



**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**RANCANG BANGUN HEAT EXCHANGER  
SHELL AND TUBE SINGLE PHASE**

**TUGAS AKHIR**

|                         |                   |
|-------------------------|-------------------|
| <b>AHMAD WAFI B</b>     | <b>L0E 008009</b> |
| <b>ANDHIKA BANI G</b>   | <b>L0E 008013</b> |
| <b>ARI BUDI A</b>       | <b>L0E 008020</b> |
| <b>DIMAS PUTRA A</b>    | <b>L0E 008027</b> |
| <b>FAUZY KUSUMA N.H</b> | <b>L0E 008031</b> |

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK MESIN  
SEMARANG  
2011**

## **HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar

NAMA : FAUZY KUSUMA NUR HANDY

NIM : L0E008031

Tanda Tangan :

Tanggal :

## **HALAMAN PENGESAHAN**

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

NAMA : FAUZY KUSUMA NUR HANDY  
NIM : L0E008031  
Jurusan Program Studi : DIPLOMA III TEKNIK MESIN  
Judul Tugas Akhir : RANCANG BANGUN HEAT EXCHANGER  
SHELL AND TUBE SINGLE PHASE

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Ahlimadya pada Program Studi Diploma III Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

### **TIM PENGUJI**

Pembimbing I : Sri Utami Handayani ST, MT (.....)  
Pembimbing II : Didik Ariwibowo ST, MT (.....)  
Penguji : Ir. Sutomo, M.Si (.....)

Semarang, 2 Desember 2011  
Ketua Jurusan PSD III Teknik Mesin

Ir. Sutomo, M.Si  
NIP. 195203211987031001

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Fauzy Kusuma Nur Handy

NIM : L0E008031

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Tugas Akhir

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive royalty Free Right*) atas karya ilmiah berjudul :

**“RANCANG BANGUN HEAT EXCHANGER SHELL AND TUBE SINGLE PHASE”**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang

Pada Tanggal : 9 Desember 2011

Yang menyatakan

Fauzy Kusuma Nur Handy

## **HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

### **Motto:**

1. Pengalaman adalah guru yang paling berharga.
2. Tidak pernah ada kata terlambat untuk belajar.
3. Jangan kau tanya apa yang telah dunia berikan padamu, tapi tanyakanlah apa yang telah kamu berikan pada dunia
4. Masalah tidak akan pernah hilang, jadi hadapi, hayati dan nikmati saja masalah itu.

### **Persembahan:**

1. Allah SWT atas Rahmat dan Karunia-Nya.
2. Bapak dan Ibu tercinta yang memberikan kepercayaan dan dukungan secara moril dan materiil kepada kami.
3. Bapak Ir. Sutomo, M.Si. selaku Ketua Jurusan Program Studi Diploma III Teknik Mesin yang telah mengizinkan kami membuat Tugas Akhir.
4. Ibu Sri Utami Handayani, ST, MT dan Bapak Didik Ariwibowo, ST, MT selaku dosen pembimbing yang telah membimbing kami selama proses pengerjaan hingga laporan selesai.
5. Bapak Drs. Sutrisno selaku dosen wali.
6. Teman-teman yang telah membantu dan memberikan semangat.
7. Keluarga besar Program Studi Diploma III Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro beserta alumni.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, yang telah mencurahkan rahmat dan kasih-Nya, sehingga Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Laporan Tugas Akhir ini disusun dan diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di Program Studi Diploma III Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Penulis merasa mendapat banyak saran, bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak selama menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Tak lupa penulis ucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini, antara lain:

1. Bapak Ir. H. Zaenal Abidin, M.Si, selaku Ketua Program Diploma III Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.
2. Bapak Ir. Sutomo M.Si selaku Ketua Jurusan Program Studi Diploma III Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
3. Ibu Sri Utami Handayani, ST, MT dan Bapak Didik Ariwibowo, ST, MT selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
4. Bapak Drs. Sutrisno selaku dosen wali.
5. Dosen Program Studi Diploma III Teknik Mesin yang telah memberikan perhatian dan ilmu yang tak ternilai harganya.
6. Bapak Sugito Widodo yang telah membantu dalam menyiapkan surat-surat.
7. Ibu Wahyu Setiawati yang telah membantu dalam menyiapkan surat-surat.
8. Bapak dan Ibu tersayang, yang senantiasa memberikan doa dan bantuan yang tak terhingga, baik dari segi moral maupun material.
9. Rekan-rekan DIII Teknik Mesin angkatan 2008.
10. Dan semua pihak yang telah memberi bantuan, saran-saran serta kritik selama penyusunan Laporan Tugas Akhir.

Penulis sadar bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna, maka kritik dan saran yang sifatnya membangun sangat penulis harapkan. Semoga Laporan Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

”Tidak Ada Gading yang Tak Retak”, peribahasa yang menyatakan bahwa tidak ada pekerjaan yang sempurna. Oleh karena itu apabila terdapat kesalahan baik dalam penulisan ataupun isi laporan, penulis mohon maaf.

Semarang, 2 Desember 2011

Penulis

## DAFTAR ISI

|  |  |
|--|--|
| HALAMAN JUDUL .....  |  |
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....                                  |  |
| HALAMAN PENGESAHAN .....   |  |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....                         |  |
| HALAMAN PERSEMBAHAN .....  |  |
| KATA PENGANTAR .....   |  |
| DAFTAR ISI.....  |  |
| ABSTRAK.....   |  |
| BAB I. PENDAHULUAN.....  |  |
| 1.1. Judul Tugas Akhir.....  |  |
| 1.2. Latar belakang.....   |  |
| 1.3. Perumusan Masalah .....   |  |
| 1.4. Tujuan .....  |  |
| 1.5. Manfaat .....   |  |
| 1.6. Sistematika Laporan .....   |  |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....  |  |
| 2.1. Perpindahan Kalor .....   |  |
| 2.2. Alat Penukar Kalor .....  |  |
| BAB III METODOLOGI.....  |  |
| 3.1. Perancangan .....   |  |
| 3.2. Pabrikasi Heat Exchanger .....                                    |  |
| 3.3. Pengambilan Data .....  |  |
| 3.4. Analisa Performa .....  |  |
| BAB IV ANALISA PERFORMA SHELL AND TUBE<br>HEAT EXCHANGER .....         |  |
| 4.1. Hasil Pabrikasi .....   |  |
| 4.2. Data Untuk Kalkulasi Shell and Tube Heat Exchanger.....           |  |
| 4.4. Kalkulasi Performa Shell and Tube Heat Exchanger .....            |  |
| 4.5. Analisa Hasil kalkulasi Performa Shell and Tube Heat exchanger .. |  |
| BAB V. PENUTUP .....   |  |
| 5.1. Kesimpulan .....  |  |
| 5.2. Saran .....   |  |
| DAFTAR PUSTAKA   |  |
| LAMPIRAN   |  |

