

**ANALISA PERANCANGAN ECONOMIZER UNTUK
MENAIKAN EFISIENSI BOILER PIPA API DI
LABORATORIUM TEKNIK KONVERSI ENERGI
POLITEKNIK NEGERI MEDAN**

SKRIPSI

OLEH :

PAFH RIZKI ANANDA NST


15.813.0089





**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2017**

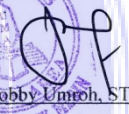
Judul Skripsi : Analisa Perancangan Economizer Untuk Menaikan Efisiensi
Boiler Pipa Api di Laboratorium Teknik Konversi Energi
Politeknik Negeri Medan
Nama : Pafh Rizki Ananda Nst
NPM : 15.813.0089
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing


Ir. H. Amrsvan Nst, MT
Pembimbing I


Ir. H. Dariantio, M.Sc
Pembimbing II


Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng. M.Sc
Dekan


Bobby Umroh, ST, MT
Ka, Prodi

LEMBAR PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah. Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 27 September 2017



PAFH RIZKI ANANDA NST

NPM. 158130089



ABSTRAK

Ekonomizer berfungsi untuk memanaskan air pengisi boiler dengan memanfaatkan panas dari gas sisa pembakaran di dalam boiler. Dengan meningkatnya temperatur air pengisi boiler maka efisiensi boiler juga akan meningkat. Telah dianalisa perancangan sebuah ekonomizer pada boiler pipa api dengan 7 belitan dan dapat dilihat setelah dilakukan perancangan ekonomizer maka efisiensi boiler meningkat sebesar 14,2%, terjadi penurunan laju aliran bahan bakar sebesar 5,909 kg/jam, terjadi penghematan energy panass sebesar 22,32 % dan biaya penggunaan bahan bakar akan menurun.

Kata kunci : Ekonomizer, Boiler, Efisiensi.

ABSTRACT

The Economizer has a function to heat the feed water of boiler by utilizing the heat of remaining of combustion gas. By increasing the feed water temperature resulting the boiler efficiency will also increases. A design of economizer has been analyzed on fire-tube boiler with 7 windings and could be found after conducting the economizer design then boiler efficiency increased as much as 14.2%. Moreover, there was a reduction in the fuel flow rate as much as 5.909 Kg/h, a heat energy savings about 22.32%, also the reduction of fuel usage costs.

Keywords: Economizer, Boiler, Efficiency.

KATA PENGANTAR

Puji serta syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Skripsi ini, mulai dari awal hingga selesai.

Skripsi ini berjudul **Analisa Perancangan Economizer Untuk Menaikan Efisiensi Boiler Pipa Api di Laboratorium Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Medan**. ini dimaksudkan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan mata kuliah Tugass Akhir Semester VIII pendidikan program Strata 1, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin Universitas Medan Area.

Skripsi ini disusun berdasarkan hasil riset di lapangan bertujuan untuk mengetahui tentang perancangan Economizer dan seberapa besar pengaruh nya terhadap kenaikan efisiensi Boiler. Itu merupakan pengalaman yang sangat berharga bagi penulis karena sebelumnya penulis belum mengetahui tentang Boiler dan bagaimana menaikan Efisiensinya.

Dalam penulisan skripsi ini penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak maka dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. A. Ya'kub Matondang, MA., selaku Rektor Universitas Medan Area
2. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
3. Bapak Bobby Umroh, ST, MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Medan Area.
4. Ir. Amirsyam Nst, MT., selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan banyak waktu serta menyumbangkan ilmu dan nasehat kepada penulis sepanjang pengerjaan skripsi ini hingga selesai.
5. Ir. H. Darianto, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan banyak waktu serta menyumbangkan ilmu dan nasehat kepada penulis sepanjang pengerjaan skripsi ini hingga selesai.
6. Bapak/Ibu Dosen di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area yang telah mendidik penulis selama kuliah.

7. Bapak/Ibu staff pegawai di jurusan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
8. Kepada kedua orang tua Ayah saya Drs. Paniruan Nst dan Ibu saya Fifi Heriani, SE yang telah mendukung penulis dan tidak pernah bosan memberi nasehat dan doa kepada penulis.
9. Kedua adik penulis, Pafh Yuris Hadiyatma Nst dan Pafh Rifha Chairunnisa Nst yang telah memberikan doa kepada penulis.
10. Bapak Ir. Rufinus Nainggolan, MT. selaku Kepala Laboratorium Teknik Konversi Energi Mekanik Politeknik Negeri Medan, tempat penulis melakukan riset mengambil data untuk kelengkapan Skripsi ini.
11. Rekan-rekan mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area, terimakasih atas kerjasama, persahabatan, solidaritas dari kalian semua.
12. Dan seluruh teman teman lainnya yang mengenal saya dan telah memberikan semangat motivasi kepada saya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masi ada kekurangan dalam menyelesaikan skripsi ini baik dari segi pembuatannya maupun dari segi penyajiannya. Untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan Skripsi ini.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih, semoga Skripsi ini dapat memberi manfaat bagi kita semua khususnya untuk mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Medan, September 2017

Hormat Penulis

PAFH RIZKI ANANDA NST

NPM. 158130089

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iv
RIWAYAT HIDUP	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Batasan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 BOILER (KETEL UAP)	3
2.2 Klasifikasi Ketel Uap	5
1. Berdasarkan isi tube/pipa.....	5
2. Berdasarkan posisi dapur pembakar	8
3. Berdasarkan sumbu shell/kulit.....	8
4. Berdasarkan jumlah pipa.	8
5. Berdasarkan metode sirkulasi air dan uap	9
6. Berdasarkan penggunaannya.....	9
7. Berdasarkan sumber panas.....	9
2.3 Bagian-bagian dalam Boiler	10
2.4 Faktor-faktor Ketel Yang Baik.....	11
2.5 Pemilihan Ketel Uap	12
2.6 Perpindahan panas pada Boiler	13
1. Perpindahan panas secara pancaran (<i>radiation</i>).....	13
2. Perpindahan panas secara aliran (<i>convection</i>).....	13
3. Perpindahan panas secara rambatan (<i>conduction</i>).....	14
2.7 Proses pemanasan Air	14
2.8 Economizer.....	20

2.9 Bagian-bagian pada Economizer	20
1. Soot blower	20
2. Ash handling	21
2.10 Economizer sebagai Instrument Pembantu dalam Boiler.....	22
2.11 Mekanisme Economizer	25
2.12 Pengoperasian Boiler.....	28
1. Prinsip Kerja Boiler	28
2. Suplai Energi.....	29
3. Energi Evaporasi.....	30
4. Efisiensi Boiler	30
5. Tekanan absolut uap	31
2.13 Perpindahan Kalor	31
1. Perpindahan kalor secara konduksi.....	32
2. Perpindahan kalor secara konveksi.....	33
3. Faktor yang mempengaruhi koefisien perpindahan panas konveksi.....	34
4. Memperkirakan koefisien perpindahan panas konveksi	36
5. Kombinasi konduksi dan konveksi.....	39
6. Perpindahan kalor secara radiasi.....	41
7. Radiasi panas	42
8. Radiasi yang diserap	43
9. Karakteristik aliran fluida	45
2.14. Alat penukar Kalor	47
1. Koefisien perpindahan kalor menyeluruh.....	48
2. Faktor penyerluhan	52
3. Jenis penukar kalor	53
4. Beda suhu rata-rata (LMTD).....	56
5. Metode NTU efektivitas	60
6. Pertimbangan rancangan penukar kalor.....	60
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	63
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	63
3.2. Alat dan bahan.....	63
3.3. Prosedur penelitian	64
3.4. Data Penelitian	65

Gambar Instalasi.....	67
Alur Penelitian.....	69
BAB IV ANALISA DATA.....	70
4.1Energi input boiler.....	70
4.2Energi penguapan.....	71
4.3Energi output boiler.....	73
4.4Melakukan optimasi pada system boiler.....	76
4.5Grafik hasil perhitungan.....	82
BAB IV PENUTUP.....	84
Kesimpulan.....	84
Saran.....	84
DAFTAR PUSTAKA.....	86



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 rentang nilai koefisien dari konveksi	<u>34</u>
Tabel 2.2 konveksi rumus perpindahan panas	<u>37</u>
Tabel 2.3 Nilai Koefisien perpindahan kalor menyeluruh	<u>50</u>
Tabel 2.4 Daftar pengotoran normal	<u>52</u>
Tabel 3.1 Waktu dan tempat penelitian.....	<u>63</u>
Tabel 3.2 Data penelitian pada boiler	<u>65</u>
Tabel 3.3 Data perancangan economizer	<u>65</u>



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bagian-bagian Boiler.....	<u>4</u>
Gambar 2.2 Fire Tube Boiler	<u>6</u>
Gambar 2.3 Water tube boiler.....	<u>7</u>
Gambar 2.4 Diagram Block Proses.....	<u>17</u>
Gambar 2.5 Kurva Steam Jenuh.....	<u>18</u>
Gambar 2.6 Economizer.....	<u>20</u>
Gambar 2.7 Soot blower	<u>21</u>
Gambar 2.8 Ash Handling System.....	<u>21</u>
Gambar 2.9 Mekanisme economizer.....	<u>22</u>
Gambar 2.10 Penampang Economizer.....	<u>24</u>
Gambar 2.11 Grafik penggunaan economizer	<u>27</u>
Gambar 2.12 Kombinasi konduksi dan konveksi perpindahan panas.....	<u>40</u>
Gambar 2.13 Perpindahan kalor menyeluruh bidang datar.....	<u>49</u>
Gambar 2.14 Penukar kalor pipa ganda	<u>49</u>
Gambar 2.15 Alat penukar kalor.....	<u>55</u>
Gambar 2.16 Penukar kalor arus silang	<u>55</u>
Gambar 2.17 Penukar kalor aliran silang.....	<u>56</u>
Gambar 2.18 Contoh profil suhu penukar kalor arus silang	<u>56</u>
Gambar 2.19 Profil suhu aliran sejajar dan aliran lawan arah	<u>57</u>
Gambar 3.1 Instalasi Boiler di Lab. Teknik Konversi Energi Politeknik	<u>67</u>
Gambar 3.2 Instalasi Economizer	<u>68</u>
Gambar 4.1 Grafik penghematan laju aliran bahan bakar.....	<u>82</u>
Gambar 4.2 Grafik perhitungan efisiensi boiler.....	<u>83</u>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Boiler adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas (*steam*) yang bersuhu sekitar 2500-3000⁰F. *Steam* pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses untuk membangkitkan energi. Volume *steam* akan meningkat sekitar 1600 kali dari volume air. *Steam* menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesiu yang mudah meledak. *Boiler* tersusun dari beberapa komponen seperti cerobong, *superheater*, *steam drum*, *economizer*, dan komponen penting lainnya. Salah satu komponen terpenting pada sistem *boiler* adalah *economizer* yang berperan membantu memanaskan *feedwater* yang akan digunakan dalam *boiler* (UNEP, 2004).

Untuk menaikkan efisiensi boiler maka digunakan sebuah alat yang bernama *economizer*. Fungsi *Economizer* pada Boiler adalah untuk memanaskan air pengisi Boiler dengan memanfaatkan panas dari gas sisa pembakaran di dalam Boiler. Dengan meningkatnya temperatur air pengisi Boiler maka Efisiensi Boiler juga akan meningkat. Gas sisa pembakaran bahan bakar di dalam Boiler masih mempunyai temperatur yang cukup tinggi. Dengan melewati gas sisa pembakaran melalui pipa-pipa *Economizer* maka akan terjadi transfer panas yang akan diserap oleh pipa-pipa *Economizer* dan panas tersebut diteruskan kedalam air pengisi Boiler yang terdapat di dalam pipa-pipa *Economizer*. (Kinsky R, 1989)

Atas dasar uraian diatas maka penulis tertarik untuk membahas lebih rinci mengenai “Analisa Perancangan Economizer Untuk Menaikan Efisiensi Boiler Pipa Api di Laboratorium Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Medan”.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun batasan masalah yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah bagaimana merancang economizer pada boiler dan sistem kerja economizer pada boiler agar pembaca mengerti tentang perancangan dan cara kerja economizer pada boiler serta dalam skripsi ini akan dibahas bagaimana pengaruh economizer untuk menaikkan efisiensi boiler.

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan masalah diatas maka tujuan skripsi ini adalah untuk mengetahui perhitungan kenaikan efisiensi pada boiler.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari skripsi ini adalah sebagai wahana pengetahuan dan pengalaman penulis di bidang Boiler dan Economizer dan sebagai masukan kepada pembaca yang akan membahas masalah yang sama dengan topik pembahasan penulis juga sebagai masukan terhadap industri yang menggunakan alat yang sama dengan pembahasan penulis.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. BOILER (KETEL UAP)

Menurut Djokosetyardj M.J (1990), boiler merupakan alat yang digunakan untuk menghasilkan uap/steam untuk berbagai keperluan. Jenis air dan uap air sangat dipengaruhi oleh tingkat efisiensi boiler itu sendiri. Pada mesin boiler, jenis air yang digunakan harus dilakukan demineralisasi terlebih dahulu untuk mensterilkan air yang digunakan, sehingga pengaplikasian untuk dijadikan uap air dapat dimaksimalkan dengan baik. Untuk mendapatkan efisiensi boiler yang lebih tinggi, digunakan komponen economizer untuk meningkatkan efisiensi dari uap air yang dihasilkan.

Air di dalam boiler dipanaskan oleh panas dari hasil pembakaran bahan bakar (sumber panas lainnya) sehingga terjadi perpindahan panas dari sumber panas tersebut ke air yang mengakibatkan air tersebut menjadi panas atau berubah wujud menjadi uap. Air yang lebih panas memiliki berat jenis yang lebih rendah dibanding dengan air yang lebih dingin, sehingga terjadi perubahan berat jenis air di dalam boiler. Air yang memiliki berat jenis yang lebih kecil akan naik, dan sebaliknya air yang memiliki berat jenis yang lebih tinggi akan turun ke dasar.

Uap air panas yang dihasilkan dari boiler sangat penting karena memiliki kemampuan seperti menyimpan dan membebaskan energi panas yang besar, pindah panas yang cepat, bersih, mudah disalurkan kemana saja, suhunya stabil sesuai tekanan, dan mudah diatur sehingga tidak over heating. Selanjutnya uap air yang

dihasilkan boiler ini dapat digunakan untuk berbagai keperluan dalam bidang industri seperti untuk pembangkit tenaga dengan cara mengalirkan uap panas sehingga menggerakkan turbin atau dapat juga digunakan untuk sterilisasi karena uap panas yang dihasilkan juga memiliki tekanan yang tinggi.

Boiler memiliki 3 sistem pengolahan yaitu terdiri dari: sistem air umpan, sistem steam dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan steam. Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan. Sistem steam mengumpulkan dan mengontrol produksi steam dalam boiler. Steam dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan steam diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem (Anonim, 2006).



Gambar 2.1 Bagian-bagian Boiler

2.2. Klasifikasi Ketel Uap

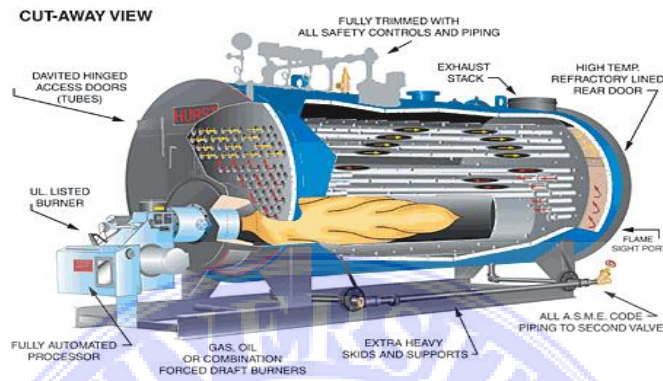
1. Berdasarkan isi tube/pipa

a. *Fire Tube Boiler*

Pada *fire tube boiler*, gas panas melewati pipa-pipa dan air umpan boiler ada didalam shell untuk dirubah menjadi steam. *Fire tube boiler* biasanya digunakan untuk kapasitas steam yang relative kecil dengan tekanan steam rendah sampai sedang. Sebagai pedoman, *fire tube boiler* kompetitif untuk kecepatan steam sampai 12.000 kg/jam dengan tekanan sampai 18 kg/cm². *Fire tube boiler* dapat menggunakan bahan bakar minyak bakar, gas atau bahan bakar padat dalam operasinya. Untuk alasan ekonomis, sebagian besar *fire tube boiler* dikonstruksi sebagai “paket” boiler (dirakit oleh pabrik) untuk semua bahan bakar.

