

PENELITIAN

**ANALISA EFISIEN BOILER PABRIK KELAPA SAWIT
DENGAN MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR FIBRE DAN
CANGKANG**

OLEH :
KUNARTO, S.T.,M.T.



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BANDAR LAMPUNG
2019



UNIVERSITAS BANDAR LAMPUNG
FAKULTAS TEKNIK

Jl. Hi. Zainal AbidinPagarAlam No. 26 BandarLmpung. Phone 0721-701979

SURAT TUGAS
No. 120/ST/FT-UBL/VII/2018

DekanFakultasTeknikUniversitas Bandar Lampung dengan ini member tugas kepada:

Nama ; Kunarto, ST., MT

Jabatan : DosenFakultasTeknikUniversitas Bandar Lampung

Untukmelaksanakankegiatan di bidangpenelitian“**Analisa Efisiensi Boiler Pabrik Kelapa Sawit dengan Menggunakan Bahan Bakar Fibre dan Cangkang**”.

Demikian Surat Tugas ini dibuat untuk dilaksanakan sebagai manamestinya dan setelah dilaksanakan kegiatan tersebut agar melaporkan kepada Dekan.

Bandar Lampung, 26 Juli 2018

Dekan,

FAKULTAS TEKNIK



UBL
SOLUTION FOR PRESENT AND FUTURE

Ir. Junardi, MT.

Halaman Pengesahan

1. Judul Penelitian : **Analisa Efisiensi Boiler Pabrik Kelapa Sawit dengan Menggunakan Bahan Bakar Fibre dan Cangkang**

Tinggi Terhadap Sifat Mekanik

2. Peneliti :

- a. Nama Lengkap : Kunarto, ST., MT
- b. Jenis Kelamin : Laki-laki
- c. NIP / NIDN : - / 0225017203
- d. Jabatan Struktural : -----
- e. Jabatan Fungsional : Asisten Ahli
- f. Perguruan Tinggi : Universitas Bandar Lampung
- g. Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Mesin
- h. Pusat Penelitian : LPPM Universitas Bandar Lampung
- i. Alamat : Jl. Zainal Abidin Pagar Alam No.26
Bandar Lampung 35142
- j. Telpon/fax : 0721-701979 / 0721-701463
- k. Alamat Rumah : Villa Bukit Tirtayasa CA 6 No. 2 Nusantara Sukabumi
Bandar Lampung
- l. Hp/fax/email : 081328569722/ irsyadfajar@yahoo.com

3. Jangka waktu Penelitian : 6 bulan

Menyetujui,
Dekan Fakultas Teknik



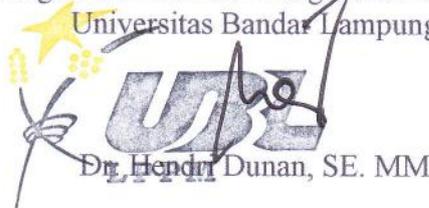
Ir. Juniardi, MT

Bandar Lampung, 21 Januari 2019
Peneliti,



Kunarto, ST., MT

Mengetahui
Kepala Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat
Universitas Bandar Lampung



Dr. Hendri Dunan, SE. MM



UNIVERSITAS BANDAR LAMPUNG
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN PADA MASYARAKAT
(LPPM)
Jl. Z.A. Pagar Alam No : 26 Labuhan Ratu, Bandar Lampung Tilp: 701979
E-mail : lppm@ubl.ac.id

SURAT KETERANGAN
Nomor : 024 / S.Ket / LPPM-UBL / II / 2019

Kepala Lembaga Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat (LPPM) Universitas Bandar Lampung dengan ini menerangkan bahwa :

- | | |
|---------------------------------|----------------------------------------------|
| 1. Nama | : Kunarto, ST.,MT |
| 2. NIDN | : 0225017203 |
| 3. Tempat, tanggal lahir | : Pati, 25 Januari 1972 |
| 4. Pangkat, golongan ruang, TMT | : Penata Muda/ III.a |
| 5. Jabatan TMT | : Asisten Ahli |
| 6. Bidang Ilmu / Mata Kuliah | : Teknik Mesin |
| 7. Jurusan / Program Studi | : Teknik Mesin |
| 8. Unit Kerja | : Fakultas Teknik Universitas Bandar Lampung |

Telah Melaksanakan Penelitian dengan judul

:"Analisa Efisiensi Boiler Pabrik Kelapa Sawit dengan menggunakan Bahan Bakar Fibred an Cangkang".

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, 04 Februari 2019

Kepala LPPM-UBL

Dr. Hendri Dunan, SE.,M.M

Tembusan:

1. Rektor UBL (sebagai laporan)
2. Yang bersangkutan
3. Arsip

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr. Wb

Puji dan Syukur Alhamdulillah dipanjatkan hanya kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan rahmat, hidayah, dan nikmat-Nya Yang Agung sehingga penelitian yang berjudul "**Analisa Efisiensi Boiler Pabrik Kelapa Sawit dengan Menggunakan Bahan Bakar Fibre dan Cangkang**" dapat di selesaikan.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. H.M. Yusuf S. Barusman, MBA. Selaku Rektor Universitas Bandar Lampung.
2. Bapak Ir. Hi. Juniardi, M.T, Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Bandar Lampung.
3. Bapak Dr. Hendri Dunan, SE., MM, selaku Kepala LPPM Universitas Bandar Lampung
4. Dan rekan-rekan yang dapat membantu sehingga penyuluhan ini dapat diselesaikan.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi sedikit harapan semoga penelttian yang ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua. Amin

Wassalamualaikum Wr. Wb

Bandar Lampung, Januari 2019



Kunarto, ST.,M.T

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	v
ABSTRAK	vi
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pengertian Boiler.....	3
2.2 Klasifikasi Boiler	3
2.3 Bahan Bakar Boiler.....	10
2.4 Proses Pembentukan Uap.....	12
2.5 Metoda Pengkajian Efisiensi Boiler.....	13
2.6 Neraca Panas	16
2.7 Nilai kalor (heating value)	17
2.8 Kebutuhan Udara Pembakaran.....	18
2.9 Gas Asap.....	19
2.10 Volume Gas Asap.....	19
2.11 Perhitungan Efisien Boiler.....	20

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan bahan	21
3.3 Variabel yang diambil	21
3.4 Metode pengumpulan data	21
3.5 Prosedur penelitian	21

BAB IV HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Nilai Kalor Bahan Bakar	23
4.2 Perhitungan Jumlah Konsumsi Bahan Bakar	25
4.3 Perhitungan Efisien Boiler	25

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	27
5.2 Saran	27

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

4.1 Hasil analisa nilai kalor bahan bakar serabut kelapa sawit murni (Fibre).....	23
4.2 Hasil analisa nilai kalor bahan bakar cangkang murni	23
4.3 Nilai kalor rata-rata bahan bakar campuran 90% <i>fiber</i> + 10% cangkang (Campuran A).....	23
4.4 Nilai kalor rata-rata bahan bakar campuran 80% <i>fiber</i> + 20% cangkang (Campuran B).....	24
4.5 <i>Low Heating Value</i>	24
4.6 Data spesifikasi saat boiler baru.....	25
4.7 Perbandingan <i>efisiensi boiler</i> terhadap bahan bakar yang dipakai	26

DAFTAR GAMBAR

2.1 Ketel tegak dan ketel Cochran	4
2.2 Ketel Scotch	4
2.3 Ketel lokomotif	5
2.4 Ketel Scotch Marine awal	6
2.5 Ketel pipa dari awal : (a) drum longitudinal, (b) drum silang	7
2.6 Ketel Stirling empat-drum awal	7
2.7 Skema diagram alir ketel modern	10
2.8 Fiber kelapa sawit	12
2.9 Cangkang sawit	12
2.10 Diagram T-S	13
2.11 Diagram neraca energi boiler	16
2.12 Kehilangan pada Boiler yang Berbahan Bakar Batubara	17
4.1 Grafik <i>Low Heating Value</i> dengan bahan bakar yang berbeda	24
4.2 Grafik perbandingan jumlah bahan bakar boiler terhadap	26