## ABSTRAK

Heat Exchanger adalah alat penukar kalor yang berfungsi untuk mengubah temperatur dan fasa suatu jenis fluida. Proses tersebut terjadi dengan memanfaatkan proses perpindahan kalor dari fluida bersuhu tinggi menuju fluida bersuhu rendah. Di dalam dunia industri peran dari heat exchanger sangat penting. Hal ini memotivasi penulis untuk mengangkat judul ini menjadi karya ilmiah. Tujuan dari penulisan adalah mampu merancang shell and tube heat exchanger single phase, mengetahui mekanisme kerja dan mampu menganalisa performa heat exchanger dengan variabel laju alir fluida. Dalam suatu shell and tube heat exchanger terdapat tiga tahap perpindahan panas, yaitu konveksi sisi shell, konduksi pada dinding tube dan konveksi sisi tube. Metodologi yang diterapkan memiliki empat poin utama yaitu perancangan konstruksi heat exchanger, fabrikasi konstruksi, pengambilan data uji dan analisa performa. Berdasarkan uji performa yang mengacu pada metode Bell Delaware, Heat exchanger memiliki nilai kalor yang dipindahkan 3302 – 3931 W, kalor perubahan energi 1327 – 3419 W, koefisien perpindahan kalor 114.14 W/m<sup>2</sup>K dan effectiveness 0.27 – 0.51. Kalor yang dipindahkan terhadap kalor sisi tube, terjadi perbedaan cukup signifikan, hal ini menunjukkan bahwa penyerapan kalor tidak optimal. Nilai kalor perubahan energi yang besar menunjukkan bahwa banyak terjadi kerugian kalor. Effectiveness heat exchanger cukup tinggi, melebihi effectiveness teoritis.

Heat Exchanger is a kind of tools which serves to change the temperature and phase of one type of fluid. The exchange process occurs by a process utilizing heat transfer of fluids at high temperature to low temperature fluid. In the industrial world the role of the heat exchanger is very important. This motivates the writer to lift this to title becomes scientific work. The purpose of writing is being able to design a shell and tube heat exchanger single phase, knowing the mechanism of action and is able to analyze the performance of heat exchangers with the variable is fluid flow rates. In a shell and tube heat exchanger heat transfer there are three stages, namely the shell side is convection, the tube wall side is conduction and convection in side of the tube. The methodology applied has four main points heat exchanger design, fabrication construction, data retrieval and analysis of heat exchange performance. Based on test performance refers to the Bell Delaware method, Heat exchanger has heat transfer 3302 – 3931 W, the heat energy change price is 1327 – 3419 W, 114.14 W/m<sup>2</sup>K in heat transfer coefficient and effectiveness is 0.27 - 0.5. Heat is transferred to heat the tube, there was a significant difference, indicating that the absorption of heat is not optimal. The heat energy changes whose big scale, indicate that a lot of heat loss has been occur. Heat exchanger effectiveness is quite high, exceeding the theoretical effectiveness.



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Judul Tugas Akhir**

Tugas Akhir ini diberi judul “**RANCANG BANGUN HEAT EXCHANGER SHELL AND TUBE SINGLE PHASE** “. Alasan pemilihan judul ini yaitu sebagai penerapan materi yang telah diperoleh selama ini di bangku kuliah, khususnya pada materi perpindahan kalor dan termodinamika.

### **1.2 Latar Belakang**

Heat Exchanger adalah alat penukar kalor yang berfungsi untuk mengubah temperatur dan fasa suatu jenis fluida. Proses tersebut terjadi dengan memanfaatkan proses perpindahan kalor dari fluida bersuhu tinggi menuju fluida bersuhu rendah. Di dalam dunia industri peran dari heat exchanger sangat penting. Misal dalam industri pembangkit tenaga listrik, heat exchanger berperan dalam peningkatan efisiensi sistem. Contohnya adalah ekonomizer, yaitu alat penukar kalor yang berfungsi memanaskan feed water sebelum masuk ke boiler menggunakan panas dari exhaust gas (gas buang). Selain itu heat exchanger juga merupakan komponen utama dalam sistem mesin pendingin, yaitu berupa evaporator dan condenser.

Dalam perkembangannya heat exchanger mengalami transformasi bentuk yang bertujuan meningkatkan efisiensi sesuai dengan fungsi kerjanya. Bentuk heat exchanger yang sering digunakan ialah shell and tube. Dengan berbagai pertimbangan bentuk ini dinilai memiliki banyak keuntungan baik dari segi fabrikasi, biaya, hingga unjuk kerja.

Heat exchanger merupakan media vital didalam dunia industri. Untuk itu dalam tugas akhir ini direncanakan sebuah heat exchanger model shell and tube sederhana namun tetap mengacu pada kaidah desain yang ada. Sehingga didapat keuntungan sebagai metode pembelajaran mengenai proses desain, mekanisme kerja, hingga unjuk kerja heat exchanger.

### **1.3 Perumusan Masalah**

Pada Tugas Akhir ini, heat exchanger model shell and tube single phase dirancang dengan fluida yang digunakan pada bagian shell dan tube ialah air. Pada sisi shell berisi air dengan temperatur tinggi dan pada sisi tube memiliki temperatur rendah. Diharapkan terjadi perpindahan kalor antar fluida tersebut sehingga mampu menaikkan temperatur fluida dingin. Dalam proses pembuatan heat exchanger, desain tetap mengacu pada standar internasional walaupun ada beberapa tahapan yang disesuaikan dengan kondisi yang terbatas, yaitu dalam hal biaya dan tenaga. Oleh karena itu muncul beberapa permasalahan yaitu :

1. Bagaimana proses desain shell and tube heat exchanger single phase yang bisa dibuat dan sesuai dengan standar yang berlaku?
2. Bagaimana proses desain sirkulasi aliran dan perlakuan fluida pada system shell and tube heat exchanger single phase?

3. Apa saja peralatan dan bahan yang dibutuhkan untuk pembuatan shell and tube heat exchanger single phase ini?
4. Bagaimana proses fabrikasi shell and tube heat exchanger single phase?
5. Bagaimana mekanisme kerja shell and tube heat exchanger single phase?
6. Bagaimana performa dan unjuk kerja shell and tube heat exchanger single phase?

#### **1.4 Tujuan**

1. Untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan studi pada Program Studi Diploma III Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
2. Menerapkan ilmu pengetahuan yang didapat dari perkuliahan baik secara teori maupun praktek.
3. Mengembangkan wawasan ilmu pengetahuan dan teknologi bagi mahasiswa.
4. Merancang shell and tube heat exchanger single phase.
5. Mengetahui mekanisme kerja heat exchanger.
6. Mampu menganalisa performa dan unjuk kerja heat exchanger dengan variabel laju alir fluida pada sisi shell sebesar 5 lpm dan pada sisi tube 10 lpm.

