

## RANCANG BANGUN ALAT BOILER KONDENSOR (Evaluasi Kinerja Kondensor ditinjau dari Elastisitas Energi Rasio)

Azharuddin<sup>1)</sup>, Dalom<sup>2)</sup>, Iriani Reka Septiana<sup>3)</sup>

<sup>1)2)</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya

<sup>3)</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Program Studi DIV Teknik Energi

Jl. Srijaya Negara Bukit Besar Palembang 30139 Telp: 0711-353414 Fax: 0711-453211  
E-mail: aminromlie@yahoo.com

### Abstrak

Penyediaan energi yang berasal dari energi fosil menyebabkan cadangan energi fosil semakin berkurang. Oleh karena itu, pemerintah mengeluarkan PP No. 5 tahun 2006 tentang kebijakan energi yang menjelaskan tentang memanfaatkan energi yang ada dengan meningkatkan efisiensi peralatan yang menggunakan energi tak terbarukan (penghematan energi). Penghematan energi ini diharapkan dapat menjangkau industri dan rumah tangga yang merupakan konsumen energi terbesar kedua. Aplikasi dari penghematan energi adalah dengan memodifikasi peralatan industri yang menggunakan proses boiling. Proses perebusan (boiling) biasanya menghasilkan uap yang akan hilang ke lingkungan. Uap yang hilang ini dapat dimanfaatkan kembali dengan proses condensation. Kedua proses tersebut dapat dirancang menjadi alat boiler kondensor. Kondensor akan menjadi titik utama dari peningkatan efisiensi thermal dari alat ini. Evaluasi kinerja kondensor dilakukan dengan variasi laju alir pendingin 15 liter/menit dan 10 liter/menit. Dari hasil penelitian, kondisi optimal kinerja kondensor adalah pada temperature 100 °C, tekanan 1 atm dan laju alir pendingin adalah 10 liter/menit. Efisiensi thermal pada kondisi optimal tersebut adalah sebesar 68 %. Dari efisiensi thermal tersebut dapat disimpulkan bahwa kinerja kondensor dalam menyerap panas cukup baik. Meskipun begitu, kehilangan panas dari sumber panas masih cukup besar sehingga disarankan agar sumber panas diganti dengan sumber panas dari listrik.

**Kata Kunci :** Kondensor, Hemat Energi, Boiler kondensor

### Abstract

Energy supply is still focused on fossil energy, causing diminishing reserves of fossil energy. Therefore, the government issued PP. 5 of 2006 on energy policy that describes the existing harness energy by improving the efficiency of appliances that use non-renewable energy (energy savings). The energy savings are expected to reach industry and households which is the second largest energy consumer. Application of energy savings is by modifying industrial equipment which uses boiling process. The process of boiling typically produce steam that will be lost to the surrounding system. This vapor is lost can be recovered by condensation processes. Both of these processes can be designed to be a condenser boiler. Condenser will be the main point of increasing the thermal efficiency of this tool. Condenser performance evaluation is done by variation of coolant flow rate of 15 liters / min and 10 liters / min. From the research, the condition of the condenser performance is optimal at temperatures of 100 °C, 1 atm pressure and coolant flow rate is 10 liters / min. Thermal efficiency at the optimum condition is at 68%. Of the thermal efficiency can be concluded that the performance of the condenser to absorb heat quite well. Even so, the loss of heat from the heat source is still quite large so it is suggested that the heat source is replaced with a heat source of power.

**Keywords :** Condensor, Saving energy, A condenser Boiler

## 1. PENDAHULUAN

Energi sangat dibutuhkan untuk kegiatan perekonomian maupun kegiatan produksi dalam berbagai sektor. Meskipun Indonesia memiliki sumber daya energi yang besar baik untuk *renewable resources* ataupun *unrenewable resources*, pengelolaan sumberdaya masih difokuskan pada sumberdaya tak terbarukan seperti energi fosil. Energi fosil menjadi sumber penyediaan energi yang terbesar. Menurut kementerian energi dan sumber daya mineral, 2009, penyediaan energi nasional yang berasal dari minyak bumi 49,84%, gas bumi 22,21% dan batubara 23,56% sedangkan energi terbarukan 4,39%.

