DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS SRIWIJAYA FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN

Oleh :
FRANS K.H. MANURUNG
03 97 315 0082

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS SRIWIJAYA FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
UPT
PERPUSTAKAAN

[illegible]
[illegible] KETEL UAP)

[illegible] BAKAR
[illegible] ENERGI
[illegible] PIPA *AIR*)
[illegible] TEKANAN 16 BAR

S
621.107
Man
P
C030949
2002

Oleh :

FRANS K.H. MANURUNG
03 95 315 0082

2002

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS SRIWIJAYA FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN

TUGAS AKHIR
PEMBANGKIT UAP (KETEL UAP)

PENGARUH PENGGUNAAN MINYAK BAKAR (*MARINE FUEL OIL*) TERHADAP BALANS ENERGI PADA PEMBANGKIT UAP (*KETEL UAP PIPA AIR*) KAPASITAS 20 TON UAP / JAM DAN TEKANAN 16 BAR

Oleh :
FRANS K.H. MANURUNG
03 95 315 0082

Diketahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin,

Dr. Ir. H. Kaprawi, DEA
NIP 131 476 176

Diperiksa dan disetujui,
Dosen Pembimbing,

Dr. Ir. Riman Sipahutar, MSc.
NIP 131 595 556

UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN

AGENDA NO. : 1179 /TA / IA /02
DITERIMA TGL. : 19-09-2002
PARAF :

TUGAS AKHIR

NAMA : FRANSISKA MANURUNG
NIM : 0304315[illegible]
MATA KULIAH : KONVERSI ENERGI / KETEL UAP
SPESIFIKASI : a. KEARAH PEMBAKARAN
b. FAKTOR KERUGIAN KALOR PADA KETEL UAP
c. EFISIENSI KETEL UAP
d. BALANS ENERGI
DIBERIKAN TANGGAL : 02 JULI 2001
SELESAI TANGGAL : 01 MEI 2002

Inderalaya, Mei 2002

Diketahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin,

Dr. Ir. H. Kaprawi, DEA
NIP 131 476 176

Diperiksa dan disetujui,
Dosen Pembimbing,

Dr. Ir. Riman Sipahutar, MSc.
NIP 131 595 556

MOTTO :

" Takut akan TUHAN adalah permulaan pengetahuan, tetapi orang bodoh menghina hikmat dan didikan "

(Amsal 1 : 7)

" Janganlah kamu kuatir akan bagaimana dan akan apa yang harus kamu katakan, karena semuanya akan dikaruniakan kepadamu pada saat itu juga "

(Matius 10 : 19)

" Sebab itu marilah kita mengejar apa yang mendatangkan damai sejahtera dan yang berguna untuk saling membangun "

(Roma 14 : 19)

"Pembelajar mengolah kata. Pemimpin merangkai kalimat. Guru merangkai kata"

(Andrias Harefa)

Dedicated to :

- *My Jesus Christ,*
- *My Beloved Parents,*
- *All My Brothers, Sisters, Brother in law and Sister in law.*
- *My beloved, Sisca and Kevin*
- *Someone in Somewhere*

ABSTRAK

PT. Sinar Alam Permai (S.A.P) adalah suatu perusahaan yang bergerak dibidang pengolahan Crude Palm Oil (C.P.O). Dari Pengolahan CPO ini, dihasilkan beberapa produk yang nantinya akan dipasarkan baik di dalam negeri maupun diluar negeri (ekspor), seperti minyak goreng, margarine, dll. Untuk mengolah CPO ini, dilakukan beberapa proses diantaranya adalah proses pemanasan. Proses Pemanasan dilakukan agar kualitas dan kuantitas CPO yang dibutuhkan tetap terjaga. Untuk melakukan proses tersebut dibutuhkan suplai uap yang cukup. Untuk menunjang semua proses yang ada pada pabri, digunakan 3 unit mesin Boiler dengan total kapasitas uap 40 ton uap/jam yang terdiri dari masing-masing 1 unit mesin Boiler kapasitas 20 ton, 15 ton dan 5 ton uap/jam. Mengingat mesin ini merupakan elemen penting dari seluruh proses yang ada di PT. Sinar Alam Permai, maka kinerja boiler tersebut harus terus dipantau dengan berbagai pengujian untuk mengetahui efisiensi boiler, kerugian-kerugian kalor (*heat loses*) dan produksi uapnya. Sehingga dapat diketahui berapa besar jumlah energi yang mampu dihasilkan dan berapa besar pula jumlah energi yang terpakai dan yang terbuang (balans energi) berdasarkan penggunaan jenis bahan bakar yang ada.