ABSTRAK

Boiler merupakan suatu pembangkit uap yaitu yang terdiri dari kombinasi kompleks berupa economizer, ketel, pemanas lanjut, pemanas ulang, dan pemanas udara awal. Sebagai tambahan sistem ini, khususnya yang dengan bahan bakar batubara, mempunyai berbagai perlengkapan seperti ruang bakar, *pulverizer*, pembakar, *fan*, perlengkapan pengendali emisi, cerobong, dan peralatan penanganan abu. Ketel uap dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa jenis yaitu : Ketel tangki (*shell type boiler*) Ketel Pipa Api, Ketel pipa air. Bahan bakar padat yang terdapat di bumi kita ini berasal dari zat-zat organik. Fibre dan cangkang merupakan salah satu contoh bahan boiler padat. setiap bahan bakar boiler memiliki nilai LHV yang berbeda-beda. Nilai Low Heating Value tertinggi dimiliki oleh bahan bakar boiler jenis cangkang murni dengan nilai 44184,391Kcal/Kg sedangkan untuk nilai LHV bahan bakar boiler yang terkecil dimiliki oleh bahan bakar boiler jenis fibre murni dengan nilai 29959,325 Kcal/Kg. Diketahui bahwa pemakaian bahan bakar boiler terhadap laju aliran boiler (*steam flow*) sangat bervariasi. Dapat dilihat bahan bakar fibre murni memiliki jumlah pemakaian yang paling tinggi dibandingkan dengan yang lain dengan jumlah 129,1945968 Kg/H. Pemakaian terendah dimiliki oleh bahan bakar boiler dengan jenis cangkang murni dengan jumlah 87,6006864 Kg/H. Banyaknya jumlah pemakaian bahan bakar dipengaruhi oleh laju aliran (*steam flow*) yang ingin dihasilkan oleh boiler itu sendiri serta nilai kalor bahan bakar itu sendiri. Bahan bakar boiler dan jumlah bahan bakar yang dipakai sangat berpengaruh terhadap efisiensi boiler itu sendiri. Semakin tinggi nilai LHV suatu bahan bakar boiler semakin rendah pula jumlah konsumsi bahan bakar yang dipakai untuk menggerakkan boiler itu sendiri, begitupun sebaliknya jika diketahui nilai LHV suatu bahan bakar boiler rendah maka jumlah konsumsi bahan bakar yang dipakai akan semakin tinggi. Didapat dengan menggunakan bahan boiler jenis fiber murni dan campuran B yaitu 80% fibre + 20% cangkang menghasilkan efisiensi boiler tertinggi dengan nilai 83,6236948 % dengan jumlah bahan bakar yang berbeda untuk bahan bakar fibre murni sebanyak fibre menghabiskan 129,1945968 Kg/H sedangkan campuran B menghabiskan 108,788094 kg/H.

kata kunci : *boiler, fibre, pulverizer, fan, shell type boiler, Low Heating Value steam flow*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Boiler atau ketel uap adalah suatu bejana/wadah yang di dalamnya berisi air atau fluida lain untuk dipanaskan. Energi panas dari fluida tersebut selanjutnya digunakan untuk berbagai macam keperluan, seperti untuk turbin uap, pemanas ruangan, mesin uap, dan lain sebagainya. Secara proses konversi energi, *ketel* memiliki fungsi untuk mengkonversi energi kimia yang tersimpan di dalam bahan bakar menjadi energi panas yang tertransfer ke fluida kerja. Panas yang diberikan kepada fluida di dalam ketel berasal dari proses pembakaran dengan berbagai macam jenis bahan bakar yang dapat digunakan, seperti bahan bakar cair, bahan bakar padat, maupun bahan bakar gas. Dengan adanya kemajuan teknologi, energi nuklir pun juga digunakan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan sumber panas pada *boiler*. Dapat diketahui bahwa syarat bahan bakar ketel haruslah memiliki nilai kalor yang cukup untuk mengubah air menjadi uap, serta nilai kalor suatu bahan bakar juga sangat berpengaruh terhadap efisiensi *boiler* itu sendiri.

Fibre dan cangkang adalah salah satu contoh bahan bakar padat yang digunakan pada ketel. Bahan bakar ini merupakan keluaran ataupun *output* yang dihasilkan dari pengolahan pabrik kelapa sawit. *Fibre* adalah bahan bakar padat yang berbentuk seperti rambut, serabut ini terdapat dibagian kedua dari buah kelapa sawit setelah kulit buah kelapa sawit, didalam serabut dan daging buah sawitlah minyak *Crude Palm Oil* (CPO) terkandung. Sedangkan cangkang adalah sejenis bahan bakar padat yang berwarna hitam berbentuk seperti batok kelapa dan agak bulat, terdapat pada bagian dalam pada buah kelapa sawit yang diselubungi oleh serabut.

Berdasarkan dari uraian singkat tersebut, saya selaku penulis tertarik untuk menganalisa nilai kalor bahan bakar ketel *fibre* dan cangkang dengan campuran yang bervariasi. Serta pengaruhnya kepada *effisiensi ketel* tersebut, dan mengangkat masalah ini menjadi bahan penulisan saya.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang, permasalahan yang akan dihadapi pada *boiler* pipa air yang menggunakan bahan bakar *fibre* dan cangkang antara lain :

- 1) Apakah uap yang dihasilkan *boiler* dengan bahan bakar *fibre* dan cangkang cukup untuk menjalankan pabrik pengolahan minyak kelapa sawit ?
- 2) Apakah efisiensi *boiler* menggunakan bahan bakar *fibre* dan cangkang sesuai dengan yang diharapkan ?
- 3) Berapakah campuran bahan bakar *fibre* dan cangkang yang baik untuk digunakan pada ketel ?
- 4) Apakah yang terjadi apabila efisiensi *boiler* menurun ?

1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah bagi penulis dalam penelitian ini adalah :

- 1) Nilai kalor bahan bakar *boiler* dari *fibre* dan cangkang atau pun campuran *fibre* dan cangkang akan diuji dengan menggunakan alat bom kalorimeter.
- 2) Menghitung *efisiensi* ketel pipa air dengan memanfaatkan data yang ada di lapangan.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penulis dari penelitian ini adalah :

- 1) Mendapatkan nilai kalor bahan bakar *fibre* dan cangkang melalui uji laboratorium menggunakan alat bom kalorimeter.
- 2) Menghitung *efisiensi boiler* pipa air yang menggunakan bahan bakar *fibre* dan cangkang.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian *Boiler*

Boiler atau ketel uap adalah suatu bejana/wadah yang di dalamnya berisi air atau *fluida* lain untuk dipanaskan. Energi panas dari *fluida* tersebut selanjutnya digunakan untuk berbagai macam keperluan, seperti untuk turbin uap, pemanas ruangan, mesin uap, dan lain sebagainya. Secara proses konversi energi, *boiler* memiliki fungsi untuk mengkonversi energi kimia yang tersimpan di dalam bahan bakar menjadi energi panas yang ditransfer ke *fluida* kerja. (Harry Christian Hasibuan, 2013)

Boiler merupakan suatu pembangkit uap yaitu yang terdiri dari kombinasi kompleks berupa *economizer*, ketel, pemanas lanjut, pemanas ulang, dan pemanas udara awal. Sebagai tambahan sistem ini, khususnya yang dengan bahan bakar batubara, mempunyai berbagai perlengkapan seperti ruang bakar, *pulverizer*, pembakar, *fan*, perlengkapan pengendali emisi, cerobong, dan peralatan penanganan abu. Ketel adalah bagian dari pembangkit uap dimana air jenuh diubah menjadi uap jenuh, walaupun mungkin sulit memisahkannya dengan ekonomiser. Pada beberapa literatur, istilah ketel uap (*boiler*) kadang-kadang digunakan untuk mengartikan pembangkit uap.¹

2.2. Klasifikasi *Boiler*²

Ketel uap dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa jenis yaitu :

2.2.1. Jenis ketel uap

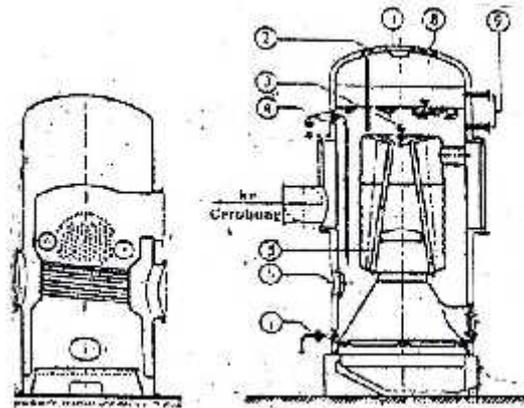
2.2.1.1. Ketel tangki (*shell type boiler*)

Ketel tangki adalah *drum* atau selongsong (*shell*) silinder tertutup yang berisi air. Bagian dari selongsong sedemikian rupa sehingga bagian bawahnya secara sederhana terekspose ke panas, yaitu gas hasil pembakaran luar. Ketel jenis selongsong berkembang secara perlahan menjadi bentuk yang *modern* seperti ketel elektrik, yang mana panas disuplai oleh *elektroda* yang dipasang dalam air, atau *akumulator*, yang didalamnya panas disuplai oleh uap dari sumber luar yang mengalir melalui pipa-pipa (*tubes*) didalam selongsong. Dalam kedua kasus ini selongsong tidak terekspose ke panas. Jenis ketel ini adalah tangki tegak

dan tangki *horizontal*.