Prinsip kerja dari boiler pipa api ini adalah gas panas dari hasil pembakaran dialirkan melalui sebuah pipa dimana disekeliling pipa terdapat air sehingga gas panas tersebut memanaskan air yang terdapat di dalam boiler secara konduksi panas sehingga terbentuk uap panas. Uap (steam) yang dihasilkan oleh boiler pipa air ini memiliki tekanan dan kapasitas yang rendah. Prinsip kerja dari boiler pipa air ini adalah air dilewatkan melalui pipa kemudian pipa tersebut dipanaskan dengan cara dibakar dengan api sehingga air berubah menjadi uap air. Uap yang

dihasilkan boiler pipa air ini memiliki tekanan dan kapasitas yang lebih tinggi. (Febriantara, 2008).



Gambar 2.2 *Fire tube boiler*

b. *Water Tube Boiler*

Pada *water tube boiler*, air umpan boiler mengalir melalui pipa-pipa masuk ke dalam drum. Air yang tersirkulasi dipanaskan oleh gas pembakar membentuk steam pada daerah uap dalam drum. Boiler ini dipilih jika kebutuhan *steam* dan tekanan steam sangat tinggi seperti pada kasus boiler untuk pembangkit tenaga. *Water tube boiler* yang sangat modern dirancang dengan kapasitas steam antara 4.500 – 12.000 kg/jam, dengan tekanan sangat tinggi. Banyak *water tube boiler* yang dikonstruksi secara paket jika digunakan bahan bakar minyak bakar dan gas. Untuk *water tube* yang menggunakan bahan bakar padat, tidak umum dirancang secara paket. Karakteristik *water tube boiler* sebagai berikut:

- *Forced, induced* dan *balanced draft* membantu untuk meningkatkan efisiensi pembakaran.

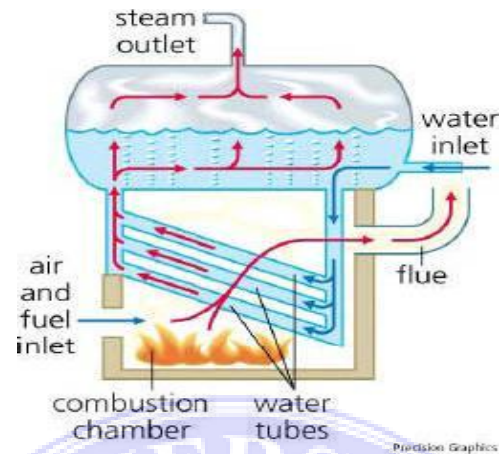
- Kurang toleran terhadap kualitas air yang dihasilkan dari plant pengolahan air.

- Memungkinkan untuk tingkat efisiensi panas yang lebih tinggi.

(Febriantara, 2008)

Adapun kelebihan penggunaan boiler pipa air yakni kapasitas steam yang besar sampai 450 THP, tekanan operasi mencapai 100 bar, nilai efisiensi yang relatif besar, dan perawatan yang lebih mudah karena tungku mudah dijangkau untuk melakukan pemeriksaan, pembersihan, dan perbaikan.. Sedangkan kekurangannya yakni proses konstruksi yang lebih detail, investasi awal relatif mahal karena harga boiler pipa air lebih mahal daripada boiler pipa api, lebih sulit dalam penanganan air yang masuk karena komponen pendukungnya yang sensitif, dan membutuhkan tempat yang lebih luas karena kemampuannya dalam menghasilkan kapasitas steam yang lebih besar.

(Djokosetyardjo, 1990)



Gambar 2.3 Water tube boiler

2. Berdasarkan posisi dapur pembakar.

a. Dibakar di dalam

Pada ketel uap dibakar di dalam, dapur diletakkan di dalam kulit boiler. Sebagian besar ketel pipa api mempunyai jenis ini.

b. Dibakar di luar

Pada ketel uap dibakar di luar, dapur disusun dibawah susunan bata. Ketel pipa air selalu dibakar di luar.

3. Berdasarkan sumbu shell/kulit.

a. Vertikal

Pada ketel uap vertikal, sumbu shell vertikal.

b. Horizontal

Sedangkan pada jenis horizontal, sumbu shellnya horizontal.

4. Berdasarkan jumlah pipa.

a. Pipa tunggal

Pada ketel uap pipa tunggal, hanya ada satu buah pipa api atau pipa air. Ketel vertikal sederhana dan ketel Cornish adalah jenis ketel pipa tunggal.

b. Pipa banyak

Pada ketel pipa banyak, ada dua atau lebih pipa api atau pipa air.

5. Berdasarkan metode sirkulasi air dan uap.

a. Sirkulasi alami

Pada ketel dengan sirkulasi alami, sirkulasi air adalah dengan arus konveksi alami/natural, dimana dihasilkan karena pemanasan air.

b. Sirkulasi paksa

Pada ketel uap dengan sirkulasi paksa, ada sirkulasi paksa pada air dengan memakai penggerak pompa. Penggunaan sirkulasi paksa dilakukan pada ketel seperti ketel La-Mont, ketel Benson.

6. Berdasarkan penggunaannya.

a. Stasioner

Ketel uap stasioner digunakan di pusat pembangkit tenaga, dan di industri proses. Ketel ini disebut stasioner karena ketel tidak berpindah dari satu ke tempat lainnya.

b. Mobil (bergerak)

Ketel uap mobil adalah ketel yang bergerak dari satu tempat ke tempat lainnya. Ketel jenis ini seperti ketel lokomotif dan ketel marine.

7. Berdasarkan sumber panas.

Sumber panas bisa berupa pembakaran bahan bakar padat, cair atau gas, gas sisa panas yang dihasilkan dari proses kimia, energi listrik atau energi nuklir.

2.3. Bagian-bagian dalam Boiler

Menurut Anonim (2011), boiler terdiri dari beberapa bagian yaitu *fumace*, *steam drum*, *superhetaer*, *air heater*, *economizer*, *safety valve*, *blowdown valve*.

- *Fumace*, merupakan tempat pembakaran bahan bakar. Adapun bagian-bagian dari *fumace* adalah *refractory*, ruang perapian, *burner*, *exhaust for flue gas*, *charge and discharge door*.

- *Steam Drum*, merupakan tempat penampungan air panas dan pembangkitan steam. Steam masih bersifat jenuh (*saturated steam*). Selain itu *steam drum* juga berfungsi untuk memisahkan uap dan air yang dipisahkan di ruang bakar (*fumace*), mengatur kualitas air boiler dengan membuang kotoran-kotoran terlarut di dalam boiler melalui *continuous blowdown*, mengatur permukaan air sehingga tidak terjadi kekurangan saat boiler beroperasi yang dapat menyebabkan overheating pada pipa boiler.

- *Steam drum* terdiri dari *feed pipe*, *chemical pipe*, *sampling pipe*, *baffle pipe*, *separator*, *scrubber*, *dryer*, dan *dry box*. Perlu diperhatikan agar level air di dalam drum tetap dijaga (agar tetap konstan) agar selalu setengah dari tinggi drum sehingga banyaknya air pengisi yang masuk ke *steam drum* harus sebanding dengan banyaknya uap yang meninggalkan drum.
- *Superheater*, merupakan tempat pengeringan steam dan siap dikirim melalui main steam pipe dan siap untuk menggerakkan turbin uap atau menjalankan proses industri.
- *Air Heater*, merupakan ruangan pemanas yang digunakan untuk memanaskan udara luar yang diserap untuk meminimalisasi udara yang lembab yang akan masuk ke dalam tungku pembakaran.
- *Economizer*, merupakan ruangan pemanas yang digunakan untuk memanaskan air dari air yang terkondensasi dari sistem sebelumnya maupun air umpan baru.
- *Safety Valve*, merupakan saluran buang steam jika terjadi keadaan dimana tekanan steam melebihi kemampuan boiler menahan tekanan steam.
- *Blowdown Valve*, merupakan saluran yang berfungsi membuang endapan yang berada di dalam pipa steam.

2.4. Faktor-faktor Ketel Yang Baik

Ketel yang baik harus memiliki beberapa faktor, yaitu :

1. Ketel harus dapat menghasilkan jumlah dan mutu uap secara maksimum pada pemakaian bahan bakar yang minimum. Artinya ketel tersebut dapat bekerja dengan efisiensi semaksimal mungkin.

2. Ketel harus dapat secara cepat menyesuaikan fluktuasi beban (naik turunnya beban).
3. Ketel harus dapat di start dalam waktu yang singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada bagian ketel tersebut, artinya sesuai dengan waktu telah ditetapkan dalam instruksi manual dari ketel tersebut.
4. Ketel harus ringan, sehingga tidak menyulitkan pada saat pemasangannya.
5. Ketel harus seringan mungkin sehingga dapat ditempatkan didalam ruangan yang kecil.
6. Sambungan-sambungannya harus sedikit mungkin dan dapat dijangkau pada saat dilakukan inspeksi.
7. Lumpur dan deposit-deposit lain mudah dikeluarkan dari dalam ketel dan tidak menggumpal pada plat-plat yang dipanasi.
8. Bahan refraktori harus dikurangi seminimum mungkin. Tetapi harus cukup untuk menjamin perpindahan panas secara radiasi.
9. Pipa harus tidak terakumulasi lumpur atau endapan dan tidak mudah rusak karena kena korosi.
10. Semua peralatan dan perlengkapan keselamatan kerja harus dapat bekerja dengan baik dan mudah di kontrol.
11. Kehilangan panas karena radiasi harus sekecil mungkin, oleh karenanya isolasi yang digunakan harus mempunyai daya hantar panas yang rendah.

2.5. Pemilihan Ketel Uap

Prinsip pokok untuk merencanakan atau memesan ketel ada lima parameter yang harus dipenuhi yaitu :

1. Efisiensinya tinggi yang di tunjukkan oleh transfer panas yang diperlukan dengan rugi-rugi minimum. Hal ini meliputi permukaan *heat transfer*, isolasi yang baik, *baffle* efektif dan lain-lain.
2. Power, beban dan tekanan kerja yang dikehendaki.
3. Posisi geografis dari pada *power house*.
4. Bahan bakar dan air yang dapat disediakan.
5. Dapat menghasilkan uap yang bersih.

2.6. Perpindahan Panas Pada Boiler

1. Perpindahan panas secara pancaran (*radiation*)

Perpindahan panas secara radiasi adalah perpindahan panas antara suatu benda ke benda yang lain dengan jalan melalui gelombang-gelombang elektromagnetik tanpa tergantung kepada ada atau tidak adanya media diantara benda yang menerima pancaran panas tersebut. Molekul-molekul api yang merupakan hasil pembakaran bahan bakar dan udara akan menyebabkan terjadinya gangguan keseimbangan elektromagnetis terhadap media yang disebut aether (materi bayangan tanpa bobot yang mengisi ruangan). Sebagian panas yang timbul dari hasil pembakaran tersebut diteruskan ke aether yang kemudian diteruskan kepada bidang yang akan dipanasi yaitu dinding atau pipa ketel.

2. Perpindahan panas secara aliran (*convection*)

Perpindahan panas secara konveksi adalah perpindahan panas yang dilakukan oleh molekul-molekul suatu fluida (cair maupun gas). Molekul-molekul fluida tersebut dalam gerakannya melayang-layang kesana kemari membawa sejumlah panas masing-masing (q) joule. Pada saat molekul fluida tersebut menyentuh dinding atau pipa ketel maka panasnya dibagikan sebagian kepada dinding atau pipa ketel, sedangkan sebagian lagi dibawa molekul pergi.

Gerakan-gerakan molekul yang melayang-layang tersebut disebabkan karena perbedaan temperatur di dalam fluida itu sendiri. Dalam gerakannya, molekul-molekul api tersebut tidak perlu melalui lintasan yang lurus untuk mencapai dinding bidang yang dipanasi.

3. Perpindahan panas secara rambatan (*conduction*)

Perpindahan panas secara konduksi adalah perpindahan panas dari suatu bagian benda padat ke bagian lain dari benda padat yang sama atau dari benda padat yang satu ke benda padat yang lain karena terjadinya persinggungan fisik (kontak fisik atau menempel) tanpa terjadinya perpindahan panas molekul-molekul dari benda padat itu sendiri. Di dalam dinding ketel, panas akan dirambatkan oleh molekul-molekul dinding ketel sebelah dalam yang berbatasan dengan api, menuju ke molekul-molekul dinding ketel sebelah luar yang berbatasan dengan air. Perambatan tersebut menempuh jarak terpendek (*Djokosetyardjo, 1993*).

2.7. Proses Pemanasan air

Boiler adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau steam. Air panas atau steam pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Jika air dididihkan sampai menjadi steam, volumenya akan meningkat sekitar 1.600 kali, menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesiu yang mudah meledak, sehingga boiler merupakan peralatan yang harus dikelola dan dijaga dengan sangat baik.

Sistem boiler terdiri dari : sistem air umpan, sistem steam dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan steam. Berbagai valve disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan. Sistem steam mengumpulkan dan mengontrol produksi steam dalam boiler. Steam dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan steam diatur menggunakan valve dan dipantau dengan alat pemantau tekanan.

Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem. Air yang disuplai ke boiler untuk dirubah menjadi steam disebut air umpan.

Dua sumber air umpan adalah: kondensat atau steam yang mengembun yang kembali dari proses dan air make up (air baku yang sudah diolah) yang harus

diumpankan dari luar ruang boiler dan plant proses. Untuk mendapatkan efisiensi boiler yang lebih tinggi, digunakan economizer untuk memanaskan awal air umpan menggunakan limbah panas pada gas buang.

Bahan baku yang digunakan untuk membuat steam adalah air bersih. Air dari RO yang telah diproses di alirkan menggunakan pompa ke deaerator tank hingga pada level yang sudah ditentukan. Pemanasan dalam deaerator adalah dengan menggunakan steam sisa yang berasal dari hasil pemutaran turbin. Dalam hal ini terdapat beberapa stage atau tahap sirkulasi steam untuk pemanasan awal deaerator.

Tahap 1

Steam sisa yang berasal dari steam yang memutar turbin langsung dikembalikan ke deaerator untuk memanaskan kembali air yang terdapat pada deaerator tank. Sisa steam ini langsung mengalir disebabkan perbedaan tekanan dan massa jenis air dan steam, karena perbedaan massa jenis itu lah steam cenderung menuju ke massa jenis yang lebih besar yaitu air. Sirkulasi pada stage ini terus menerus seperti itu.