#### **1.5 Manfaat**

Pembuatan heat exchanger ini digunakan sebagai sarana latihan untuk mendesain dan membuat peralatan yang umum ditemukan di dunia industri dengan menggunakan standar yang berlaku. Selain itu heat exchanger yang dibuat dapat digunakan sebagai sarana praktikum konversi energi, khususnya mengenai perpindahan kalor (heat transfer).

#### **1.6 Sistematika Laporan**

##### **BAB I PENDAHULUAN**

Dalam bab ini berisi tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, judul tugas akhir, tujuan tugas akhir, manfaat tugas akhir, dan sistematika laporan.

##### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menjelaskan tentang dasar teori perpindahan kalor dan pengertian dan prinsip kerja heat exchanger

##### **BAB III METODOLOGI**

Bab ini menjelaskan tentang mesin dan alat yang digunakan. Langkah kerja dalam perakitan, dan pengambilan data.

##### **BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN**

Bab ini memaparkan secara rinci proses pengujian dan perhitungan data yang diperoleh pada saat pengujian mesin.

##### **BAB V PENUTUP**

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran, hal ini untuk menegaskan kembali keseluruhan dari Laporan Tugas Akhir.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. PERPINDAHAN KALOR**

Perpindahan kalor dari suatu zat ke zat lain seringkali terjadi dalam kehidupan sehari-hari baik penyerapan atau pelepasan kalor, untuk mencapai dan mempertahankan keadaan yang dibutuhkan sewaktu proses berlangsung. Kalor sendiri adalah salah satu bentuk energi.

Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa energi tidak musnah, contohnya hukum kekekalan massa dan momentum, ini artinya kalor tidak hilang. Energi hanya berubah bentuk dari bentuk yang pertama ke bentuk yang ke dua.

Kalor dapat berpindah dengan tiga macam cara yaitu:

1. Pancaran, sering juga dinamakan radiasi.
2. Hantaran, sering juga disebut konduksi.
3. Aliran, sering juga disebut konveksi.

##### **a) Pancaran (Radiasi)**

Yang dimaksud dengan pancaran (radiasi) ialah perpindahan kalor melalui gelombang dari suatu zat ke zat yang lain. Semua benda memancarkan kalor. Keadaan ini baru terbukti setelah suhu meningkat. Pada hakekatnya proses perpindahan kalor radiasi terjadi dengan perantaraan foton dan juga gelombang elektromagnet. Apabila sejumlah energi kalor menimpa suatu permukaan, sebagian akan dipantulkan, sebagian akan diserap ke dalam bahan, dan sebagian akan menembusi bahan dan terus ke luar. Jadi dalam mempelajari perpindahan kalor radiasi akan dilibatkan suatu fisik permukaan.

Ciri-ciri radiasi yaitu :

- Kalor radiasi merambat lurus.
- Untuk perambatan itu tidak diperlukan medium (misalnya zat cair atau gas).

##### **b) Hantaran (konduksi)**

Yang dimaksud dengan hantaran ialah pengangkutan kalor melalui satu jenis zat. Sehingga perpindahan kalor secara hantaran/konduksi merupakan satu proses dalam karena proses perpindahan kalor ini hanya terjadi di dalam bahan. Arah aliran energi kalor, adalah dari titik bersuhu tinggi ke titik bersuhu rendah.

Bahan yang dapat menghantar kalor dengan baik dinamakan konduktor. Penghantar yang buruk disebut isolator. Sifat bahan yang digunakan untuk menyatakan bahwa bahan tersebut merupakan suatu isolator atau konduktor ialah koefisien konduksi termal. Apabila nilai koefisien ini tinggi, maka bahan mempunyai kemampuan mengalirkan kalor dengan cepat. Untuk bahan isolator, koefisien ini bernilai kecil. Pada umumnya, bahan yang dapat menghantar arus listrik dengan sempurna (logam) merupakan penghantar yang baik juga untuk kalor dan sebaliknya. Selanjutnya bila diandaikan sebatang besi atau sembarang jenis logam dan salah satu ujungnya diulurkan ke dalam nyala api. Dapat diperhatikan bagaimana kalor dipindahkan dari ujung yang panas ke ujung yang dingin. Apabila ujung batang logam

tadi menerima energi kalor dari api, energi ini akan memindahkan sebagian energi kepada molekul dan elektron yang membangun bahan tersebut.

c) Aliran (konveksi)

Yang dimaksud dengan aliran ialah perpindahan kalor oleh gerak dari zat yang dipanaskan. Proses perpindahan kalor secara aliran/konveksi merupakan satu fenomena permukaan. Proses konveksi hanya terjadi di permukaan bahan. Jadi dalam proses ini struktur bagian dalam bahan kurang penting. Keadaan permukaan dan keadaan sekelilingnya serta kedudukan permukaan itu adalah yang utama. Lazimnya, keadaan kesetimbangan termodinamik di dalam bahan akibat proses konduksi, suhu permukaan bahan akan berbeda dari suhu sekelilingnya. Dalam hal ini terdapat keadaan suhu tidak setimbang diantara bahan dengan sekelilingnya.

Perpindahan kalor dengan jalan aliran dalam industri kimia merupakan cara pengangkutan kalor yang paling banyak dipakai. Oleh karena konveksi hanya dapat terjadi melalui zat yang mengalir, maka bentuk pengangkutan kalor ini hanya terdapat pada zat cair dan gas. Pada pemanasan zat ini terjadi aliran, karena massa yang akan dipanaskan tidak sekaligus dibawa ke suhu yang sama tinggi. Oleh karena itu bagian yang paling banyak atau yang pertama dipanaskan memperoleh massa jenis yang lebih kecil daripada bagian massa yang lebih dingin. Sebagai akibatnya terjadi sirkulasi, sehingga kalor akhirnya tersebar pada seluruh zat.

## 2.2 ALAT PENUKAR KALOR

Penukar kalor banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari dan di industri. Sebagai contoh dalam kehidupan sehari-hari sering dipergunakan peralatan masak memasak yang semuanya sebenarnya merupakan alat penukar kalor. Di dalam mobil maupun alat transportasi lainnya banyak dijumpai radiator maupun alat pengkondisi udara kabin, yang keduanya juga merupakan penukar kalor. Di industri, banyak sekali peralatan penukar kalor seperti ketel uap (boiler), pemanas lanjut (super heater), pendingin oli pelumas (oil cooler), kondenser (condenser), dan lain-lain. Khusus untuk industri semen, sebenarnya peralatan utama produksi seperti suspension preheater, calciner, kiln, dan cooler sebenarnya juga merupakan alat penukar kalor. Selain itu masih banyak penukar kalor untuk fungsi lainnya yang dipergunakan dalam industri semen seperti pendingin minyak pelumas, pendingin udara untuk kebutuhan jet pulse filter, dan lain sebagainya.