Tangki tegak :

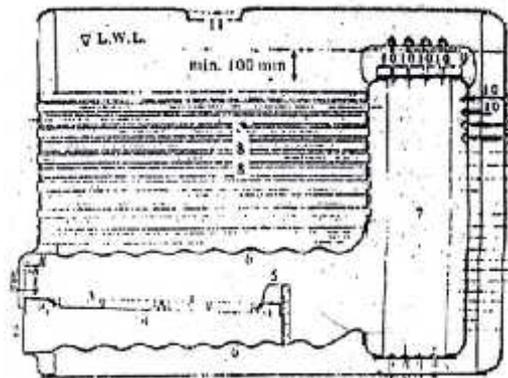
- 1) Ketel silang
- 2) Ketel *cochran*
- 3) Ketel *clarkson*



Gambar 2.1 Ketel tegak dan ketel cochran

Tangki horisontal :

- 1) Ketel *cornwall*
- 2) Ketel *lanchashire*
- 3) Ketel *scots*
- 4) Ketel pipa api

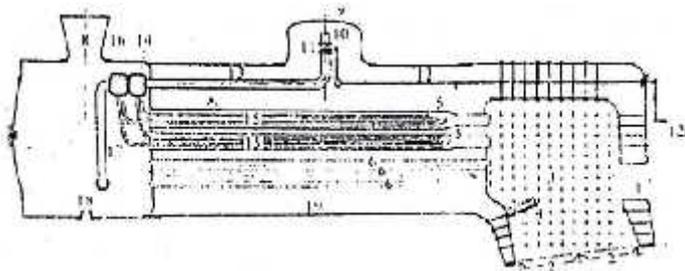


Gambar 2.2 Ketel *scots*

2.2.1.2. Ketel Pipa Api

Ketel pipa api telah dipakai sejak akhir abad delapan belas, sejak awal perkembangan ketel uap, dalam berbagai bentuk guna memproduksi uap untuk tujuan industri. Ketel pipa api masih digunakan di industri pembangkit tenaga untuk memproduksi uap jenuh pada batas tekanan 250 psig (sekitar 18 bar) dan kapasitas 50.000 lbm/jam (6,3 kg/det). Walaupun ukurannya telah berkembang semakin besar, namun rancangannya tidak terlalu berubah dalam 50 tahun terakhir. Ketel pipa api merupakan bentuk khusus dari perkembangan ketel jenis selongsong. Gas panas, bukannya uap, dialirkan melalui buluh-buluh (pipa-pipa). Kenaikan panas ketel pipa api lebih efisien daripada ketel selongsong dan dapat mencapai efisiensi 70 persen.

Terdapat dua jenis ketel pipa api : (1) kotak api, dan (2) *scotch marine*. Dalam ketel kotak api, ruang bakar terletak di dalam selongsong, bersama pipa api. Dalam ketel *scotch marine*, pembakaran terjadi didalam satu atau lebih ruang yang biasanya terletak didalam dan didekat dasar selongsong utama. Gas panas meninggalkan ruang pada bagian belakang dan berputar melalui pipa-pipa api ke depan dan keluar melalui cerobong. Ketel *scotch marine* biasanya berbahan bakar cair atau gas. Jenis ketel ini diantaranya ketel *locomotive*, ketel *locomobile*, dan ketel *scotch*.

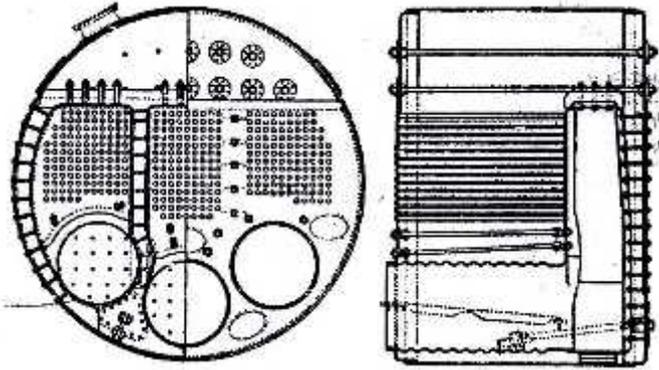


Gambar 2.3 Ketel lokomotif

Keterangan :

1. Pintu bahan bakar
2. Batang-batang rangka bakar
3. Kotak api
4. Jembatan api
5. Tabung-tabung api (*firetube*)

6. Pipa-pipa api(*firepipe*)
7. Kotak asap(*smokebox*)
8. Cerobong asap
9. *Drum* uap(*steamdome*)
10. Pengambilan asap



Gambar 2.4 Ketel *scotch marine* awal

2.2.1.3. Ketel pipa air

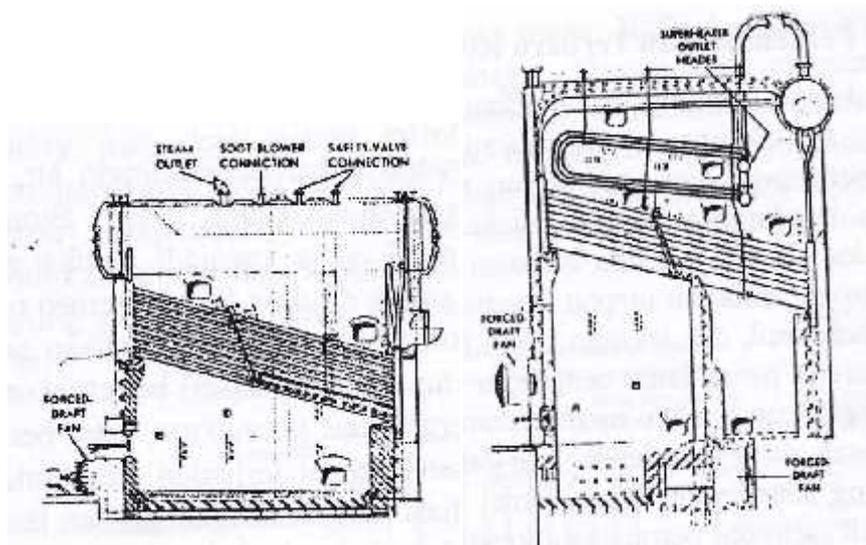
2.2.1.3.1. perkembangan awal

Pada awal perkembangan pembangkit uap modern, ketel pipa air dikembangkan oleh George Babcock dan Stephen Wicox pada tahun 1869. Sejak awal abad dua puluh, dengan perkembangannya turbin uap yang memerlukan uap tekanan dan aliran tinggi, pengembangan ketel pipa air secara komersial menjadi semakin pesat. Dengan tekanan dan kapasitas uap yang lebih besar, ketel pipa api memerlukan diameter selongsong yang besar. Dengan diameter yang besar ini, selongsong harus beroperasi dibawah tekanan dan temperatur yang sangat tinggi sehingga harus tebal. Harganya menjadi sangat mahal.

Ketel pipa api meletakkan tekanan dalam pipa-pipa dan diameter *drum* yang relatif kecil tidak mampu menahan tekanan yang sangat tinggi seperti pada pembangkit uap modern. Secara umum ketel pipa air, dalam awal perkembangannya, tampak seperti ketel pipa api, kecuali bahwa uap dan air tekanan tinggi terletak didalam pipa-pipa dan gas pembakaran terletak di luar.

Ketel pipa air telah berkembang melalui beberapa tahap. Yang pertama adalah ketel pipa lurus, dimana didalamnya pipa-pipa lurus dengan diameter luar

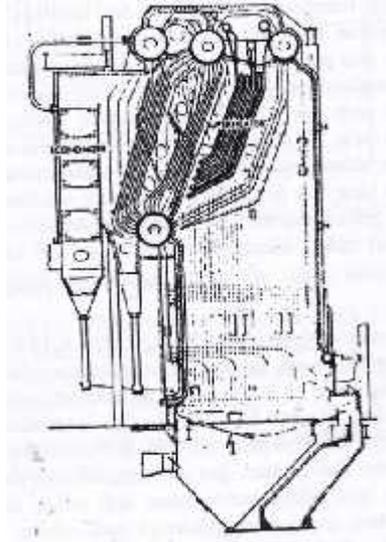
3 sampai 4 in miring sekitar 15° dan tersusun *staggered* dengan spasi 7 sampai 8 in, dihubungkan dengan dua *headers*. Satu *header* sebagai *downcomer* atau *downtake*, yang menyuplai air hampir jenuh ke pipa-pipa. Air diuapkan dalam pipa-pipa. *Header* yang lain adalah *riser*, atau *uptake*, yang menerima campuran air-uap. Massa jenis air dalam *downcomer* lebih besar daripada massa jenis dua-fasa dalam *riser*, yang menyebabkan sirkulasi alami dalam arah putaran jarum jam. Yang kedua adalah ketel pipa bengkok, yang menggunakan pipa bengkok antara beberapa *drum* dan *header*. Pipa-pipa itu dibengkokkan sedemikian sehingga memasuki dan meninggalkan *drum* secara *radial*. Jumlah *drum* biasanya bervariasi dari dua hingga empat. Sekat pembelok dipasang untuk memungkinkan gas panas mengalir melintang pipa-pipa diatas. Salah satu contoh dari ketel pipa air adalah ketel *stirling* empat-*drum* yang ditemukan pada awal 1890-an dan mengalami sedikit perubahan setelah itu.



