
2. Khusus untuk di unit Ketel Panas Buang, perlu dijaga kualitas air umpan *boiler*. Pengolahan air umpan *boiler*, hal ini penting dilakukan untuk mencegah terbentuknya endapan pada pipa air yang akhirnya mengurangi laju perpindahan panas atau mengurangi efisiensi. Tingkat konsentrasi bahan padat dalam *boiler* dikontrol melalui *blow-down* secara periodik. Disisi lain *blow-down* merupakan suatu kerugian. Untuk menjaga tersebut dilakukan hal sebagai berikut:



- a. Tidak memblow-down lebih banyak dari yang diperlukan untuk menjaga tingkat “*total dissolved solids*” yang dianjurkan oleh pembuat boiler.
 - b. Memperkecil *blow down* dengan mengembalikan kondesat.
 - c. Memanfaatkan kembali sebagian panas *blow down* melalui *heat exchanger* maupun memanfaatkan *steam flash*.
 - d. Mengawasi pengolahan air umpan guna menghindari TDS melampaui batas yang seharusnya.
3. Mengopersikan unit-unit dalam sistem Kombinasi Panas dan Daya dalam beban yang maksimum, sehingga dapat meningkatkan efisiensi secara keseluruhan. Hal ini perlu dikaji lebih jauh dengan pihak PT. PLN. Karena selama ini yang ditunjuk sebagai penanggung jawab memasok kebutuhan energi listrik untuk masyarakat umum oleh pemerintah melalui Undang-Undang Kelistrikan adalah PT. PLN.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, K. dkk. 1990. Energi dan Listrik Pertanian. JICA-DGHE/IPB Project ADAET:JTA-9a(132). IPB-Bogor.
- Arismunandar, A. 1994. Kecendrungan Pertumbuhan Energi di Berbagai Sektor Selama PJP-II. Hasil Lokakarya Energi (KNI-WEC). Jakarta.
- Bakoren. 1991. Kebijaksanaan Umum Bidang Energi. Badan Koordinasi Energi Nasional (Bakoren). Jakarta.
- Berchmans, H.J. 1994. Audit Energi dan Konservasi Pada Ketel Uap. Badan Penerapan Dan Pengkajian Teknologi (BPPT). Jakarta
- BPPT. 1993. *Environmental Impacts of Energy Strategies for Indonesia*, Final Summary Report. Badan Penerapan Pengkajian (BPPT). Jakarta.
- Chiger and Norman. 1981. *Energy, Combustion, and Environmental*. Mc Graw-Hill. New York
- Nur R. Iskandar. 1991. Bahan Bakar. Lembaga Sumber Daya Energi (LSDE_BPPT). Jakarta.
- DJLPE. 1992. Audit Energi Sektor Industri. Direktorat Jendral Listrik dan Pengembangan Energi (DJLPE). Jakarta.
- DJLPE. 1986. Penggunaan Ketel Uap. Direktorat Jendral Listrik dan Pengembangan Energi (DJLPE). Jakarta.
- DJLPE. 1992. Pemanfaatan Panas. Direktorat Jendral Listrik dan Pengembangan Energi (DJLPE). Jakarta.
- DJLPE. 1992. Pemanfaatan Tenaga Uap. Direktorat Jendral Listrik dan Pengembangan Energi (DJLPE). Jakarta.
- DJLPE. 1992. Petunjuk Konservasi Energi untuk Utilitas Industri. Direktorat Jendral Listrik dan Pengembangan Energi (DJLPE). Jakarta.
- Doni, A. 1994. Upaya Peningkatan Efisiensi Sistem Cogeneration Pada PT Kertas Leces. Boma Bisma Indra (Persero).
- DPE. 1994. Buku Panduan Teknis Konservasi Energi. Departemen Pertambangan dan Energi (DPE). Jakarta.
- DPE. 1995. Konservasi Energi di Indonesia. Departemen Pertambangan dan Energi (DPE). Jakarta.
- DPE. 1996. Lima Puluh Tahun Pertambangan dan Energi Dalam Pembangunan. Departemen Pertambangan dan Energi (DPE). Jakarta.
- Edward F.O. 1973. *Internal Combustion Engines and Pollution*. G.K. Hall.

- Enercon. 1991. *Industrial Energy Management*. Pakistan.
- Felder, R.M. and R.W. Rousseau. 1986. *Elementary Principles of Chemical Process*. Jhon Willey and Sons, Inc. new York.
- Geankoplis. 1986. *Transport Process and Unit Operations*. Prentice Hall.
- Graw Hill. 1967. *Plant Energy System, Energy System Engineering*. Mc Graw-Hill, Inc. New York.
- Hagler. 1978. *Energy Auditing Manual for Industry*. Bailly Inc. Washington.
- Hariana. 1994. Pemakaian Turbin Gas Untuk Meningkatkan Unjuk Kerja Power Generation (Kombinasi Panas dan Daya). Hasil Lokakarya Energi (KNI-WEC). Jakarta.
- Hermawan, A. 1990. Analisis Energi dan Optimasi Pemakaiannya pada Pabrik Gula. Skripsi Mahasiswa Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri ITB. Bandung.
- Herwanto, A. 1990. Analisi Energi dan Optimasi Pada Proses Produksi Gula. Skripsi Mahasiswa Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri ITB. Bandung.
- Hoplman. J.P. 1986. *Heat Transfer*. Mc Graw-Hill, Inc. New York.
- Husein, MD. 1989. *Energy Management*. Konservasi Energi Abadi (Koneba). Jakarta.
- Hutapea, R.O. 1994. Peran Industri dalam Implementasi Konservasi Energi yang Berwawasan Lingkungan. Hasil Lokakarya Energi (KNI-WEC). Jakarta.
- John F. Lee. 1954. *Theory and Design of Steam and Gas Turbines*. Mc. Graw Hill Book Company.
- Koneba. 1989. *Detailed Energy Audit (DEA) of PT. Pupuk Kalimantan Timur's Kaltim1*. Konservasi Energi Abadi (Koneba). Jakarta
- Koneba. 1991. Studi Kehandalan Pabrik PT. Pusri II, III, IV. Konservasi Energi Abadi (Koneba). Jakarta.
- Koneba. 1991. Studi Sistem Uap PT. Pusri II. Konservasi Energi Abadi (Koneba). Jakarta.
- Koneba. 1993. Manajemen Energi di Industri. Konservasi Energi Abadi (Koneba). Jakarta.
- Koneba. 1993. Peranan Komputer dalam Manajemen Energi. Konservasi Energi Abadi (Koneba). Jakarta.
- Koneba. 1993. *The Management of Energy*. Konservasi Energi Abadi (Koneba). Jakarta.

- Larsen. 1994. *Cogeneration*. Konservasi Energi Abadi (Koneba). Jakarta.
- Marpaung, P. 1989. *Boiler*. Konservasi Energi Abadi (Koneba). Jakarta.
- Mc. Sandlers, S.I. 1977. *Chemical and Engineering Thermodynamic*. Jhon Willey Sons, inc.
- Nugroho, H. 1991. Manajemen Energi di Industri. Lembaga Sumber Daya Energi (LSDE). Jakarta.
- Nurdyastuti, I. 1989. Pemilihan Teknologi Industri Energi Berwawasan Lingkungan di Indonesia. Hasil Lokakarya Energi (KNI-WEC). Jakarta.
- Parinusa, M. 1991. Turbin Gas-Generator. Lembaga Sumber Daya Energi (LSDE). Jakarta.
- Panggabean, L. 1992. Teknik Dasar Penghematan Energi di Industri. (LSDE). Jakarta.
- Perry, R.H. and Don Green. 1984. *Perry's Chemical Engineers HandBook*. Mc. Graw Hill Book co. New York.
- Rahayu, M. 1995. Upaya Yang Dapat Dilakukan Untuk Peningkatan Efisiensi Pemakaian Energi Pada Industri Kimia. Badan Penerapan dan Pengkajian Teknologi (BPPT). Jakarta.
- Rahardjo, B.S. ---- . Penelitian Performan Boiler Batu Bara Di PLTU Salak Ombilin. Badan Penerapan dan Pengkajian Teknologi (BPPT). Jakarta
- Reynold, W.C. and Perkin. 1979. *Thermodynamic Technic*. Mc. Graw Hill Book co. New York.
- Soeparman, E. 1989. Meningkatkan Produktivitas Nasional Melalui Efisiensi dan Manajemen Energi. Seminar Konservasi Energi Untuk Industri Kimia Dasar. Jakarta.
- Soriano, M.L. 1993. *Energy Conservation Projects*. Konservasi Energi Abadi (Koneba). Jakarta.
- Suryadi. 1994. Audit Energi di PT. Pupuk Kudjang. Skripsi Mahasiswa Mekanisasi Pertanian IPB. Bogor.
- Suwardjaka, Ign. 1989. *Principle Of Energy Audit*. Konservasi Energi Abadi (Koneba). 1989. Jakarta.
- Wiranto Arismunandar. 1982. Penggerak Mula Turbin. Institut Teknologi Bandung (ITB). Bandung.
- William, W.B. 1984. *Fundamentals of Gas Turbines*. John Willey Sons, Inc.