Jika ditinjau dari fungsinya, semua penukar kalor sebenarnya sama fungsinya yaitu menukarkan energi yang dimiliki oleh suatu fluida atau zat ke fluida atau zat lainnya. Perlu dicatat di sini bahwa fluida atau zat yang saling ditukarkan energinya tersebut dapat merupakan fluida atau zat yang sama namun berbeda temperaturnya. Sebagai contoh dalam hal penukar kalor yang berfungsi untuk mendinginkan minyak pelumas gearbox dengan pendingin air, ini berarti bahwa penukar kalor tersebut berfungsi memindahkan energi yang dimiliki oleh minyak pelumas ke air pendinginnya, sehingga air tersebut menerima energi dari minyak pelumas yang ditandai dengan kenaikan temperaturnya. Sedangkan bagi minyak pelumas yang memberikan energinya ke air akan mengalami penurunan temperaturnya sehingga kekentalannya dan sifat melumasinya akan menjadi lebih baik dan dapat dipergunakan untuk melumasi kembali. Dalam kasus seperti ini seolah-olah penukar kalor hanyalah

merupakan tempat berlangsungnya transfer energi dari minyak pelumas menuju air pendingin

a) Fungsi alat penukar kalor

Dalam praktek fungsi penukar kalor yang dipergunakan di industri lebih diutamakan untuk menukarkan energi dua fluida (boleh sama zatnya) yang berbeda temperaturnya. Pertukaran energi dapat berlangsung melalui bidang atau permukaan perpindahan kalor yang memisahkan kedua fluida atau secara kontak langsung (fluidanya bercampur). Energi yang dipertukarkan akan menyebabkan perubahan temperatur fluida (kalor sensibel) atau kadang dipergunakan untuk berubah fasa (kalor laten). Laju perpindahan energi dalam penukar kalor dipengaruhi oleh banyak faktor seperti kecepatan aliran fluida, sifat-sifat fisik (viskositas, konduktivitas termal, kapasitas kalor spesifik, dan lain-lain), beda temperatur antara kedua fluida, dan sifat permukaan bidang perpindahan kalor yang memisahkan kedua fluida. Walaupun fungsi penukar kalor adalah untuk menukarkan energi dua fluida atau dua zat, namun jenisnya banyak sekali. Hal ini terjadi karena biasanya desain penukar kalor harus menunjang fungsi utama proses yang akan terjadi di dalamnya.

b) Jenis-jenis alat penukar kalor

Standar yang banyak dipergunakan dalam masalah penukar kalor ini yaitu TEMA (Tubular Exchanger Manufacturer Association) yaitu suatu asosiasi para pembuat penukar kalor di Amerika dan ASME (American Society of Mechanical Engineers). TEMA lebih banyak membahas mengenai jenis penukar kalor, metode perhitungan kinerja dan kekuatannya (proses perancangan), istilah bagian-bagian dari penukar kalor (parts), dan dasar pemilihan dalam aplikasi penukar kalor dalam kehidupan sehari-hari khususnya di industri. Sedangkan ASME lebih memuat masalah prosedur dasar bagaimana membuat penukar kalor serta standard bahan yang akan atau biasa dipergunakan. Kedua aturan atau prosedur tersebut tidak lain bertujuan untuk melindungi para pemakai dari bahaya kerusakan, kegagalan operasi, serta kemana dan dengan alasan apa apabila terjadi “complaint” terhadap masalah yang terjadi. Hal ini dapat dimengerti karena pada umumnya penukar kalor bekerja pada temperatur dan tekanan yang tinggi serta kadang-kadang menggunakan fluida yang bersifat kurang ramah terhadap kehidupan manusia.

Berdasarkan TEMA secara garis besar jenis penukar kalor dibagi menjadi dua kelompok besar berdasarkan pemakaiannya di industri yaitu:

- Kelas R : untuk pemakaian dengan kondisi kerja yang berat, misalnya untuk industri minyak dan industri kimia berat.
- Kelas C : yaitu yang dibuat untuk pemakaian umum (general purpose), yang dasar produksinya lebih memperhatikan aspek ekonomi dengan ukuran dan kapasitas pemindahan panas yang kecil. Kelas ini dipergunakan untuk pemakaian umum di industri.

Namun demikian di dalam pembicaraan di kalangan akademisi, klasifikasi penukar kalor ini menjadi lebih luas karena dapat digolong-golongkan berdasarkan berbagai aspek, antara lain:

- Proses perpindahan kalor yang terjadi.
- Tingkat kekompakan permukaan pemindah kalor.

- Profil konstruksi permukaan.
- Susunan aliran fluida.
- Jumlah atau banyaknya fluida yang dipertukarkan energinya.
- Mekanisme perpindahan kalor yang dominan.

1) Jenis penukar kalor berdasarkan proses perpindahan kalor yang terjadi.

Berdasarkan proses perpindahan kalor yang terjadi, penukar kalor dapat dibedakan menjadi dua golongan yaitu :

a. Tipe kontak langsung

Tipe kontak langsung adalah tipe alat penukar kalor dimana antara dua zat yang dipertukarkan energinya dicampur atau dikontakkan secara langsung. Contohnya adalah clinker cooler dimana antara clinker yang panas dengan udara pendingin berkontak langsung. Contoh yang lain adalah cooling tower untuk mendinginkan air pendingin kondenser pada instalasi mesin pendingin sentral atau PLTU, dimana antara air hangat yang didinginkan oleh udara sekitar saling berkontak seperti layaknya air mancur. Dengan demikian ciri khas dari penukar kalor seperti ini (kontak langsung) adalah bahwa kedua zat yang dipertukarkan energinya saling berkontak secara langsung (bercampur) dan biasanya kapasitas energy yang dipertukarkan relatif kecil. Contoh-contoh lain adalah desuper-heater tempat mencampur uap panas lanjut dengan air agar temperatur uap turun, pemanas air umpan ketel uap (boiler) dengan memanfaatkan uap yang diekstraksi dari turbin uap. Alat yang terakhir ini sering disebut feed water heater.

b. Tipe tidak kontak langsung

Tipe tidak kontak langsung adalah tipe alat penukar kalor dimana antara kedua zat yang dipertukarkan energinya dipisahkan oleh permukaan bidang padatan seperti dinding pipa, pelat, dan lain sebagainya sehingga antara kedua zat tidak tercampur. Dengan demikian mekanisme perpindahan kalor dimulai dari zat yang lebih tinggi temperaturnya mula-mula mentransfer energinya ke permukaan pemisah untuk kemudian diteruskan ke zat yang berfungsi sebagai pendingin atau penerima energi. Untuk meningkatkan efektivitas pertukaran energi, biasanya bahan permukaan pemisah dipilih dari bahan-bahan yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi seperti tembaga dan aluminium. Contoh dari penukar kalor seperti ini sering kita jumpai antara lain radiator mobil, evaporator AC, pendingin oli gearbox dengan air, dan lain-lain. Dengan bahan pemisah yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi diharapkan tahanan termal bahan tersebut akan rendah sehingga seolah-olah antara kedua zat yang saling dipertukarkan energinya seperti kontak langsung. Bedanya dengan yang kontak langsung adalah masalah luas permukaan transfer energi. Pada jenis kontak langsung luas permukaan perpindahan kalor sangat tergantung pada luas kontak antara kedua zat, sedangkan pada tipe tidak kontak langsung luas permukaan sama dengan luas permukaan yang memisahkan kedua zat.

2) Jenis penukar kalor berdasarkan tingkat kekompakan permukaan pemindah kalor

Yang dimaksud dengan kekompakan luas permukaan perpindahan kalor di sini adalah luas permukaan efektif yang tersentuh oleh salah satu zat (biasanya diambil yang tertinggi nilainya dalam  $m^2$ ) per atau dibagi dengan volume penukar kalor yang menempati ruang dalam  $m^3$ . Jadi dimensi kekompakan penukar kalor

adalah  $m^2/m^3$ . Apabila ditinjau dari kekompakan luas permukaan perpindahan kalor ini, suatu penukar kalor dikategorikan sebagai penukar kalor kompak bila luas permukaan perpindahan kalor per volumenya lebih besar dari  $700 m^2/m^3$ . Sedangkan yang nilainya kurang dari nilai itu disebut penukar kalor tidak atau kurang kompak. Radiator mobil dan kondenser AC split merupakan dua contoh penukar kalor kompak.

### 3) Jenis penukar kalor berdasarkan profil konstruksi permukaan

Berdasarkan profil konstruksi permukaan, penukar kalor yang banyak digunakan di industri antara lain dengan konstruksi tabung dan pipa (shell and tube), pipa bersirip (tube with extended surfaces / fins and tube), dan penukar kalor pelat (plate heat exchanger).

Berikut ini akan diuraikan satu persatu dari setiap jenis penukar kalor tersebut:

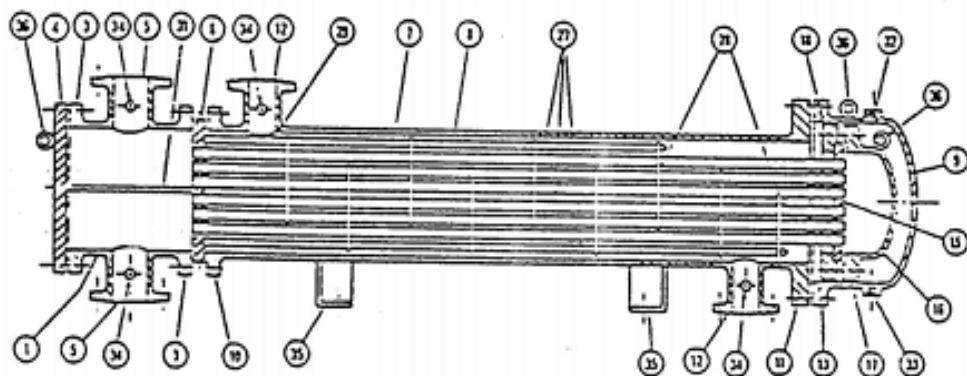
#### a. Tipe tabung dan pipa (shell and tube)

Tipe tabung dan pipa merupakan jenis penukar kalor yang paling banyak digunakan di industri khususnya industri perminyakan. Jenis ini terdiri dari suatu tabung dengan diameter cukup besar yang di dalamnya berisi seberkas pipa dengan diameter relatif kecil seperti diperlihatkan pada Gambar 2.1. Salah satu fluida yang dipertukarkan energinya dilewatkan di dalam pipa atau berkas pipa sedang fluida yang lainnya dilewatkan di luar pipa atau di dalam tabung.

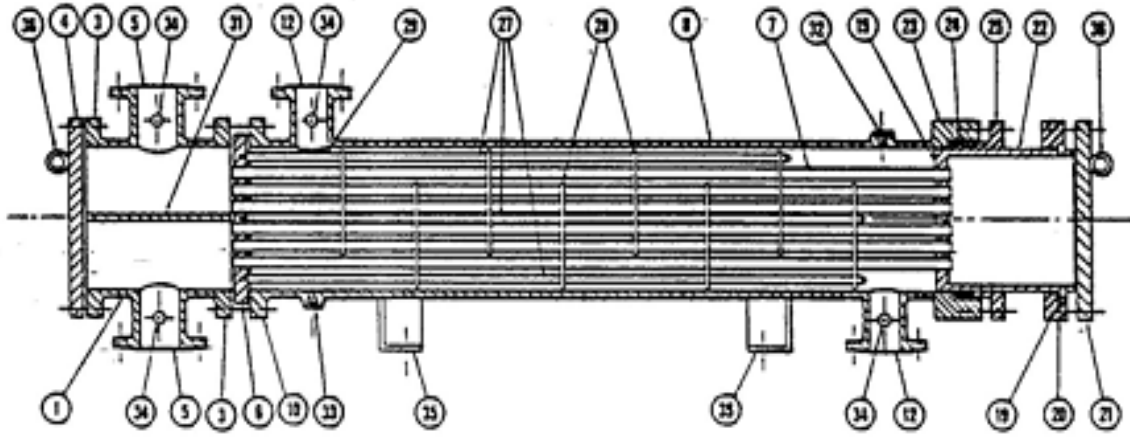
Konstruksi dari penukar kalor jenis ini sangat banyak. Salah satu contohnya diperlihatkan pada Gambar 2.1, yaitu jenis dengan konstruksi “fixed tube sheet” artinya pelat pemegang pipa-pipa pada kedua ujung pipa, keduanya memiliki konstruksi yang tetap (tidak dapat bergeser secara aksial dalam arah sumbu tabung relative antara satu sisi dengan sisi lainnya) seperti terlihat pada Gambar 2.1b. Contoh yang lain adalah jenis “floating tube sheet” artinya salah satu pelat pemegang pipa-pipa pada kedua ujung pipa dapat bergerak relatif terhadap satunya karena tidak terjepit oleh flens (mengambang) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1a.

Pergerakan relatif ini dimaksudkan sebagai kompensasi akibat pertambahan panjang bila terjadi perubahan temperatur pada pipa sehingga tidak memberikan tambahan beban gaya pada baut pengencang flens tabung di luar pipa. Hal ini selain untuk alasan kekuatan bahan juga dimaksudkan untuk keamanan dalam hal menghindari kebocoran.