(a)

(b)

Gambar 2.5 Ketel pipa air awal :*drum*(a)*longitudinal*,(b)*drum* silang



Gambar 2.6 Ketel *stirling* empat-drum awal

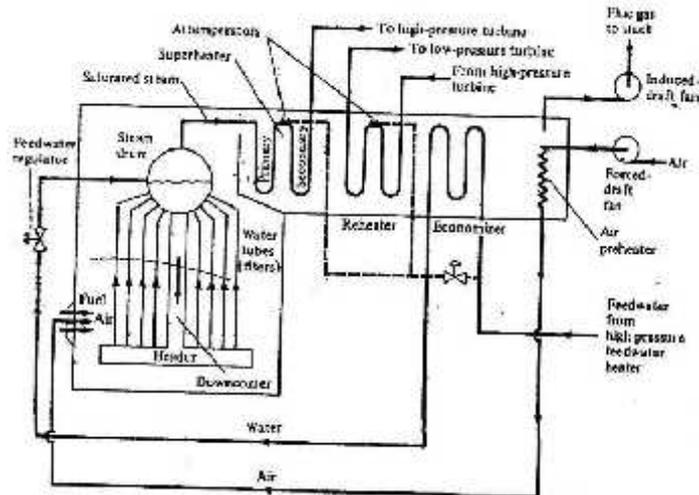
2.2.1.3.2. perkembangan terbaru ketel pipa air

Perkembangan penting dari dinding ruang bakar berpendingin air, disebut dinding air, akhirnya mengarahkan penyatuan ruang bakar, *ekonomiser*, ketel, pemanas lanjut, dan pemanas awal udara menjadi pembangkit uap *modern*. Pendingin air juga digunakan untuk dinding *kompartemen* pemanas lanjut dan ekonomiser dan berbagai komponen lain. Penggunaan sejumlah besar dari pemanas air umpan (sampai tujuh atau delapan) berarti ekonomiser bertambah kecil, dan tekanan tinggi berarti luas permukaan ketel bertambah kecil karena panas *latern* penguapan turun cepat terhadap temperatur. Jadi pembangkit uap *modern* memerlukan luas permukaan pemanasan lanjut dan pemanasan ulang yang lebih besar dan luas permukaan ketel yang lebih kecil dibanding ketel yang lebih lama. Lebih dari 1500 psia, pipa-pipa air mewakili seluruh permukaan ketel dan tidak ada pipa-pipa lain yang diperlukan, seperti yang terlihat pada dua rancangan awal ketel sebelumnya.

Gambar 2.7 Menunjukkan skema diagram alir sistem pembangkit uap yang modern. Air pada 450 sampai 500⁰F dari pemanas air umpan bertekanan tinggi memasuki *ekonomiser* dan meninggalkan pada kondisi jenuh atau campuran dua- fasa dengan kualitas rendah. Uap ini kemudian memasuki *drum* uap pada titik tengahnya. Air dari *drum* mengalir melalui *downcomerr* terinsulasi, yang terletak diluar ruang bakar, ke *header*. *Header* dihubungkan ke

pipa-pipa air yang terletak pada dinding ruang bakar dan bekerja sebagai *riser*. Air dalam pipa-pipa menerima panas dari gas pembakaran dan selanjutnya mendidih. Perbedaan massa jenis air dalam *downcomer* dan yang ada didalam pipa-pipa air membantu sirkulasi. Uap dipisahkan dari gelembung air di dalam *drum* dan mengalir ke pemanas lanjut dan bagian turbin tekanan tinggi. Keluar dari turbin tersebut uap kembali ke pemanas ulang, setelah itu dialirkan ke bagian turbin tekanan rendah.

Udara atmosfer dari *fan* tekan (*forced draft fan*, FDF) dipanaskan awal oleh gas buang sebelum gas tersebut dibuang ke atmosfer, dari FDF udara mengalir keruang bakar dimana udara tersebut tercampur dengan bahan bakar dan terbakar sampai 300°F . Gas pembakaran memberikan sebagian energinya ke pipa-pipa air dan kemudian ke pemanas lanjut, pemanas ulang, dan ekonomiser, dan meninggalkannya pada sekitar 600°F . Dari ekonomiser gas bekas memanaskan lagi udara atmosfer didalam pemanas awal udara dan meninggalkannya pada sekitar 300°F . *Fan* hisap (*induced draft fan*, IDF) menghisap gas bekas tersebut dari sistem dan mengalirkannya ke cerobong. Temperatur sekitar 300°F gas bekas mewakili availability loss dari sistem pembangkit. Namun hal ini merupakan pertimbangan yang dapat diterima karena (1) temperatur gas harus diatas temperatur kondensasi uap air untuk mencegah timbulnya asam yang menyebabkan korosi logam yang diakutinya, dan (2) gas harus mempunyai gaya apung yang cukup untuk naik ke atas cerobong untuk menghamburkan ke atmosfer.



Gambar 2.7 Skema diagram alir ketel modern

2.3 Bahan Bakar Boiler

Agar kualitas uap yang dihasilkan dari ketel uap sesuai dengan yang diinginkan atau dibutuhkan maka dibutuhkan sejumlah panas untuk menguapkan air tersebut, dimana panas tersebut diperoleh dari pembakaran bahan bakar di ruang bakar ketel. Untuk mendapatkan pembakaran yang sempurna di dalam ketel maka diperlukan beberapa syarat, yaitu:

1. Perbandingan pemakaian bahan bakar harus sesuai (cangkang dan fiber)
2. Udara yang dipakai harus mencukupi
3. Waktu yang diperlukan untuk proses pembakaran harus cukup.
4. Panas yang cukup untuk memulai pembakaran
5. Kerapatan yang cukup untuk merambatkan nyala api
6. Dalam hal ini bahan bakar yang digunakan adalah cangkang dan fiber.

Adapun alasan mengapa digunakan cangkang dan fiber sebagai bahan bakar adalah :

1. Bahan bakar cangkang dan fiber cukup tersedia dan mudah diperoleh dipabrik.
2. Cangkang dan fiber merupakan limbah dari pabrik kelapa sawit apabila tidak digunakan.

3. Nilai kalor bahan bakar memenuhi persyaratan untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan.
4. Sisa pembakaran bahan bakar dapat digunakan sebagai pupuk untuk tanaman kelapa sawit.
5. Harga lebih ekonomis.

Cangkang adalah sejenis bahan bakar padat yang berwarna hitam berbentuk seperti batok kelapa dan agak bulat, terdapat pada bagian dalam pada buah kelapa sawit yang diselubungi oleh serabut.

Pada bahan bakar cangkang ini terdapat berbagai unsur kimia antara lain : Carbon (C), Hidrogen (H₂), Nitrogen (N₂), Oksigen (O₂) dan Abu. Dimana unsur kimia yang terkandung pada cangkang mempunyai persentase (%) yang berbeda jumlahnya, bahan bakar cangkang ini setelah mengalami proses pembakaran akan berubah menjadi arang, kemudian arang tersebut dengan adanya udara pada dapur akan terbang sebagai ukuran partikel kecil yang dinamakan partikel pijar.

Apabila pemakaian cangkang ini terlalu banyak dari fiber akan menghambat proses pembakaran akibat penumpukan arang dan nyala api kurang sempurna, dan jika cangkang digunakan sedikit, panas yang dihasilkan akan rendah, karena cangkang apabila dibakar akan mengeluarkan panas yang besar.

Fiber adalah bahan bakar padat yang berbentuk seperti rambut, apabila telah mengalami proses pengolahan berwarna coklat muda, serabut ini terdapat dibagian kedua dari buah kelapa sawit setelah kulit buah kelapa sawit, didalam serabut dan daging buah sawitlah minyak CPO terkandung.

Panas yang dihasilkan fiber jumlahnya lebih kecil dari yang dihasilkan oleh cangkang, oleh karena itu perbandingan lebih besar fiber dari pada cangkang. Disamping fiber lebih cepat habis menjadi abu apabila dibakar, pemakaian fiber yang berlebihan akan berdampak buruk pada proses pembakaran karena dapat menghambat proses perambatan panas pada pipa *water wall*, akibat abu hasil pembakaran beterbangan dalam ruang dapur dan menutupi pipa *water wall*, disamping mempersulit pembuangan dari pintu *ekspansion door* (pintu keluar untuk abu dan arang) akibat terjadinya penumpukan yang berlebihan.