Dari seluruh perhitungan diketahui bahwa Nilai Pembakaran yang terjadi pada ketel uap tersebut adalah Nilai Pembakaran Atas [*High Heating Value* (HHV)] sebesar *23.819,01 Btu/lb.* Besarnya jumlah *kerugian panas total* (Σ *heat* $_{losses}$) sebesar *4578,971 Btu/lb.* Dari perhitungan yang dilakukan didapat efisiensi (*aktual*) ketel uap sebesar *80,78 %.*

Perhitungan kesetimbangan energi atau balans energi yang terjadi pada ketel uap kapasitas 20 ton uap tersebut didapat bahwa dari 1400 liter / jam minyak bakar (*Marine Fuel Oil*) yang dikonsumsi ketel uap, jumlah energi yang dihasilkan sebesar *10.493.798,320 Btu / jam.* Sedangkan energi yang bisa terpakai hanya sebesar *8.476.468,543 Btu / jam* atau *80,78 %* dari jumlah energi yang dihasilkan dan jumlah energi yang terbuang selama proses berlangsung sebesar *2.017.329,779 Btu jam* atau *19,22 %* dari jumlah energi yang dihasilkan.

Dari perhitungan diatas dapat dianalisa bahwa efisiensi ketel uap yang terjadi (*80,78 %*) juga menunjukkan persentase energi hasil pembakaran yang dipakai untuk proses-proses yang ada.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Masa Kasih karena berkat dan karunia-Nya lah akhirnya penulis dapat menyelesaikan Tugas akhir ini. Adapun penulisan Tugas Akhir ini merupakan persyaratan mahasiswa untuk menyelesaikan studi pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapkan terima kasih bagi semua pihak yang turut memberikan bantuannya baik pikiran maupun bimbingan serta dukungan moral maupun spiritual sehingga penulis lebih termotivasi untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini, khususnya kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Riman Sipahutar, MSc, selaku Dosen Pembimbing Skripsi sekaligus Dosen Pembimbing Akademik.
2. Bapak Dr. Ir. H. Kaprawi, DEA, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Ir. Helmy Alian, MT, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Ir. Darmawi Bayin, MT, selaku Dosen Pembimbing Akademik penulis untuk beberapa semester.

5. Karyawan dan staff PT. Sinar Alam Permai, Mariana, MUBA, yang telah membantu penulis dalam pengambilan data penelitian.
6. Sahabat-sahabat setiaku di Teknik Mesin Angkatan '95 : Gusti [words aren't enough for you, thanks bro!], S_bet22 [where are you?], Vidial & Boy [we'll hunt again?], Jonathan & Okta [jadi nih, bulan 12?], Donny'96 [go for it !] dan seluruh sahabat yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.
7. Sahabat-sahabatku di Rengas House [Teteh, Hendri, Tommy, Tigor, dll] yang turut memberikan semangat empat-limanya.
8. Seluruh rekan kerjaku di St. Agatha khususnya pada Bpk. Raminto yang telah memberikan izin untuk membolos untuk menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan-kekurangan yang terdapat pada Tugas Akhir ini. Oleh sebab itu, penulis menerima saran dan kritik sebagai masukan-masukan yang membangun untuk dapat lebih melengkapi isi Tugas Akhir ini.

Besar harapan penulis, kiranya Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, khususnya bagi Jurusan Teknik Mesin dan rekan-rekan se-Almamater.