Penyediaan energi yang berasal dari energi fosil menyebabkan cadangan energi tak terbarukan atau energi fosil semakin berkurang. Menurut Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral: 2010, pada tahun 2008 minyak bumi, gas bumi dan batubara memiliki cadangan sumber daya sebesar 56,6 miliar barrel, 334,5 TSCF dan 104,8 miliar ton. Minyak bumi, gas bumi dan batubara akan habis sekitar 23 tahun lagi, 63 tahun lagi dan 82 tahun lagi. Energi fosil yang cadangannya semakin berkurang digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi dalam beberapa sektor yaitu transportasi, industri, rumah tangga, dan komersial. Pada tahun 2009, konsumsi sektor transportasi, industri, rumah tangga dan komersial yaitu 34%, 49,4%, 12,2% dan 4,4% (Dirjen Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, 2011). Konsumsi pada setiap sektor meningkat setiap tahunnya. Menurut Elinur dkk., 2010, Pada tahun 1990-2008 terjadi peningkatan konsumsi pada sektor industri sebesar 1,95 %, pada sektor rumah tangga sebesar 1,87%, pada sektor transportasi sebesar 5,31%, pada sektor pertanian sebesar 2,66%, dan pada sektor lainnya sebesar 8,72%.

Penyediaan energi yang masih menitik beratkan energi tak terbarukan sebagai sumber energi menyebabkan kelangkaan energi (bahan bakar). Oleh karena itu, pemerintah mengeluarkan PP No. 5 tahun 2006 tentang kebijakan energi yang menjelaskan tentang konservasi dan diversifikasi energi. Salah satu isi pasal 3 ayat 2 yaitu pemanfaatan energi. Pemanfaatan energi terbagi menjadi dua yaitu pemanfaatan energi terbarukan dan pemanfaatan energi yang ada dengan meningkatkan efisiensi peralatan yang menggunakan energi tak terbarukan (penghematan energi).

Industri sebagai konsumen terbesar pertama dan rumah tangga sebagai konsumen terbesar ketiga dalam pemakaian energi (bahan bakar). Bahan bakar yang biasa digunakan oleh industri dan rumah tangga adalah gas dan kerosin. Gas dan kerosin adalah bahan bakar yang berasal dari sumber energi tak terbarukan. Oleh karena itu, Industri dan rumah tangga membutuhkan peralatan yang memiliki efisiensi lebih baik agar dapat melakukan penghematan energi. Teknologi hemat energi harus bisa diaplikasikan ke peralatan industri maupun rumah tangga.

Industri yang bergerak dalam bidang makanan seperti pempek dan ketupat serta makanan lain yang menggunakan proses perebusan dalam waktu yang lama akan mengakibatkan air menguap dan perlu penambahan air (make-up water). Make up water memerlukan panas untuk mencapai titik didih untuk merebus bahan makanan. Kebutuhan panas meningkat karena adanya make up water. Bahan bakar dalam proses perebusan dan pemanasan make up water biasanya memiliki nilai kalor yang tinggi atau jumlah bahan bakar lebih banyak. Industri kecil dan rumah tangga yang tidak paham dengan nilai kalor yang tinggi lebih memilih menambahkan jumlah bahan bakar. Penambahan jumlah bahan bakar akan menyebabkan cadangan sumber daya energi berkurang. Oleh karena itu, bahan bakar harus dihemat. Bahan bakar dapat dihemat apabila make up water yang digunakan sudah mendekati temperatur yang sesuai untuk proses perebusan.

Penghematan energi dapat dilakukan dengan memodifikasi sistem operasi peralatan. Sistem operasi yang dimodifikasi terdiri dari proses perebusan (*Vaporization*) dan pengembunan (*Condensation*) dalam satu peralatan. Proses penguapan akibat dari pemanasan secara terus-menerus akan menghasilkan uap jenuh. Proses pengembunan digunakan untuk mengubah uap jenuh menjadi cair. Uap yang telah menjadi cair itu akan digunakan kembali untuk merebus makanan. Peralatan dengan proses seperti diatas diharapkan dapat menghemat energi. Oleh karena itu, Dirancang alat dengan proses penguapan dan pengembunan yang disebut alat boiler kondensor.