Gambar 2.8 Fiber kelapa sawit



Gambar 2.9 Cangkang sawit

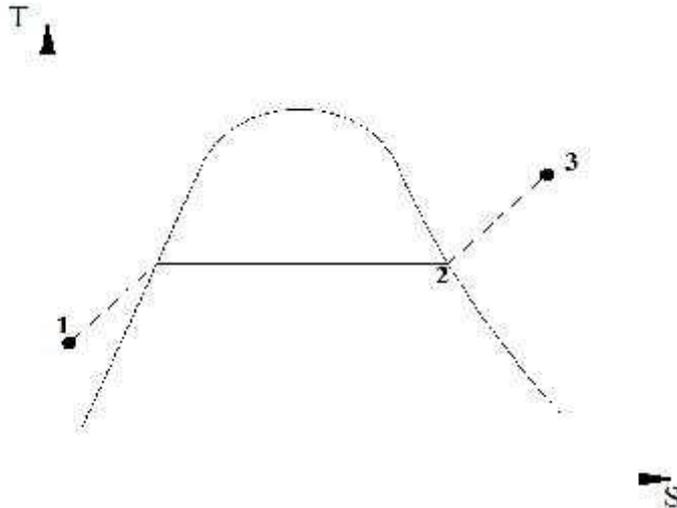
2.4 Proses Pembentukan Uap

Sebagai fluida kerja di ketel uap, umumnya digunakan air (H_2O) karena bersifat ekonomis, mudah di peroleh, tersedia dalam jumlah yang banyak, serta mempunyai kandungan entalpi yang cukup tinggi bila dibandingkan dengan fluida kerja yang lain.

Penguapan adalah proses terjadinya perubahan fasa dari cairan menjadi uap. Apabila panas diberikan pada air, maka suhu air akan naik. Naiknya suhu air akan meningkatkan kecepatan gerak molekul air. Jika panas terus bertambah secara perlahan-lahan, maka kecepatan gerak air akan semakin meningkat pula, hingga sampai pada suatu titik dimana molekul-molekul air akan mampu

melepaskan diri dari lingkungannya (100°) pada tekanan $1[\text{kg}/\text{cm}^2]$, maka air secara berangsur-angsur akan berubah fasa menjadi uap dan hal inilah yang disebut sebagai penguapan.

Proses perubahan fasa air menjadi uap dapat digambarkan pada diagram T-S seperti gambar dibawah:



Gambar 2.10 Diagram T-S

Keterangan:

- 1-2 : Pipa-pipa evaporator pipa penguat
- 2-3 : Pipa-pipa superheater
- 1-3 : Ketel uap

2.5 Metode Pengkajian Efisiensi Boiler

Metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pada skripsi ini adalah metode langsung. Secara umum skripsi ini akan membahas analisa nilai kalor bahan bakar dan perhitungan efisiensi boiler.

Efisiensi adalah suatu tingkatan kemampuan kerja dari suatu alat. Sedangkan efisiensi pada boiler atau ketel uap yang didapatkan dari perbandingan antara energi yang dipindahkan atau diserap oleh fluida kerja didalam ketel dengan masukan energi kimia dari bahan bakar.

Terdapat dua metode pengkajian efisiensi boiler :

- 1) Metode Langsung

Energi yang didapat dari fluida kerja (air dan steam) dibandingkan

dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar boiler.

Metodologi Dikenal juga sebagai „metode *input-output*’ karena kenyataan bahwa metode ini hanya memerlukan keluaran/*output* (steam) dan panas masuk/*input* (bahan bakar) untuk evaluasi efisiensi. Efisiensi ini dapat dievaluasi dengan menggunakan rumus:

$$\text{Efisiensi Boiler ()} = \frac{\text{Panas pembentukan uap}}{\text{Panas masuk}}$$

$$\text{Efisiensi Boiler ()} = \frac{W_s \times h_3 - h_1}{W_f \times \text{LHV}}$$

Keterangan: W_s = kapasitas produksi uap (kg uap/jam)

W_f = konsumsi bahan bakar (kg/jam)

h_3 = entalpi uap (kJ/kg)

h_1 = entalpi air umpan/pengisi ketel (kJ/kg)

LHV = nilai kalor pembakaran rendah (kJ/kg)

Keuntungan metode langsung

- Pekerja pabrik dapat dengan cepat mengevaluasi efisiensi boiler
- Memerlukan sedikit parameter untuk perhitungan
- Memerlukan sedikit instrumen untuk pemantauan
- Mudah membandingkan rasio penguapan dengan data *benchmark*

Kerugian metode langsung

- Tidak memberikan petunjuk kepada operator tentang penyebab dari efisiensi sistem yang lebih rendah
- Tidak menghitung berbagai kehilangan yang berpengaruh pada berbagai tingkat efisiensi

2) Metode Tidak Langsung

Efisiensi merupakan perbedaan antar kehilangan dan energi masuk. Metodologi Standar acuan untuk Uji Boiler di tempat dengan menggunakan metode tidak langsung adalah *British Standard, BS 845:1987* dan *USA Standard ASME PTC-4-1 Power Test Code Steam*

Generating Units.

Metode tidak langsung juga dikenal dengan metode kehilangan panas. Efisiensi dapat dihitung dengan mengurangkan bagian kehilangan panas dari 100 sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi boiler (n)} = 100 - (i + ii + iii + iv + v + vi + vii)$$

Dimana kehilangan yang terjadi dalam boiler adalah kehilangan panas yang diakibatkan oleh:

- i. Gas cerobong yang kering
- ii. Penguapan air yang terbentuk karena H₂ dalam bahan bakar
- iii. Penguapan kadar air dalam bahan bakar
- iv. Adanya kadar air dalam udara pembakaran
- v. Bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu terbang/ *fly ash*
- vi. Bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu bawah/ *bottom ash*
- vii. Radiasi dan kehilangan lain yang tidak terhitung

Kehilangan yang diakibatkan oleh kadar air dalam bahan bakar dan yang disebabkan oleh pembakaran hidrogen tergantung pada bahan bakar, dan tidak dapat dikendalikan oleh perancangan.

Data yang diperlukan untuk perhitungan efisiensi boiler dengan menggunakan metode tidak langsung adalah:

- Analisis *ultimate* bahan bakar (H₂, O₂, S, C, kadar air, kadar abu)
- Persentase oksigen atau CO₂ dalam gas buang
- Suhu gas buang dalam °C (T_f)
- Suhu awal dalam °C (T_a) dan kelembaban udara dalam kg/kg udara kering
- LHV bahan bakar dalam kkal/kg
- Persentase bahan yang dapat terbakar dalam abu (untuk bahan bakar padat)
- LHV abu dalam kkal/kg (untuk bahan bakar padat)

Keuntungan metode tidak langsung

Dapat diketahui neraca bahan dan energi yang lengkap untuk setiap aliran, yang dapat memudahkan dalam mengidentifikasi opsi-opsi untuk meningkatkan efisiensi boiler.

Kerugian metode tidak langsung

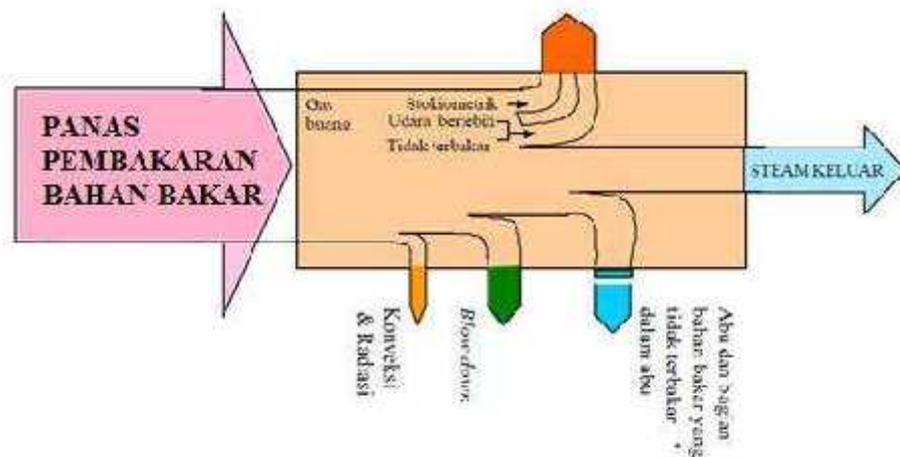
- Perlu waktu lama
- Memerlukan fasilitas laboratorium untuk analisis.

Untuk penyusunan skripsi ini penulis menganalisa dengan metode langsung, dimana penulis mengambil data secara langsung dilapangan meliputi :

- *Steam pressure superheater* (bar)
- Temperatur *feed tank* ($^{\circ}\text{C}$)
- Temperatur daerator ($^{\circ}\text{C}$)
- Temperatur *out let steam* ($^{\circ}\text{C}$)
- *Steam flow* (ton uap/jam)

2.6 Neraca Panas

Proses pembakaran dalam boiler dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir energi. Diagram ini menggambarkan secara grafis tentang bagaimana energi masuk dari bahan bakar diubah menjadi aliran energi dengan berbagai kegunaan dan menjadi aliran kehilangan panas dan energi. Panah tebal menunjukkan jumlah energi yang dikandung dalam aliran masing-masing.



Gambar 2.11 Diagram neraca energi boiler

Neraca panas merupakan keseimbangan energi total yang masuk boiler terhadap yang meninggalkan boiler dalam bentuk yang berbeda. Gambar berikut memberikan gambaran berbagai kehilangan yang terjadi untuk pembangkitan steam.