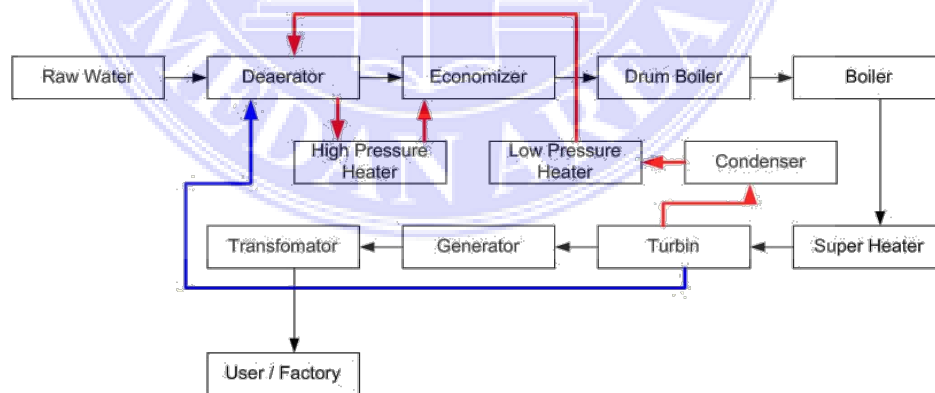
Tahap 2

Sisa steam hasil pemutar turbin jatuh ke condenser (proses pendinginan). Pada tahap ini pendinginan steam sisa dibantu oleh air laut. Setelah melalui proses pendinginan ini, steam

berubah menjadi air kembali kemudian di alirkan ke LPH (low pressure heater) untuk dipanaskan kembali. Setelah dari LPH air yang hampir panas tadi di alirkan lagi ke deaerator untuk pemanasan lanjut. Setelah dipanaskan di deaerator air panas tadi tidak langsung di alirkan ke economizer, tetapi air di alirkan terlebih

dahulu ke HPH (High Pressure Heater) untuk dipanaskan lebih dan setelah itu barulah dialirkan ke economizer. Bantuan beberapa heater pada stage 2 ini hanyalah suatu langkah pemeliharaan instrument dimana telah disetting sedemikian rupa untuk penjagaan. Selain itu juga bisa digunakan sebagai safety jika ada dari salah satu sistem dari stage-stage tadi mengalami kerusakan, selain itu tahap demi tahap ini memang tergantung dari jenis turbin yang digunakan.

Dari komponen lain diluar sistem pemanasan air terdapat Chemical Tank yang berfungsi sebagai tempat dibuatnya suatu larutan kimia untuk pemeliharaan pipa-pipa dan instrument-instrument yang lain. Setelah larutan kimia dibuat lalu dialirkan ke deaerator dan ke beberapa instrument lain seperti drum boiler untuk dicampurkan dengan air dan kemudian kembali kedalam proses pemanasan air. Gambar dibawah ini adalah gambar diagram proses pemanasan air menjadi steam hingga memutar turbin dan menghasilkan energi listrik.



Gambar 2.4 Diagram Block Proses

Keterangan gambar : - Line Hitam proses pemanasan air menjadi steam

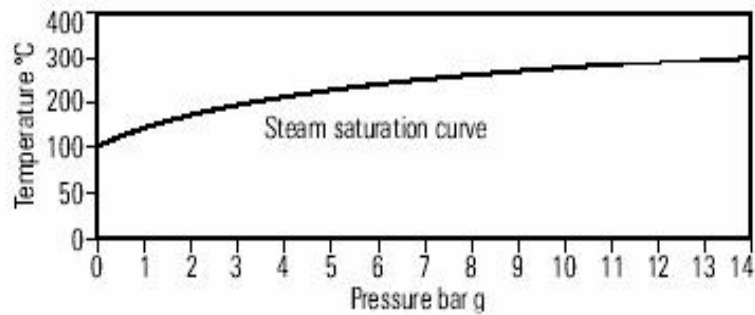
- Line Biru proses stage 1
- Line Merah proses stage 2

Dengan meningkatnya suhu dan air mendekati kondisi didihnya, beberapa molekul mendapatkan energi kinetik yang cukup untuk mencapai kecepatan yang membuatnya sewaktu-waktu lepas dari cairan ke ruang di atas permukaan, sebelum jatuh kembali ke cairan. Pemanasan lebih lanjut menyebabkan eksitasi lebih besar dan sejumlah molekul dengan energi cukup untuk meninggalkan cairan jadi meningkat.

Dengan mempertimbangkan struktur molekul cairan dan uap, masuk akal bahwa densitas steam lebih kecil dari air, sebab molekul steam terpisah jauh satu dengan yang lainnya. Ruang yang secara tiba-tiba terjadi di atas permukaan air menjadi terisi dengan molekul steam yang padat.

Jika jumlah molekul yang meninggalkan permukaan cairan lebih besar dari yang masuk kembali, maka air menguap dengan bebasnya. Pada titik ini air telah mencapai titik didihnya atau suhu jenuhnya, yang dijenuhkan oleh energi panas. Jika tekanannya tetap, penambahan lebih banyak panas tidak mengakibatkan kenaikan suhu lebih lanjut namun menyebabkan air membentuk steam jenuh. Suhu air mendidih dengan steam jenuh dalam sistem yang sama adalah sama, akan tetapi energi panas per satuan massanya lebih besar pada steam. Pada tekanan atmosfer suhu jenuhnya adalah 100°C . Tetapi, jika tekanannya bertambah, maka akan ada

Penambahan lebih banyak panas yang peningkatan suhu tanpa perubahan fase. Oleh karena itu, kenaikan tekanan secara efektif akan meningkatkan entalpi air dan suhu jenuh. Hubungan antara suhu jenuh dan tekanan dikenal sebagai kurva steam jenuh (Gambar 2.5).



Gambar 2.5 Kurva Steam Jenuh

Air dan steam dapat berada secara bersamaan pada berbagai tekanan pada kurva ini, keduanya akan berada pada suhu jenuh. Steam pada kondisi diatas kurva jenuh dikenal dengan superheated steam/steam lewat jenuh:

- Suhu diatas suhu jenuh disebut derajat steam lewat jenuh.
- Air pada kondisi dibawah kurva disebut air sub- jenuh.

Jika steam mengalir dari boiler pada kecepatan yang sama dengan yang dihasilkannya, penambahan panas lebih lanjut akan meningkatkan laju produksinya. Jika steam yang sama tertahan tidak meninggalkan boiler, dan jumlah panas yang masuk dijaga tetap, energi yang mengalir ke boiler akan lebih besar dari pada energi yang mengalir keluar. Energi berlebih ini akan menaikkan tekanan, yang pada gilirannya akan menyebabkan suhu jenuh meningkat, karena suhu steam jenuh berhubungan dengan tekanannya.

Dalam hal ini pembakaran air di dalam boiler adalah, air yang melalui economizer yang telah melalui pemanasan di dalamnya dialirkan ke drum boiler (penampungan steam) dan kemudian dibakar di dalam boiler untuk dipanaskan lebih lanjut hingga menjadi steam basah. Suhu di dalam boiler ini adalah sekitar 400°C -

459°C. Pembakaran menggunakan bahan bakar batu bara dan dibantu dengan udara untuk menjaga kestabilan pembakaran di dalam combustion sistem.

Sistem pengendalian pembakaran menghubungkan antara pengendalian input panas ke boiler dengan rasio udara/bahan bakar yang masuk ruang pembakaran. Sistem pengendalian ini harus dapat menjamin jumlah udara yang tersedia mencukupi untuk pembakaran sejumlah bahan bakar secara efisien tanpa menimbulkan smoke dan dengan minimum discharge particulate dari cerobong. Setelah proses di dalam boiler ini, aliran steam lalu dilanjutkan ke Superheater untuk menjadi kan steam kering, suhu steam saat itu sekitar 520°C – 600°C dan siap untuk memutar turbin.

2.8. Economizer

Fungsi Economizer pada Boiler adalah untuk memanaskan air pengisi Boiler dengan memanfaatkan panas dari gas sisa pembakaran di dalam Boiler. Dengan meningkatnya temperatur air pengisi Boiler maka Efisiensi Boiler juga akan meningkat. Gas sisa pembakaran bahan bakar di dalam Boiler masih mempunyai temperatur yang cukup tinggi. Dengan melewati gas sisa pembakaran melalui pipa-pipa Economizer maka akan terjadi transfer panas yang akan diserap oleh pipa-pipa Economizer dan panas tersebut diteruskan kedalam air pengisi Boiler yang terdapat di dalam pipa-pipa Economizer.

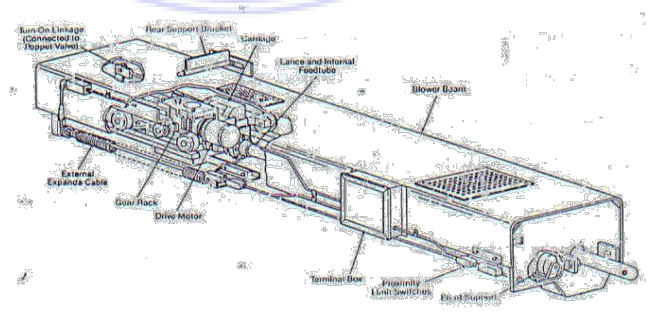


Gambar 2.6 Economizer

2.9. Bagian-bagian pada Economizer

1. Soot blower

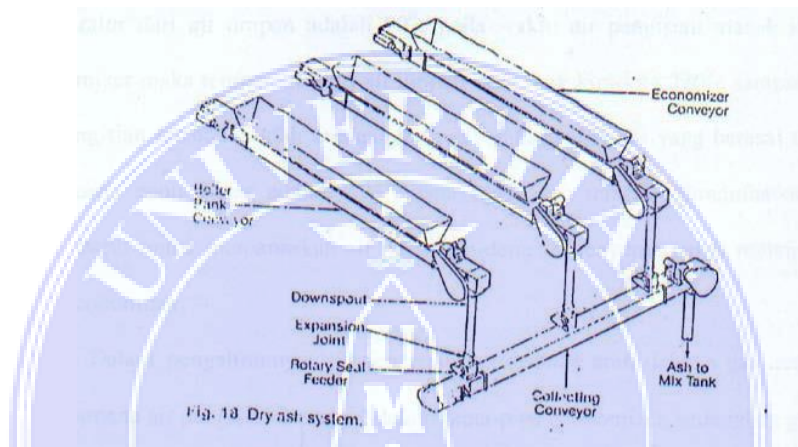
Soot blower yang terlihat pada gambar berikut ini adalah suatu peralatan mekanis yang digunakan untuk pembersihan bagian ketel seperti pada economizer dari endapan-endapan abu (*ash*) yang lengket pada pipa-pipa economizer. Soot blower mengarahkan alat pembersih melalui mulut pipa (*nozzle*) pada abu yang lengket pada pipa-pipa economizer. Soot blower juga mencegah penyumbatan gas asap yang lewat.



Gambar 2.7 Soot blower

2. Ash handling

Dalam membantu dan menjaga agar economizer tetap dalam kondisi baik, maka economizer dilengkapi dengan alat pembantu seperti ash handling seperti gambar III.6 berikut, yang berfungsi untuk menangkap abu yang telah dibersihkan oleh soot blower.

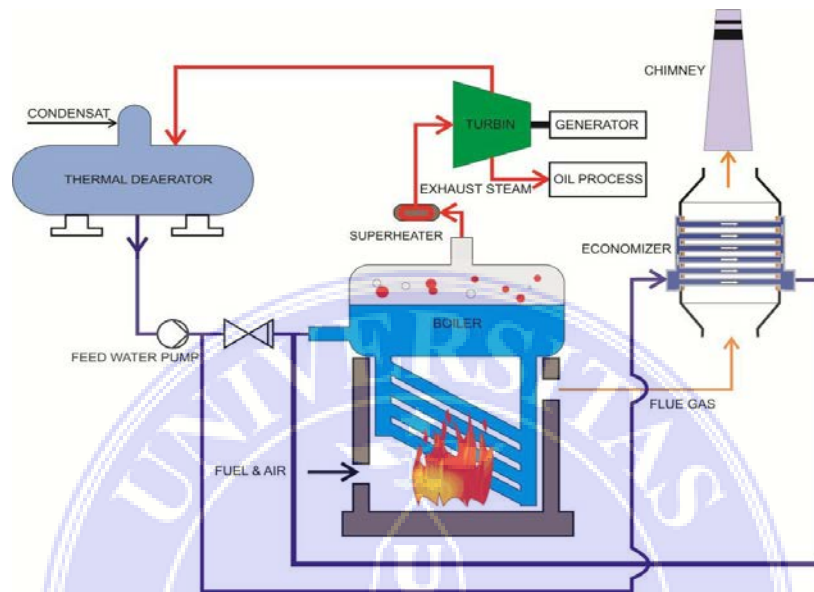


Gambar 2.8 Ash Handling Sistem

2.10. Economizer sebagai Instrument Pembantu dalam feed water treatment pada Boiler

Penggunaan deaerator dan economizer sebagai instrument pembantu dalam pemanasan air sebelum air dibakar di dalam boiler. Air yang didapat dari raw water yang telah ditreatment hingga sesuai dengan standar yang tentukan dialirkan ke deaerator dengan tujuan pemisahan gas-gas terlarut dalam air dan memisahkan mineral-mineral yang terdapat di dalam air guna menjaga seluruh pipa yang dilewati agar terhindar dari korosi. Selain itu juga, di dalam deaerator air tersebut tadi mengalami proses pemanasan awal yang dipanaskan oleh steam sisa yang berasal dari turbin. Fungsi dari deaerator telah dijelaskan pada bab sebelumnya yaitu sebagai

pemisah gas-gas terlarut dalam air dan memanaskan air umpan boiler sebelum dibakar di dalam boiler ditunjukkan oleh Gambar 2.9 di bawah ini.



Gambar 2.9 Mekanisme economizer

Economizer adalah alat pemindah panas berbentuk tubular yang digunakan untuk memanaskan air umpan boiler sebelum masuk ke steam drum. Istilah economizer diambil dari kegunaan alat tersebut, yaitu untuk menghemat (to economize) penggunaan bahan bakar dengan mengambil panas (recovery) gas buang sebelum dibuang ke atmosfer.

Biro Efisiensi Energi (2004) menyatakan bahwa sebuah economizer dapat dipakai untuk memanfaatkan panas gas buang untuk pemanasan awal air umpan boiler. Setiap penurunan 220°C suhu gas buang melalui economizer atau pemanas awal terdapat 1% penghematan bahan bakar dalam boiler. Setiap kenaikan 60°C suhu

air umpan melalui economizer atau kenaikan 200°C suhu udara pembakaran melalui pemanas awal udara, terdapat 1% penghematan bahan bakar dalam boiler.

Kinerja economizer ditentukan oleh fluida yang mempunyai koefisien perpindahan panas yang rendah yaitu gas. Kecepatan perpindahan panas dapat ditingkatkan dengan cara meningkatkan koefisien perpindahan panas total dengan cara mengatur susunan tubing/properti fin dan meningkatkan luas kontak perpindahan panas. Respon yang dihasilkan oleh economizer adalah efektifitas perpindahan panas dan biaya operasi.

Efektifitas perpindahan panas adalah besarnya energi yang dapat diambil dari total jumlah energi yang dapat diserap. Semakin besar efisiensi perpindahan panas pada economizer, maka panas gas sisa yang diambil akan semakin banyak. Semakin besar efektifitas perpindahan panas yang terjadi, maka alat tersebut semakin efisien.

Biaya operasi economizer ditentukan oleh tenaga fan dan tenaga pompa. Fan digunakan untuk mengalirkan udara pembakaran ke boiler melalui economizer. Semakin banyak loop dan semakin rumit susunan tubing pada economizer maka tenaga fan yang dibutuhkan semakin besar.

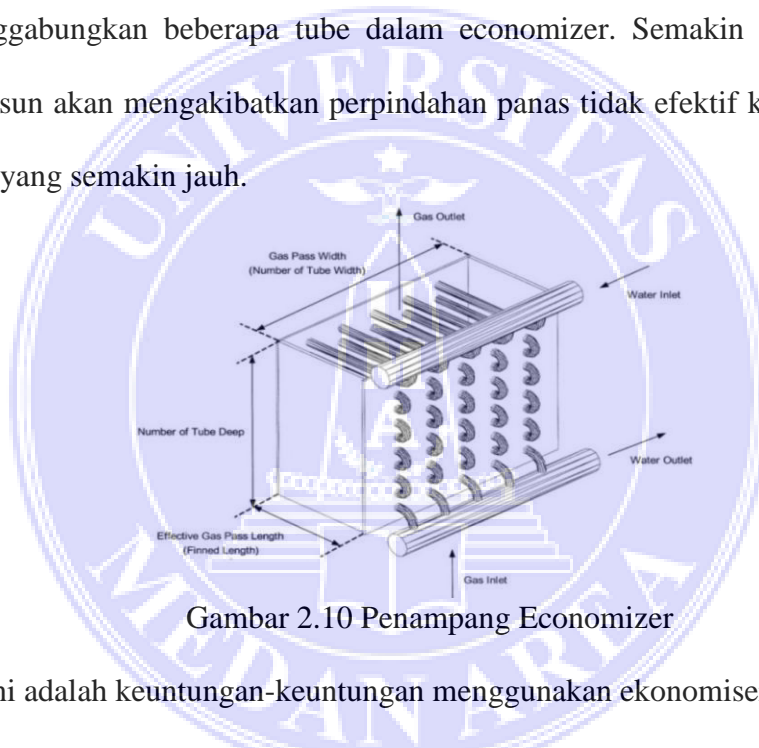
Pompa digunakan untuk mengalirkan air umpan boiler ke steam drum melalui economizer. Semakin panjang dan semakin banyak loop pada economizer, maka tenaga pompa yang dibutuhkan semakin besar.