Inderalaya, Mei 2002

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

KATA PENGANTAR vi

DAFTAR ISI viii

DAFTAR GAMBAR x

DAFTAR TABEL xi

DAFTAR LAMPIRAN xii

BAB

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang 1

B. Perumusan Masalah 2

C. Tujuan dan Manfaat Penulisan 3

D. Metode Penulisan 3

E. Sistematika Penulisan 4

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Ketel Uap 6

A.1. Sejarah Perkembangan Ketel Uap 6

A.2. Klasifikasi Ketel Uap 7

A.3. Komponen Utama Ketel Uap 10

B. Uap Air 11

B.1. Proses Pengolahan Air Isian pada Ketel Uap 11

B.2. Proses Terbentuknya Uap Air 15

B.3. Sirkulasi Air pada Ketel Uap 17

C. Jenis Bahan Bakar 18

UPT. PERPUSTAKAAN
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
NO. DAFTAR : 030949
TANGGAL : 23 JUL 2003

D. Nilai Pembakaran Bahan Bakar 19
E. Reaksi Pembakaran 22
F. Kerugian-kerugian Kalor 24
G. Efisiensi Ketel Uap 27
H. Balans Energi 28

III. PEMBATASAN MASALAH

A. Data Spesifikasi Ketel Uap 30
B. Data Spesifikasi Bahan Bakar 31
C. Perhitungan Nilai Pembakaran Bahan Bakar 32

IV. PEMBAHASAN MASALAH

A. Reaksi Pembakaran 34
B. Perhitungan Kerugian Kalor 37
C. Efisiensi Ketel Uap 41
D. Balans Energi 41
E. Pembahasan 43

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan 46
B. Saran 47

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR **Halaman**

1. Flow Chart Water Treatment 12
2. Grafik Pembentukan Uap Air 16
3. Flow Chart Pembentukan Uap Air pada Ketel 17
4. Ilustrasi Kesetimbangan Massa 28
5. Ilustrasi Kesetimbangan Energi 29

DAFTAR TABEL

TABEL **Halaman**

1. Penggolongan Bahan Bakar 19
2. Komposisi Kimia Bahan Bakar 32
3. Hasil Pembakaran pada 1 lb Bahan Bakar 37
4. Balans Energi 43

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN **Halaman**

A. Kalor Spesifik gas ideal untuk beberapa gas [Btu/lb^{0}F] 51

B. Kalor Spesifik molar gas ideal untuk beberapa gas [Btu/lbmole ^{0}F] .. 52

C. Tabel Psikometrik pada keadaan standar (*P = 1 atm*) 53

D. Tabel Uap Jenuh (*Saturated Steam Tables – Temperature Tables*) 55

E. Tabel Uap Jenuh (*Saturated Steam Tables – Pressure Tables*) 56

F. Tabel Uap Kering (*Superheated Steam Tables*) 57

G. Entalpi Pembakaran dan Entalpi Penguapan [25^{0}C (77^{0}F), 1 atm] ... 59

H. Water Treatment Plant PT. Sinar Alam Permai 60

I. Diagram Proses Perlakuan Air (*Water Treatment*) pada PT. SAP 61

J. Estimasi pemakaian Bahan Kimia pada External Water Treatment Process 62

K. Estimasi pemakaian Bahan Kimia pada Internal Water Treatment Process 64

BAB I

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Di dalam suatu industri, kebutuhan daya listrik sangat mempengaruhi pengoperasian mesin yang ada. Tanpa adanya daya listrik yang besar, suatu industri sangatlah sulit untuk memenuhi target produksi. Oleh karena itu, berbagai upaya dilakukan untuk memenuhi kebutuhan tersebut termasuk upaya pemanfaatan sumber daya alam yang ada seperti minyak bumi, gas alam, sinar matahari, aliran air sungai, aliran air terjun, dan lain-lain.