Gambar 2.12 Kehilangan pada Boiler yang Berbahan Bakar Batubara

Kehilangan energi dapat dibagi kedalam kehilangan yang tidak atau dapat dihindarkan. Tujuan dari Produksi Bersih dan/atau pengkajian energi harus mengurangi kehilangan yang dapat dihindari, dengan meningkatkan efisiensi energi. Kehilangan berikut dapat dihindari atau dikurangi:

Kehilangan gas cerobong:

- Udara berlebih (diturunkan hingga ke nilai minimum yang tergantung dari teknologi *burner*, operasi (kontrol), dan pemeliharaan).
- Suhu gas cerobong (diturunkan dengan mengoptimalkan perawatan (pembersihan), beban; *burner* yang lebih baik dan teknologi boiler).

Kehilangan karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam cerobong dan abu (mengoptimalkan operasi dan pemeliharaan; teknologi *burner* yang lebih baik),

Kehilangan dari *blowdown* (pengolahan air umpan segar, daur ulang kondensat),

Kehilangan kondensat (manfaatkan sebanyak mungkin kondensat) Kehilangan konveksi dan radiasi (dikurangi dengan isolasi boiler yang lebih baik).

2.7 Nilai kalor (Heating Value)

Nilai kalor merupakan energi kalor yang dilepaskan bahan bakar pada waktu terjadinya oksidasi unsur-unsur kimia yang ada pada bahan bakar tersebut.

Bahan bakar adalah zat kimia yang apabila direaksikan dengan oksigen (O₂) akan menghasilkan sejumlah kalor. Bahan bakar dapat berwujud gas, cair, maupun padat. Selain itu, bahan bakar merupakan suatu senyawa yang tersusun atas beberapa unsur seperti karbon (C), hidrogen (H), belerang (S), dan nitrogen (N).

Kualitas bahan bakar ditentukan oleh kemampuan bahan bakar untuk menghasilkan energi. Kemampuan bahan bakar untuk menghasilkan energi ini sangat ditentukan oleh nilai bahan bakar yang didefinisikan sebagai jumlah energi yang dihasilkan pada proses pembakaran per satuan massa atau persatuan volume bahan bakar.

Nilai pembakaran ditentukan oleh komposisi kandungan unsur di dalam bahan bakar. Dikenal dua jenis pembakaran (*Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat- pesawat Konversi Energi 1 (Ketel Uap) 1988:160*), yaitu:

1. Nilai Kalor Pembakaran Tinggi

Nilai kalor pembakaran tinggi atau juga dikenal dengan istilah *High Heating Value* (HHV) adalah nilai pembakaran dimana panas pengembunan air dari proses pembakaran ikut diperhitungkan sebagai panas dari proses pembakaran.

Dirumuskan dengan:

$$\text{HHV} = 33950 C + 144200 (H_2 - O_2/8) + 9400 S \text{ kj/kg}$$

2. Nilai Kalor Pembakaran Rendah

Nilai kalor pembakaran rendah atau juga dikenal dengan istilah *Low Heating Value* (LHV) adalah nilai pembakaran dimana panas pengembunan uap air dari hasil pembakaran tidak ikut dihitung sebagai panas dari proses pembakaran.

Dirumuskan dengan:

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 2411 (9H_2) \text{ kj/kg}$$

2.8 Kebutuhan Udara Pembakaran

Kebutuhan udara pembakaran didefinisikan sebagai kebutuhan oksigen yang diperlukan untuk pembakaran 1 kg bahan bakar secara sempurna yang meliputi :

a. Kebutuhan udara teoritis (U_t) :

$$U_t = 11,5 C + 34,5 (H-O/8) + 4,32 S \text{ kg/kgBB}$$

b. Kebutuhan udara pembakaran sebenarnya/aktual (U_s) : $U_s = U_t (1 + \quad)$ kg/kgBB

2.9 Gas Asap

Reaksi pembakaran akan menghasilkan gas baru, udara lebih dari sejumlah energi. Senyawa-senyawa yang merupakan hasil dari reaksi pembakaran disebut gas asap.

a. Berat gas asap teoritis (Gt) $Gt = Ut + (1-A) \text{ kg/kgBB}$

Dimana A = kandungan abu dalam bahan bakar (ash) Gas asap yang terjadi terdiri dari:

- Hasil reaksi atas pembakaran unsur-unsur bahan bakar dengan O_2 dari udara seperti CO_2 , H_2O , SO_2
- Unsur N_2 dari udara yang tidak ikut bereaksi
- Sisa kelebihan udara

Dari reaksi pembakaran sebelumnya diketahui:

1 kg C menghasilkan 3,66 kg CO_2

1 kg S menghasilkan 1,996 kg SO_2

1 kg H menghasilkan 8,9836 kg H_2O

Maka untuk menghitung berat gas asap pembakaran perlu dihitung dulu masing-masing komponen gas asap tersebut (*Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat-pesawat konversi 1 (Ketel Uap) 1988:196*):

$$\text{Berat } CO_2 = 3,66 C \text{ kg/kg} \quad \text{Berat } SO_2 = 2 S \text{ kg/kg} \quad \text{Berat } H_2O = 9 H_2 \text{ kg/kg}$$

$$\text{Berat } N_2 = 77\% U_s \text{ kg/kg}$$

$$\text{Berat } O_2 = 23\% 20\% U_t$$

Dari perhitungan di atas maka akan didapatkan jumlah gas asap: Berat gas asap (G_s) = $W CO_2 + W SO_2 + W H_2O + W N_2 + W O_2$

Atau

b. Berat gas asap sebenarnya (G_s) $G_s = U_s + (1-A) \text{ kg/kgBB}$

Untuk menentukan komposisi dari gas asap didapatkan: Kadar gas = $(W \text{ gas tersebut} / W \text{ total gas}) \times 100\%$

2.10 Volume Gas Asap

Jumlah oksigen adalah 21% jumlah udara pembakaran. Jadi:

$V(O_2) = 21\% (V_a)_{act}$; belum termasuk oksigen yang dikandung dalam bahan bakar. Oksigen yang terdapat dalam bahan bakar tergantung persentasenya.

Dengan demikian maka volume gas asap basah adalah :

Parameter yang dipantau untuk perhitungan efisiensi boiler dengan metode langsung adalah :

- Jumlah steam yang dihasilkan per jam (W_s) dalam kg uap/jam
- Jumlah bahan bakar yang digunakan perjam (W_f) dalam kg/jam
- Tekanan kerja (dalam kg/cm^2) dan suhu lewat panas ($^{\circ}\text{C}$), jika ada
- Suhu air umpan ($^{\circ}\text{C}$)
- Jenis bahan bakar dan nilai panas kalor bahan bakar (LHV) dalam kJ/kg bahan bakar :

$$V_g = \frac{1,866 C + 0,7 S}{0,11} 1,24 (9 H_2) \text{ m}^3/\text{kgBB}$$

Dimana :

- V_g = Volume gas asap (m^3/kgBB)
- C = Nilai carbon bahan bakar
- S = Nilai Sulfur bahan bakar
- H_2 = Nilai Hidrogen bahan bakar

2.11 Perhitungan Efisiensi Boiler

Daya guna (efisiensi) boiler adalah perbandingan antara konsumsi panas dengan suplai panas (*Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat-pesawat konversi 1 (Ketel Uap) 1988:223*).

$$\text{Efisiensi boiler } \square = \frac{\text{Panas pembentukan uap}}{\text{panas masuk}}$$

$$\text{Efisiensi boiler } \square = \frac{W_s(h_3 - h_1)}{W_f \times \text{LHV}}$$

Keterangan: W_s = kapasitas produksi uap (kg uap/jam)

W_f = konsumsi bahan bakar (kg/jam)

h_3 = entalpi uap (kJ/kg)

h_1 = entalpi air umpan/pengisi ketel (kJ/kg)

LHV = nilai kalor pembakaran rendah (kJ/kg)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Alat dan bahan

Pengujian akan menggunakan alat bomkalori meter, yaitu alat yang digunakan untuk mencari nilai kalor dari suatu bahan. Sedangkan bahan yang diuji adalah bahan bakar ketel yaitu *fibre* dan cangkang.

3.2. Variabel yang diambil

Pada pengujian *fibre* dan cangkang ini akan menggunakan alat bomkalori meter, dengan parameter yang diuji adalah *kalor* (energi). Variabel pengujian ini akan digunakan untuk mencari nilai kalor bahan bakar yaitu High Heating Value (HHV) dan Low Heating Value (LHV).

3.3. Metode pengumpulan data

1. Studi literatur, studi literatur dilakukan untuk memilih materi-materi pendukung yang sesuai dengan permasalahan dan analisa efisiensi ketel pipa air berbahan bakar *fibre* dan cangkang sesuai dengan ketel yang dipakai pada perusahaan yang diteliti.
2. Survey lapangan, survey lapangan pada perusahaan dilakukan untuk mengambil sampel *fibre* dan cangkang untuk proses uji laboratorium serta mengumpulkan data yang akan digunakan untuk mencari efisiensi ketel tersebut dengan acuan yang ada di buku literatur.
3. Uji laboratorium, pengujian laboratorium dilakukan untuk mengetahui nilai dari kalor bahan bakar *fibre* dan cangkang tersebut dengan menggunakan alat bom kalori meter.