Respon yang optimum diperoleh menggunakan perancangan faktor yang mempengaruhi kinerja economizer sebagai berikut:

- a. Diameter luar tubing, yaitu besarnya diameter tube yang digunakan dalam menyusun economizer. Semakin besar diameter tube akan mengakibatkan

efektifitas perpindahan panas semakin berkurang.

- b. Transversal spacing, yaitu menyatakan jarak antar tube sejajar ke arah lebar economizer. Semakin lebar jarak antar tube mengakibatkan proses induksi panas dalam economizer semakin berkurang, sehingga efektifitas perpindahan panas menurun.
- c. Kerapatan fin, yaitu banyaknya fin tiap inci yang dapat disusun untuk menggabungkan beberapa tube dalam economizer. Semakin banyak fin yang tersusun akan mengakibatkan perpindahan panas tidak efektif karena jarak antar tube yang semakin jauh.



Gambar 2.10 Penampang Economizer

Berikut ini adalah keuntungan-keuntungan menggunakan ekonomiser:

1. Ada penghematan batubara 15 sampai 20%.
2. Meningkatkan kapasitas menghasilkan uap karena memperpendek waktu yang diperlukan untuk merubah air ke uap.
3. Mencegah pembentukan kerak di dalam pipa air ketel, sebab kerak sekarang mengendap di pipa ekonomiser yang bisa dengan mudah dibersihkan.
4. Karena air umpan memasuki ketel panas, sehingga regangan karena ekspansi yang tidak sama bisa diminimasi.

2.11. Mekanisme Economizer

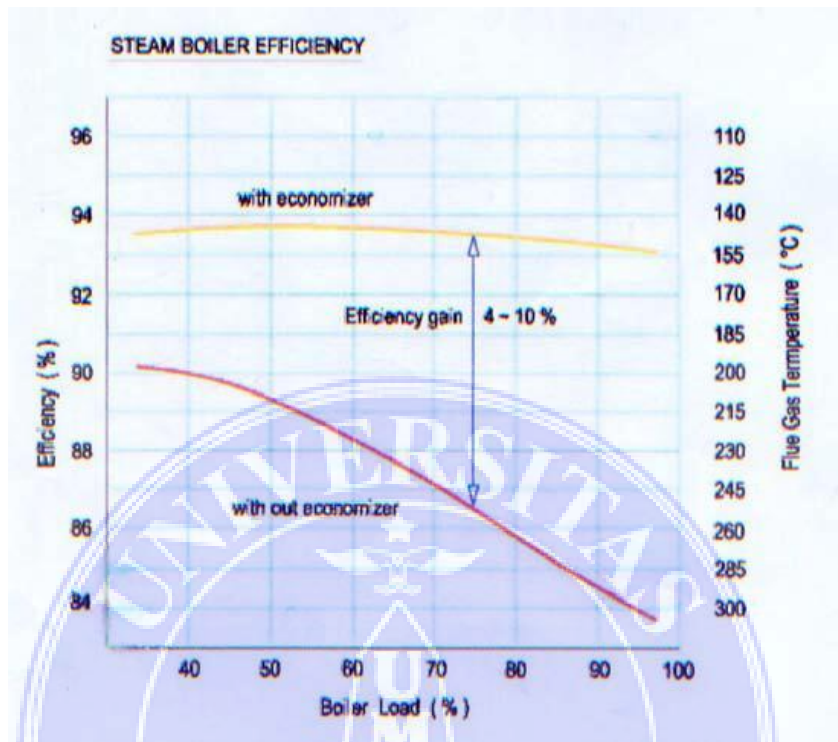
Kinerja *economizer* sangat sensitif terhadap faktor *noise* temperatur *feedwater*. Hal ini dikarenakan bila temperatur *feedwater* tidak baik maka akan mengakibatkan biaya operasi meningkat.

Di dalam deaerator ini air akan diapakan hingga suhu 100–105°C yang pada awalnya air bersuhu 30–50°C. setelah melalui proses pemanasan awal kemudian air dialirkan ke economizer untuk diapakan kembali hingga level 150–160°C dimana pemanasan di dalam economizer menggunakan gas buang dari pembakaran di dalam boiler atau chain grate sebelum gas itu dibuang melalui chimney atau cerobong. Setelah diapakan lanjut di dalam economizer, air dialirkan ke drum boiler sebelum air dibakar di dalam boiler guna penyimpanan. Kemudian air dibakar di dalam boiler hingga pada suhu 400–459°C, pada saat ini wujud air sudah berubah menjadi steam sepenuhnya. Tetapi pada level ini air belum bisa digunakan untuk memutar turbin, oleh sebab itu setelah pada level ini air yang berubah menjadi steam dialirkan ke superheater guna meningkatkan suhu steam itu sendiri hingga pada level 500–600°C. Steam pada level ini telah siap untuk memutar turbin dan memutar generator hingga menghasilkan listrik. Sisa steam yang memutar turbin tadi akan kembali dialirkan ke deaerator guna untuk pemanasan awal air di dalamnya, begitulah seterusnya siklus penggunaan deaerator dan economizer sebagai instrument pendukung dalam pemanasan air hingga menjadi steam. Kita ketahui fungsi deaerator adalah untuk membuang gas-gas yang terkandung dalam air umpan boiler, sesudah

melalui proses pemurnian air (water treatment). Selain itu deaerator juga berfungsi sebagai pemanas awal air pengisian boiler sebelum dimasukkan kedalam boiler.

Deaerator bekerja berdasarkan sifat dari oksigen yang kelutannya pada air akan berkurang dengan adanya kenaikan suhu. Jika air dari water treatment langsung dibakar di dalam boiler, maka akan menyebabkan korosi hebat karena air tersebut masih mengandung gas-gas yang dapat menyebabkan korosi dan sebagainya. Begitu juga, apabila air tersebut dibakar langsung di dalam boiler maka tidak menutup kemungkinan akan menggunakan bahan bakar yang tidak sedikit, disebabkan karena air yang berasal dari water treatment hanyalah bersuhu 30–50°C dan dibakar di dalam boiler dengan target suhu air menjadi steam sebesar 400°C keatas. Dari contoh kecil diatas terlihat jelas bahwa pemanasan awal air sangat berguna untuk penghematan bahan bakar.

Begitu juga dengan economizer, walau hanya perangkat tambahan, kegunaan alat ini bisa meng-efisiensikan proses kerja boiler. Dimana kita ketahui pembakaran air di dalam economizer ini hanya memanfaatkan gas buang dari hasil pembakaran di dalam boiler dengan tidak menambah bahan bakar untuk memanaskan air di dalamnya. Memang tidak hanya deaerator dan economizer saja yang merupakan heater pendukung, melainkan banyak heater-heater yang lain yang bisa juga digunakan di dalam suatu sistem industri yang membuat air menjadi steam.



Gambar 2.11 Grafik penggunaan economizer

Grafik diatas menunjukkan keuntungan dan kerugian menggunakan economizer sebagai pemanasan awal. Jelas terlihat tanpa menggunakan economizer maka efisiensi kerja boiler menurun, dalam artian tanpa pemanasan yang dibantu oleh economizer, boiler harus bekerja lebih lama dalam pembuatan steam dan selain itu boiler akan memerlukan bahan bakar yang lebih banyak untuk mencapai panas suhu steam yang telah ditentukan. Selain itu juga, apabila boiler tetap dipaksakan bekerja lebih maka akan lebih cepat merusak pipa-pipa di dalam boiler itu sendiri. Apabila telah terjadi seperti ini maka suatu pabrik akan mengalami kerugian yang sangat besar dalam operasional boiler karena pemakaian bahan bakar yang terlalu banyak dan ketahanan suatu alat akan cepat menurun dan harus mengganti peralatan tersebut.

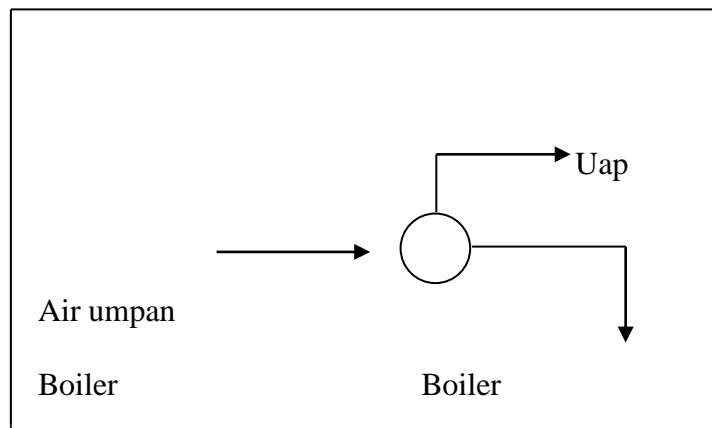
Namun apabila suatu boiler menggunakan economizer dan beberapa heater pemanas pembantu lainnya di dalam proses pemanasan air sebelum dibakar, maka akan lebih meningkatkan efisiensi dari kerja boiler itu sendiri, karena suhu air sebelum dibakar di dalam boiler sudah cukup tinggi, berarti pemanasan air menjadi steam di dalam boiler tidak memakan waktu lama dan tidak menggunakan bahan bakar yang banyak untuk mencapai standar suhu yang telah ditentukan, maka biaya operasional dapat lebih di efisienkan dan secara tidak langsung dapat menguntungkan bagi pabrik.

Selain itu maintenance atau perawatan dari peralatan atau pergantian peralatan dapat dilaksanakan lebih lama. Jelas terlihat bahwa dengan menggunakan boiler economizer dapat meningkatkan kapasitas boiler dan juga dapat mengefisienkan pembakaran air menjadi steam di dalam boiler hingga penghematan bahan bakar yang cukup jauh perbedaannya jika boiler tanpa economizer.

2.12. Pengoperasian Boiler

1. Prinsip Kerja Boiler

Dalam *boiler* air diubah menjadi uap. Panas diserap air di dalam boiler dan uap yang dihasilkan secara kontiniu. Air umpan boiler disedot ke boiler untuk menggantikan kehilangan air didalam boiler yang berubah menjadi uap.



Boiler Blow down Panas

Ketika uap meninggalkan air yang mendidih, padatan terlarut yang bersal dari umpan boiler tertinggal di air boiler. Padatan-padatan yang tertinggal menjadi bertambah kepekatannya, dan bahkan dapat mencapai kesuatu tingkat dimana pemekatan lebih lanjut bisa menyebabkan terbentuknya kerak atau deposit didalam boiler.

2. Suplai Energi

Suplai energi terhadap boiler diperoleh dari bahan bakar. Rancangan bahan bakar boiler jenis “Fired Steam Boiler Type Fulton 30 E” pada alat pengujian ini adalah solar. Kandungan energi (E) bahan bakar (KJ/kg) dapat diperoleh melalui percobaan “Bomb Calorimeter”, atau bisa dihitung dengan rumus Dulong jika bahan diketahui (hasil analisis lab).

Dalam pengujian ini, kandungan energi solar dapat diperoleh dari buku referensi Heat Engineering. Besarnya energi panas pembakaran adalah suplai panas terhadap boiler :

$$Q_s = m E$$

dimana :

\dot{m} = laju aliran massa bahan bakar (Kg/jam)

E = kandungan energi bahan bakar (KJ/Kg)

3. Energi Evaporasi

Energi untuk perubahan air pengisian (*feed water*) menjadi uap (*steam*) dalam proses evaporasi adalah besarnya kandungan entalpi uap kurang kandungan entalphi air pengisian

$$Q = \dot{m}_u (h_u - h_a)$$

dimana :

\dot{m}_u = laju aliran massa uap (Kg/jam)

h_u = entalphi uap (KJ/Kg)

h_a = entalphi air (KJ/Kg)

Dimana m_s adalah laju aliran massa uap dari boiler pada kondisi keadaan tunak/steady (*steady-state*) adalah juga sama dengan laju aliran massa air masuk ke boiler.

4. Efisiensi Boiler

Efisiensi boiler atau ketel uap adalah perbandingan antara energi evaporasi (penguapan) terhadap energi suplai bahan bakar, maka :

$$\eta_B = \frac{Q}{Q_s} = \frac{\dot{m}_u (h_u - h_a)}{\dot{m} E}$$

Besar efisiensi dari pengoperasian sebuah boiler modern dengan minyak atau gas adalah kira-kira 80%. Harga ini agak lebih rendah pada sebuah ketel pembakaran berbahan bakar padat.

5. Tekanan absolut uap

Tekanan absolut uap adalah tekanan pengukuran (gauge) ditambahkan tekanan atmosfer.

$$P_{abs} = P_{gauge} + P_{atm}$$

Dalam mengoperasikan boiler, setelah mendapatkan tekanan 2 bar. Maka, boiler di jaga pada tekanan tersebut selang beberapa waktu baru boiler boleh diaktifkan sampai tekanan yang telah diinginkan agar boiler tidak cepat rusak. (Kinsky R, 1989)

2.13. Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor atau alih bahang (heat transfer) ialah ilmu untuk meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material. Dari termodinamika telah kita ketahui bahwa energi yang pindah itu dinamakan kalor atau bahang atau panas (heat) . Ilmu perpindahan kalor tidak hanya mencoba menjelaskan bagaimana energi kalor itu berpindah dari satu benda ke benda lain, tetapi juga dapat meramalkan laju perpindahan yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Kenyataan bahwa disini yang menjadi sasaran analisis ialah masalah

laju perpindahan , inilah yang membedakan ilmu perpindahan kalor dari ilmu termodinamika. Termodinamika membahas sistem dalam keseimbangan ilmu ini dapat digunakan untuk meramalkan energi yang diperlukan untuk mengubah sistem dari suatu keadaan seimbang ke keadaan seimbang lain, tetapi tidak dapat meramalkan kecepatan perpindahan itu. Hal ini disebabkan karena pada waktu proses perpindahan itu berlangsung , sistem tidak berada dalam keadaan seimbang. Ilmu perpindahan kalor melengkapi hukum pertama dan kedua termodinamika , yaitu dengan memberikan beberapa kaidah percobaan yang dapat dimanfaatkan untuk menentukan perpindahan energi. Sebagaimana juga dalam ilmu termodinamika, kaidah-kaidah percobaan yang digunakan dalam masalah perpindahan kalor cukup sederhana, dan dapat dengan mudah dikembangkan sehingga mencakup berbagai ragam situasi praktis.

Sebagai contoh dari berbagai ragam masalah yang dapat dipecahkan dengan termodinamika dan perpindahan kalor , perhatikanlah peristiwa pendinginan yang berlangsung pada suatu batangan baja panas yang dicelupkan ke dalam air. Dengan termodinamika, kita dapat meramalkan suhu keseimbangan akhir dari sistem batangan baja dan air itu. Namun, termodinamika tidak akan dapat menunjukkan kepada kita berapa lama waktu diperlukan untuk mencapai keseimbangan itu atau berapa suhu batangan itu pada sesuatu saat sebelum tercapainya keseimbangan. Sebaliknya, ilmu perpindahan kalor dapat membantu kita meramalkan suhu batangan baja ataupun air itu sebagai fungsi waktu. (*Holman J. P, 1986*)

1. Perpindahan panas secara Konduksi

Konduksi adalah perpindahan panas dari satu bagian dari zat yang lain tanpa perpindahan permanen molekul. Misalnya, ketika salah satu ujung dari batang logam dipanaskan, panas akan berpindah sepanjang batang dengan konduksi. Perpindahan panas secara konduksi terjadi karena kekuatan ikatan molekul menyebabkan transfer energi dari molekul lebih energik untuk yang kurang energik dalam cara yang mirip dengan bagaimana seluruh tali dapat diatur ke dalam gerakan dengan bergetar salah satu ujung itu. Mekanisme yang sebenarnya perpindahan energi molekul, namun kompleks dan juga melibatkan tabrakan radiasi internal dan perpindahan elektron. Yang terakhir menjelaskan mengapa konduktor listrik yang baik juga konduktor panas sejak mobilitas transfer elektron diperlukan untuk keduanya. Bahan konduktor panas yang buruk dikenal sebagai isolator. Gas merupakan isolator karena jarak yang besar antara molekul (kekuatan ikatan molekul rendah). Berikut bahwa konduksi panas tidak dapat terjadi dalam kekosongan yang sempurna.