Pada Gambar 2.1b nampak bahwa diameter tabung tidak sama sepanjang penukar kalor. Pebesar diameter dimaksudkan untuk menampung perubahan fasa dari fluida yang berada di luar pipa dan di dalam tabung. Alat ini diaplikasikan untuk proses penguapan atau pendidihan fluida di luar pipa. Jenis ini sering disebut dengan jenis ketel (kettle).



(a)



(b)

Gambar 2.1. Penukar kalor tipa tabung dan pipa (shell and tube)

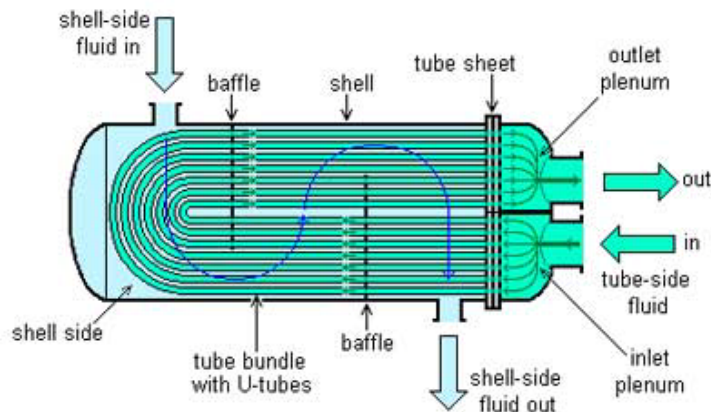
Nomenklatur dari Gambar 2.1 :

1. Tabung (shell)
2. Tutup tabung (shell cover)
3. Flens sisi alur (shell flange channel end)
4. Flens sisi tutup tabung (shell flange cover end)
5. Nosel (shell nozzle)
6. Pemegang pipa mengambang (floating tube sheet)
7. Penutup tabung mengambang (floating head cover)
8. Flens mengambang (floating head flange)
9. Peralatan di belakang flens (floating head backing device)
10. Pemegang pipa tetap (stationary tubesheet)
11. Kanal atau tutup tetap (channel or stationary head)
12. Tutup kanal (channel cover)
13. Nosel kanal (Channel nozzle)
14. Batang penguat dan pemisah (tie rod & spacers)
15. Bafel atau pelat pendukung (baffles or support plate)
16. Bafel penahan semprotan (impingement baffle)
17. Partisi laluan (pass partition)
18. Penghubung pengeluaran gas (vent connection)
19. Penghubung tempat pembuangan (drain connection)
20. Tempat alat ukur (instrument connection)
21. Tempat penopang (support saddles)
22. Lobang tempat untuk mengangkat (lifting lugs)
23. Pipa-pipa (tubes)
24. Weir penyambung alat untuk melihat ketinggian cairan (liquid level connection)

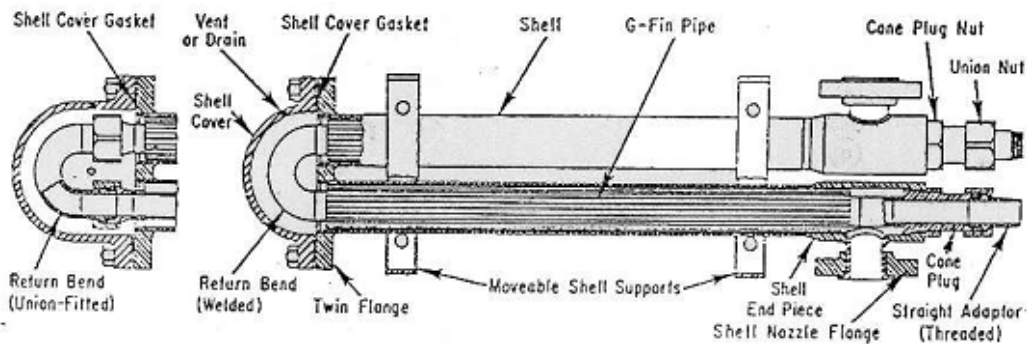


Selain jenis seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.1 untuk tipe tabung dan pipa masih ada jenis lain yang banyak pula dipergunakan di industri yaitu tipe pipa U (U tube type) seperti diperlihatkan pada Gambar 2.2 dan tipe dua pipa (double pipe type) seperti diperlihatkan pada Gambar 2.3 Pada jenis yang terakhir ini setiap tabung berisi berkas pipa masing-masing.

Fluida yang dipertukarkan energinya dalam penukar kalor tipe tabung dan pipa ini dapat berwujud cair dan cair atau cair dan gas, atau cair dan cair dalam proses perubahan fasa menjadi gas.



Gambar 2.2. Penukar kalor tabung dan pipa tipe pipa U



Gambar 2.3. Penukar kalor tabung dan pipa tipe dua pipa (double pipe)

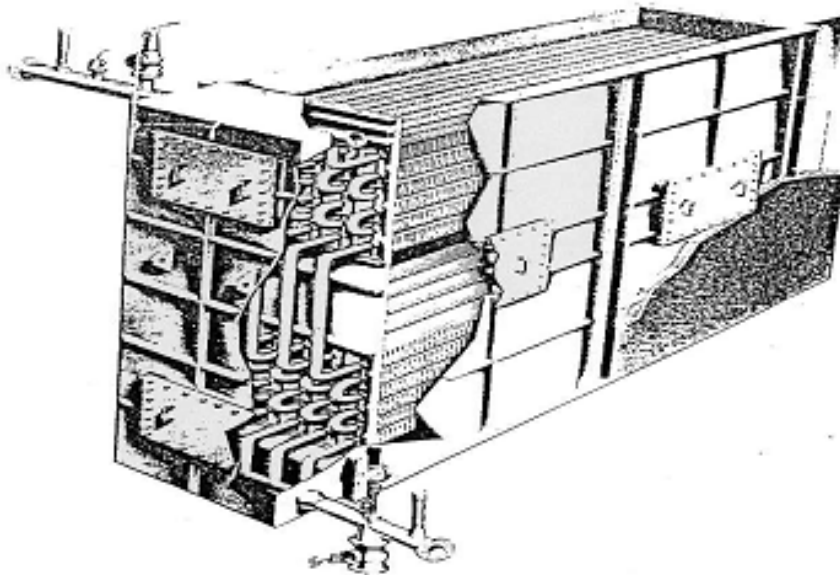
b. Tipe pipa bersirip (Fins and tube)

Salah satu contoh penukar kalor tipe pipa bersirip ini diperlihatkan pada Gambar 2.4 Contoh yang lain banyak dijumpai di lapangan antara lain radiator mobil, kondensor dan evaporator mesin pendingin dan masih banyak lagi yang lain. Pada umumnya penukar kalor jenis pipa bersirip ini dipergunakan untuk fluida cair dan gas dimana fluida gas dilalukan di luar pipa, yaitu bagian yang bersirip. Hal ini dimaksudkan untuk meningkatkan efektivitas transfer energi karena biasanya pada sisi gas koefisien perpindahan kalor memiliki nilai yang kecil sehingga untuk kompensasi agar laju transfer energinya meningkat diperlukan luas permukaan perpindahan kalor yang relatif tinggi.