Hasil Ciptaan Dikembangkan Untuk Mengidentifikasi

1. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan bayi dan ibu

2. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

3. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

4. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

5. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

6. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

7. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

8. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

9. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

10. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

11. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

12. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

13. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

14. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

15. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

16. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

17. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

18. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

19. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

20. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

21. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

22. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

23. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

24. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

25. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

26. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

27. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

28. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

29. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

30. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

31. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

32. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

33. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

34. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

35. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

36. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

37. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

38. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

39. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

40. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

41. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

42. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

43. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

44. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

45. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

46. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

47. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

48. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

49. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

50. Data dan informasi yang dibutuhkan dalam survei kesehatan ibu

LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Konsumsi, Produksi, dan Intensitas Energi pada Turbin Gas dan WHB Bulan Juni 1996

Tanggal	Rate operasi	Kons.	Bahan bakar	Kons.	Produksi				Intensitas T.Gas	energi WHB
		T.Gas mmbtu	WHB mmbtu	BFW ton	Listrik Kwh	Load %	Uap Ton	Load %		
	%	mmbtu	mmbtu	ton	kwh	%	Ton	%	mmbtu /kwh	mmbtu /ton
1	105,0	4453,2	2346,6	2056,8	247400	45,55	1538,5	71,23	0,018	1,52,
2	105,0	4546,8	2538,4	1934,4	252600	46,51	1588,8	73,56	0,018	1,598
3	67,1	3969,0	1544,4	1944,0	220500	40,60	1293,9	59,90	0,018	1,194
4	16,8	3475,8	2572,3	1999,2	193100	35,55	1294,2	59,92	0,018	1,986
5	93,9	3475,8	3220,0	1896,0	193100	35,55	1675,7	77,58	0,018	1,922
6	107,0	3421,8	2886,9	1903,2	190100	35,00	1621,4	75,06	0,018	1,781
7	100,7	3592,8	2886,9	1896,6	199600	36,75	1636,9	75,78	0,018	1,764
8	107,0	3637,8	2808,5	1862,4	212100	37,21	1624,2	75,19	0,018	1,729
9	100,7	3598,2	2819,7	1905,4	190900	36,81	1610,9	74,58	0,018	1,750
10	107,0	3605,4	2776,7	1934,4	200300	36,88	1599,8	74,06	0,018	1,736
11	51,3	3643,2	2709,5	1922,4	202400	37,27	1570,0	72,69	0,018	1,726
12	87,2	3302,4	2712,4	1881,6	218000	40,14	1578,8	73,14	0,012	1,717
13	105,0	3972,6	2678,1	1951,2	220700	40,14	1574,0	72,87	0,018	1,701
14	97,2	3333,6	2655,9	1996,8	185200	34,10	1539,1	71,25	0,018	1,726
15	94,0	3537,0	2600,3	2083,2	196500	36,18	1528,4	70,76	0,018	1,701
16	100,1	3799,8	2622,5	2150,1	211100	38,87	1570,9	72,73	0,018	1,669
17	103,8	3695,4	2695,6	2052,0	205300	37,80	1579,4	73,12	0,018	1,707
18	103,9	3754,8	2991,7	2061,6	208600	38,41	1659,4	76,82	0,018	1,773
19	105,0	3781,8	2695,6	2073,6	210100	38,68	1589,1	73,57	0,018	1,696
20	105,0	3792,6	2781,7	2061,6	210700	38,79	1611,4	74,60	0,018	1,726
21	100,5	3749,8	2719,9	1984,8	211100	38,87	1598,3	74,00	0,018	1,699
22	105,0	3544,2	2737,2	1970,4	196900	36,25	1593,6	73,78	0,018	1,718
23	103,7	3587,4	2681,5	1963,2	199300	36,70	1569,7	72,67	0,018	1,708
24	107,0	3645,0	2940,3	1963,2	202500	37,28	1656,6	76,69	0,018	1,775
25#	103,0	3729,6	2959,7	2054,4	207200	38,15	1678,9	77,73	0,018	1,763
26#	103,0	3902,9	3226,7	2044,8	216900	39,94	1782,6	82,53	0,018	1,810
27#	103,0	4267,8	3148,8	2157,8	231200	42,57	1818,4	84,19	0,018	1,774
28#	103,0	4161,6	3198,8	2133,8	237100	43,66	1794,4	83,07	0,018	1,755
29	100,3	4258,8	2981,9	2148,0	236600	43,56	1738,5	80,49	0,018	1,715
30	103,0	4226,4	2948,6	1956,0	234800	42,23	1741,3	80,62	0,018	1,693



Lampiran 2. Tabel Konsumsi, Produksi dan Intensitas Energi untuk Turbin Gas dan WHB Tahun 1996 (Bulan Januari - Juni)

Bulan	Kons. B. Bakar		Kons.	Produksi				Intensitas	
	T.Gas	W.H.B.		BFW	Listrik	Load	Uap	T.gas	W.H.B
	mmbtu	mmbtu	Ton	Kwh	%	Ton	%	mmbtu /Kwh	mmbtu /ton
Januari	40712,4	88472,6	68820,0	7446800	44,23	54045,3	80,71	0,018	1,673
Februari	139542,8	89179,1	62988,0	7720200	49,02	62582,6	84,10	0,018	1,693
Maret	89989,6	61283,7	69192,0	4886300	29,02	35485,6	53,00	0,018	1,727
April	126471,6	95420,2	47880,0	7026200	43,12	54446,4	82,48	0,018	1,669
Mei	145353,6	90859,0	65992,8	8075200	47,96	54434,4	81,29	0,018	1,785
Juni	113853,6	83402,4	58824	6340800	38,92	49258,1	76,02	0,018	1,693

Lampiran 3. Tabel Produksi Urea, Konsumsi Energi (Listrik dan Uap), dan Perhitungan Energi Spesifik (Sec) Dalam Produksi Pupuk Urea Bulan Juni 1996

Tanggal	Produksi urea Ton	Konsumsi Energi (Mcal)		Sec Kcal/kg urea
		Uap	Listrik	
1	1809,75	1453666,77	23299,63	816,12
2	1802,82	1383398,10	23334,05	819,27
3	1194,39	1045609,54	189718,20	892,49
4	510,88	730969,46	166143,24	1476,48
5	1604,24	13936657,57	166143,24	863,52
6	1827,72	1491698,04	163562,04	828,88
7	1830,70	1505960,37	171735,84	835,25
8	1823,70	1501325,71	173886,84	835,94
9	1816,83	1517129,14	171993,96	847,99
10	1816,48	1500883,53	172338,12	839,33
11	887,03	1500704,21	174144,96	1717,90
12	1501,69	1410634,65	187567,20	954,38
13	1809,72	1486055,85	189890,28	824,71
14	1688,36	1451874,77	159346,08	873,11
15	1644,36	1379084,13	169068,60	852,49
16	1762,12	1448921,09	181630,44	835,23
17	1796,02	1469269,96	176640,12	830,91
18	1789,50	1490827,66	179479,44	846,19
19	1797,30	1430917,96	180770,04	809,02
20	1788,32	1491685,05	181286,28	847,06
21	1789,32	1488339,44	181630,44	844,72
22	1790,02	1481964,79	169412,76	840,82
23	1771,81	1490240,35	171477,72	854,14
24	1738,88	1473115,48	174231,00	860,25
25	1779,44	1590551,00	22748,98	906,63
26	1781,43	1487924,92	23127,55	848,22
27	1772,20	1471093,44	23127,55	843,14
28	1773,90	1466604,49	23127,55	839,81
29	1751,60	1470178,42	24848,35	853,52
30	1770,94	1324103,49	23127,55	760,74



Lampiran 4. Tabel Produksi Urea, Konsumsi Energi (Listrik dan Uap), dan Perhitungan Energi Spesifik (Sec) Dalam Produksi Pupuk Urea Tahun 1996 (Bulan Januari - Juni)

Bulan	Produksi Urea	Konsumsi Energi (Mcal)		Sec Kcal/Kg Urea
	Ton	Listrik	Uap	
Januari	48683,0	1001763,72	432924147,9	909,85
Februari	48832,2	705528	41971180,98	873,95
Maret	6590,0	394407,36	7869970,53	1254,09
April	41057,0	587481,12	30662229,41	761,13
Mei	41673,0	685652,76	41353694,62	1008,799
Juni	50221,47	749129,24	44 2799 42,98	896,61



LAMPIRAN 5. Titik Pengukuran Di Turbin Gas

		Tanggal Pengamatan (Juni 1996)			
Titik pengukuran	Unit	25	26	27	28
Udara pembakaran					
1. Laju		-	-	-	-
2. Tekanan	Kg/jam	-	-	-	-
3. Temperatur	°C	32	32	32	32
Gas alam					
1. Komposisi					
-CH ₄	%	0,8010	0,8010	0,8000	0,8000
-C ₂ H ₆	%	0,0540	0,0540	0,0550	0,0550
-C ₃ H ₈	%	0,0360	0,0360	0,0370	0,0370
-i-C ₄ H ₁₀	%	0,0070	0,0070	0,0070	0,0070
-n-C ₄ H ₁₀	%	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080
-i-C ₅ H ₁₂	%	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030
-n-C ₅ H ₁₂	%	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020
-C ₆ H ₁₄	%	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020
-CO ₂	%	0,0860	0,0860	0,0860	0,0860
-N ₂	%	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2. Laju	Nm ³ /jam	4316,8	4113,99	4320,21	4752,33
3. Temperatur	°C	50,5	46,2	51,1	52,8
4. Tekanan	Kg/cm ²	14,8	14,8	14,7	14,8
Air Pendingin					
1. Laju	kg/jam	76,64	80,24	85,52	87,70
2. Tekanan	kg/cm ²	5,32	5,33	5,33	5,32
3. Temperatur masuk	°C	34	34	34	34
4. Temperatur keluar	°C	113	113	113	113
	MW	8,63	9,04	9,63	9,88
GTG-Load					



Lanjutan Lampiran 5

Gas buang					
1. Komposisi					
-CO ₂	%	1,2	1,2	1,6	1,6
-O ₂	%	17,8	17,8	17,8	17,8
-CO	%	0,0	0,0	0,0	0,0
-N ₂	%	81,0	81,0	80,62	80,62
2. Laju	Kg/jam				
3. Temperatur	°C	441,1	440,1	445,9	448,6
4. Tekanan	Kg/cm ²	174,9	171,3	172,9	173,1

Hasil Cetak Diketahui Untuk Pengujian
1. Didapat bahwa sifat-sifatnya sama dengan batang pencetakan yang diambil
2. Pengujian untuk untuk mengetahui pertumbuhan, gerakan, penyerapan klorofil dan filamen pada tanah
b. mengetahui hasil pengujian pada kegiatan yang dilakukan dapat dilihat pada lampiran



LAMPIRAN 6. Titik pengukuran Waste Heat Boiler (WHB) (25 Juni sampai 28 Juni)

Titik pengukuran	Unit	Tanggal Pengamatan (Juni 1996)			
		25	26	27	28
Gas buang dari GTG					
1. Komposisi				1,6	
-CO ₂	%	1,2	1,2	17,8	1,6
-O ₂	%	17,8	17,8	0,0	17,8
-CO	%	0,0	0,0	80,62	0,0
-N ₂	%	81,0	81,0		80,62
2. Laju	Kg/jam				
3. temperatur masuk WHB	°C	712	710	712	713
Gas alam					
1. Komposisi					
-CH ₄	%	0,8010	0,8010	0,8000	0,8000
-C ₂ H ₆	%	0,0540	0,0540	0,0550	0,0550
-C ₃ H ₈	%	0,0360	0,0360	0,0370	0,0370
-i-C ₄ H ₁₀	%	0,0070	0,0070	0,0070	0,0070
-n-C ₄ H ₁₀	%	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080
-i-C ₅ H ₁₂	%	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030
-n-C ₅ H ₁₂	%	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020
-C ₆ H ₁₄	%	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020
-CO ₂	%	0,0860	0,0860	0,0860	0,0860
-N ₂	%	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2. Laju	Nm ³ /jam	3269	3216	3665	3438
3. Tekanan	Kg/cm ²	0,30	0,29	0,37	0,33
Blowdown					
1. Laju	Kg/jam	15645,83	10800,00	14133,33	14223,33
2. Temperatur	°C	112	112	113	113
3. Tekanan	Kg/cm ²	3,7	3,7	3,7	3,7
Kondensat					
1. laju	Kg/jam	10736,91	7412,85	9700,77	9762,54
2. Temperatur	°C	160	160	160	160
3. Tekanan	Kg/cm ²	3,6	3,6	3,6	3,6



Lanjutan Lampiran 8

Steam SL					
1. Laju	Kg/jam	4906,92	3387,15	4432,56	4460,79
2. Temperatur	°C	220	220	220	220
3. Tekanan	Kg/cm ²	3,5	3,5	3,5	3,5
Steam MS					
1. Laju	Kg/jam	69954	74400	75766	74766
2. Temperatur	°C	388,9	388,4	388	388
3. Tekanan	Kg/cm ²	42,9	42,6	42,8	42,9
BFW from Daerator					
Laju	Kg/jam	85600	85200	89900	88900
Tekanan	Kg/cm ²	59,1	59,2	59,1	59,6
BFW to Desuperheater					
1. Laju	Kg/jam	3810	3670	4530	4390
2. temperatur	°C	459	457,2	466,4	463,7
3. Tekanan	Kg/cm ²	59,1	59,2	59,1	59,6
BFW to Steam Drum					
1. Laju	Kg/jam	81790	85200	85370	84600
2. Temperatur	°C	215,8	216,6	214,3	215,4
3. Tekanan	Kg/cm ²	43,9	43,6	44,0	44,0
Gas buang					
1. Komposisi					
-CO2	%	4,5	4,5	4,5	4,5
-O2	%	13,5	13,5	13,6	13,6
-CO	%	0,0	0,0	0,0	0,0
-N2	%	82,0	82,0	81,9	81,9
2. Laju	Kg/jam	-	-	-	-
3. Temperatur	°C	224	225,6	224,4	217,7
3. Tekanan	Kg/cm ²	113	112	112	113

Lampiran 7. Contoh-Contoh Perhitungan

Contoh-contoh perhitungan dalam lampiran ini didasarkan pada pengambilan data pada tanggal 25 Juni.

1. Perhitungan Neraca Energi dan Neraca Massa

1.1. Turbin Gas

a. Energi masuk

(a) Energi yang dikandung Gas Alam (Turbin Gas)

Komponen	Gid (Gravitasi gas ideal)	Bm (Berat molekul)	HHVideal (Nilai kalor gas ideal)	Xi (fraksi volume)	Gri (Fraksi gravitasi)	HHV kotor
CH4	0,55392	16,01	1010,0	0,8010	0,44369	809,010
C2H6	1,03824	30,07	1769,8	0,0540	0,05606	95,5692
C3H8	1,52256	40,09	2516,2	0,360	0,05481	90,5832
iC4H10	2,00684	58,12	3252,1	0,0070	0,01405	22,7674
nC4H10	2,00684	58,12	3262,4	0,0080	0,01605	26,0992
iC5H12	2,49115	72,15	4000,9	0,0030	0,00747	12,0027
nC5H12	2,49115	72,15	4008,8	0,0020	0,00498	8,0176
C6H14	3,17652	86,16	5065,8	0,0030	0,00953	15,1974
CO2	1,51955	44,01	0,00	0,0860	0,13068	0,00
N2	0,96723	28,00	0,00	0,0000	0,000	0,000
Jumlah:				1.000	0,73734	1079,244