2. Perpindahan panas secara Konveksi

Konveksi hanya terjadi pada cairan karena pencampuran cairan: yaitu, ada yang terus-menerus, perpindahan molekul. Molekul yang lebih energik mengungsi jauh dari sumber panas dan digantikan oleh molekul kurang energik, yang pada gilirannya energi (dipanaskan) dan pengungsi satu lagi. Karena dalam peningkatan suhu menyebabkan ekspansi dan karena penurunan densitas, perpindahan molekul terjadi secara alami. misalnya, perpindahan

panas ke air yang terkandung dalam panci di atas kompor listrik karena konveksi alami atau lepas.

Dalam rangka meningkatkan laju perpindahan panas secara konveksi, gerakan molekul dapat dibantu dengan memompa atau mengaduk. Ini dikenal sebagai konveksi paksa. Contohnya adalah kipas dan pompa air yang digunakan dalam kendaraan bermotor.

perpindahan panas secara konveksi pada dasarnya adalah efek permukaan, yang dinyatakan dengan rumus pertama kali diusulkan oleh Newton:

$$\dot{Q} = hA(T_2 - T_1)$$

Dimana:

\dot{Q} = laju aliran panas dari permukaan secara konveksi

T_2 = suhu permukaan yang panas

T_1 = temperatur aliran fluida

A = luas permukaan terkena cairan

h = koefisien film konveksi atau koefisien perpindahan panas konveksi, (W / m²K)

Tabel 2.1 rentang nilai koefisien dari konveksi

Kondisi	H (kW/m ² K)
Konveksi bebas-udara	0.005-0.035
konveksi paksa – udara	0.030-0.85
Konveksi bebas - air	0.17-1.15
konveksi paksa – air	0.6-22
air mendidih	6-85

kondensasi uap	60-170
----------------	--------

(Kinsky R, 1989)

3. Faktor-faktor yang mempengaruhi koefisien perpindahan panas konveksi

Faktor-faktor yang mempengaruhi perpindahan panas koefisien dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama:

- a. sifat fluida
- b. karakteristik aliran fluida

sifat fluida

sifat fluida yang mempengaruhi koefisien perpindahan panas adalah sebagai berikut:

- a. konduktivitas termal k (W / mK)
- b. density ρ (kg / m³)
- c. viskositas dinamis μ (Pas)
- d. kapasitas panas spesifik (pada tekanan konstan) c_p (J/kgK)
- e. koefisien ekspansi kubik β (K^{-1})

nilai pada sifat ini untuk :

- a. fase cairan.
- b. suhu.
- c. tekanan (sampai batas yang jauh lebih rendah).

nilai-nilai dari properti yang paling mudah diperoleh dari tabel properti. sifat konduktivitas termal, kerapatan dan kapasitas panas spesifik dapat dikelompokkan dalam dimensi dari monev nomor Prandtl (Pr), yang juga sering di tabel properti dan didefinisikan sebagai berikut:

$$Pr = \frac{\mu c_p}{k}$$

Catatan:

a. untuk gas saja, nilai β dapat diperoleh dengan akurasi yang cukup dari

$$\beta = \frac{1}{T}$$

di mana T = temperatur absolut

b. kadang-kadang, viskositas kinematik digunakan sebagai pengganti viskositas dinamis, dan didefinisikan oleh $\nu = \mu/\rho$

4. Memperkirakan koefisien perpindahan panas konveksi

Karena sejumlah besar variabel yang mempengaruhi koefisien perpindahan panas, jumlah formula yang diperlukan akan sangat besar, kecuali variabel dikelompokkan sehingga untuk menghemat kesamaan. ini dapat dicapai dengan teknik yang dikenal sebagai analisis dimensi, di mana variabel yang relevan dibentuk menjadi kelompok berdimensi. hubungan antara kelompok kemudian dapat ditentukan secara eksperimental dua dari kelompok berdimensi penting telah didefinisikan:

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k}$$
$$Re = \frac{vl\rho}{\mu} = \frac{vl}{\nu}$$

kelompok lain yang penting dalam perpindahan panas adalah:

$$Nu = \frac{hl}{k}$$

$$Gr = \frac{g\beta\Delta T l^3}{\nu^2}$$

dimana:

l = panjang yang signifikan (m): untuk tabung atau pipa, ini adalah diameter:

untuk pelat datar, panjang dalam arah aliran

u = kecepatan fluida (m / s)

ρ = density (kg/m³)

μ = viskositas dinamis (Pas)

ν = viskositas kinematik = μ/ρ ($\frac{m^2}{s}$)

k = konduktivitas termal (W/mK)

c_p = spesifik panas pada tekanan constant (J/KgK)

h = koefisien perpindahan panas konveksi (W/m^2K)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

ΔT = suhu perbedaan antara permukaan dan aliran bebas (Kor °C)

β = koefisien ekspansi kubik (K^{-1})

rumus mengungkapkan hubungan antara berbagai kelompok berdimensi

secara umum dapat ditulis dalam salah satu bentuk berikut:

$$Nu = A Re^a Pe^b \text{ (Untuk konveksi paksa)}$$

$$Nu = B(Gr Pr)^c \text{ (Untuk konveksi bebas)}$$

di mana A, B, a, b dan c adalah konstanta untuk jenis tertentu aliran.

Catatan: jumlah Grashof kadang-kadang dikombinasikan dengan jumlah Prandtl dan menelepon nomor Rayleigh ditetapkan oleh $Ra = Pr Gr$ formula khas an f daerah mereka validitas tercantum dalam tabel 2.2

Tabel 2.2 konveksi rumus perpindahan panas :

Jenis aliran	Rumus	Kebenaran
konveksi paksa		
1. pemanasan cairan dalam aliran turbulen dalam tabung melingkar	$Nu = 0,023Re^{0,8}Pr^{0,4}$	Re > 2300
2. pendinginan cairan di aliran turbulen dalam tabung melingkar	$Nu = 0,023Re^{0,8}Pr^{0,33}$	Re > 2300
3. pemanasan atau pendinginan cairan dalam aliran laminar di dalam saluran melingkar	$Nu = 0,664 Re^{0,5} Pr^{0,3} \left(\frac{d}{l}\right)^{0,5}$	Re < 2300
untuk tabung non melingkar, Rumus 1,2,3 dapat diterapkan jika setara diameter $de = \frac{4A}{p}$ digunakan, di mana A = a luas penampang dan p garis pinggir watt.		
4. pemanasan atau pendinginan cairan dalam aliran turbulen bersama pelat	$Nu = 0,036Re^{0,8}Pr^{0,33}$	Re > 500.000
5. pemanasan atau pendinginan cairan dalam aliran laminar bersama pelat	$Nu = 0,664Re^{0,5}Pr^{0,33}$	Re < 500.000
6. pemanasan atau pendinginan cairan dalam aliran laminar bersama pelat	$Nu = 0,38Re^{0,56}Pr^{0,33}$	Re > 100 (panjang signifikan)

<p>pendinginan cairan di lintas aliran atas di luar tabung konveksi bebas</p>		adalah diameter)
<p>Konveksi paksa</p> <p>7. pemanasan atau pendinginan cairan di luar pelat vertikal atau silinder</p> <p>8. dipanaskan horisontal pelat persegi menghadap ke atas, atau didinginkan horisontal pelat persegi menghadap ke bawah. pelat melingkar, rumus 8 dapat digunakan dengan</p> <p>9. pemanasan atau pendinginan cairan di luar tabung horizontal atau batang.</p>	<p>$Nu = 0,555(Gr Pr)^{0,33}$</p> <p>$Nu = 0,021(Gr Pr)^{0,4}$</p> <p>$Nu = 0,554(Gr Pr)^{0,25}$</p> <p>$Nu = 0,14(Gr Pr)^{0,33}$</p> <p>$Nu = 0,53(Gr Pr)^{0,25}$</p>	<p>$Gr < 10^9$</p> <p>$Gr < 10^9$</p> <p>$10^9 < Gr < 2-7 \times 10^7$</p> <p>$2-7 \times 10^7 < Gr < 3 \times 10^{10}$</p> <p>$10^9 < Gr < 10^9$ (Tidak berlaku untuk dipanaskan, kawat, panjang signifikan adalah diameter)</p>

(Kinsky R, 1989)

Catatan: rumus 1 sampai 9 tidak berlaku untuk :

a. logam cair

b. situasi di mana sejumlah besar kondensasi atau penguapan yang terjadi

untuk aplikasi ini, buku pegangan perpindahan panas yang tepat harus dikonsultasikan

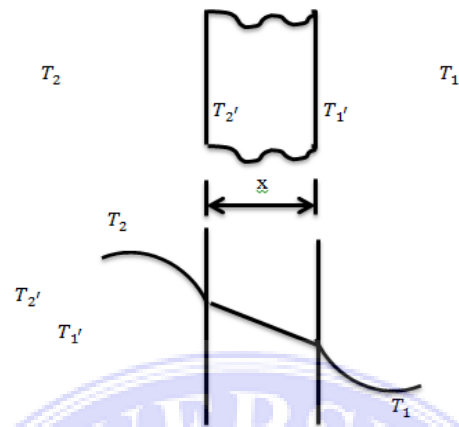
5. Kombinasi konduksi dan konveksi

Sejauh ini, konduksi dan konveksi telah diperlakukan secara terpisah, tetapi dalam prakteknya, mode ini sering terjadi bersama-sama. misalnya, ketika air panas mengalir dalam pipa ada konveksi dari air ke permukaan pipa, konduksi melalui dinding pipa dan konveksi dari permukaan luar pipa ke udara sekitar. ini adalah contoh lain dari aliran seri panas. laju aliran panas adalah sama melalui semua bahan dalam seri. Oleh karena itu, dalam kasus pipa air panas, laju aliran panas dari air ke permukaan pipa adalah sama dengan laju aliran panas melalui pipa, dan juga sama dengan laju aliran panas dari permukaan luar pipa ke udara . maka konduksi perpindahan panas formula atau konveksi perpindahan panas rumus (di dalam atau di luar) dapat digunakan untuk menentukan laju aliran panas jika suhu permukaan dikenal. Namun, suhu permukaan biasanya tidak diketahui, bukannya bebas temperatur fluida aliran diketahui, suhu cairan jauh dari pengaruh perpindahan panas.

Untuk konveksi paksa, profil suhu curam dan suhu aliran bebas terjadi lebih dekat tapi permukaan daripada yang terjadi dengan konveksi alami di mana perubahan suhu lebih bertahap. jika suhu permukaan tidak diketahui, laju aliran panas dapat ditentukan sebagai berikut:

pertimbangkan pelat datar dengan cairan di kedua sisi seperti pada gambar 5.12 dalam kasus ini, T_2 dan T_1 yang dikenal bebas suhu aliran dan T_2 dan T_1 adalah suhu permukaan tidak diketahui.

$$\dot{Q} = h_i A (T_2 - T_{2'})$$



Gambar 2.12 Kombinasi konduksi dan konveksi perpindahan panas.

$$T_2 - T_{2'} = \frac{\dot{Q}}{h_i A}$$

di mana h adalah koefisien Film batin.

konduksi

$$Q = \frac{kA(T_{2'} - T_{1'})}{x}$$

$$T_{2'} - T_{1'} = \frac{\dot{Q}x}{kA}$$

konveksi (luar)

$$\dot{Q} = h_o A (T_{1'} - T_1)$$

$$T_{1'} - T_1 = \frac{\dot{Q}}{h_o A}$$

di mana h_o adalah koefisien luar,

menambahkan tiga persamaan ini:

$$T_2 - T_1 = \frac{\dot{Q}}{A} \left(\frac{1}{h_i} + \frac{x}{k} + \frac{1}{h_o} \right)$$

$$\text{Atau } \dot{Q} = UA(T_2 - T_1)$$

Dimana

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{x}{k} + \frac{1}{h_o}$$

jika dinding terdiri dari bahan komposit:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \sum \frac{x}{k} + \frac{1}{h_o}$$

menggabungkan konduksi dan konveksi dengan dinding komposit.

Catatan:

- a. dalam praktek sejak h dan k adalah tergantung suhu, iterayions berturut-turut mungkin diperlukan untuk meningkatkan akurasi
- b. persamaan diatas dapat juga digunakan untuk pipa dinding tipis. dalam kasus seperti, h mungkin didasarkan pada daerah di luar permukaan, luas permukaan rata atau kadang-kadang di dalam area permukaan
- c. jika dikombinasikan konduksi dan konveksi terjadi dengan pipa dinding tebal, metode percobaan berturut biasanya diadopsi.

6. Perpindahan panas secara Radiasi

Semua materi (pada suhu di atas nol mutlak) memancarkan radiasi elektromagnetik. Semakin tinggi suhu, semakin besar jumlah energi yang dipancarkan. jika dua bahan pada suhu yang berbeda berada sehingga energi yang dipancarkan dari masing-masing dicegat oleh yang lain (dan sebaliknya), akan ada transfer energi dari bahan lebih energik (suhu tinggi) untuk kurang

energik (yang lebih rendah suhu) material. Oleh karena itu, radiasi panas adalah transfer panas dari sumber ke penerima tanpa pemanasan media intervensi atau tanpa keberadaan media material.

Energi radiasi perjalanan di garis lurus dan dapat tercermin. itu tidak diperlukan media untuk perpindahan dan, pada kenyataannya, perpindahan tanpa kehilangan dalam ruang hampa. Ini merupakan perbedaan penting antara perpindahan panas radiasi dan dua bentuk lain dari perpindahan panas yang memerlukan suatu zat. (*Kinsky R, 1989*)

7. Radiasi panas

Semua bahan pada suhu di atas nol mutlak memancarkan energi radiasi. energi yang dipancarkan meningkat pesat dengan suhu memang sebanding dengan kekuatan keempat. Suhu mutlak ini ditemukan oleh Stefan dan diverifikasi oleh Boltzmann dan dikenal sebagai hukum Stefan Boltzmann dari radiasi yang dapat ditulis :

$$Q = \epsilon \sigma AT^4$$

dimana

\dot{Q} = energi yang dipancarkan dari permukaan

A = luas permukaan tubuh

T = suhu mutlak dari tubuh

σ = Konstanta Stefan-Boltzmann ($56.7 \times 10^{-9} \text{W/m}^2 \text{K}^4$)

ϵ = emisivitas (berdimensi)

Emisivitas dalam transfer radiasi panas adalah konsep agak mirip dengan konduktivitas termal di perpindahan panas konduksi dan merupakan faktor yang menyumbang untuk jumlah yang berbeda dari energi radiasi yang dipancarkan (atau diserap) oleh bahan yang berbeda. memiliki nilai yang terletak antara 0 dan 1. jika emisivitas adalah 1, bahan yang memancar jumlah maksimum yang mungkin energi (pada suhu tertentu). Dalam kasus tersebut, tubuh hitam Istilah ini sering digunakan karena permukaan finish matt hitam pendekatan ini erat. emisivitas bahan padat tergantung pada sejumlah faktor permukaan seperti warna, tekstur dan kekasaran (permukaan akhir). seperti banyak sifat termodinamika lainnya, emisivitas bahan nyata juga bervariasi dengan suhu. Namun dalam banyak kasus, emisivitas tetap mendekati konstan selama rentang suhu terbatas. tubuh abu-abu Istilah yang digunakan ketika emisivitas kurang dari 1 tetapi adalah sama untuk semua panjang gelombang tubuh abu-abu atau tubuh hitam akan diasumsikan untuk semua masalah dalam buku ini dan nilai-nilai rata-rata untuk emisivitas tercantum dalam lampiran 6 akan digunakan. (*Kinsky R, 1989*)

8. Radiasi yang diserap

Ketika panas dipancarkan dicegat oleh material, salah satu dari tiga hal mungkin terjadi:

- a. beberapa energi radiasi dapat diserap dan karena itu menyebabkan peningkatan energi internal (dan suhu) material. fraksi diserap dikenal sebagai absorptivitas

- b. beberapa energi radiasi dapat tercermin dari permukaan material. fraksi tercermin dikenal sebagai pemantulan. seperti yang diharapkan, permukaan lebih halus dan mengkilap adalah lebih tinggi reflektifitas tersebut. ability bahan untuk mencerminkan energi radiasi (di bagian terlihat spektrum) memang beruntung bagi umat manusia jika hanya objek yang terlihat akan menjadi orang yang dipancarkan cahaya sendiri
- c. akhirnya, beberapa energi radiasi dapat tidak diserap atau dipantulkan tapi ditransmisikan melalui materi. yang keterusan cairan sering tinggi, tetapi lebih padat memiliki (atau nol) keterusan sangat rendah. bahan yang memiliki keterusan tinggi dalam spektrum terlihat dikenal sebagai transparan atau tembus.