Kebutuhan akan daya listrik di dalam industri pada saat cukup terpenuhi dengan pemanfaatan uap. Adapun pemanfaatan uap tersebut secara sederhana telah banyak diterapkan dengan cara mendidihkan air sampai titik didih tertentu dan kemudian menghasilkan uap bertekanan yang dapat digunakan untuk berbagai kepentingan. Hal inilah yang sekarang ini dikenal sebagai *Sistem Pembangkit Tenaga Uap.*

Dalam aplikasinya di lapangan, pembangkit tenaga uap dapat dibedakan menjadi 2 (*dua*) jenis pembangkit uap berdasarkan jenis bahan bakar yang dipakainya, yaitu ; pembangkit tenaga uap yang menggunakan bahan bakar fosil dan pembangkit tenaga uap yang menggunakan bahan bakar nuklir. Namun pemakaian pembangkit tenaga uap yang menggunakan bahan bakar fosil tetap

mendominasi dalam industri-industri saat ini. Hal ini dikarenakan beberapa alasan komersil yang dipakai oleh industri dalam menjalankan proses produksinya, antara lain ; bahan bakarnya mudah diperoleh, efisiensi kerja relatif lebih besar serta sisa pembakaran yang lebih aman dibandingkan pembangkit tenaga uap yang menggunakan bahan bakar nuklir, walaupun debu yang dihasilkan jumlahnya lebih banyak.

Salah satu komponen utama sistem pembangkit tenaga uap yang sangat berperan penting adalah ketel uap (*boiler*) yang merupakan kombinasi antar sistem dan peralatan yang dipakai untuk mengkonversikan energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar (*fosil*) menjadi energi termal. Kemudian melalui fluida air, energi termal tersebut diubah secara parsial menjadi energi mekanik yang akhirnya dapat menggerakkan turbin.

Pada penelitian ini, judul yang diambil adalah, **" Pengaruh Penggunaan Minyak Bakar (*Marine Fuel Oil*) terhadap Balans Energi Pembangkit Uap (*Ketel uap Pipa Air*) dengan Kapasitas 20 Ton uap / jam dan bertekanan 16 bar "** , yang dipakai oleh Pabrik PT. Sinar Alam Permai (S.A.P) Mariana, MUBA.

B. PERUMUSAN MASALAH

Perumusan masalah dilakukan dengan penelitian terhadap dan perhitungan pembangkit uap (*ketel uap pipa air*) dibidang konversi energi yang menggunakan minyak bakar (*Marine Fuel Oil*) bertekanan 16 bar yang

menghasilkan 20 ton uap / jam. Adapun perhitungan yang dilakukan lebih ditekankan pada perhitungan faktor kerugian-kerugian kalor (*heat loses*) secara teoritik sehingga dapat diketahui balans energi yang terjadi pada ketel uap dan efisiensi (aktual) yang dihasilkan oleh ketel uap yang menggunakan minyak bakar (*marine fuei oil*) sebagai bahan bakarnya.

C. TUJUAN DAN MANFAAT PENULISAN

Selain sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan mata kuliah Tugas Akhir / Skripsi pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, penulisan skripsi ini bertujuan untuk mengetahui cara kerja pembangkit uap, khususnya ketel uap pipa air, pengaruh penggunaan minyak bakar (*Marine Fuel Oil*) dan kemudian mendapatkan balans energi pada pembangkit uap (*ketel uap pipa air*) bertekanan 16 bar yang menghasilkan uap berkapasitas 20 ton / jam.

D. METODE PENULISAN

Beberapa metode penulisan yang dilakukan oleh penulis dalam menyusun tugas akhir / skripsi ini, antara lain :

1. Metode Literatur,

   Penulis menggunakan buku-buku literatur yang berkaitan dengan pembangkit uap khususnya ketel uap pipa air, sebagai teori dasar dan pembahasan yang ada untuk melengkapi isi tugas akhir / skripsi ini.

2. Metode Studi Lapangan / Penelitian,

   Penulis melakukan studi ke lapangan dan melakukan penelitian untuk mendapatkan data-data yang diperlukan pembahasan masalah dalam tugas akhir / skripsi ini.

E. SISTEMATIKA PENULISAN

Adapun penulisan pada tugas akhir / skripsi ini disusun secara sistematis, antara lain :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan mengenai latar belakang penulisan dan pengenalan pembangkit uap (*ketel uap pipa air*), maksud dan tujuan penulisan, pembatasan masalah, metode pembahasan dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas mengenai teori-teori mengenai cara kerja pembangkit uap (*ketel uap pipa air*) dan teori-teori pendukung lainnya, seperti : perpindahan kalor, termodinamika dasar, kerugian-kerugian kalor (*heat losses*), efisiensi pembangkit uap, dan lain-lain yang mempengaruhi kerja pembangkit uap tersebut.