Maka

$$\text{BM campuran gas} = 21.417111$$

$$Fn_h \text{ (faktor non hidrokarbon)} = 0,086$$

Kompresibilats campuran gas (Zb)

$$= 1,0039 + (0,007 \times Fnh) \times (0,0101 \times Gri)$$

$$= 1,0039 + (0,007 \times 0,086) (0,0101 \times 0,73734)$$

= 0.99653

HHV bersih = HHV kotor x Zb

$$\begin{aligned}
 &= 1079,244 \text{ Btu/SCF} \times 0,99653 \\
 &= 1083,30 \text{ Btu/SCF} \\
 &= \frac{1083,3 \times 252,16}{0,0283168} \text{ kal/kg} \\
 &= 9,65 \text{ Mkal/kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Laju alir} &= 4316,88 \text{Nm}^3/\text{jam} \\
 &= \frac{4316,88 \times \text{Mr kg/jam}}{22,4} \\
 &= \frac{4316,88 \times 21,41711}{22,4} \text{ kg/jam} \\
 &= 4127,46 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Maka

$$Q = F \times H$$

$$= 4127,46 \text{ kg/jam} \times 9,65 \text{ Mkal/kg}$$

$$= 39,83 \text{ Gkal/jam}$$

$$= 4538,88 \text{ kkal/kwh}$$

(b) Energi udara pembakaran

$$\begin{aligned}
 O_{\min} &= 4,0000 \%CH_4 + 3,7246 \%C_2H_6 + 3,2689 \%C_3H_8 + 3,5788 \\
 &\quad \%i-C_4H_{10} + 3,5788 \%n-C_4H_{10} + 3,5482 \%i-C_5H_{12} + 3,5482 \\
 &\quad \%nC_5H_{12} + 3,5274 \%C_6H_{14} \\
 O_{\min} &= 4,000 \times 0,8010 + 3,7246 \times 0,0540 + 3,2689 \times 0,0360 + \\
 &\quad 3,5788 \times (0,007 + 0,008) + 3,5482 (0,003 + 0,002) + \\
 &\quad 3,5274 \times 0,003 \\
 &= 3,6035 \text{ kg/kg gas alam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{\min} &= 100/21 O_{\min} \\ &= 100/21 \cdot 3,6035 \text{ kg/kg gas alam} \\ &\approx 17,16 \text{ kg/kg gas alam} \end{aligned}$$

$$L_{\text{aktuell}} = L_{\min} \times E \times F$$



$$= 17,16 \times 1,075 \times 1,04 \text{ kg/kg gas alam}$$

$$= 19,18 \text{ kg/kg gas alam}$$

$$= 19,18 \text{ kg/kg gas alam} \times 4127,46 \text{ kg gas alam/jam}$$

$$= 79181,77 \text{ kg/jam}$$

$$Q = L_{\text{aktual}} \times (H_{\text{udara ambient}} - H_{\text{referensi}(25^\circ\text{C})})$$

$$= 79181,77 \text{ kg/jam} \times (110,946 - 76,481) \text{ kJ/kg}$$

$$\times 0,2388 \text{ kkal/kj}$$

$$= 651685,10 \text{ kkal/jam}$$

$$= 0,65 \text{ Gkal/jam}$$

$$= 75,48 \text{ kkal/kwh}$$

b. Energi keluar

(a) Energi Listrik

Energi listrik yang dihasilkan generator Turbin Gas rata-rata per jam adalah (E) = 8,63 Mw

maka:

$$Q = 8,63 \text{ Mw} \times 10^3 \text{ Kw/Mw} \times 3,6 \times 10^6 \text{ J/Kwh} \times 0,2388 \text{ kkal/J}$$

$$= 7,42 \times 10^9 \text{ kkal/jam}$$

$$= 7,42 \text{ Gcal/jam}$$

$$= 859,68 \text{ kkal/Kwh}$$

b. Rugi-rugi energi

(a) Gas buang

Temperatur gas buang keluar Turbin Gas (T_{gb1}) = 441,1 °C

$$\text{CO}_2 = 1,2\%$$

$$\text{CO} = 0\%$$

$$\text{O}_2 = 17,8\%$$

$$\text{N}_2 = 81\%$$



maka:

$$\begin{aligned}
 H &= \sum H \\
 &= H_{CO_2} + H_{O_2} + H_{N_2} \\
 &= (106,63 + 103,37 + 113,24) \text{ kkal/kg} \\
 &= 323,24 \text{ kkal/kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q &= m \times H \\
 &= 83309,23 \text{ kg/jam} \times 323,24 \text{ kkal/kg} \\
 &= 26,93 \text{ Gkal/jam} \\
 &= 3119,17 \text{ kkal/kWh}
 \end{aligned}$$

(b) Rugi radiasi dan konduksi dari permukaan Turbin Gas

$$\text{Temperatur pembakaran } (T_a) = 926,78 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{T udara lingkungan } (T_l) = 32 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$h = 25 \text{ w/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$A = (29,68 \times 3,45) \text{ m}^2 \text{ (dimensi Turbin gas)}$$

maka:

$$\begin{aligned}
 Q_{rad} &= h \times A \times (T_a + T_l)/2 \\
 &= 25 \text{ w/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C} \times 102,396 \text{ m}^2 \times (926,78 + 32) \text{ }^{\circ}\text{C}/2 \\
 &= 1,05 \cdot 10^9 \text{ kal/jam} \\
 &= 1,05 \text{ Gkal/jam} \\
 &= 116,72 \text{ Kkal/kwh}
 \end{aligned}$$

(c) Air pendingin

$$m = 76,64 \text{ kg/jam}$$

$$T_{in} = 34 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{out} = 113 \text{ }^{\circ}\text{C}$$



maka:

$$\begin{aligned} Q_a &= M_a \times C_{p,a} \times (T_{out} - T_{in}) \\ &= 76,64 \text{ kg/jam} \times 0,997 \text{ kkal/kg } ^\circ\text{C} \times (113 - 34) ^\circ\text{C} \\ &= 6036,40 \text{ kkal/jam} \\ &= 0,006 \text{ Gkal/jam} \end{aligned}$$

1.2. Perhitungan di W H B

a. Energi masuk

(a) Perhitungan energi bahan bakar (gas alam)

$$\begin{aligned} m &= 3269 \text{ NM}^3 \\ &= (3269 \text{ NM}^3 \times 21,417111 \text{ kg/kmol}) / 22,4 \text{ NM}^3/\text{kmol} \\ &= 3125,56 \text{ kg/jam} \\ H &= 9636,54 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

maka:

$$\begin{aligned} Q_{bb} &= m \times H \\ &= 3125,56 \text{ kg/jam} \times 9636,54 \text{ kkal/kg} \\ &= 30119584 \text{ kkal/jam} \\ &= 30,12 \text{ Gka/jam} \\ &= 430,56 \text{ kkal/kg uap} \end{aligned}$$

(b) Udara pembakaran (gas buang dari Turbin gas)

Temperatur gas buang keluar Turbin Gas (T_{gb1}) = 712°C

$$\begin{aligned} CO_2 &= 1,2\% \\ CO &= 0\% \\ O_2 &= 17,8\% \\ N_2 &= 81\% \end{aligned}$$

maka:

$$\begin{aligned} H &= \sum H \\ &= H_{CO2} + H_{O2} + H_{N2} \\ &= (167,31 + 181,85 + 178,49, \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$



$$= 527,65 \text{ kkal/kg}$$

$$\begin{aligned} Q &= m \times H \\ &= 83309,23 \text{ kg/jam} \times 527,65 \text{ kkal/kg} \\ &= 43,96 \text{ Gkal/jam} \\ &= 628,38 \text{ kkal/kg uap} \end{aligned}$$

(c) Energi dari BFW

$$m = 81790 \text{ kg/jam}$$

$$T = 112^\circ\text{C}$$

$$P = 63 \text{ kg/cm}^2$$

$$H = 469,78 \text{ kJ/kg}$$

maka:

$$\begin{aligned} Q &= 81790 \text{ kg/jam} \times 469,78 \text{ kJ/kg} \times 0,2388 \text{ kkal/kg} \\ &= 9175485,52 \text{ kkal/jam} \\ &= 9,18 \text{ Gkal/jam} \\ &= 123,57 \text{ kkal/kg uap} \end{aligned}$$

b. Energi keluar

(a) Uap (steam SM)

$$m = 69954,17 \text{ kg/jam}$$

$$T = 389^\circ\text{C}$$

$$P = 42,9 \text{ kg/cm}^2$$

$$H = 3183,08 \text{ kJ/kg}$$

maka:

$$\begin{aligned} Q &= m \times H \\ &= 69954,17 \text{ kg/jam} \times 3183,08 \text{ kJ/kg} \times 0,2388 \text{ kkal/kg} \\ &= 53173529 \text{ kkal/jam} \\ &= 53,17 \text{ Gkal/jam} \\ &= 760,12 \text{ kkal/kg uap} \end{aligned}$$

(b) kondesa

$$m = 10738.91 \text{ kg/jars}$$

T = 160 °C

$$P = 3.6 \text{ kg/cm}^2$$

$$H = 2778 \text{ kJ/kg}$$

maka

$$Q = 10738,91 \text{ kg/jam} \times 2778 \text{ kJ/kg} \times 0,2388 \text{ kkal/kJ}$$

$$= 7124046.85 \text{ kkal/jam}$$

= 7,12 Gkal/jam = 101,83 kcal/kg uap

(c) Uap (Steam SI)

$$m = 1906.92 \text{ kg/mam}$$

T = 220 °C

$$P = 3,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$H = 2904,5 \text{ kJ/kg}$$

maka

$$Q = m \times H$$

$$= 4906,92 \text{ kg/jam} \times 2904,5 \text{ kJ/kg} \times 0,2388 \text{ kcal/kJ}$$

= 3,40 Gkal/jam

= 48,65 kcal/kg uap

c. Rugi-rugi energi W H E

(a) Gas buang

Temperatur gas buang keluar WHB ($T_{gb\ 1}$) = 113,0°C

$\text{CO}_2 = 1,2\%$

CO = 0%

$$\text{O}_2 = 17.8\%$$

N₂ = 81%

maka:

$$\begin{aligned}
 H &= \Sigma H \\
 &= (H CO_2) + (HO_2) + H(N_2) \\
 &= (20,62 + 21,34 + 23,32) \text{ kkal/kg} \\
 &= 65,28 \text{ kkal/kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q &= m \times H \\
 &= 86798,23 \text{ kg/jam} \times 65,28 \text{ kkal/kg} \\
 &= 5,64 \text{ Gkal/jam} \\
 &= 81,00 \text{ kkal/kg uap}
 \end{aligned}$$

(b) Radiasi dan konduksi

Untuk menghitung energi radiasi menggunakan Tabel 9 Untuk beban uap 70 ton/jam, didapatkan nilai kerugian radiasi 0,014 kkal/kg uap.

2. Perhitungan Energi Spesifik Untuk Urea

Data:

- a. Produksi Urea : 1779,44 ton
- b. Pemakaian Uap : 2091,70 ton
- c. Pemakaian Listrik : 26440 Kwh

Perhitungan

$$SEC = \frac{E_u + E_l}{M}$$

Dimana:

E_u = Energi yang dikandung uap

E_l = Energi listrik



M = Produksi urea

Temperatur uap: (T) = 389 oC

Tekanan uap (P) = 42,9 kg/cm²

Entalpi uap (H) = 3183,08 Kj/kg (bantuan tabel uap)

$E_u = M_u \times H_u$

$$= 2091,7 \times 10^3 \text{ kg} \times 3183,08 \text{ kJ/kg} \times (1 \text{ cal}/4,186 \text{ J}) \times 1 \text{ MJ}/10^3 \text{ kJ}$$

$$= 1590551 \text{ Mcal}$$

$$EI = 26440 \text{ Kwh} \times 0,8604 \text{ Mcal}/1 \text{ Kwh} = 22748,98 \text{ Mcal}$$

$$\text{Maka: } \frac{E_u + EI}{1779,44} = \frac{1590551 + 22748,98}{1779,44} = 906,63 \text{ kkal/kg urea}$$

3. Perhitungan Nilai Konsumsi Energi (Rasio Energi/RE)

Nilai konsumsi gas alam (bahan baku) di unit ammonia = Ma

$$= 55359,06 \text{ Nm}^3/\text{jam}$$

$$= 52929,96 \text{ kg/jam}$$

Nilai Produksi urea = M.

$$= 1779 \text{ Ton Urea}$$

maka:

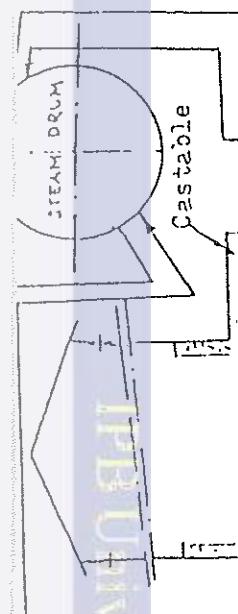
Rasio energi (RE)

$$= Ha/Mu$$

$$= \frac{(52602,87 \text{ kg/jam} \times 9636,56 \text{ kkal/kg} \times 24 \text{ jam}) / (252,16 \text{ kkal} \times 10^3 \text{ MMBTU})}{1779 \text{ Ton Urea}}$$

$$= 48246,48 \text{ MMBTU} / 1779 \text{ Ton Urea}$$

$$= 27,12 \text{ MMBTU/MTon Urea}$$

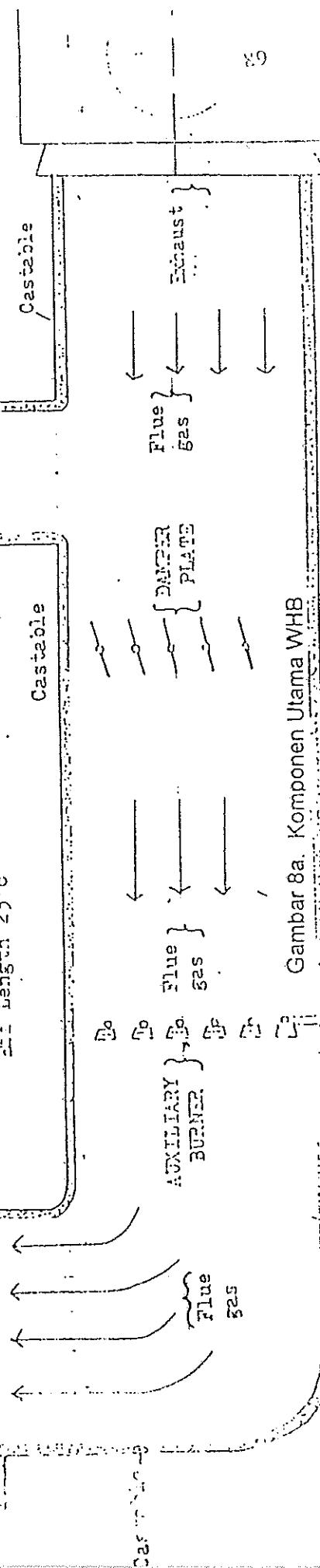


A. Economizer tube
(260), 2" (OD) x 0,110" MW, Finned tubes
CS SA 176 Gr. A.
Eff Length 25'6"

B. Boiler tubes
(280), 2" (OD) x 0,110" MW, Finned tubes
CS SA 176 Gr. A.
Eff Length 25'6"

C. Superheater tubes
(30), 2" (OD) x 0,120" MW
1/2 Cr, 1/2 Mo, SA 213 Gr 11
60 finned, 20 tube
Eff Length 25'6"

Note:
Tipe yang paling banyak
digunakan bahan no. 3 & 5
dari arah batas.