3.4. Prosedur penelitian

3.4.1. Pengambilan data ketel

Data yang diambil meliputi spesifikasi ketel yang dipakai pada PT. Lampung Persada, *steam* pressure superheater (Bar), temperatur *feed tank daerator* ($^{\circ}\text{C}$), *steam* flow (ton uap/jam) dan *steam out generator* ($^{\circ}\text{C}$).

3.4.2. Pengambilan sampel uji bahan bakar *fibre* dan cangkang

Sampel *fibre* dan cangkang diambil di gudang penyimpanan bahan bakar ketel PT. Palm Lampung Persada, bersamaan dengan waktu survey lapangan untuk pengambilan data ketel.

3.4.3. Pengujian nilai kalor sampel bahan bakar *fibre* dan cangkang

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui berapa nilai kalor yang dihasilkan oleh bahan bakar ketel *fibe* dan cangkang yang ada di PT. Palm Lampung Persada. pengujian ini dilaksanakan pada 2 laboratorium. Pertama untuk melakukan penimbangan sampel uji yaitu *fibre* dan cangkang yang dilakukan di laboratorium Teknik Mesin Universitas Bandar Lampung. Penimbangan sampel uji menggunakan alat yaitu neraca digital dengan jumlah sampel 12 buah, untuk masing- masing berat sampel adalah 1 gr (Gram). Kedua untuk mencari nilai kalor pada sampel uji *fibre* dan cangkang dilakukan pada laboratorium Analisis, Politeknik Negeri Lampung dengan menggunakan alat Bomkalori Meter.

3.4.4. Analisa efisiensi ketel

Hasil dari pengujian nilai kalor kemudian akan digunakan untuk menghitung nilai efisiensi ketel diperusahaan tersebut, yang mana diketahui *fibre* dan cangkang ini adalah bahan bakar utama yang digunakan pada ketel yang ada di perusahaan tersebut.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Nilai Kalor Bahan Bakar

Analisa percobaan dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut: Nilai panas

$$(\text{HHV}) = (T_2 - T_1 - 0,05) \times C_v$$

Keterangan :

T_1 = Suhu air pendingin sebelum dinyalakan ($^{\circ}\text{C}$)

T_2 = Suhu air pendingin setelah penyalaan ($^{\circ}\text{C}$)

C_v = Panas jenis bom kalorimeter ($73529,6 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$) Kenaikan suhu akibat kawat menyala = $0,05 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 3240 \text{ (kJ/kg)}$$

Tabel 4.1 Hasil analisa nilai kalor bahan bakar serabut kelapa sawit murni (Fibre)

NO	T_1 ($^{\circ}\text{C}$)	T_2 ($^{\circ}\text{C}$)	HHV(KJ/Kg)	LHV(KJ/Kg)
1	28,68	30,62	138970,944	125730,944
2	28,60	30,12	108088,512	104848,512
3	28,66	30,60	138970,944	135730,944
Rata-rata			128676,8	125436,8

Tabel 4.2 Hasil analisa nilai kalor bahan bakar cangkang murni

NO	T_1 ($^{\circ}\text{C}$)	T_2 ($^{\circ}\text{C}$)	HHV(KJ/Kg)	LHV(KJ/Kg)
1	27,74	30,30	184559,296	181319,296
2	28,19	30,92	197059,328	193819,328
3	28,14	30,68	183088,704	179848,704
Rata-rata			188235,776	184995,776

Tabel 4.3 Nilai kalor rata-rata bahan bakar campuran 90% *fiber* + 10% cangkang (Campuran A)

NO	T_1 ($^{\circ}\text{C}$)	T_2 ($^{\circ}\text{C}$)	HHV(KJ/Kg)	LHV(KJ/Kg)
1	28,89	30,72	130882,688	127642,688
2	28,58	30,76	156618,048	153378,048
3	28,56	30,72	155147,456	151907,456
Rata-rata			147549,3973	144309,3973

Tabel 4.4 Nilai kalor rata-rata bahan bakar campuran 80% fiber + 20% cangkang (Campuran B)

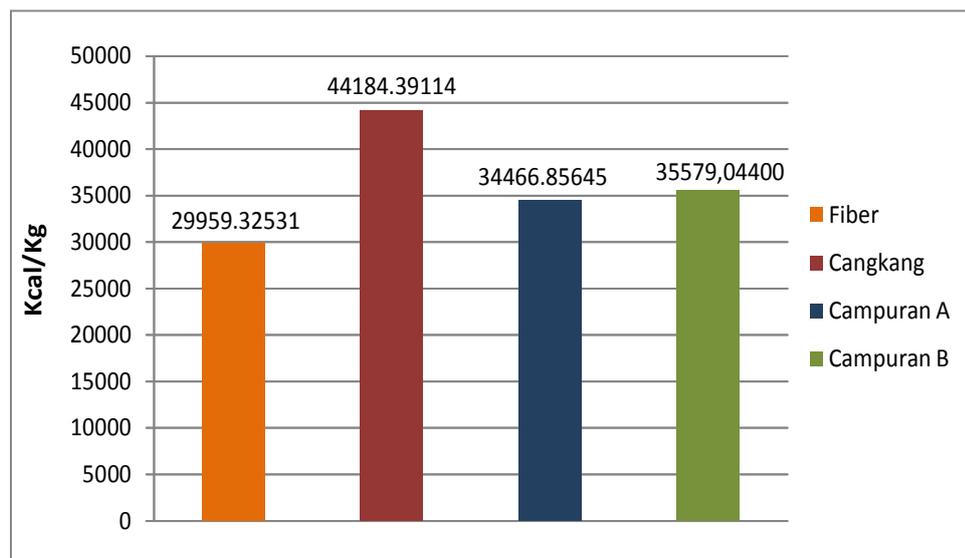
NO	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	HHV(KJ/Kg)	LHV(KJ/Kg)
1	28,44	30,23	127941,504	124701,504
2	29,50	31,29	127941,504	124701,504
3	28,38	31,16	200735,808	197495,808
Rata-rata			152206,272	148966,272

Tabel 4.5 Low Heating Value

Fibre (Kcal/Kg)	Cangkang (Kcal/Kg)	Campuran A (Kcal/Kg)	Campuran B (Kcal/Kg)
29959,325	44184,39114	34466,85645	35579,04400

Konversi Satuan 1 Kj/kg = 0,239006 kcal/kg

Nilai Low Heating Value (LHV)



Gambar 4.1 Grafik Low Heating Value dengan bahan bakar yang berbeda

Berdasarkan gambar diatas, dapat dilihat setiap bahan bakar boiler memiliki nilai LHV yang berbeda-beda. nilai *Low Heating Value* tertinggi dimiliki oleh bahan bakar boiler jenis cangkang murni dengan nilai 44184,391 Kcal/Kg sedangkan untuk nilai bahan bakar boiler yang terkecil dimiliki oleh bahan bakar jenis *fibre* murni dengan nilai 29959,325Kcal/Kg.

4.2 Perhitungan jumlah konsumsi bahan bakar boiler

Jumlah konsumsi bahan bakar didapat dari persamaan rumus :

$$G = \frac{m_{uap}(h_{out} - h_{in})}{\eta_{ketel} \times LHV}$$

dimana :

G : Jumlah konsumsi bahan bakar (Kg/s)

m_{uap} : Laju aliran uap (Kg/s)

h_{in} : Entalpi air pada saat masuk boiler (KJ/Kg)

h_{out} : Entalpi uap pada saat keluar boiler (KJ/Kg)

LHV : Nilai kalor bawah bahan bakar (KJ/Kg)

Diketahui dari survey lapangan di PT.Palm Lampung Persada didapat bahwa boiler atau ketel yang dipakai pada perusahaan tersebut memiliki nilai efisiensi ketel saat baru adalah 75% sampai dengan 90% . Berikut ini adalah data ketika saat ketel/ boiler masih dalam kondisi baru :

Tabel 4.6 Data spesifikasi saat boiler baru

Steam pressure superheater (Bar)	water tank(°C) Dearator	operatur outlet steam (°C)	Steam flow (T/H)
33,5	100	230	22,7

4.3 Perhitungan efisiensi boiler

Efisiensi ketel dinyatakan dengan :

$$\eta = \frac{\text{k calor yang berguna untuk penguapan}}{\text{k calor yang diberikan pada ketel}}$$

$$\eta = \frac{B(H_1 - H^1)}{G \times LHV}$$

Dimana :

B : Laju aliran uap (Kg/H)

H_1 : Entalpi air pada saat masuk *boiler* (Kcal/ Kg)