Karena hukum kekekalan energi, maka bahwa matahari dari energi diserap, dipantulkan dan dipancarkan pada setiap saat dalam sistem harus sama dengan energi radiasi total yang diterima oleh sistem itu. itu juga mengikuti bahwa jika sistem dalam kesetimbangan termal dan menerima atau memancarkan hanya energi radiasi, maka energi radiasi yang dipancarkan harus sama dengan energi radiasi yang diserap, maka pada temperatur tertentu, absorptivitas yang sama emisivitas - sebuah pernyataan yang juga dikenal sebagai hukum Kirchoff. (*Kinsky R, 1989*)

9. Karakteristik aliran fluida

Karakteristik aliran fluida yang terpenting dalam menentukan koefisien perpindahan panas adalah sebagai berikut:

- a. Konveksi alami atau dipaksa. jika konveksi dipaksa, kecepatan aliran juga harus diketahui untuk menentukan koefisien perpindahan panas.
- b. Geometri aliran. ada banyak jenis aliran geometri yang mempengaruhi koefisien perpindahan panas. misalnya, aliran mungkin sejajar dengan, tegak lurus, atau di beberapa sudut menengah untuk, permukaan, yang mungkin datar, melengkung, silinder dan sebagainya. penting khusus adalah mengalir di dalam atau di luar tabung atau pipa, karena ini begitu sering dijumpai dalam rekayasa.
- c. Rezim aliran. rezim aliran dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok:
 - i. aliran laminar (juga disebut aliran viskos atau merampingkan aliran)
 - ii. aliran turbulane
 - iii. aliran transisi

Terjadinya berbagai rezim aliran diselidiki oleh Osborne Reynolds dalam serangkaian terkenal percobaan. Reynolds menemukan bahwa variabel yang mempengaruhi rezim aliran dapat dikelompokkan dalam bentuk berdimensi, selanjutnya disebut nomor Reynolds (Re) didefinisikan oleh:

$$Re = \frac{vl\rho}{\mu} = \frac{vl}{\nu}$$

dimana: ν = kecepatan (m/s)

l = panjang yang signifikan (m)

ρ = density (kg/m^3)

μ = viskositas dinamis (Pas)

ν = viskositas kinematik (m^2/s)

Untuk arus dalam pipa, panjang signifikan adalah diameter, untuk aliran di pelat, panjang signifikan adalah panjang pelat dalam arah aliran fluida.

Pentingnya rezim aliran pada perpindahan panas adalah bahwa semakin besar turbulensi, semakin besar koefisien perpindahan panas. jika konveksi dipaksa, aliran akan hampir selalu bergolak. komplikasi sini adalah bahwa masih akan ada sebuah laminar dan transisi rezim aliran di pintu masuk ke pipa atau di sepanjang tepi terkemuka pelat. ini akan menjadi penting dan bahu diperhitungkan pada pipa pendek atau pelat, tapi akan membuat sedikit perbedaan untuk transfer panas pada panjang lagi. nilai berikut yang sering dikutip:

- i. untuk pipa dan tabung, $Re > 2300$ berarti yang mengikuti akan menjadi bergolak dalam satu panjang diameter dari pintu masuk
- ii. untuk pelat, $Re > 5 \times 10$ merupakan awal dari turbulance penuh dari tepi terkemuka. angka-angka ini hanya panduan, karena turbulance dapat disebabkan oleh getaran atau pengadukan, dan aliran laminar dapat bertahan di luar nilai-nilai ini dari Re jika kondisinya khususnya diam.

(Kinsky R, 1989)

2.14. Alat Penukar Kalor

Penerapan prinsip-prinsip perpindahan kalor untuk merancang (design) alat-alat guna mencapai sesuatu tujuan teknik sangatlah penting karena dalam menerapkan prinsip ke dalam rancanganlah orang bekerja ke arah pencapaian tujuan untuk mengembangkan barang hasil yang memberikan manfaat ekonomi. Akhirnya ekonomi pulalah yang memegang peranan penting dalam perancangan dan pemilihan alat-alat penukar kalor, dan para ahli teknik tidak boleh melupakan ini setiap kali berhadapan dengan soal-soal baru dalam perancangan alat penukar kalor. Berat dan ukuran alat penukar kalor yang digunakan dalam penerapan dibidang penerbangan dan antariksa merupakan parameter yang sangat penting dan dalam hal ini pertimbangan biaya mungkin dikesampingkan, khususnya biaya bahan dan biaya konstruksi penukar kalor. Tetapi, berat dan ukuran adalah faktor biaya yang penting dalam setiap penerapan dibidang ini, dan karena itu dapat dianggap sebagai variabel ekonomi pula.

Setiap penerapan tertentu akan menentukan kaidah yang harus dipatuhi untuk mendapatkan rancangan yang terbaik yang sesuai dengan pertimbangan ekonomi, ukuran berat dan sebagainya. Analisis tentang faktor-faktor ini adalah diluar lingkup pembahasan kita, namun perlu diingat bahwa semuanya menjadi pertimbangan pertimbangan dalam praktek. Pembahasan kita tentang penukar kalor akan berbentuk analisis teknik, dimana metode untuk meramalkan daya guna (performance) penukar kalor akan dijelaskan, disertai pembahasan tentang metode-metode yang dapat digunakan untuk menaksir ukuran dan jenis penukar kalor yang diperlukan untuk melakukan sesuatu tugas tertentu. Dalam hal ini, pembahasan akan kita batasi pada

alat-alat penukar kalor yang terutama menggunakan ragam perpindahan kalor konduksi (hantaran) dan konveksi (ilian). Hal ini bukanlah berarti bahwa radiasi (sinaran) tidak penting dalam rancang penukar kalor, karena dalam berbagai penerapan di angkasa luar, ragam itulah yang merupakan cara yang paling tersedia untuk melakukan perpindahan kalor. Para pembaca dipersilahkan mempelajari pembahasan oleh Siegel dan Howell [1] dan Sparrow dan Cess [7] untuk penjelasan yang terinci tentang rancang penukar kalor radiasi. (Holman J. P, 1986)

1. Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh

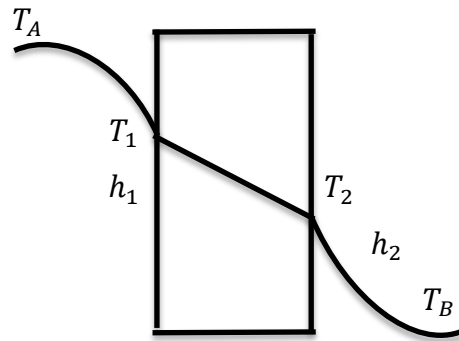
Dalam bagian 2-4 telah kita bahas koefisien perpindahan kalor menyeluruh (overall heat transfer coefficient) di mana perpindahan kalor melalui dinding bidang datar seperti pada Gambar 2.13 dinyatakan sebagai

$$q = \frac{T_A - T_B}{\frac{1}{h_1 A} + \frac{\Delta x}{kA} + \frac{1}{h_2 A}}$$

Dimana T_A dan T_B masing-masing ialah suhu fluida pada kedua sisi dinding itu. Koefisien perpindahan kalor menyeluruh U didefinisikan oleh hubungan.

$$q = UA \Delta T_{\text{menyeluruh}}$$

Dari sudut pandangan penukar kalor, dinding bidang datar jarang ada penerapannya kasus yang lebih penting untuk mendapat perhatian ialah penukar kalor pipa ganda seperti pada gambar 2.14. Dalam penerapan ini salah satu fluida mengalir di dalam tabung yang lebih kecil, sedang fluida yang satu lagi mengalir di dalam ruang anulus diantara kedua tabung.



Gambar 2.13 Perpindahan Kalor menyeluruh melalui dinding bidang datar



Gambar 2.14 Penukar kalor pipa ganda

Koefisien konveksi dihitung dengan metode yang diuraikan dalam bab-bab terdahulu dan perpindahan kalor menyeluruh didapatkan dari jaringan termal pada gambar 2.14 sebagai

$$q = \frac{T_A - T_B}{\frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(r_o/r_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o A_o}}$$

Dimana subskrip i dan o menunjukkan diameter dalam dan diameter luar tabung dalam yang lebih kecil. Koefisien perpindahan kalor menyeluruh bisa didasarkan atas luas dalam atau luas luar tabung, menurut selera perancang. Sesuai dengan itu,

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{A_i \ln\left(\frac{r_0}{r_i}\right)}{2\pi kL} + \frac{A_i}{A_0} \frac{1}{h_0}}$$

$$U_0 = \frac{1}{\frac{A_0}{A_i} \frac{1}{h_i} + \frac{A_0 \ln\left(\frac{r_0}{r_i}\right)}{2\pi kL} + \frac{1}{h_0}}$$

Walaupun rancangan akhir penukar kalor dibuat atas dasar perhitungan yang teliti mengenai U , ada juga baiknya mendaftarkan nilai-nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh untuk berbagai situasi yang mungkin ditemui dalam praktek. Informasi yang lengkap tentang ini terdapat dalam Rujukan 5 dan 6, sedang daftar singkatan nilai-nilai U diberikan dalam Tabel 2.3. Perlu kita catat, bahwa nilai U dalam banyak hal ditentukan hanya oleh salah satu koefisien perpindahan kalor konveksi. Dalam kebanyakan soal-soal praktis tahanan konduksi sangat kecil bila dibandingkan dengan tahanan konveksi. Kemudian, jika salah satu nilai h jauh lebih kecil dari yang lain, ia cenderung mempunyai pengaruh terbesar dalam persamaan U .

Tabel 2.3 Nilai kira-kira Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh

Situasi Fisi	U $\frac{Btu}{h} \cdot ft^2 \cdot ^\circ F$ $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$	
Dinding luar bata, bagian dalam plaster, tanpa isolasi	0,45	2,55
Dinding luar kayu, bagian dalam plaster:		

Tanpa isolasi	0,25	1,42
Dengan isolasi wol batuan	0,07	0,4
Jendela kaca lempeng	1,10	6,2
Jendela kaca lempeng rangkap dua	0,40	2,3
Kondensor uap	200-1000	1100-5600
Pemanas air umpan	200-1500	1100-8500
Kondensor Freon 12 dengan mesin pendingin air	50-150	280-850
Penukar kaloe air ke air	150-300	850-1700
Penukar kalor tabung bersirip, air di dalam tabung, udar melintas tabung	5-10	25-55
Penukar kalor air ke minyak	20-60	110-350
Uao ke minyak bakar ringan	30-60	170-340
Uap ke minyak bakar berat	10-30	56-170
Uap ke minyak tanah atau bensin	50-200	280-1140
Penuka kalor tabung bersirip, uap di dalam tabung, udara melintas tabung	5-50	28-280

Kondensor amonia, air di dalam tabung	150-250	850-1400
Kondensor alkohol, air di dalam tabung	45-120	255-680
Penukar kalor gas ke gas	2-8	10-40

(Holman J.P, 1986)

2. Faktor Pengotoran

Setelah dipakai beberapa lama , permukaan perpindahan kalor penukar kalor mungkin dilapisi oleh berbagai endapan yang biasa terdapat dalam sistem aliran atau permukaan itu mungkin mengalami korosi sebagai akibat interaksi antara fluida dengan bahan yang digunakan dalam kontruksi penukar kalor. Dalam kedua hal diatas, lapisan itu memberikan tahanan tambahan terhadap aliran kalor, dan hal ini menyebabkan menurunnya kemampuan kerja alat itu. Pengaruh menyeluruh daripada hal tersebut di atas biasa dinyatakan dengan faktor pengotoran (fouling factor) atau tahanan pengotoran, R_f , yang harus diperhitungkan bersama tahanan termal lainnya, dalam menghitung koefisien perpindahan kalor menyeluruh.

Faktor pengotoran harus didapatkan dari percobaan , yaitu dengan menentukan U untuk kondisi bersih dan kondisi kotor pada penukar kalor itu. Faktor pengotoran , oleh karena itu, didefinisikan sebagai

$$R_f = \frac{1}{U_{kotor}} - \frac{1}{U_{bersih}}$$

Nilai faktor pengotoran yang disarankan untuk berbagai fluida diberikan dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Daftar Pengotoran Normal, Menurut Rujukan 2.

Jenis Fluida	Faktor Pengotoran $R.ft^2.F/Btu$	$m^2.C/w$
Air laut, dibawah 125 F	0,0005	0,00009
Diatas 125 F	0,001	0,002
Air umpan ketel yang diolah	0,001	0,0002
Minyak bakar	0,005	0,0009
Minyak celup (quenching oil)	0,004	0,0007
Uap alcohol	0,0005	0,00009
Uap, tak mengandung minyak	0,0005	0,00009
Udara industry	0,002	0,0004
Zat cair pendingin (refrigerating)	0,001	0,0002

(Holman J.P, 1986)

3. Jenis Jenis Penukar Kalor

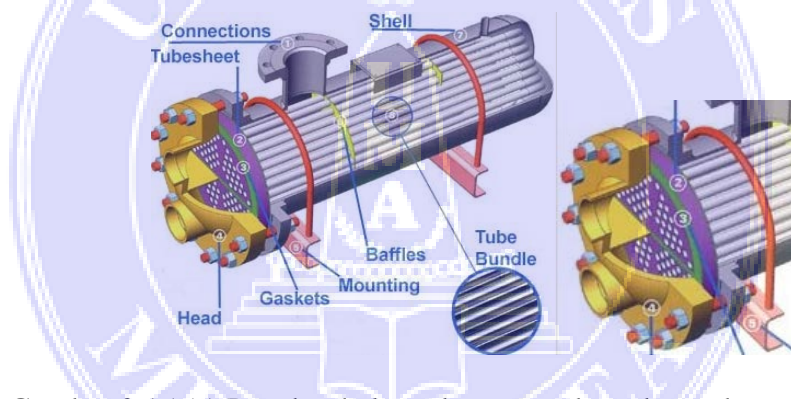
Satu jenis penukar kalor yang telah kita sebutkan ialah susunan pipa ganda yang ditunjukkan dalam Gambar 2.14. Dalam penukar kalor jenis ini dapat digunakan aliran searah atau aliran bawah arah , baik dengan zat cair panas maupun zat cair dingin terdapat dalam ruang anulus dan zat cair yang lain di dalam pipa dalam.