Namun demikian pada kenyataannya dengan peningkatan luas permukaan sirip bukan berarti laju transfer energi meningkat secara proporsional terhadap

peningkatan luas tersebut karena adanya efektivitas penggunaan sirip. Secara umum tentunya di dalam sirip juga terjadi mekanisme perpindahan kalor, sementara itu sirip juga memiliki tahanan termal sehingga temperatur sirip akan bervariasi dengan nilai yang selalu berbeda dengan temperatur fluida yang berada di dalam pipa. Oleh karena laju transfer energi sangat tergantung pada beda temperatur antara kedua fluida sedangkan dengan adanya sirip akan menambah tahanan termal proses dan bagi suatu tempat di sirip yang lokasinya jauh dari fluida yang berada di dalam pipa akan bertemperatur sedemikian rupa sehingga bedanya dengan fluida yang berada di luar pipa akan mengecil, maka efektivitas laju transfer energi akan mengecil.

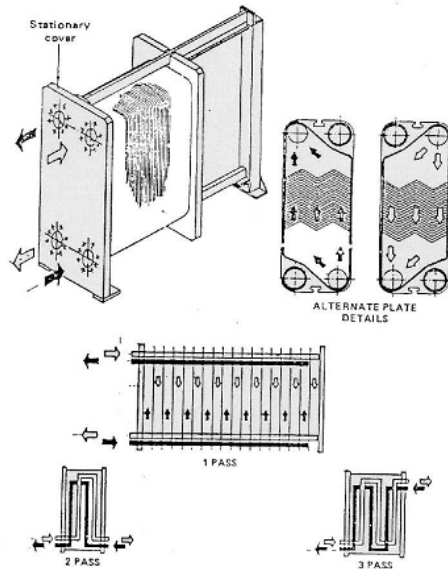
Penukar kalor tipe pipa bersirip juga bermacam-macam konstruksinya, antara lain penampang pipanya tidak selalu lingkaran, artinya banyak sekali pipa jenis pipih, oval, dan persegi yang dilengkapi dengan sirip. Penukar kalor pipa bersirip ini termasuk golongan penukar kalor kompak karena kebanyakan memiliki luas permukaan perpindahan kalor per volume lebih besar dari  $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .



Gambar 2.4. Penukar kalor tipe pipa bersirip (fins and tube)

c. Tipe pelat (plate heat exchanger)

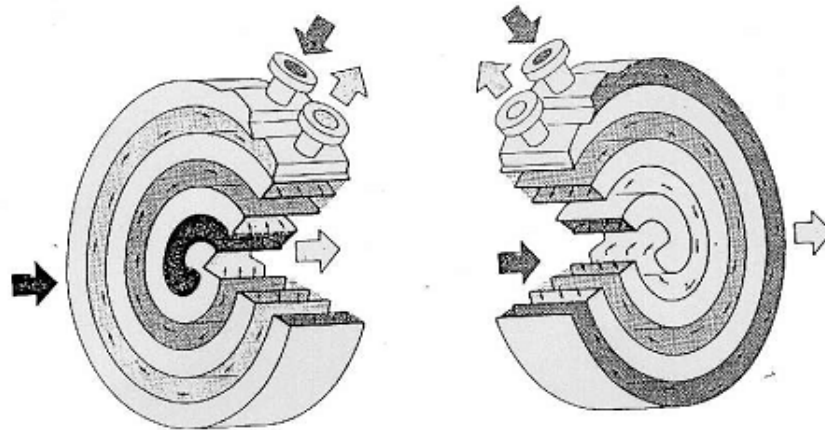
Penukar kalor tipe pelat merupakan penukar kalor yang sangat kompak karena memiliki kekompakan yang sangat tinggi. Penukar kalor jenis ini terdiri dari pelat-pelat yang sudah dibentuk dan ditumpuk-tumpuk sedemikian rupa sehingga alur aliran untuk suatu fluida akan terpisahkan oleh pelat itu sendiri terhadap aliran fluida satunya serta dipisahkan dengan gasket. Jadi kedua fluida yang saling dipertukarkan energinya tidak saling bercampur. Salah satu contoh penukar kalor tipe pelat ini diperlihatkan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5. Penukar kalor tipe pelat (plate heat exchanger)

d. Tipe spiral (spiral heat exchanger)

Penukar kalor tipe spiral diperlihatkan pada Gambar 2.6 Arah aliran fluida menelusuri pipa spiral dari luar menuju pusat spiral atau sebaliknya dari pusat spiral menuju ke luar. Permukaan perpindahan kalor efektif adalah sama dengan dinding spiral sehingga sangat tergantung pada lebar spiral dan diameter serta berapa jumlah spiral yang ada dari pusat hingga diameter terluar.



Gambar 2.6. Penukar kalor tipe spiral

4) Klasifikasi penukar kalor berdasarkan susunan aliran fluida.

Yang dimaksud dengan susunan aliran fluida di sini adalah berapa kali fluida mengalir sepanjang penukar kalor sejak saat masuk hingga meninggalkannya serta bagaimana arah aliran relatif antara kedua fluida (apakah sejajar/parallel, berlawanan arah/counter atau bersilangan/cross). Berdasarkan berapa kali fluida melalui penukar kalor dibedakan jenis satu kali laluan atau satu laluan dengan multi atau banyak laluan.

Pada jenis satu laluan, masih terbagi ke dalam tiga tipe berdasarkan arah aliran dari fluida yaitu:

a. Penukar kalor tipe aliran berlawanan

Yaitu bila kedua fluida mengalir dengan arah yang saling berlawanan. Pada tipe ini masih mungkin terjadi bahwa temperatur fluida yang menerima kalor saat keluar penukar kalor lebih tinggi dibanding temperatur fluida yang memberikan kalor saat meninggalkan penukar kalor. Bahkan idealnya apabila luas permukaan perpindahan kalor adalah tak berhingga dan tidak terjadi rugi-rugi kalor ke lingkungan, maka temperatur fluida yang menerima kalor saat keluar dari penukar kalor bisa menyamai temperatur fluida yang memberikan kalor saat memasuki penukar kalor. Dengan teori seperti ini jenis penukar kalor berlawanan arah merupakan penukar kalor yang paling efektif.

b. Penukar kalor tipe aliran sejajar

Yaitu bila arah aliran dari kedua fluida di dalam penukar kalor adalah sejajar. Artinya kedua fluida masuk pada sisi yang satu dan keluar dari sisi yang lain. Pada jenis ini temperatur fluida yang memberikan energi akan selalu lebih tinggi dibanding yang menerima energi sejak mulai memasuki penukar kalor hingga keluar. Dengan demikian temperatur fluida yang menerima kalor tidak akan pernah mencapai temperatur fluida yang memberikan kalor saat keluar dari penukar kalor. Jenis ini merupakan penukar kalor yang paling tidak efektif.

c. Penukar kalor dengan aliran silang

Artinya arah aliran kedua fluida saling bersilangan. Contoh yang sering ditemui adalah radiator mobil dimana arah aliran air pendingin mesin 12 yang memberikan energinya ke udara saling bersilangan. Apabila ditinjau dari efektivitas pertukaran energi, penukar kalor jenis ini berada diantara kedua jenis di atas. Dalam kasus radiator mobil, udara melewati radiator dengan temperatur rata-rata yang hampir sama dengan temperatur udara lingkungan kemudian memperoleh kalor dengan laju yang berbeda di setiap posisi yang berbeda untuk kemudian bercampur lagi setelah meninggalkan radiator sehingga akan mempunyai temperatur yang hampir seragam.