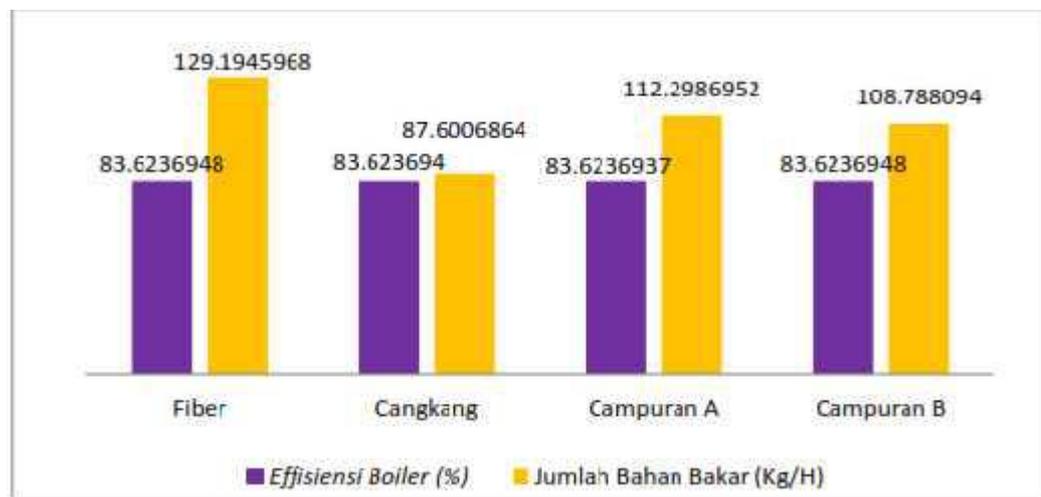
H^1 : Entalpi air pada saat masuk *boiler* (Kcal/ Kg)

G : Jumlah konsumsi bahan bakar (Kg/H)

LHV : Nilai kalor bawah bahan bakar (Kcal/ Kg)

Tabel 4.7 Perbandingan *efisiensi boiler* terhadap bahan bakar yang dipakai

Nama Bahan Bakar	Jumlah Bahan Bakar (Kg/H)	<i>Efisiensi boiler</i> (%)
Fibre	129,1945968	83,6236948
Cangkang	87,6006864	83,6236940
Campuran A	112,2986952	83,6236937
Campuran B	108,7880940	83,6236948



Gambar 4.2 Grafik perbandingan jumlah bahan bakar boiler terhadap *efisiensi boiler*

Dari gambar diatas dapat ketahui bahwa jumlah bahan bakar yang dipakai sangat berpengaruh terhadap *efisiensi boiler* itu sendiri. Dapat dilihat melalui gambar grafik diatas *efisiensi boiler* yang dihasilkan untuk setiap jenis bahan bakar hampir sama tetapi jumlah bahan bakar yang digunakan untuk setiap masing-masing jenis bahan bakar memiliki nilai yang berbeda. Seperti bahan bakar *fibre* murni dan bahan bakar campuran B yaitu 80% *fibre* + 20% cangkang memiliki angka *efisiensi* yang sama yaitu 83,6236948 %, tetapi jika kita melihat jumlah pemakaian bahan bakar nya sangat berbeda. Dimana *fibre* menghabiskan 129,1945968 Kg/H sedangkan campuran B menghabiskan 108,788094 kg/H.

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisa yang dilakukan maka diperoleh beberapa point penting yang dapat penulis kemukakan, antara lain :

1. Nilai efisiensi boiler tertinggi yang dihasilkan sebesar 83,6236948 dengan menggunakan bahan bakar boiler fibre murni dan bahan bakar campuran B yaitu 80% fibre + 20% cangkang, sedangkan nilai efisiensi boiler terendah yang dihasilkan sebesar 83,6236937 % dengan menggunakan bahan bakar boiler campuran A yaitu 90% fibre + 10% cangkang.
2. Nilai kalor bawah bahan bakar boiler memiliki nilai yang berbeda, seperti fiber murni memiliki nilai 29959,32 Kca/Kg, cangkang murni memiliki nilai 44184,34466,85645 Kcal/Kg, campuran A yaitu 90% fibre + 10% cangkang memiliki nilai 34466,85645, dan campuran B yaitu 80% fibre + 20% cangkang memiliki nilai 35579,044.
3. Jumlah pemakaian bahan bakar boiler untuk setiap jenis bahan bakar boiler memiliki nilai yang bervariasi. Untuk menghasilkan uap 241113,3 Kg/H jumlah pemakaian yang tertinggi adalah bahan bakar fibre murni sebanyak 129,1945968 Kg/H, sedangkan jumlah pemakaian yang terendah adalah bahan bakar cangkang murni sebanyak 87,6006864 Kg/H.
4. Banyaknya jumlah bahan bakar yang digunakan untuk operasi boiler tergantung dengan nilai kalor terendah(LHV) dari bahan bakar boiler itu sendiri. Semakin tinggi nilai LHV suatu bahan bakar semakin sedikit pula jumlah bahan bakar yang digunakan, begitupun sebaliknya semakin rendah nilai LHV suatu bahan bakar semakin banyak pula jumlah bahan bakar yang digunakan boiler tersebut untuk beroperasi.

5.2. Saran

Adapun saran-saran yang dapat penulis ajukan untuk menyempurnakan penelitian tentang analisa nilai kalor bahan bakar fibre dan cangkang serta pengaruhnya bagi efisiensi boiler tersebut adalah :

1. Lebih baik menggunakan jenis bahan bakar boiler fibre murni dikarenakan nilai kalor yang tidak begitu jauh dengan nilai kalor bahan bakar yang lainnya serta efisiensi boiler yang lebih tinggi dibandingkan menggunakan jenis bahan bakar lainnya.
2. Untuk diperhatikan kembali pengujian nilai kalor bahan bakar, alangkah lebih baiknya jika mencari nilai kalor bahan bakar HHV dan LHV menggunakan pengujian analisa komposisi bahan sehingga nilai kalor dapat diketahui menggunakan rumus dulong petit.
3. Sama halnya dengan mencari nilai efisiensi boiler, lebih baik menggunakan persamaan yang lebih lengkap dibandingkan menggunakan persamaan kesetimbangan energi yang sederhana ini.
4. Dilihat dari segi ekonomi, bahan bakar fibre sangat cocok digunakan untuk bahan bakar boiler, karena fibre tidak sama sekali memiliki nilai untuk dijual berbeda dengan bahan bakar cangkang yang masih memiliki nilai jual ke konsumen.

DAFTAR PUSTAKA

- Archie W. Culp, Jr., Ph.D, 2013. *Prinsip Prinsip Konversi Energi*. Penerbit Erlangga Ciracas, Jakarta
- Djokosetyardjo, IR. M. J, 2006. *Ketel Uap*. Cetakan Keenam, Pradnya Paramita. Jakarta.
- Andi Saehul Rizal, Dr. Bambang Lelono W., Fitri Adi Iskandarianto. "Perancangan Sistem Kontrol Laju Aliran Bahan Bakar Serta Rasio Pembakaran Berdasarkan nilai steam quality pada steam generator" Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Farel.H.napitupulupengaruh.2006. "Nilai Kalor (Heating Value) Suatu Bahan Bakar Terhadap Perencanaan Volume Ruang Bakar Ketel Uap Berdasarkan Metode Penentuan Nilai Kalor Bahan Bakar Yang Dipergunakan"
- Harry Christian Hasibuan, Farel H. Napitupulu.2013. "Analisa Pemakaian Bahan Bakar Dengan Melakukan pengujian Nilai Kalor Terhadap Performansi Ketel Uap Tipe Pipa Air Dengan Kapasitas Uap 60 Ton/Jam"
- Imam nachocha, 2000. *Cara perawatan & pengoperasian ketel uap/boiler*
- Intan Alifiyah Ilmi, Ya'umar. "Analisis Efisiensi Sistem Pembakaran Pada Boiler Di Pltu Unit Iii Pt.Pjb Up Gresik Dengan Metode *Statistical Process Control* (Spc)" Jurusan Teknik Fisika – Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Ir.Astu pudjanarsa, MT dan Prof.Ir.Djati Nursuhud, MSME.2006. *Mesin Konversi Energi*. Yogyakarta: ANDI
- Ir.Astu pudjanarsa, MT dan Prof.Ir.Djati Nursuhud, MSME. *Mesin Konversi Energi*. Edisi Ke 3. Yogyakarta: ANDI
- Pesulima Batubara(2014). "Analisa Efisiensi Water Tube Boiler Berbahanbakar Fiber Dan Cangkang Di Palm Oil Mill Dengan Kapasitas 45 Ton Tbs/Jam" Skripsi.FT.Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara
- Proses Industri, <http://www.prosesindustri.com/2015/01/pengertian-boiler-serta-komponen.html> Rabu, 12 Juli Pukul 21.07 WIB
- Syafriuddin, Rio Hanesya.2012. "Perbandingan Penggunaan Energi Alternatif Bahan Bakar Serabut (Fiber) Dan Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Bahan Bakar Batubara Dan Solar Pada Pembangkit Listrik" Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Industri, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta