

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Prinsip dan Teori Dasar Perpindahan Panas

2.1.1. Perpindahan Kalor Konduksi

Perpindahan kalor konduksi adalah perpindahan energi sebagai kalor melalui sebuah proses medium stasioner, seperti tembaga, air, atau udara. Di dalam benda-benda padat maka perpindahan tenaga timbul karena atom-atom pada temperatur yang lebih tinggi bergetar dengan lebih bergairah, sehingga atom-atom tersebut dapat memindahkan tenaga kepada atom-atom yang lebih lesu yang berada di dekatnya dengan kerja mikroskopik, yakni kalor. Di dalam logam-logam, elektron-elektron bebas juga membuat kontribusi kepada proses hantaran kalor. Di dalam sebuah cairan atau gas, molekul-molekul juga mudah bergerak, dan tenaga juga dihantar oleh tumbukan-tumbukan molekul. (Reynold dan Perkins, 1983)

2.1.2. Perpindahan Kalor Radiasi

Perpindahan kalor radiasi adalah perpindahan energi oleh penjararan (rambatan) foton yang tak terorganisir. Setiap benda yang terus memancarkan foton-foton secara serampangan di dalam arah dan waktu, dan tenaga netto yang dipindahkan oleh foton-foton ini diperhitungkan sebagai kalor. Bila foton-foton ini berada di dalam jangkauan panjang gelombang 0,38 sampai 0,76 μm , maka foton-foton tersebut mempengaruhi mata kita sebagai sinar cahaya yang tampak (dapat dilihat). Bertentangan dengan itu, maka setiap tenaga foton yang terorganisir, seperti transmissi radio, dapat diidentifikasi secara mikroskopik dan tak dipandang sebagai kalor. (Reynold dan Perkins, 1983)

Pembahasan termodinamika menunjukkan bahwa radiator (penyinar) ideal, atau benda hitam (*blackbody*), memancarkan energi dengan laju yang sebanding dengan pangkat empat suhu absolut benda itu dan berbanding langsung dengan luas permukaan.

2.1.3. Perpindahan Kalor Konveksi

Bila sebuah fluida lewat di atas sebuah permukaan padat panas, maka energi dipindahkan kepada fluida dari dinding oleh hantaran panas. Energi ini kemudian diangkut atau dikonveksikan (*convected*), ke hilir oleh fluida, dan didifusikan melalui fluida oleh hantaran di dalam fluida tersebut.

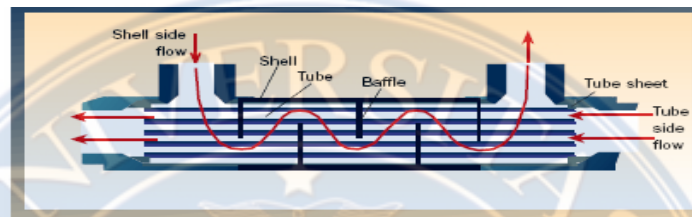
Jenis proses perpindahan energi ini dinamakan perpindahan panas konveksi (*convection heat transfer*). (Stoecker dan Jones, 1982)

Jika proses aliran fluida tersebut diinduksikan oleh sebuah pompa atau sistem pengedar (*circulating system*) yang lain, maka digunakan istilah konveksi yang dipaksakan (*forced convection*). Bertentangan dengan itu, jika aliran fluida timbul karena gaya apung fluida yang disebabkan oleh pemanasan, maka proses tersebut dinamakan konveksi bebas (*free*) atau konveksi alami (*natural*).

Panas adalah salah satu bentuk energi yang dapat dipindahkan dari suatu tempat ke tempat lain, tetapi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan sama sekali. Dalam suatu proses, panas dapat mengakibatkan terjadinya kenaikan suhu suatu zat dan atau perubahan tekanan, reaksi kimia dan kelistrikan. Proses terjadinya perpindahan panas dapat dilakukan secara langsung, yaitu fluida yang panas akan bercampur secara langsung dengan fluida dingin tanpa adanya pemisah dan secara tidak langsung, yaitu bila diantara fluida panas dan fluida dingin tidak berhubungan langsung tetapi dipisahkan oleh sekat-sekat pemisah.

2.2. Alat Penukar Kalor Jenis *Shell and Tube*

Shell and tube adalah salah satu jenis alat penukar kalor yang menurut konstruksinya dicirikan oleh adanya sekumpulan *tube* (tube bundles) yang dipasangkan didalam *shell* berbentuk silinder dimana dua jenis fluida yang saling bertukar kalor mengalir secara terpisah, masing-masing melalui sisi *tube* dan sisi *shell* seperti terlihat pada gambar 2.1.



Gambar : 2.1. Alat Penukar Kalor *Shell and Tube*.

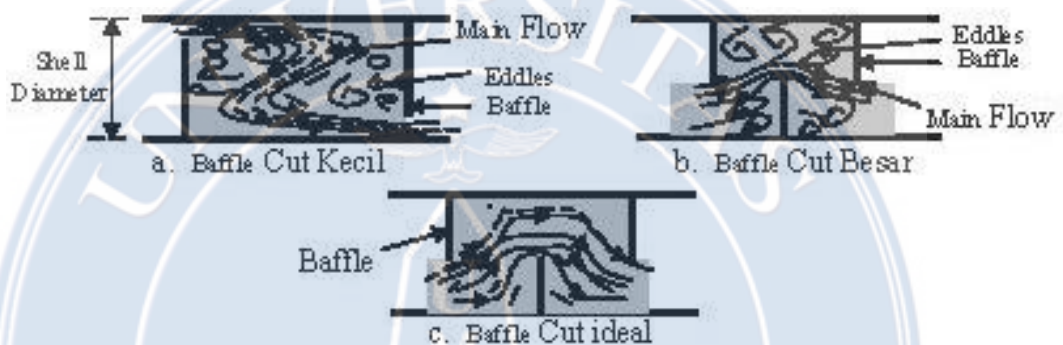
Umumnya, aliran fluida dalam *shell and tube* dari suatu APK adalah parallel atau berlawanan. Untuk membuat aliran fluida dalam shell and tube menjadi aliran menyilang (cross flow) biasanya dibuat sekat (baffle) Kern (1993) mengemukakan bahwa adanya pemasangan *baffle* yang berfungsi untuk mengarahkan fluida dalam *shell* sehingga aliran tersebut melintang (cross flow) terhadap *bundle tube*, juga akan menjadikan aliran tersebut lebih tur-bulen. Dengan demikian koefisien perpindahan kalor konveksi akan bertambah besar dibandingkan bila aliran tersebut mengalir axial sepanjang sumbu *tube* tanpa *baffle*.

Kern (1983) menambahkan bahwa semakin banyak jumlah *baffle* yang digunakan atau dengan kata lain jarak antara sekat (*baffle spacing*) semakin kecil, maka akan semakin bertambah derajat turbulensi aliran dan kerugian tekanan.

Mukherjee (1988) mengemukakan pemotongan ideal untuk *baffle cut* diambil antara 20% - 35% diameter *shell*. Apabila pemotongan *baffle* diambil kurang dari 20% dengan maksud agar koefisien perpindahan kalor konveksi dalam *shell side*

jadi bertambah, atau pemotongan diambil lebih dari 35% dengan maksud agar kerugian tekanan jadi berkurang, maka hasil yang diperoleh umumnya akan merugikan. Pada gambar 2.2. dapat terlihat efek dari *baffle cut*.

Untuk cairan fase tunggal pada sisi *shell*, *baffle cut* horizontal sangat dianjurkan guna meminimumkan endapan pada bagian dasar *shell*. Jarak *ideal baffle spacing* adalah $0,2 D$ dari diameter *shell* dengan 2 (dua) perbandingan pemakaian *baffle* gambar 2.2.



Gambar : 2.2. Efek dari *Baffle Cut*.

2.3. Faktor Yang Mempengaruhi Efektivitas Alat Penukar Kalor

Ada beberapa faktor mempengaruhi efektivitas yang telah diteliti sebagai berikut :

1. Handoyo Ekadewi Anggraini (2000) melakukan penelitian penggunaan *baffle* dapat meningkatkan efektivitas alat penukar kalor, hal ini sejalan dengan peningkatankoeffisien perpindahan kalor.
2. Handoyo Ekadewi Anggraini (2000) melakukan penelitian pengaruh tebal isolasi pada bagian luar *shell*, efektivitas meningkat hingga suatu harga maksimum dan kemudian akan berkurang.

3. Wahjudi Didik (2000) menyimpulkan dalam penelitiannya dengan mempergunakan alat penukar kalor tabung konsentris, efektivitas berkurang, jika kecepatan masuk udara dingin meningkat dan efektivitas meningkat, jika kecepatan udara panas meningkat.
4. Mukherjee (1998) menganjurkan jarak antara *baffle* minimum 0,2 dari diameter dalam *shell* sedangkan jarak maksimum adalah 1x diameter bagian dalam *shell*. Jarak *baffle* yang panjang akan menyebabkan aliran membujur dan kurang efisien dari pada aliran melintang.
5. Menurut Cengel (1987) hampir pada semua alat penukar kalor perpindahan kalornya didominasi oleh konveksi dan konduksi dari fluida panas ke fluida dingin, dimana keduanya dipisahkan oleh dinding perpindahan kalor secara konveksi dan dipengaruhi oleh bentuk geometri alat penukar kalor dan tiga bilangan tak berdimensi yaitu bilangan Reynold numbers, bilangan Nusselt dan bilangan Prandtl. Besar bilangan tak berdimensi tersebut tergantung kepada aliran serta properti fluida tersebut.

Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam peningkatan perpindahan kalor antara lain memperbesar permukaan, menimbulkan aliran pusaran. Bergles (1985) dan Sunder (1997) mengatakan bahwa suatu gas ke cair alat penukar kalor, luasan untuk gas harus lebih besar dari yang untuk cairan karena koefisien perpindahan kalor konveksi gas lebih kecil dari yang cair. Hal yang serupa dapat menjadi alasan kenapa efektivitas lebih tinggi saat udara panas mengalir diisi tube dan udara dingin mengalir disisi *shell*.

2.4. Klasifikasi Alat Penukar Kalor

Melihat begiPtu banyaknya jenis alat penukar kalor, maka dapat diklasifikasikan berdasarkan bermacam-macam pertimbangan yaitu:

2.4.1. Klasifikasi Berdasarkan Proses Perpindahan Panas

- a. Jenis kontak tidak langsung.
 - 1) Jenis dari satu fase.
 - 2) Jenis dari banyak fase.
 - 3) Jenis yang ditimbun (*storage tipe*).
 - 4) Jenis *fluidized bed*.
- b. Jenis kontak langsung.
 - 1) *Immiscible fluids*.
 - 2) *Gas liquid*.
 - 3) *Liquid vapor*.

2.4.2. Klasifikasi Berdasarkan Jumlah Fluida yang Mengalir

- a. Dua jenis fluida.
- b. Tiga jenis fluida.
- c. Empat jenis fluida.

2.4.3. Klasifikasi Berdasarkan Kompaknya Permukaan

- a. Jenis penukar kalor yang kompak, *density* luas permukaannya $> 700 \text{ m}^2/\text{m}^3$.
- b. Jenis penukar kalor yang tidak kompak, *density* luas permukaannya $< 700 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

2.4.4. Klasifikasi Berdasarkan Mekanisme Perpindahan Panas

- a. Dengan cara konveksi, satu fase pada kedua sisi alirannya.
- b. Dengan cara konveksi pada satu sisi aliran dan pada sisi yang lainnya terdapat

cara konveksi 2 aliran.

- c. Dengan cara konveksi pada kedua sisi alirannya serta terdapat 2 *pass* aliran masing masing.
- d. Kombinasi cara konveksi dan radiasi.

2.4.5. Klasifikasi Berdasarkan Konstruksi

- a. Konstruksi *turbular (shell and tube)*.
 - 1) *Tube ganda (double tube)*.
 - 2) Konstruksi *shell and tube*.
 - a. Sekat plat (*plate baffle*).
 - b. Sekat batang (*rod baffle*).
 - c. Konstruksi *tube spiral*.
- b. Konstruksi Jenis pelat.
 - 1) Jenis pelat.
 - 2) Jenis lamella.
 - 3) Jenis *spiral*.
 - 4) Jenis pelat *coil*.
- c. Konstruksi dengan luas permukaan diperluas (*extended surface*).
 - 1) Sirip pelat (*plate fin*).
 - 2) Sirip tube (*tube fin*).
 - a. *Heat pipe wall*.
 - b. *Ordinary separating wall*.
- d. *Regenerative*.
 - 1) Jenis *rotary*.
 - 2) Jenis *disk*.

3) Jenis *drum*.

4) Jenis matrik tetap.

2.4.6. Klasifikasi Berdasarkan Pengaturan Aliran

a. Aliran dengan satu *pass*.

1) Aliran berlawanan.

2) Aliran paralel.

3) Aliran melintang.

4) Aliran *split*.

5) Aliran yang dibagi (*divided*).

b. Aliran *multipass*.

1) Permukaan yang diperbesar (*extended surface*).

a. Aliran berlawanan menyilang.

b. Aliran sejajar menyilang.

c. Aliran campuran.

2) *Shell and tube*.

a. Aliran paralel yang berlawanan (1 laluan pada shell dan 2 laluan pada *tube*).

b. Aliran *split*.

c. Aliran dibagi (*divided*).

2.5. Pembagian Alat Penukar Kalor Jenis *Shell and Tube*

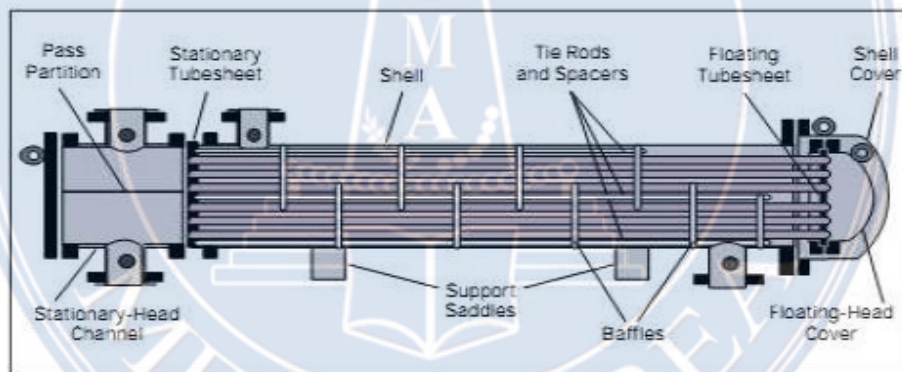
Begitu banyaknya jenis dari alat penukar kalor *shell and tube* yang dipergunakan pada dunia industri. Untuk membuat pembagiannya secara pasti adalah sangat sulit.

Tetapi oleh Standard of *Turbular Exchanger Manufactures Association* (Ir.

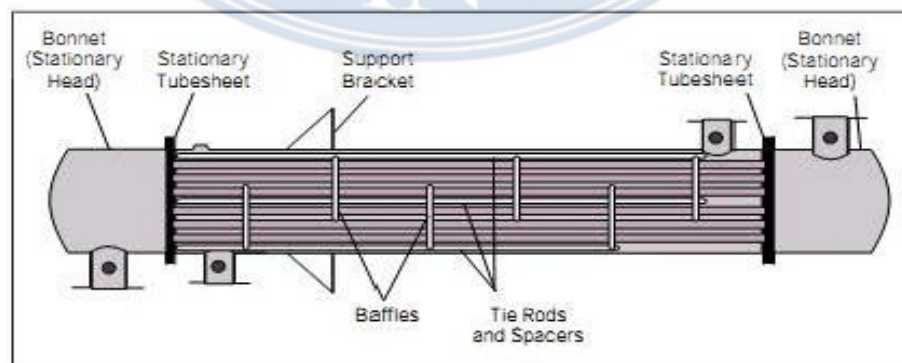
tunggul M. Sitompul, S.E., M.Sc., 1993) dikelompokkan berdasarkan pemakaian dari *heat exchanger* itu menjadi 3 kelompok yaitu :

1. Alat Penukar Kalor Kelas “R”, yang dipergunakan pada industri minyak dan peralatan yang berhubungan proses tersebut.
2. Alat Penukar Kalor Kelas “C”, yang dipergunakan pada keperluan komersial atau *general purpose* dengan didasarkan pada segi ekonomis dan ukuran kecil.
3. Alat Penukar Kalor Kelas “B” yang banyak dipergunakan pada proses kimia.

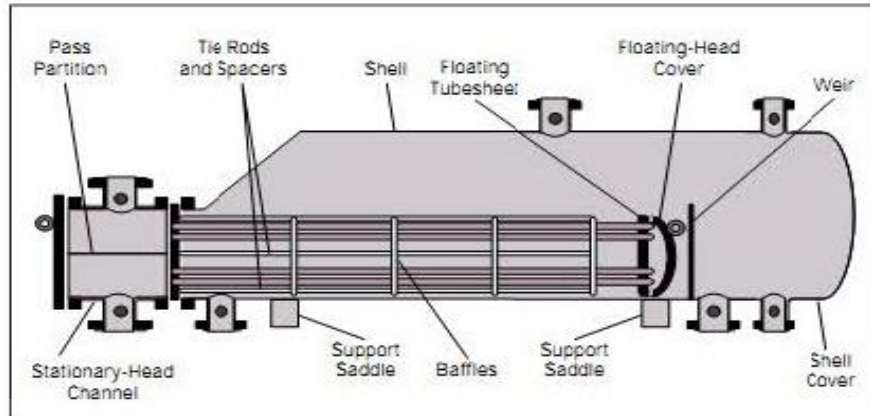
Alat penukar kalor kelas “R”, kelas “C”, dan kelas “B” ini, semuanya adalah alat penukar kalor yang tidak dibakar (*unfired Shell and tube*), tidak sama dengan ketel uap. Berikut contoh dari beberapa jenis alat penukar kalor standar seperti gambar berikut ini.



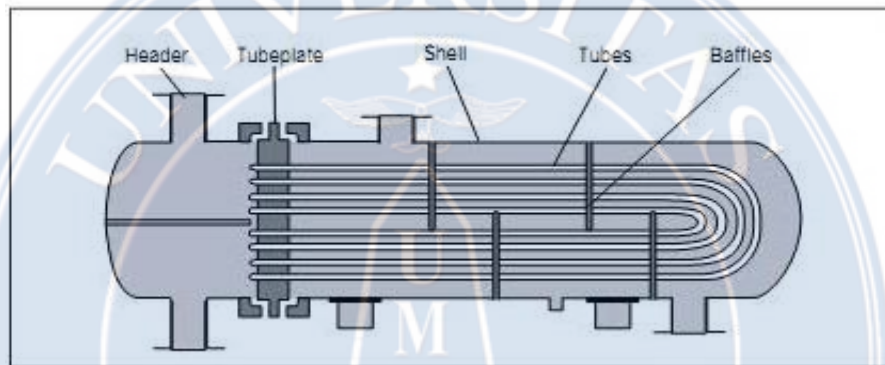
Gambar : 2.3. Alat Penukar Kalor Tipe AES.



Gambar : 2.4. Alat Penukar Kalor Tipe BEM.



Gambar : 2.5. Alat Penukar Kalor Tipe AKT.



Gambar : 2.6. Alat Penukar Kalor Tipe CEU.

2.6. Komponen-Komponen Alat Penukar Kalor

Dalam penguraian-penguraian komponen-komponen alat penukar kalor jenis shell and tube akan dibahas beberapa komponen yang sangat berpengaruh pada konstruksi alat penukar kalor. Untuk lebih jelasnya disini akan dibahas beberapa komponen dari alat penukar kalor jenis *shell and tube*.

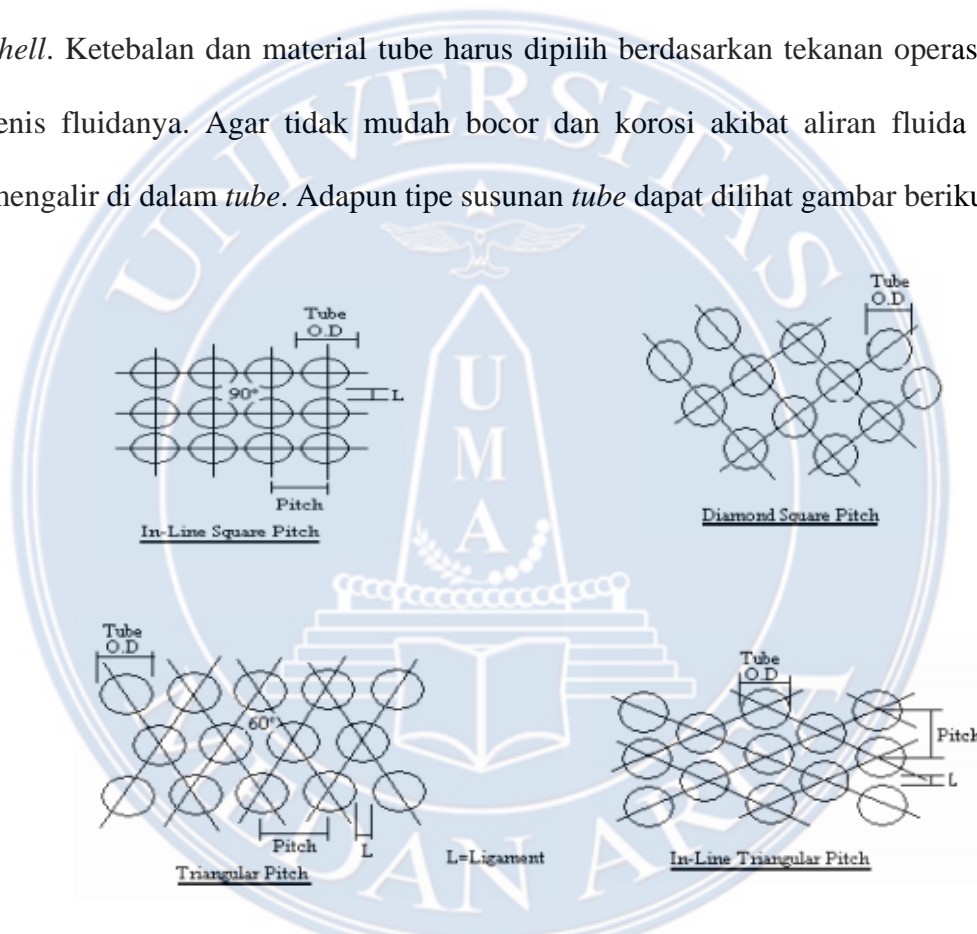
2.6.1. Shell

Konstruksi *shell* sangat ditentukan oleh kapasitas dan keadaan *tubes* yang akan ditempatkan didalamnya. *Shell* ini dapat dibuat dari pipa yang berukuran besar atau pelat baja yang dirol. *Shell* merupakan badan dari alat penukar kalor, dimana

terdapat tube bundle. Untuk temperature kerja yang tinggi kadang-kadang *shell* dibagi dua sambungan dengan sambungan ekspansi.

2.6.2. Tube

Tube merupakan bidang pemisah antara dua fluida yang mengalir, dan sekaligus sebagai bidang perpindahan panas. Pada umumnya *flow* fluida yang mengalir di dalam *tube* lebih kecil dibandingkan dengan *flow* fluida yang mengalir di dalam *shell*. Ketebalan dan material tube harus dipilih berdasarkan tekanan operasi dan jenis fluidanya. Agar tidak mudah bocor dan korosi akibat aliran fluida yang mengalir di dalam *tube*. Adapun tipe susunan *tube* dapat dilihat gambar berikut ini.



Gambar : 2.7. Tipe Susunan Tube Alat Penukar Kalor.

Susunan *tube* segitiga sangat populer dan sangat baik dipakai melayani fluida kotor/berlumpur atau yang bersih. Pembersihan *tube* dilakukan dengan cara kimia (*chemical cleansing*). Koefisien perpindahannya lebih baik dibandingkan susunan pipa bujur (*in-line square pitch*). Susunan tube segitiga banyak

dipergunakan dan menghasilkan perpindahan panas yang baik per satu satuan penurunan tekanan (*per unit pressure drop*), disamping itu letaknya lebih kompak. Susunan *tube* bujur sangkar membentuk 90° (*in-line square pitch*) banyak dipergunakan, dengan pertimbangan seperti berikut :

- a. Apabila penurunan tekanan (*pressure drop*) yang terjadi pada alat penukar kalor itu sangat kecil.
- b. Apabila pembersihan yang dilakukan pada bagian luar tube adalah dengan cara pembersihan mekanik (*mechanical cleansing*). Sebab pada susunan seperti ini terdapat celah antara tube yang dipergunakan untuk pembersihannya.
- c. Susunan ini memberikan perilaku yang baik, bila terjadi aliran *turbulen*, tetapi untuk aliran laminar akan memberikan hasil yang kurang baik.

Susunan *tube* yang membentuk 45° atau susunan belah ketupat (*diamond square pitch*) baik dipergunakan pada kondisi operasi yang penurunan tekanan kecil, tetapi lebih besar dari penurunan tekanan jenis bujur sangkar. Selain itu susunan *tube* ini relatif lebih baik dibanding susunan *tube* yang membentuk 30° terhadap aliran.

2.6.3. Baffle

Baffles atau sekat-sekat yang dipasang pada alat penukar kalor mempunyai beberapa fungsi, yaitu :

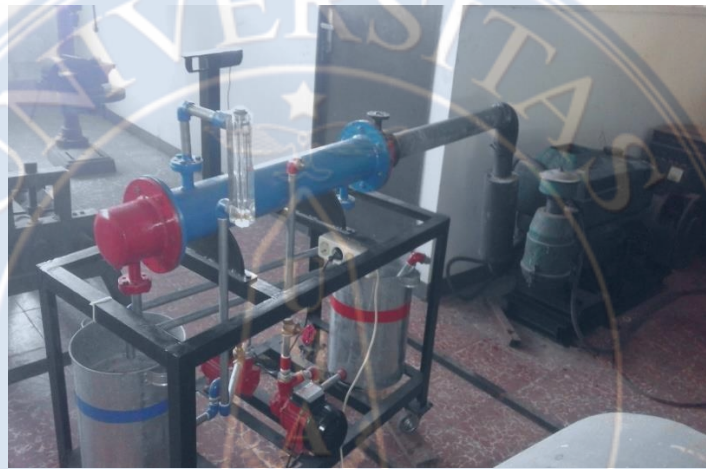
- a. Struktur untuk menahan *tube bundle*.
- b. *Damper* untuk menahan atau mencegah terjadinya getaran pada *tube*.
- c. Sebagai alat untuk mengontrol dan mengarahkan aliran fluida yang mengalir di luar *tube* (*shell side*).

Ditinjau dari segi konstruksi, sekat itu dapat diklasifikasikan dalam 4 kelompok

yaitu:

- a. Sekat pelat berbentuk *segment* (*segmental baffle plate*).
- b. Sekat batang (*rod baffle*).
- c. Sekat mendatar atau *longitudinal baffle*.
- d. Sekat *impingement* (*impingement baffle*).

2.7. Motor Bakar Diesel



Gambar : 2.8. Mesin Diesel.

Generator diesel pada sebuah tanker minyak.



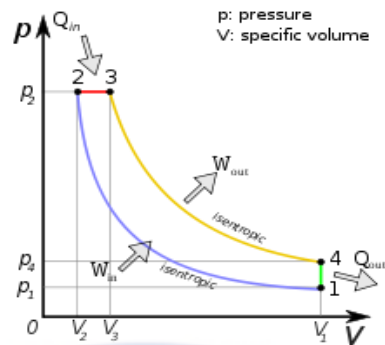
Gambar : 2.9. Motor Bakar Diesel Tanker Minyak.