BAB III PEMBATASAN MASALAH DAN SPESIFIKASI ALAT

Bab ini menguraikan mengenai hasil-hasil studi lapangan yang berupa data-data penelitian; seperti data spesifikasi alat, data operasi alat, data bahan bakar yang

digunakan dan kandungannya, dan lain-lain, yang dilakukan penulis yang nantinya akan diolah dan dibahas dalam bab IV.

BAB IV PEMBAHASAN MASALAH

Bab ini berisi tentang perhitungan data hasil-hasil penelitian yang diperoleh dari studi lapangan yang dilakukan penulis dan kemudian dibahas untuk mengetahui pengaruh penggunaan bahan bakar yang dipakai terhadap balans energi dari pembangkit uap (*ketel uap pipa air*) tersebut.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merupakan bagian akhir dari tugas akhir / skripsi ini yang berisikan tentang kesimpulan dari hasil pembahasan masalah dan beberapa saran yang diperlukan untuk waktu yang akan datang.

DAFTAR PUSTAKA

1. _____ ," *BAHAN BAKAR MINYAK : untuk kendaraan, rumah tangga, Industri dan Perkapalan* " , Direktorat Pembekalan & Pemasaran Dalam Negeri PERTAMINA, 1997.

2. _____ ," *The Boiler Guide* " , Cleaver-Brooks, USA, 1997.

3. Bruin, LA de & L Muilwijk, " *Ketel Uap* " , Penerbit Bhratara, Jakarta, 1994.

4. Cengel, Dr. Yunus A. & Dr. Michael A. Boles, " *Thermodynamics : an engineering approach* " , McGraw-Hill Book Company, NY.

5. Culp, Archie W., Jr.,Ph.D.," *Principles of Energy Conversion* " , 2nd edition, McGraw-Hill., Inc., USA, 1991.

6. El-Wakil MM," *Power Plant Technology* " , McGraw-Hill., Inc, NY, 1984.

7. Ganic, Ejup N & Tyler G. Hicks, " *The McGraw-Hill Handbook of Essential Engineering Information & Data* " , McGraw-Hill, Inc., NY, 1991.

8. Heywood, John B., " Internal Combustion Engine Fundamentals ", Mc Graw-Hill Publishing Company, 1988.

9. Hicks, TG.PE, " *Standard Handbook of Engineering Calculations* " , McGraw-Hill., Inc, USA, 1985.

10. Holman, JP, " *Perpindahan Panas* " , 6th ed., Erlangga, Jakarta, 1993.

11. Incropera, Frank P & David P. De Witt, " *Introduction to Heat Transfer* " , 2nd edition, John Wiley & Sons., Inc, Singapore, 1990.

12. Jackson, James J, " *Steam Boiler Operation* " , Prentice-Hall Inc., 1980.

13. Li, Kam W & A. Paul Priddy, " *Power Plant System Design* " , John Wiley & Sons., Inc, NY, 1985.

14. Muin, S.A, " *Pesawat-pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)* " , edisi 1, cetakan pertama, Rajawali Press, Jakarta, 1988.

15. Potter, Merle C, Ph.D., " *Theory and Problems of Engineering Thermodynamics ; Schaum's Outline Series* " , McGraw-Hill Book Company, Singapore, 1993

16. Reynolds, William C & Henry C. Perkins, " *Engineering Thermodynamics* " , 2nd ed., McGraw-Hill Book Company, USA, 1977.

17. Sipahutar, Riman Dr. Ir., MSc., " *Diktat Ketel Uap I* " , Unsri, 1997.

18. Thumann, Albert & Paul D. Mehta, " *Handbook of Energy Engineering* ", 2nd edition, The Fairmont Press, Inc., Lilburn, GA, 1991.

19. Weisman, Joel & Roy Eckart, " *Modern Power Plant Engineering* " , Prentice-Hall., Inc., NJ, 1985.

20. Woodruff, Everett B, Herbert B. Lammers & Thomas F. Lammers, " *Steam Plant Operation* " , 5th ed., McGraw-Hill Book Company, NY, 1986.