Sedangkan untuk multi laluan, terbagi ke dalam beberapa tipe sesuai dengan arah aliran kedua fluida yang saling bertukaran energinya, antara lain:

- Tipe gabungan antara aliran berlawanan dan bersilangan, misalnya pada tipe tabung dan pipa.
- Tipe gabungan antara aliran sejajar dan bersilangan,
- Tipe gabungan antara aliran berlawanan, sejajar dan bersilangan,
- Tipe aliran fluida terbagi dan fluida bercampur, misalnya pada kondenser AC.

5) Jenis penukar kalor berdasarkan jumlah fluida yang saling dipertukarkan energinya.

Pada umumnya penukar kalor beroperasi dengan dua fluida (keduanya dapat merupakan zat yang sama). Namun demikian ada pula penukar kalor yang dirancang untuk beroperasi dengan tiga jenis fluida misalnya yang sering digunakan pada instalasi proses pemisahan udara (yaitu antara refrigeran, oksigen, dan nitrogen), pada unit pemisah antara helium dan udara yang terdiri dari oksigen dan nitrogen, serta penukar kalor yang dipergunakan dalam proses sintesa gas ammonia pada pabrik pupuk. Dengan demikian berdasarkan jumlah fluida yang dipergunakan, terdapat dua

kategori penukar kalor yaitu penukar kalor dengan dua fluida dan penukar kalor dengan lebih dari dua fluida kerja.

6) Klasifikasi penukar kalor berdasarkan mekanisme perpindahan kalor yang dominan

Berdasarkan mekanisme perpindahan kalor yang dominan, penukar kalor dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis antara lain:

a. Penukar kalor tipe konveksi satu fasa (konveksi dapat secara alamiah atau paksa),

Dimana mekanisme perpindahan kalor yang terjadi didominasi oleh mekanisme konveksi dan selama proses perpindahan kalor tidak terjadi perubahan fasa pada kedua fluida yang saling dipertukarkan energinya. Contoh penukar kalor jenis ini adalah radiator mobil, pendingin pelumas dengan air, dan lain-lain.

b. Penukar kalor tipe konveksi dua fasa

Dimana mekanisme konveksi masih dominan namun salah satu dari fluida mengalami perubahan fasa, misalnya evaporator AC, kondenser dari PLTU atau AC, dan lain-lain.

c. Penukar kalor tipe konveksi dan radiasi

Dimana mekanisme radiasi dan konveksi sama-sama dominan seperti yang terjadi pada generator uap tipe pipa air dimana air yang 13 akan diuapkan mengalir di dalam pipa-pipa sedangkan api atau gas hasil pembakaran yang dipergunakan untuk memanaskan air berada di luar pipa-pipa tersebut.

# **BAB V**

## **PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengujian unjuk kerja heat exchanger dengan variasi laju alir volume sisi shell 5 lpm dan sisi tube 10 lpm, dapat ditarik beberapa kesimpulan :

1. Proses perpindahan panas yang terjadi pada heat exchanger meliputi :
  - Konveksi pada sisi shell
  - Konduksi dari dinding luar ke dinding dalam tube
  - Konveksi pada sisi tube
2. Nilai koefisien perpindahan kalor total heat exchanger  $132.618 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ .
3. Nilai kalor yang dipindahkan dengan variabel laju alir sisi shell 5 lpm dan sisi tube 10 lpm dalam rentang 20 menit proses berjalan berkisar antara 3258 – 4906 W.
4. Nilai kalor yang dipindahkan memiliki selisih cukup besar terhadap nilai kalor sisi tube. Hal ini menunjukkan adanya kerugian kalor.
5. Nilai kalor perubahan energi yang terjadi memiliki kisaran 1955 - 2960 W. Nilai perubahan energi cenderung menurun, nilai pada menit ke 8 lebih tinggi dari pada menit ke 18. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu heat exchanger beroperasi, nilai kalor yang ditransfer semakin besar.
6. Nilai kalor sisi shell dan sisi tube memiliki perbedaan cukup besar, terlihat dari nilai kalor perubahan energi yang yang besar. Hal ini membuktikan kalor yang diserap tube tidak optimal, banyak kalor dari sisi shell yang terbuang.
7. Nilai effectiveness heat exchanger, yaitu dalam rentang 0.4 – 0.5. Sedangkan menurut grafik 4.9, dengan berpatokan hubungan antara NTU dan  $C_{mixed}/C_{unmixed}$  diperoleh nilai effectiveness heat exchanger sekitar 0.2. Hal ini menunjukkan bahwa heat exchanger yang didesain memiliki kualitas yang baik karena nilai effectiveness yang dihasilkan lebih tinggi dari nilai effectiveness teoritis.
8. Faktor yang mempengaruhi kinerja heat exchanger shell and tube meliputi :
  - Desain heat exchanger.
  - Laju alir massa fluida.
  - Nilai Konduktifitas bahan heat exchanger.
  - Kerapatan isolasi dan seal.
  - Suhu lingkungan sekitar.

### **5.2 Saran**

Berdasarkan performa heat exchanger, ada beberapa saran yang dapat diberikan untuk meningkatkan kinerja heat exchanger tersebut.

1. Upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan performa dari heat exchanger yaitu dengan penggantian bahan. Bahan shell dapat diganti dengan stainless steel yang dilapisi isolator sedangkan bahan tube diganti dengan tembaga. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan nilai koefisien perpindahan kalor.

2. Untuk seal pemisah antara sisi masuk tube dan sisi keluar shell dibuat lebih rapat, serta diganti dengan bahan yang tahan terhadap tekanan dan suhu tinggi.
3. Penggantian manometer yang ada dengan manometer yang memiliki ketelitian tinggi.
4. Untuk menjaga kestabilan kinerja heat exchanger, fluida didalam shell dan tube dikeluarkan setelah heat exchanger selesai digunakan. Dan juga pembersihan heat exchanger secara rutin harus dilakukan.