Tujuan penelitian ini untuk mengoptimalkan penggunaan energi fosil dengan menggunakan alat boiler kondensor. Secara rinci, tujuannya adalah sebagai berikut :

1. Melakukan evaluasi kinerja kondensor berdasarkan efisiensi sistem thermal peralatan yang berhubungan dengan elastisitas energi rasio.
2. Menentukan kondisi operasi yang efektif dan optimal.
3. Mengkaji laju pemakaian bahan bakar.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### Proses Kondensasi dan Kondensor

Kondensasi adalah suatu proses untuk mengubah suatu gas atau uap menjadi cairan.

- Gas dapat berubah menjadi cair dengan menurunkan temperaturnya atau meningkatkan tekanan.
- Umumnya, pendekatan yang digunakan adalah dengan menurunkan temperatur, sedangkan dengan meningkatkan tekanan gas lebih mahal.
- Pengendalian gas dengan kondensasi lebih sederhana dan murah peralatannya, umumnya digunakan air atau udara sebagai media pendingin.
- Efisiensi penyisihan gas dengan proses kondensasi pada umumnya rendah, dibandingkan dengan proses adsorpsi, absorpsi atau combustion, kecuali gas tersebut dapat terkondensasi pada temperatur tinggi.
- Kondensasi secara tipikal digunakan sebagai pretreatment (pengendalian pendahuluan), sebelum digunakan alat pengendali yang mempunyai efisiensi lebih tinggi seperti adsorber, absorber atau insinerator, dengan menggunakan pretreatment, maka beban alat pengendali berikutnya lebih ringan.

### Kondensor

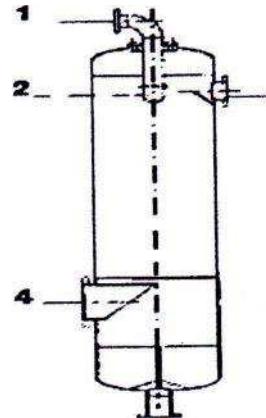
Kondensor adalah piranti penukar kalor khusus yang digunakan untuk mencairkan uap dengan mengambil kalor. Kondensor umumnya sebuah pendingin atau penukar panas yang digunakan untuk mengembunkan uap atau cairan uap, sehingga perubahan fase menjadi cairan (Tunggang Sitompu1,1993).

#### 1. Jenis-Jenis Kondensor

##### a. General Spray Condensor

*Spray Condensor* adalah salah satu tipe dari kondensor dengan kontak langsung. Satu keuntungan dari kondensor jenis ini adalah sangat sederhana dan tidak mahal untuk diproduksi. Metode ini sederhana, air yang didinginkan di bawah titik embun udara (*dew point*) di dalam kondensor yang disemprotkan pada optimum *droplet size*

dan *water vapor* terkondensasi ketika melepaskan panas latent dari kondensasi. Panas latent ini dapat digunakan untuk *heat exchanger* dan dikonversikan ke dalam energi untuk kegunaan lainnya pada proses *desalination*. Dan juga dengan penambahan efisiensi, bagian aliran (*stream*) yang keluar pada air yang meninggalkan kondensor mungkin didaur ulang (*recycle*) dan digunakan sebagai *spray* untuk udara yang lembab (Nina T, 2009)



Gambar 1: *Spray Condensor*

Sumber : Tunggang Sitompu1,1993

Keterangan :

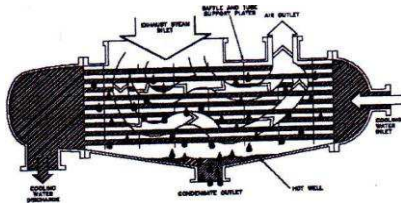
1. *Water Inlet* (air masuk)
2. *Spray*
3. *Incondensable Outlet* (outlet yang tidak dapat dikondensasi)
4. *Inlet of Humid Vapor* (uap air lembab masuk)
5. *Outlet kondensat*

##### b. Single Pass Condensors

Ada berbagai macam desain kondensor, tetapi yang paling umum dalam hal *supply* energi dengan kontak langsung adalah *single pass condensor* seperti yang terlihat pada gambar di atas. *Desain condensor* ini menyediakan aliran air pendingin (*cooling water flow*) melalui *tube-tube* secara langsung dari air yang masuk (*water inlet*) ke *outlet water*. Aliran air pendingin (*cooling water flows*) yang melalui kondenser disebut dengan *single pass*. Pemisahan antara area air dengan area kondensasi steam dipenuhi oleh *tube sheet* dimana ada *cooling water tubes* di dalamnya. *Cooling water tubes* dalam kondensor di dukung oleh *tube support sheets*. Biasanya kondensor yang normal mempunyai rangkaian *baffle* yang mengalihkan *steam* untuk meminimalkan tabrakan langsung pada *cooling water tubes*.

Pada bagian bawah kondensor terdapat kondisi *hotwell*, dimana kondensat

berkumpul dan kondensat pada pompa menyedot kondensat tersebut. Jika *noncondensable gasses* (gas yang tidak terkondensasi) diperbolehkan terdapat di dalam *condensor vacuum* (ruang hampa) akan berkurang dan *temperatur saturation* pada *steam* akan terkondensasi menjadi bertambah *Non-condensable gasses* dan juga selimut *tube* pada kondensor mengurangi area permukaan perpindahan pada kondensor. Area permukaan ini dapat juga dikurangi jika tingkatan kondensat terdapat untuk di atas *tube-tube* yang rendah (*lower tubes*) pada kondensor. Pengurangan perpindahan panas permukaan ini mempunyai efek yang sama seperti pengurangan pada *cooling water flow*. Jika kondensor beroperasi dengan kapasitas desain tersebut, maka pengurangan pada permukaan yang efektif hasilnya di dalam pemeliharaan *condensor vacuum*. (Nina T, 2009)



Gambar 2 : Single Pass

#### Tipe Condensator Berdasarkan Fungsinya :

##### a. Parsial Condensator

*Condensator* ini berfungsi untuk mengembunkan sebagian dari total uap yang dihasilkan (kondensat) yang dipakai sebagai *refluks*. *Condensator* ini biasanya dipasang dekat puncak dalam fraksionasi.

##### b. Overhead condensator

*Condensator* ini memerankan tiga hal pada mat yang bersamaan yakni mendinginkan uap, mengembunkan uap menjadi cair, kemudian mendinginkan cairan tersebut.

##### c. Surface Condensator

*Condensator* ini berfungsi untuk mengkomendasikan *steam*, yang mana kondensasi ini dijalankan dengan tekanan vakum dari 1-1,5 inHg abs. Untuk membuat tekanan vakum digunakan ejektor.

#### Tempat Perebusan (Boiler)

Tempat perebusan dari peralatan boiler kondensor yang disebut juga sebagai boiler. Jenis boiler yang dirancang adalah Ketel Uap. Ketel uap adalah sebuah alat untuk menghasilkan uap, dimana terdiri dari dua bagian yang penting : dapur pemanasan, dimana yang menghasilkan panas yang didapat dari pembakaran bahan bakar dan boiler (Henry, 2009). Uap atau fluida panas kemudian disirkulasikan dari ketel untuk berbagai proses dalam aplikasi pemanasan.

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian berdasarkan pendekatan desain fungsional dan pendekatan desain structural. Rancangan fungsional menjelaskan tentang fungsi dan pengaturan instrumen sehingga dapat berfungsi sebagaimana tujuan alat tersebut dirancang.

Rancangan structural menjelaskan tentang bagaimana alat boiler kondensor dirancang dan alasan pemilihan material dan lainnya. Penelitian ini menggunakan bahan dan alat sebagai berikut :

#### Bahan

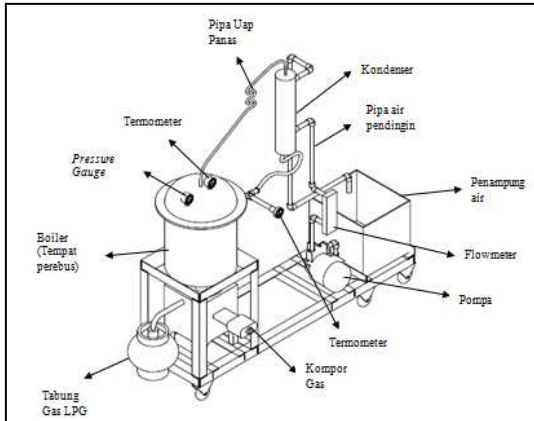
- Beras 1,5 Kg
- Gas (bahan bakar) 3 kg
- Ketupat 6 buah
- Air