Sejenis penukar kalor yang banyak dipakai dalam industri kimia adalah model selongsong atau cangkang dan tabung (shell and tube) seperti pada Gambar 2.15 . Suatu fluida mengalir di dalam tabung , sedang fluida yang satu lagi dilairkan melalui selongsong melintasi luar tabung. Untuk menjamin bahwa fluida di sebelah selongsong mengalir melintasi tabung dan dengan demikian menyebabkan perpindahan kalor lebih tinggi, maka di dalam selongsong itu dipasang sekat-sekat (baffles) seperti terlihat pada Gambar. Bergantung pada konstruksi bagian kepala yang terletak diujung penukar kalor, dapatlah digunakan satu atau dua lintas dalam tabung. Dalam Gambar 2.15a digunakan satu lintas tabung, sedang dalam Gambar 2.15b ditunjukkan konstruksi kepala untuk dua lintas tabung . Demikian pula , berbagai susunan sekat digunakan dalam praktek, para pembaca dipersilahkan mempelajari Rujukan 2 untuk informasi lanjut tentang ini.

Penukar kalor aliran silang banyak dipakai dalam pemanasan dan pendinginan udara atau gas. Contohnya ialah penukar kalor seperti pada Gambar 2.16 dimana gas dialirkan menyilang berkas tabung, sedang fluida lain di gunakan dalam tabung untuk memanaskan atau mendinginkan. Dalam penukar kalor ini, fluida yang mengalir melintas tabung disebut arus campur (mixed stream), sedang fluida di dalam tabung disebut arus tak campur (unmixed). Gas itu dikatakan bercampur karena dapat bergerak dengan bebas di dalam alat itu sambil menukar kalor. Fluida yang satu lagi terkurung di dalam tabung saluran penukar kalor dan tidak dapat bercampur selama proses perpindahan kalor.

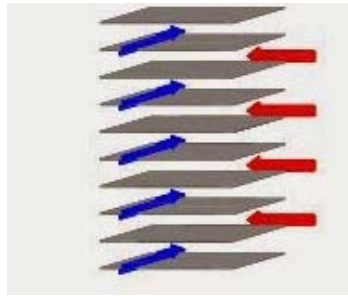
Suatu penukar kalor arus silang jenis lain ditunjukkan pada Gambar 2.17. Dalam hal ini gas mengalir melintas berkas tabung bersirip dan karena terkurung di dalam saluran-saluran diantara sirip-sirip, tidak bercampur pada waktu mengalir melalui penukar kalor. Penukar kalor jenis ini merupakan jenis yang khas dipakai dalam penyejuk udara.

Jika fluida takcampur, terdapat gradien suhu pada arah sejajar dengan aliran maupun arah normal terhadap aliran, sedang jika fluida itu campur terhadap kecenderungan untuk suhu itu menjadi sama pada arah normal terhadap aliran, sebagai akibat dari pencampuran.

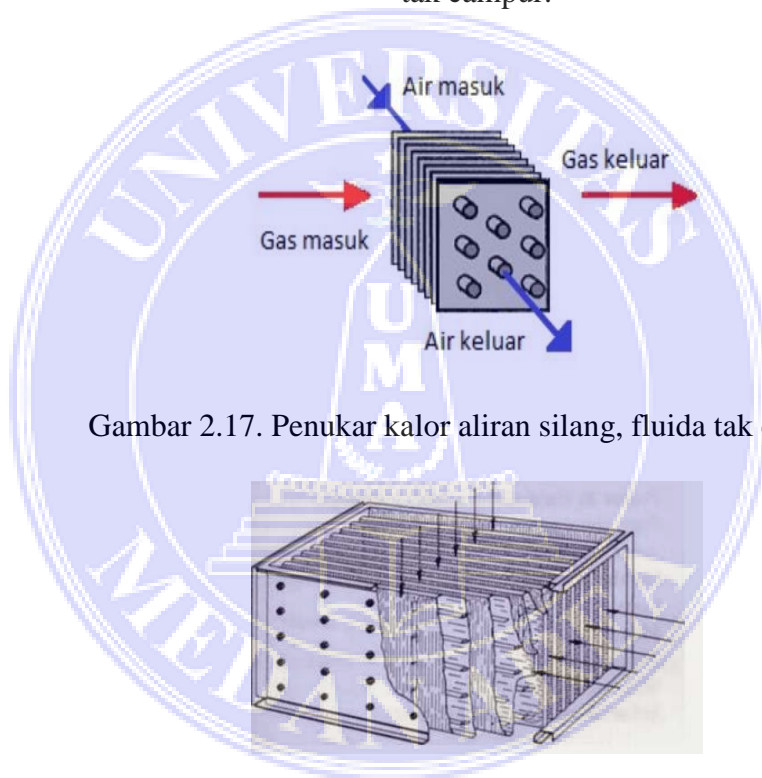


Gambar 2.15 (a) Penukar kalor selongsong dan tabung dengan satu lintas tabung ; (b) konstruksi kepala penukar kalor.

Profil suhu kira-kira untuk gas yang mengalir di dalam penukar kalor seperti pada Gambar 2.17 ditunjukkan dalam Gambar 2.18, dimana diandaikan bahwa gas itu dipanaskan pada waktu mengalir melalui penukar kalor. Kenyataan bahwa fluida campur atau takcampur mempengaruhi perpindahan kalor di dalam penukar kalor karena perpindahan kalor bergantung pada beda suhu antara fluida panas dan fluida dingin.



Gambar 2.16. Penukar kalor arus silang, satu fluida campur dan fluida yang tak campur.



Gambar 2.17. Penukar kalor aliran silang, fluida tak campur.

Gambar 2.18 Contoh profil suhu untuk penukar kalor aliran silang

Ada sejumlah konfigurasi lain yang disebut penukar kalor kompak (compact heat exchanger) yang terutama digunakan dalam sistem aliran gas di mana koefisien perpindahan kalor menyeluruh adalah rendah dan kita memerlukan luas yang besar dalam volume kecil. Penukar kalor ini biasanya

mempunyai luas permukaan lebih dari $650m^2$ per meter kubik volume dan akan dibahas secara lengkap dalam bagian 2.19. (Holman J. P, 1986)

4. Beda Suhu Rata-rata Log (LMTD)

Perhatikan penukar kalor pipa ganda pada Gambar 2.14. Fluidanya dapat mengalir dalam aliran sejajar maupun aliran lawan arah, dan profil suhu untuk kedua kasus itu ditunjukkan pada Gambar 2.18. Kita hendak menghitung perpindahan kalor dalam susunan pipa ganda ini dengan

$$q = UA \Delta T_m$$

Dimana

U = koefisien perpindahan kalor menyeluruh.

A = luas permukaan perpindahan kalor yang sesuai dengan definisi U .

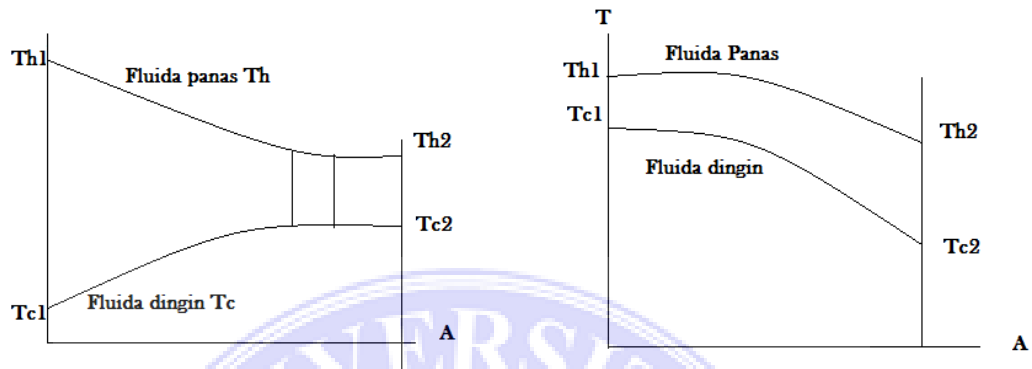
ΔT_m = beda suhu rata-rata yang tepat untuk digunakan dalam penukar kalor.

Pemeriksaan atas Gambar 2.18 menunjukkan bahwa beda suhu antara fluida panas dan fluida dingin pada waktu masuk dan pada waktu keluar tidaklah sama, dan kita perlu menentukan nilai rata-rata untuk digunakan dalam Persamaan diatas. Untuk penukar kalor aliran sejajar seperti pada Gambar 2.19, kalor yang dipindahkan melalui unsur luas dA dapat dituliskan sebagai

$$dq = - \dot{m}_h C_h dT_h = \dot{m}_c C_c dT_c$$

Dimana subskrip h dan c masing-masing menandai fluida panas dan fluida dingin. Perpindahan kalor dapat pula dinyatakan sebagai

$$dq = U (T_h - T_c) dA$$



Gambar 2.19 Profil suhu untuk aliran sejajar dan aliran lawan arah dalam penukar kalor pipa ganda.

$$dT_h = \frac{-dq}{\dot{m}_h C_h}$$

$$dT_c = \frac{dq}{\dot{m}_c C_c}$$

Dimana \dot{m} menunjukkan laju aliran massa dan c adalah kalor spesifik fluida.

$$\text{Jadi, } dT_h - dT_c = d(T_h - T_c) = -dq \left(\frac{1}{\dot{m}_h C_h} + \frac{1}{\dot{m}_c C_c} \right)$$

Jika dq diselesaikan dari Persamaan diatas dan disubstitusikan ke dalam Persamaan tersebut, maka didapatkan

$$\frac{d(T_h - T_c)}{T_h - T_c} = -U \left(\frac{1}{\dot{m}_h C_h} + \frac{1}{\dot{m}_c C_c} \right) dA$$

Persamaan diferensial ini dapat diintegrasikan antara kondisi 1 dan kondisi 2 seperti pada Gambar 2.19. Hasilnya adalah

$$\ln \frac{T_{h2} - T_{c2}}{T_{h1} - T_{c1}} = -UA \left(\frac{1}{\dot{m}_h C_h} + \frac{1}{\dot{m}_c C_c} \right)$$

Kembali ke persamaan $dq = -\dot{m}_h C_h dT_h = \dot{m}_c C_c dT_c$ hasil kali $\dot{m}_c C_c$ dan $\dot{m}_h C_h$ dapat dinyatakan dalam perpindahan kalor total q dan beda suhu menyeluruh antara fluida panas dan fluida dingin .

Jadi,

$$\dot{m}_h C_h = \frac{q}{T_{h1} - T_{h2}}$$

$$\dot{m}_c C_c = \frac{q}{T_{c2} - T_{c1}}$$

Jika kedua hubungan diatas disubstitusikan ke dalam Persamaan sebelumnya memberikan

$$q = UA \frac{(T_{h2} - T_{c2}) - (T_{h1} - T_{c1})}{\ln \left[\frac{T_{h2} - T_{c2}}{T_{h1} - T_{c1}} \right]}$$

terlihat bahwa beda suhu rata-rata merupakan pengelompokan suku-suku dalam kurung. Jadi,

$$\Delta T_m = \frac{(T_{h2} - T_{c2}) - (T_{h1} - T_{c1})}{\ln \left[\frac{T_{h2} - T_{c2}}{T_{h1} - T_{c1}} \right]}$$

Beda suhu ini disebut beda- suhu rata-rata log (logarithmic mean temperature difference = LM-TD). Dengan kata-kata, ialah beda suhu pada satu ujung penukar kalor dikurangi beda suhu pada ujung yang satu lagi dibagi dengan logaritma alamiah daripada perbandingan kedua beda suh tersebut. Silahkan para pembaca sendiri mencoba membuktikan bahwa persamaan diatas dapat digunakan untuk menghitung LMTD untuk kondisi aliran lawan arah.

Penurunan LMTD diatas menyangkut dua pengandaian : (1) kalor spesifik fluida tidak berubah menurut suhu dan (2) koefisien perpindahan kalor konveksi tetap untuk seluruh penukar kalor. Andaikan kedua ini biasanya sangat penting karena pengaruh pintu masuk, viskositas fluida, perubahan konduktivitas termal, dan sebagainya. Biasanya untuk memberikan koreksi atas pengaruh-pengaruh tersebut perlu digunakan metode numerik.

Jika suatu penukar kalor yang bukan jenis pipa ganda digunakan , perpindahan kalor dihitung dengan menerapkan faktor koreksi terhadap LMTD untuk susunan pipa ganda aliran lawan arah dengan suhu fluida panas dan suhu fluida dingin yang sama. Bentuk persamaan perpindahan kalor menjadi $q = UAF \Delta T_m$

5. Metode NTU - Efektifitas

Pendekatan LMTD dalam analisis penukar kalor berguna bila suhu masuk dan suhu keluar diketahui atau dapat ditentukan dengan mudah, sehingga LMTD dapat dengan mudah dihitung dan aliran kalor , luas permukaan, dan koefisien perpindahan kalor menyeluruh dapat ditentukan. Bila kita harus menentukan suhu masuk atau suhu keluar, analisis kita akan melibatkan prosedur iterasi karena LMTD itu suatu fungsi logaritma. Dalam hal demikian, analisis akan lebih mudah dilaksanakan dengan menggunakan metode yang berdasarkan atas efektifitas penukar kalor dalam memindahkan sejumlah kalor tertentu. Metode efektifitas ini juga mempunyai beberapa keuntungan untuk menganalisis soal-soal dimana kita harus membandingkan

berbagai jenis penukar kalor guna memilih jenis yang terbaik untuk melaksanakan sesuatu tugas pemindahan kalor tertentu.

Efektivitas penukar kalor (heat exchanger effectiveness) didefinisikan sebagai berikut :

$$\text{Efektivitas} = \epsilon = \frac{\text{perpindahan-kalor nyata}}{\text{perpindahan-kalor maksimum yang mungkin}}$$

6. Pertimbangan Rancangan Penukar Kalor

Dalam industri proses dan industri tenaga , ataupun dalam kegiatan lain, banyak penukar kalor dibeli langsung sebagai barang jadi yang telah tersedia, dan pemilihnya dilakukan atas dasar harga dan spesifikasi yang diberikan oleh para pembuatnya. Dalam penerapan yang lebih khusus , seperti industri angkasa luar atau industri elektronika , sering diperlukan rancangan khusus untuk itu. Bilamana penukar kalor merupakan bagian dari satu unit peralatan yang akan dibuat, penukar kalor standar yang tersedia dapat dibelilangsung untuk itu atau bila pertimbangan biaya dan jumlah yang akan dibuat memungkinkan, penukar kalornya dapat dirancang khusus untuk itu. Baik untuk penukar kalor yang dibeli langsung dari toko, maupun yang harus dirancang untuk sesuatu penerapan tertentu , pertimbangan-pertimbangan berikut ini hampir selalu menjadi perhatian :

1. Persyaratan perpindahan kalor (beban).
2. Biaya.

3. Ukuran fisis.

4. Karakteristik penurunan tekanan.

Persyaratan perpindahan kalor harus selalu dipenuhi dalam setiap pemilihan atau perancangan penukar kalor. Bagaimana memenuhi syarat itu, tidak lepas pula dari bobot kriteria 2 sampai dengan 4. Dengan mendorong fluida melalui penukar kalor pada kecepatan yang lebih tinggi, koefisien perpindahan kalor menyeluruh mungkin bertambah, tetapi kecepatan yang lebih tinggi menyebabkan pula meningkatnya penurunan tekanan melalui penukar kalor itu, dan dengan demikian menambah biaya pemompaan. Jika luas permukaan penukar kalor dinaikkan, koefisien perpindahan kalor, dan karena itu juga penurunan tekanan, tidak perlu terlalu besar, tetapi ukuran fisis penukar kalor tentu ada pula batasnya agar dapat dipasang dan ditempatkan, dan ukuran fisis yang lebih besar akan meningkatkan pula biaya penukar kalor. Pertimbangan yang cermat atas faktor-faktor di ataslah yang akan menghasilkan rancangan yang baik. *(Holman J.P, 1986)*

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

No.	Waktu	Tempat	Keterangan
1.	Kamis / 16 - 03 - 2015	Laboratorium Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Medan	Permohonan izin pengambilan data.
2.	Senin / 20 - 03 - 2015	Laboratorium Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Medan	Pengambilan gambar alat dan bahan penelitian.
3.	Selasa / 21 - 03 - 2015	Laboratorium Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Medan	Penelitian / pengambilan data.