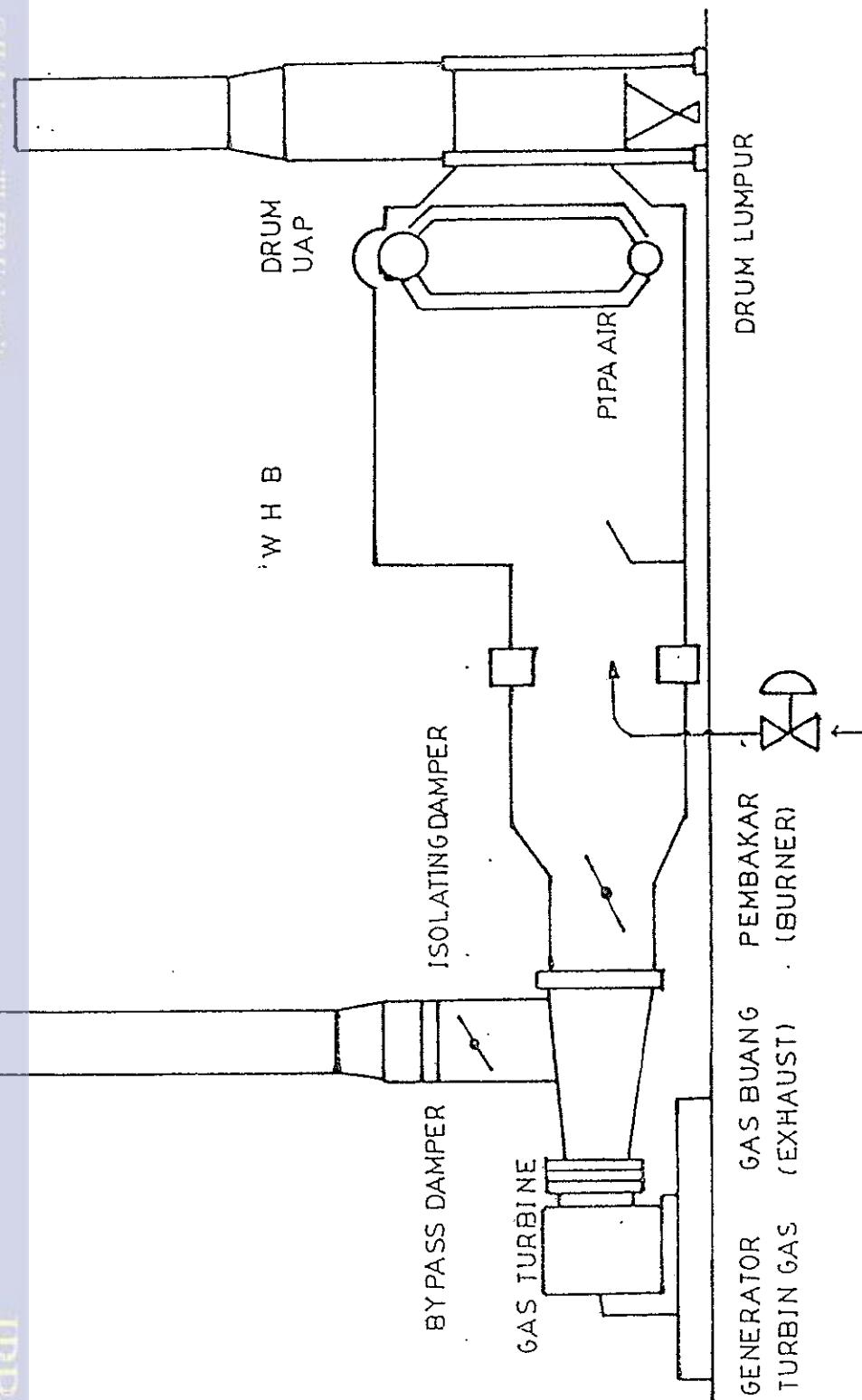
Gambar 8a. Komponen Utama WHB



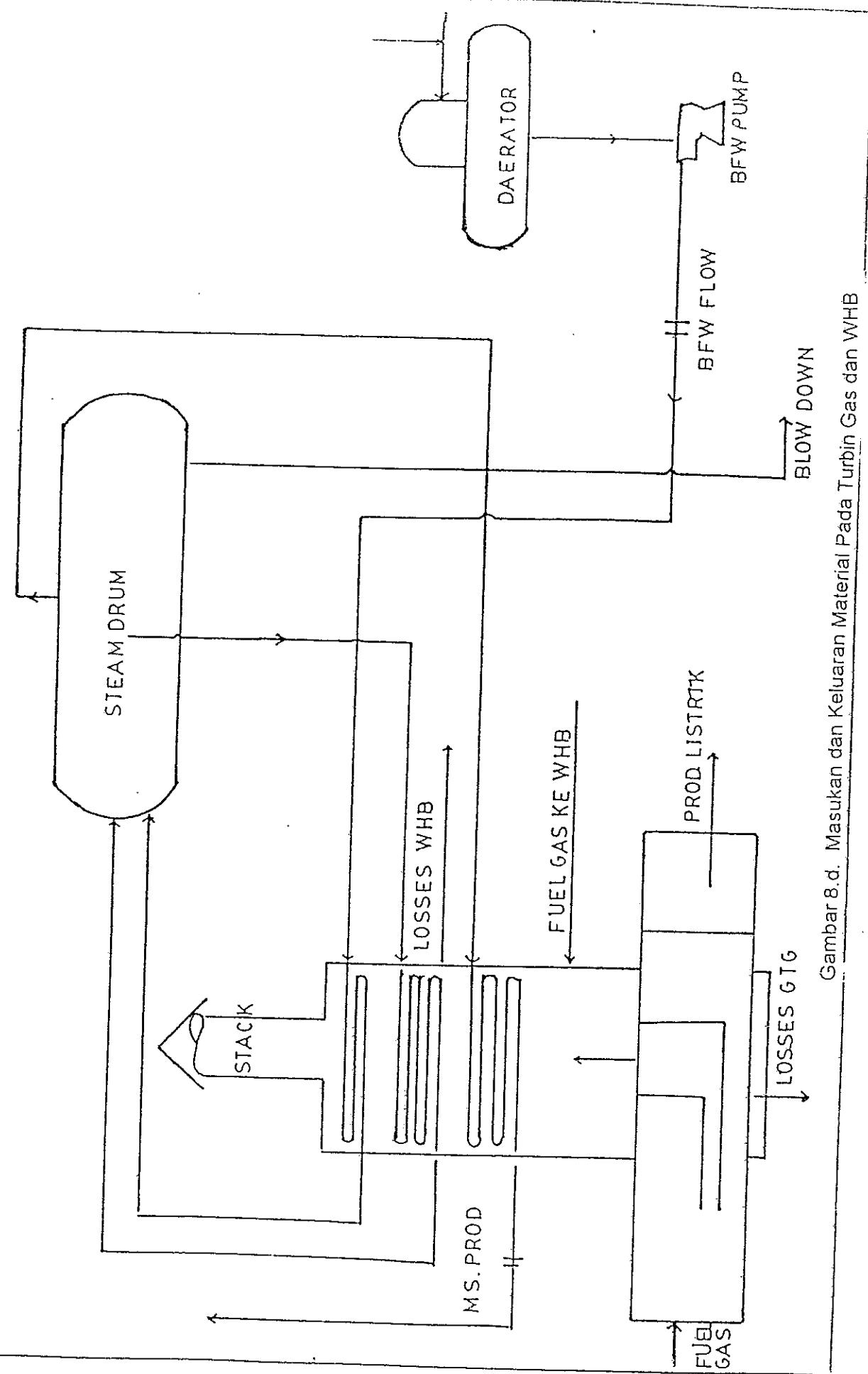
CEROBONG

CEROBONG PINTAS

IPB University



Gambar 8c. Sistem Pemanfaatan Panas Buang pada Turbin Gas Untuk Membangkitkan Uap di WHB Pusri I-B.

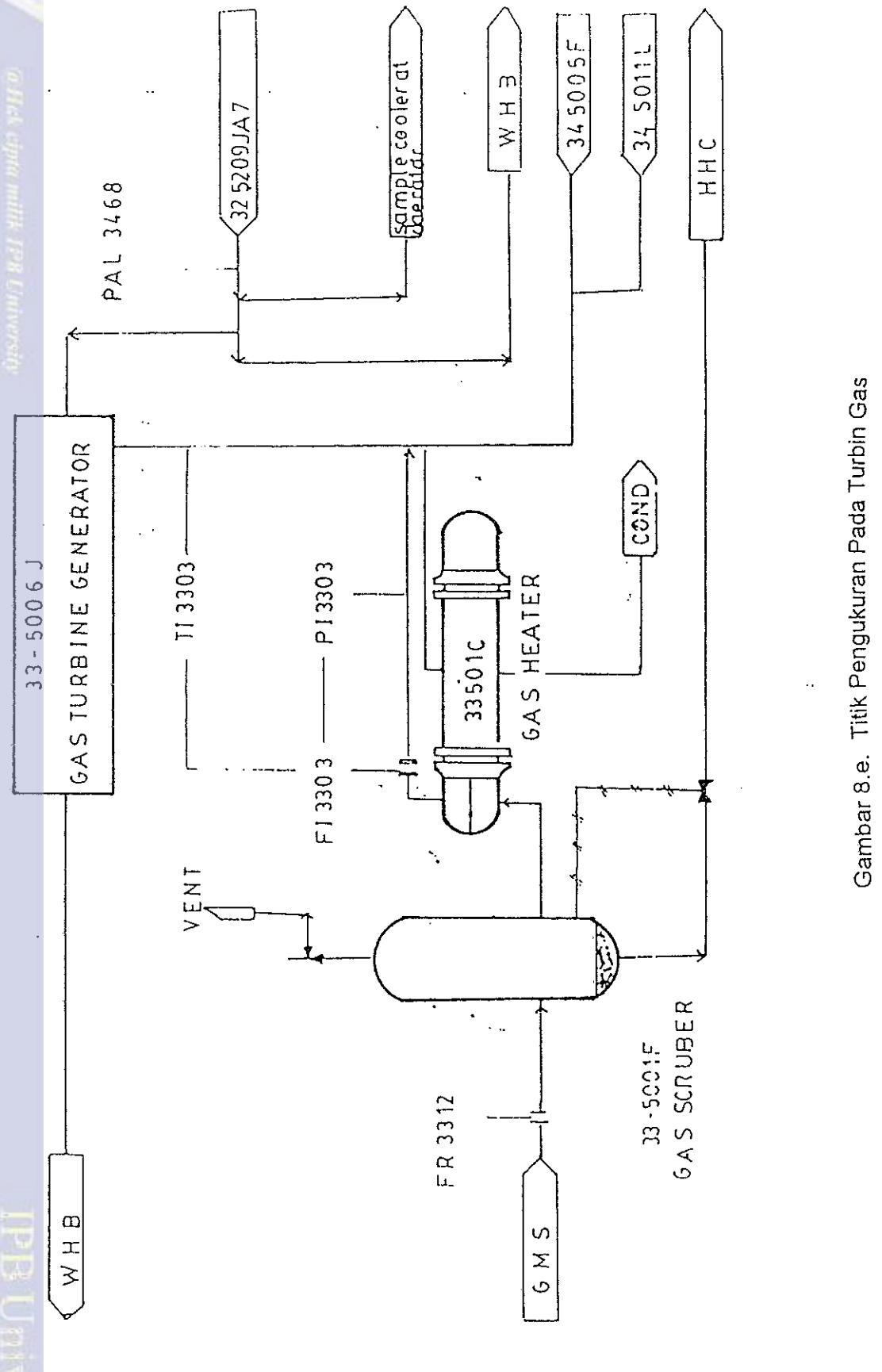


Gambar 8.d. Masukan dan Keluaran Material Pada Turbin Gas dan WHB

Universitas
Binaan
Indonesia

Pengantar
Teknik
Pembangkitan

GAS TURBINE GENERATOR 33-5006 J



Gambar 8.e. Titik Pengukuran Pada Turbin Gas



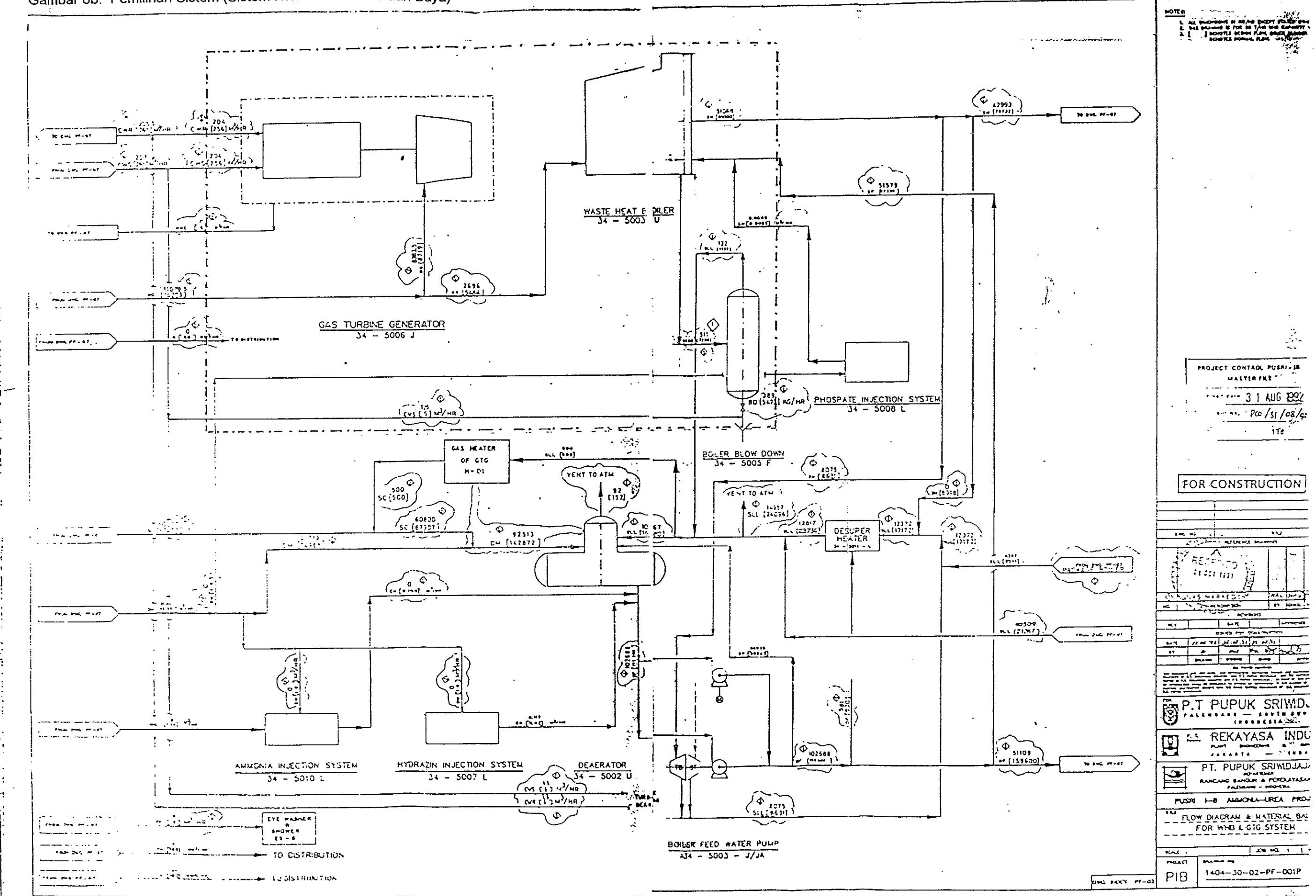
Hasil Ciptaan Dikembangkan Untuk Menghadirkan
1. Dikembangkan untuk mendukung kebutuhan data dan informasi dalam penyelesaian tugas akademik
2. Pengembangan untuk kebutuhan administrasi universitas, penelitian, pengembangan kampus, penulisan buku atau artikel dan lainnya