#### Alat

- Kompore gas
- 1 set boiler kondensator
- Baut
- Kunci pass no 13

#### Cara Pengambilan Data

Dalam penelitian pembuatan rancang bangun alat boiler kondensator sistem tertutup, alat beroperasi pada suhu maksimum 110°C dan tekanan 2-3 lb/in<sup>2</sup> dengan kapasitas 6 buah ketupat. Variable penelitian yang akan diambil terdiri dari variable tetap, yaitu temperatur air pendingin masuk, variable peubah, yaitu temperatur air pendingin keluar, temperatur uap panas masuk, temperatur kondensat keluar, tekanan uap, waktu, dan laju pemakaian bahan bakar.



Gambar 3 : Alat Boiler Kondenser

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada alat boiler kondensor ini, Kondensor menjadi bagian penting dari peralatan ini. Pada gambar 4 dapat dilihat skala temperature yang terjadi pada alat ini.

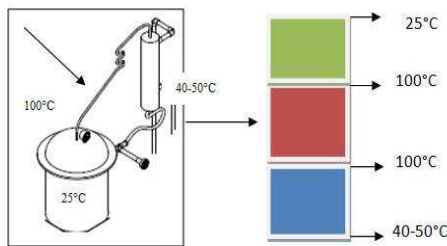


Diagram Skala Temperatur

Gambar 4 : Skala Temperature pada Boiler Kondensor

Pada gambar 4, warna hijau menunjukkan bahwa kondisi air umpan memiliki temperature yang sama dengan lingkungan. Pada bagian bawah kotak hijau, air dalam boiler mengalami kenaikan temperatur sampai dengan titik didih air. Pada bagian bawah kotak merah menunjukkan terjadinya perubahan fase dari cair jenuh menjadi uap jenuh. Pada bagian bawah kotak biru, temperatur seharusnya tidak menjauhi temperatur didih tetapi uji kinerja alat menunjukkan penurunan temperature sampai dengan 50% dari temperatur didih air.

Pada penelitian ini, variasi laju alir menjadi bagian penting dalam meninjau kinerja kondensor. Variasi laju alir diambil dalam dua laju alir yaitu laju alir maksimum dan minimum. Laju alir maksimum adalah 15 liter/menit dan laju alir minimum adalah 10 liter/menit. Dari kedua laju alir tersebut ditentukan kondisi optimal dimana

kondensor dapat menyerap panas laten dari uap yang dihasilkan pada saat proses *boiling* dalam boiler.

4.1 Laju Alir Pendingin 15 liter/menit

Pada Laju alir 15 liter/menit, kinerja kondensor yang diketahui dari efisiensi thermal boiler kondensor. Kondensor yang dirancang diharapkan hanya menyerap panas laten tetapi pada penelitian kondensor juga menyerap sebagian panas sensible sehingga menurunkan temperature kondensat jauh dari titik didih seperti penjelasan diatas. Efisiensi thermal dalam keadaan kondensor hanya menyerap panas laten dan keadaan kondensor yang ikut menurunkan temperatur memiliki nilai yang berbeda.

Efisiensi thermal untuk kondensor yang menyerap panas laten saja yaitu 57 % sedangkan untuk kondensor yang ikut juga menurunkan temperature menjauhi titik didih yaitu 54,3%. Ini menunjukkan bahwa penurunan temperatur merupakan kerugian untuk peralatan yang dirancang.

Panas akibat dari pendinginan lanjut pada laju alir ini yaitu 308,7 Kkal. Panas sebesar itu harus dibebankan oleh bahan bakar sebesar 11% dari 1 kg bahan bakar yang disuplai.

4.2 Laju Alir Pendingin 10 liter/menit

Pada laju alir ini, Efisiensi thermal untuk keadaan kondensor hanya menyerap panas laten yaitu 70% sedangkan untuk keadaan kondensor ikut serta menurunkan temperature di bawah titik didih yaitu 68%.