Motor bakar diesel biasa disebut juga dengan mesin diesel (atau mesin pemicu kompresi) adalah motor bakar pembakaran dalam yang menggunakan panas kompresi untuk menciptakan penyalaan dan membakar bahan bakar yang telah diinjeksikan ke dalam ruang bakar. Mesin ini tidak menggunakan busi seperti mesin bensin atau mesin gas. Mesin ini ditemukan pada tahun 1892 oleh Rudolf Diesel, yang menerima paten pada 23 Februari 1893. Diesel menginginkan sebuah mesin untuk dapat digunakan dengan berbagai macam bahan bakar termasuk debu batu bara. Dia mempertunjukkannya pada Exposition Universelle (Pameran Dunia) tahun 1900 dengan menggunakan minyak kacang (lihat biodiesel). Mesin ini kemudian diperbaiki dan disempurnakan oleh Charles F. Kettering.

Mesin diesel memiliki efisiensi termal terbaik dibandingkan dengan mesin pembakaran dalam maupun pembakaran luar lainnya, karena memiliki rasio kompresi yang sangat tinggi. Mesin diesel kecepatan-rendah (seperti pada mesin kapal) dapat memiliki efisiensi termal lebih dari 50%.

Mesin diesel dikembangkan dalam versi dua-tak dan empat-tak. Mesin ini awalnya digunakan sebagai pengganti mesin uap. Sejak tahun 1910-an, mesin ini mulai digunakan untuk kapal dan kapal selam, kemudian diikuti lokomotif, truk, pembangkit listrik, dan peralatan berat lainnya. Pada tahun 1930-an, mesin diesel mulai digunakan untuk mobil. Sejak saat itu, penggunaan mesin diesel terus meningkat dan menurut *British Society of Motor Manufacturing and Traders*, 50% dari mobil baru yang terjual di Uni Eropa adalah mobil bermesin diesel, bahkan di Perancis mencapai 70%.

2.7.1. Sistem Kerja Mesin Diesel



Gambar : 2.10. Siklus Motor Diesel

Diagram siklus termodinamika sebuah mesin diesel ideal. Urutan kerja mesin diesel berurutan dari nomor 1-4 searah jarum jam. Dalam siklus mesin diesel, pembakaran terjadi dalam tekanan tetap dan pembuangan terjadi dalam volume tetap. Tenaga yang dihasilkan setiap siklus ini adalah area di dalam garis siklus.



Gambar : 2.11. Type Mesin Diesel.



Gambar : 2.12. Type Mesin Diesel.

Mesin diesel menggunakan prinsip kerja hukum Charles, yaitu ketika udara dikompresi maka suhunya akan meningkat. Udara disedot ke dalam ruang bakar mesin diesel dan dikompresi oleh piston yang merapat dengan rasio kompresi antara 15:1 dan 22:1 sehingga menghasilkan tekanan 40-bar (Templat : Convert/MPa psi), dibandingkan dengan mesin bensin yang hanya 8 sampai 14 bars (Templat : Convert/MPa psi). Tekanan tinggi ini akan menaikkan suhu udara sampai 550 °C (1,022 °F). Beberapa saat sebelum piston memasuki proses kompresi, bahan bakar diesel disuntikkan ke ruang bakar langsung dalam tekanan tinggi melalui nozzle dan injektor supaya bercampur dengan udara panas yang bertekanan tinggi. Injektor memastikan bahwa bahan bakar terpecah menjadi butiran-butiran kecil dan tersebar merata. Uap bahan bakar kemudian menyala akibat udara yang terkompresi tinggi di dalam ruang bakar.

Awal penguapan bahan bakar ini menyebabkan sebuah waktu tunggu selagi penyalan, suara detonasi yang muncul pada mesin diesel adalah ketika uap mencapai suhu nyala dan menyebabkan naiknya tekanan diatas piston secara mendadak. Oleh karena itu, penyemprotan bahan bakar ke ruang bakar mulai dilakukan saat piston mendekati (sangat dekat) TMA untuk menghindari detonasi. Penyemprotan bahan bakar yang langsung ke ruang bakar di atas piston dinamakan injeksi langsung (direct injection) sedangkan penyemprotan bahan bakar kedalam ruang khusus yang berhubungan langsung dengan ruang bakar utama dimana piston berada dinamakan injeksi tidak langsung (indirect injection).

Ledakan tertutup ini menyebabkan gas dalam ruang pembakaran mengembang dengan cepat, mendorong piston ke bawah dan menghasilkan tenaga linear. Batang penghubung (connecting rod) menyalurkan gerakan ini ke crankshaft dan oleh

crankshaft tenaga linear tadi diubah menjadi tenaga putar.

Tingginya kompresi menyebabkan pembakaran dapat terjadi tanpa dibutuhkan sistem penyalat terpisah (pada mesin bensin digunakan busi), sehingga rasio kompresi yang tinggi meningkatkan efisiensi mesin. Meningkatkan rasio kompresi pada mesin bensin hanya terbatas untuk mencegah kerusakan pra-penyalaan.