Tabel 3.1. Waktu dan tempat penelitian

3.2. Alat dan Bahan

1. Alat Penelitian

- a. Oil Fired Boiler No. P7600.
- b. Additional boiler instrumentation NO. P7602.
- c. Separating and throttling exalorimeter No. P7672.
- d. Suplai Energi Listrik.
- e. Suplai air utilitas laboratorium.
- f. katup
- g. Kondenser
- h. Pressuremeter
- i. Boiler (The fulton Steam Boiler) No. B5065, Model No. 30E
- j. Economizer

2. Bahan Penelitian

- a. Bahan Bakar (Solar)
- b. Fluida Kerja air (H₂O)

3.3. Prosedur Penelitian

a. Mengaktifkan Boiler

1. Pastikan Suplay Energy listrik menyala.
2. Hidupkan Boiler yang terdapat pada Instalasi controller Boiler.
3. Buka katup stop steam pada top dari Boiler.
4. Buka semua katup pada aliran air umpan.
5. Buka katup isolasi colom air.
6. Buka katup air bertekanan.

b. Prosedur pengambilan data

1. On-kan MCB.
2. On-kan Cold Water Unit.
3. On-kan Steam Turbin.
4. Jalankan pompa.
5. Cek air di dalam boiler apakah sudah cukup.
6. Lihat posisi katup-katup minyak, katup air dan kemudian sesuaikan pada posisi masing-masing.
7. Jalankan boiler sampai tekanan 2 bar dan jaga tekanan tersebut.
Selang beberapa waktu hidupkan kembali boiler sampai pada tekanan

5 bar guna mendapatkan uap yang diinginkan, tunggu hingga kondisi operasi stabil.

8. Jalankan pompa condenser.

9. Catat semua jumlah keseluruhan bahan bakar dan jumlah Feed Water dalam waktu yang sama selama boiler dioperasikan dengan beban tertentu.

10. Untuk memperoleh hasil perhitungan yang lebih tepat lakukan percobaan minimal satu jam pada kondisi stabil.

11. Gas asap keluaran dari ketel akan masuk menuju Economizer.

12. Hitung / ukur suhu air keluaran economizer yang akan masuk menuju boiler.

13. Jangan meninggalkan boiler selama pengoperasian karena dapat mengakibatkan kebakaran dan ledakan jika terjadi suatu kelalaian.

14. Selesai

3.4. Data Penelitian

1. Data penelitian pada Boiler

No.	Waktu	Bahan Bakar	Air Umpan
1.	10.45	L = 75.8 cm B = 73.2 cm	113.3100m ³
2.	11.45	T = 5.9 cm	113.5538m ³

No.	Pengujian	Temperature
1.	Udara	29°C
2.	Air Umpan	27°C
3.	Bahan Bakar	26°C
4.	Uap Air / Steam	165°C
5.	Temp. gas Buang	290°C

Tabel 3.2 Data penelitian pada boiler

2. Data Perancangan Economizer

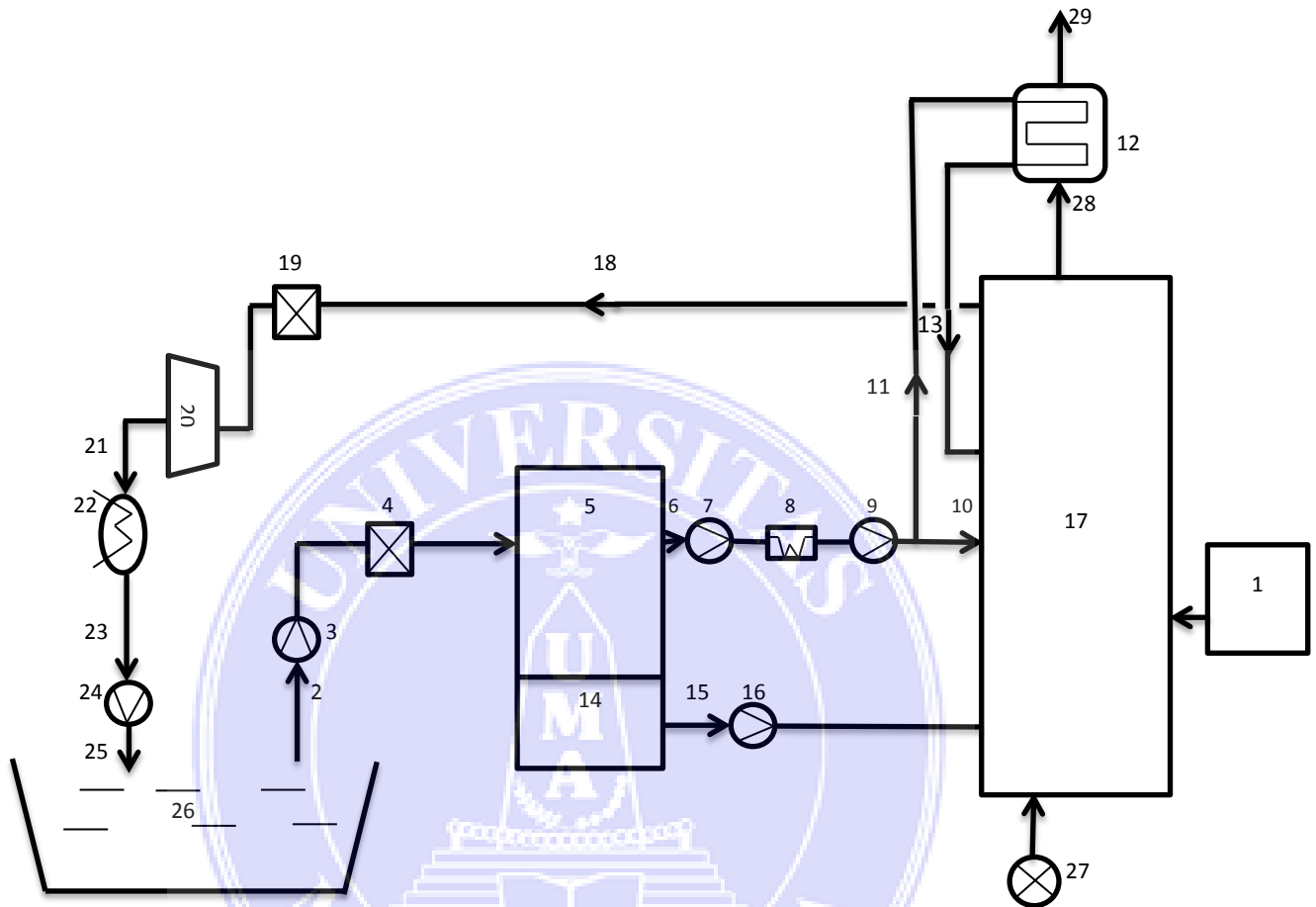
No.	Pengujian	Temperature
1.	Gas asap masuk	290°C
2.	Gas asap keluar	215°C
3.	Air masuk	27°C
4.	Air keluar	66°C

Tabel 3.3 Data Perancangan Economizer

Data – data pendukung :

- a. Tekanan pada boiler = 6,5 bar
- b. Bahan bakar = solar
- c. Density = 0,82 kj/kg
- d. Kandungan Energi = 45.700kj/kg
- e. Kualitas Uap (x) = 90%

2.2. Gambar Instalasi

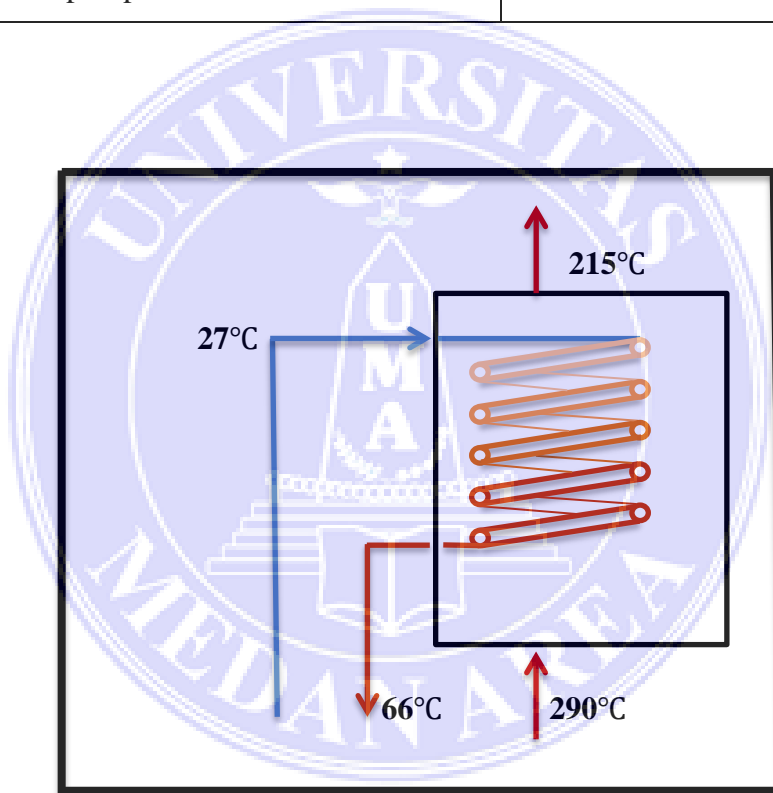


Gambar 3.1 Instalasi Boiler di Lab. Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Medan

Keterangan Gambar :

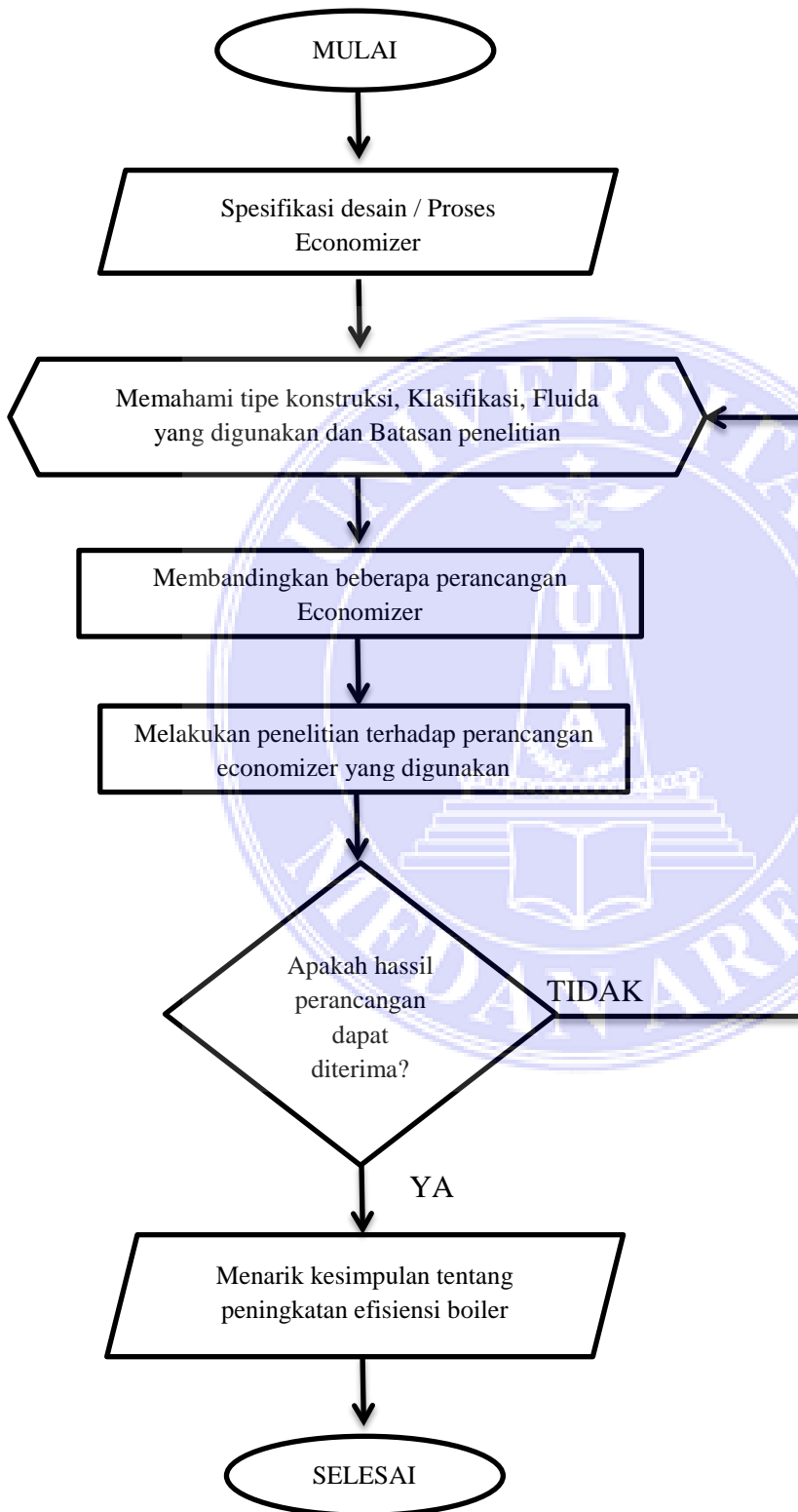
1. Penggerak mula	16. Pompa minyak
2. Air dihisap oleh pompa air pengisian	17. Boiler
3. Pompa air	18. Uap menuju ke mesin dying
4. Keran air	19. Keran pengumpul uap
5. Tangki air	20. Mesin Dying (mesin pengering uap)
6. Air dipompa ke dalam pemanas air	21. Uap menuju kondensor
7. Pompa air	22. Kondensor
8. Pemanas air	23. Uap air yang terkumpul dari kondensar

9. Pompa air	24. pompa air kondensar
10. Air menuju ketel	25. air dipompa menuju bak air pengumpul
11. Air dipompa menuju economizer	26. Bak air pengumpul
12. Economizer	27. Blower (udara pembakaran)
13. Air keluaran economizer menuju ketel	28. Gas asap menuju economizer
14. Tangki minyak	29. Gas asap keluaran cerobong dari economizer
15. Minyak dipompa ke ketel	



Gambar 3.2 Instalasi Economizer

3.6 Alur Penelitian



DAFTAR PUSTAKA

- Kinsky, R. 1989. Heat Engineering. Third Edition. Sydney. McGraw-Hill Book Company Australia Pty Limited.
- Holman, J.P. 1986. Perpindahan Panas. Jakarta. Penerbit Erlangga.
- Anonim. 2006. Peralatan Energi Panas: Boiler & Pemanas Fluida Termis. UNEP.
- Djokosetyardjo, Ir. M.J. 1990 Ketel Uap. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Djokosetyardjo, M.J. 1990. Penjelasan Lebih Lanjut Tentang Ketel Uap. P.T. Pradya Paramitha. Jakarta.
- Febriantara, Aris. 2008. Klasifikasi Mesin Boiler. Jakarta.
- Ratnasari, E (2014) “Desain Economizer Untuk meningkatkan Efisiensi Boiler 52 B 1/2/3 Pada Unit Utilities Complex di PT. Pertamina RU IV Cilacap”. Jurnal Teknik POMITS, Vol.1, No. 1, 2014. Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS) Surabaya.
- Akbar et al. 2009. *Kinerja Economizer pada Boiler*. Jurnal Teknik Industri, Vol. 11, No. 1, Juni 2009, pp. 72-81 ISSN 1411-2485. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Jurusan Statistika Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus Keputih Sukolilo, Surabaya.
- Bahrudi, I. (2014). “Peningkatan Efisiensi Boiler Dengan Menggunakan Economizer” Makalah Training Cadet Angkatan XIV. PT REA KALTIM PLANTATION, Kaltim.
- <http://www.prosesindustri.com/2015/01/pengertian-boiler-serta-komponen.html> [diakses tanggal 7 februari 2017 11:33]
- <http://dunia-engineer.blogspot.co.id/2011/10/v-behaviorurldefaultvml.html> [diakses tanggal 7 februari 2017 11:35]
- <http://www.pancadesain.com/desain-mesin-industri/economizer> [diakses tanggal 7 februari 2017 11:35]