Temperatur kondensat yang lebih mendekati titik didih ini menyebabkan panas pendinginan lebih lanjut menjadi lebih kecil yaitu 239,23 Kkal. Beban bahan bakar untuk menaikkan titik didih kembali yaitu 10,41 dari 0,82 Kg bahan bakar yang disuplai.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian serta pengujian alat dari rancang bangun boiler kondensor, yaitu kondisi operasi yang optimal pada tekanan 1 atm, temperature uap 100°C serta laju alir air pendingin 10 liter/menit. Kondisi operasi ini dievaluasi dengan batasan laju alir maksimum dan minimum. Laju alir

maksimum 15 liter/menit dan laju alir minimum 10 liter/menit.

Pada kondisi optimal yang didapat, efisiensi termal alat boiler kondensor adalah 68 %. Efisiensi ini didapatkan setelah mengurangi panas pembentukan ketupat dengan panas pendinginan lanjut pada kondenser. Panas pendinginan lanjut pada kondisi tersebut adalah 239.23 Kkal. Laju pemakaian bahan bakar pada kondisi optimal itu yaitu sebesar 0,205 Kg/jam.

Kondisi optimal ini menunjukkan bahwa alat boiler kondenser merupakan alat hemat energi dan dapat mendukung penurunan angka elastisitas energi Indonesia.

## 5.2 Saran

Pada alat boiler condenser, penghematan energi sudah dapat dicapai tetapi kehilangan panas dari kompor konvensional tidak dapat dihindari. Hal ini dapat diminimalisir apabila sumber panas yang digunakan digantikan dengan sumber panas dari listrik. Pada perhitungan panjang kondensor desain, perpindahan panas yang disebabkan pendinginan oleh udara harus dihitung. Hal ini perlu dilakukan untuk menghindari terjadinya pendinginan lanjut saat uap masuk kondensor. Pendinginan lanjut akan menyebabkan kerugian yaitu bertambahnya beban panas yang akan diberikan oleh sumber panas.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Abduh.2009.*Elastisitas Energi dan intensitas energi*.  
<http://abduh38.wordpress.com/2009/02/06/elastisitas-energi-dan-intensitas-energi/>). Diakses pada tanggal 12-03-2013
2. Dirjen Energi terbarukan dan konservasi,2012. *Instrumen Kebijakan Tentang Penghematan Energi*.Jakarta: Dipresentasikan pada:Workshop “Energy Audit Pilot Projects in Industry & Building”
3. Elinur, dkk. 2010. *Perkembangan Konsumsi Dan Penyediaan Energi Dalam Perekonomian Indonesia*. Indonesian Journal of Agricultural Economics (IJAE).
4. Gugun.2010.*Sifat-Sifat Air Yang Menakjubkan*.  
<http://www.idebagusku.com/sifat-sifat-air-yang-menakjubkan>.
5. Henry.2009.*KetelUap*.  
<http://id.scribd.com/doc/19236560/KETEL-UAP>. Tanggal akses Juli 2013.
6. Holman, J.P. 1994.*Pepindahan Kalor*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
7. Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2010. *Integrasi kebijakan energi regional dan nasional*. Makasar : Pusat Data Dan Informasi Energi Dan Sumber Daya Mineral.
8. McCabe, Et all.1985.*Operasi Teknik Kimia Jilid I*.Erlangga:Jakarta.
9. Nainggolan,WerlinS.1978. *Thermo dinamika*.Armico:Bandung.
10. Peters,Max S,dkk.1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*.McGraw-Hill
11. Shafwati, R. Afni. 2012. *Pengaruh Lama Pengukusan Dan Cara Penanakan Beras Pratanak Terhadap Mutu Nasi Pratanak*.Bogor : IPB.
12. Tempo.Co. 2012. *Indonesia Masih Boros Energi*.  
<http://www.tempo.co/read/news/2012/06/11/092409853/Indonesia-Masih-Boros-Energi>. Diakses pada tanggal 12-05-2013
13. Trisnayani, Nina. 2009, *Rancang Bangun Alat Destilasi Uap Utuk Pengolahan Minyak Atsiri Dari Kulit Kayu Manis. (Menghitung Effisiensi Steam Kondensat)*. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.
14. Widiono, Eddie. 2012. *Energy Efficiency Prospect In Indonesia*.