3. Pengembangan untuk mendukung kebutuhan pengembangan teknologi informasi di IPB University

4. Pengembangan untuk kebutuhan pengembangan teknologi informasi di IPB University

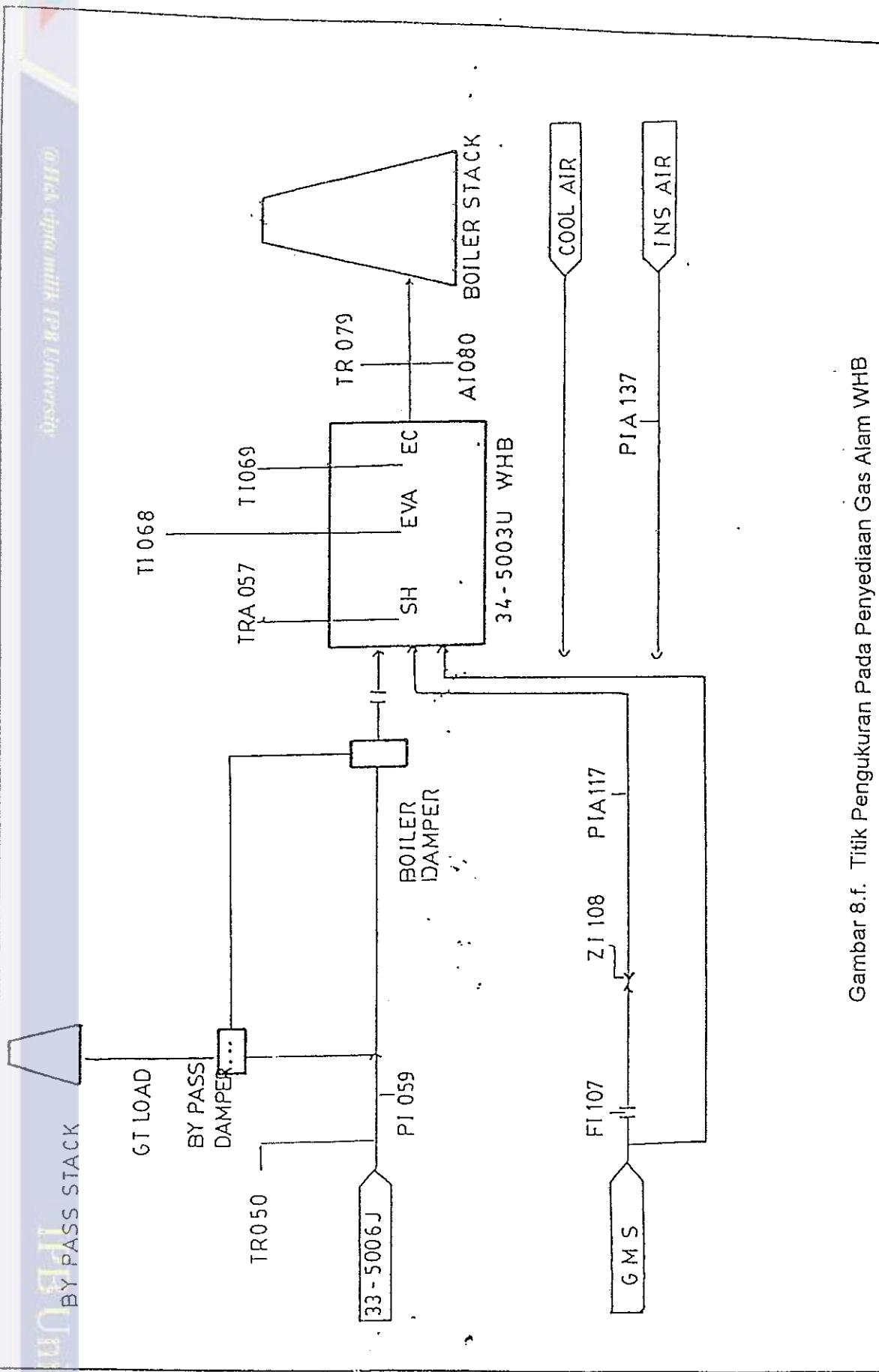
5. Pengembangan untuk mendukung kebutuhan pengembangan teknologi informasi di IPB University

Gambar 8b. Pemilihan Sistem (Sistem Kombinasi Panas dan Daya)

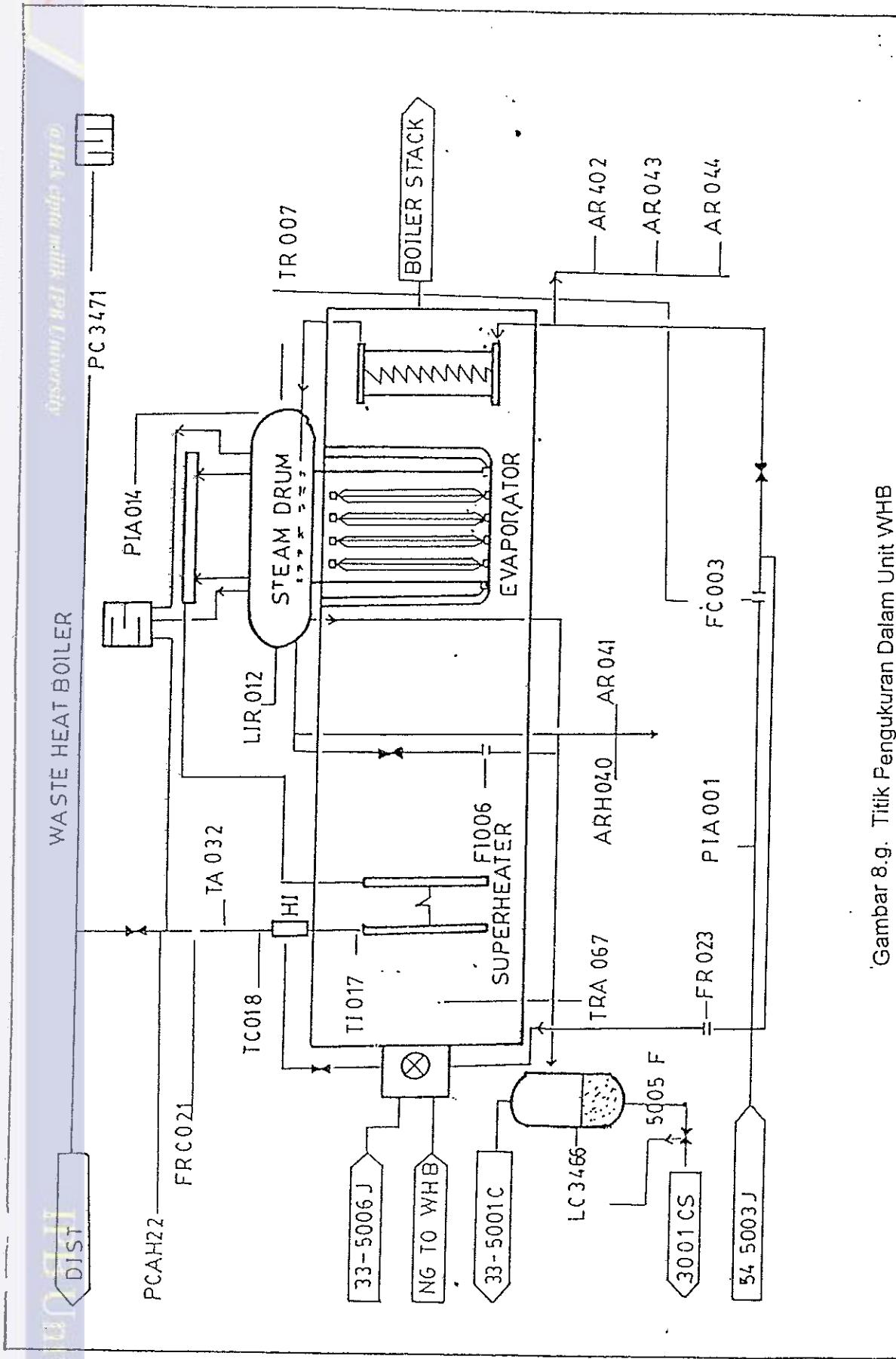




Aplikasi Unit WHB



Gambar 8.f. Titik Pengukuran Pada Penyediaan Gas Alam WHB



Gambar 8.g. Titik Pengukuran Dalam Unit WHB

Tabel 10. ENERGI Pada Panas Buang

T (oC)	Energi	Gas	Buang	Kkal/kg				
	Air	CO	CO2	H2	H2O	N2	O2	SO2
15,6	0	0	0	0	0	0	0	0
100	20,5	20,9	17,9	292,9	37,6	20,8	18,6	13,0
200	43,3	46,1	40,6	640,3	83,5	46,0	41,4	29,4
300	68,1	71,9	65,0	989,1	130,9	71,5	64,8	46,8
400	92,8	98,3	90,7	1339,6	179,8	97,6	88,8	65,1
500	119	125,1	117,7	1692,3	230,1	124,1	113,5	84,1
600	146	152,5	145,8	2047,7	282,0	151,1	138,6	103,8
700	174	180,3	174,9	2406,3	335,4	178,5	164,2	124,1
800	201	208,6	204,8	2768,5	390,3	206,4	190,1	144,7
900	229	237,3	235,3	3134,9	446,8	234,7	216,4	165,4
1000	256	266,5	266,2	3505,8	504,7	263,5	242,9	186,8

Sumber: Combustion Hand Book, (1986)



Lampiran 9. Diagram Mollier

97