2.7.2. Sistem Injeksi Generasi Awal

Mesin asli Diesel menginjeksikan bahan bakar dengan bantuan udara bertekanan, yang mengatomisasi bahan bakar dan memaksa bahan bakar masuk dalam ruang bakar melalui nosel (menggunakan prinsip yang sama dengan semprotan aerosol). Bukaan nosel ditutup oleh katup yang dikontrol oleh camshaft untuk mengawali injeksi bahan bakar sebelum titik mati atas/*top dead centre*. Menggunakan 3 tahap kompresor memang memakan tenaga namun efisiensi dan output tenaga bersih yang dihasilkan diatas mesin pembakaran lainnya pada waktu itu.

Mesin diesel saat ini menggunakan tekanan sangat tinggi dengan pompa mekanik dan menekan bahan bakar dengan injektor tanpa udara bertekanan. Dengan diesel injeksi langsung, injektor akan menyemprot bahan bakar melalui 4-12 orifice kecil pada noselnya. Mesin diesel injeksi generasi awal selalu mempunyai pembakaran awal tanpa kenaikan tekanan yang drastis ketika pembakaran. Saat ini riset sedang dilakukan untuk menggunakan lagi beberapa bentuk injeksi udara desain asli Rudolf Diesel untuk mengurangi polusi nitrogen oksida. Pada semua mesin diesel, mesin diesel modern selalu mengacu pada desain asli Rudolf Diesel, dimana bahan bakar menyala melalui kompresi tinggi.

2.7.3. Jalur Bahan Bakar

Untuk aplikasi generator listrik, komponen penting dari mesin diesel adalah governor, yang mengontrol suplai bahan bakar agar putaran mesin selalu pada putaran yang diinginkan. Apabila putaran mesin turun terlalu banyak kualitas listrik yang dikeluarkan akan menurun sehingga peralatan listrik tidak dapat bekerja sebagaimana mestinya, sedangkan apabila putaran mesin terlalu tinggi maka dapat mengakibatkan over voltage yang bisa merusak peralatan listrik. Mesin diesel modern menggunakan pengontrolan elektronik canggih untuk mencapai tujuan ini melalui modul kontrol elektronik (ECM) atau unit kontrol elektronik (ECU) - yang merupakan "komputer" dalam mesin. ECM/ECU menerima sinyal kecepatan mesin melalui sensor dan menggunakan algoritma dan mencari tabel kalibrasi yang disimpan dalam ECM/ECU, dia mengontrol jumlah bahan bakar dan waktu melalui aktuator elektronik atau hidraulik untuk mengatur kecepatan mesin.

2.7.4. Supercharger dan Turbocharger

Kebanyakan mesin diesel saat ini telah mempunyai turbocharger dan beberapa diantaranya gabungan turbo dan supercharger. Karena bahan bakar pada mesin diesel tidak ada dalam silinder sebelum pembakaran dimulai, maka tekanan udara lebih dari 1 bar (100 kPa) dapat dimasukkan dalam silinder tanpa pra-pembakaran. Mesin dengan turbocharger dapat memproduksi tenaga jauh lebih besar daripada mesin biasa dengan konfigurasi yang sama, karena lebih banyak udara yang dimasukkan berarti makin banyak bahan bakar yang dapat dibakar sehingga tenaga lebih besar. Supercharger umumnya digerakkan mekanis oleh crankshaft mesin, sedangkan turbocharger digerakkan oleh gas buang mesin, tidak membutuhkan tenaga mekanis apapun. Turbocharger dapat mengurangi konsumsi bahan bakar

pada mesin diesel dengan mengambil panas yang terbuang dari gas buang.

Karena mesin dengan turbocharger dan supercharger dapat memproduksi tenaga lebih besar dengan kapasitas sama, maka perhatian lebih mesti diperhatikan pada desain mekanikal komponen, pelumasan, dan pendinginan. Piston umumnya didinginkan dengan minyak pelumas yang disemprotkan di bagian bawah piston. Mesin-mesin yang besar dapat menggunakan air, air laut atau minyak melalui pipa teleskopi yang menempel pada crosshead.

Untuk meningkatkan kemampuan mesin diesel, umumnya ditambahkan intercooler untuk mendinginkan udara yang akan masuk ruang bakar. Udara yang panas volumenya akan mengembang begitu juga sebaliknya, maka dengan didinginkan bertujuan supaya udara yang menempati ruang bakar bisa lebih banyak. Kondisi dingin.

1). Penyalaan

Mesin diesel sulit untuk hidup pada saat mesin dalam kondisi dingin. Beberapa mesin menggunakan pemanas elektronik kecil yang disebut busi menyala (spark/glow plug) di dalam silinder untuk memanaskan ruang bakar sebelum penyalaan mesin. Lainnya menggunakan pemanas "resistive grid" dalam "intake manifold" untuk menghangatkan udara masuk sampai mesin mencapai suhu operasi. Setelah mesin beroperasi pembakaran bahan bakar dalam silinder dengan efektif memanaskan mesin.

2). Pengentalan

Dalam cuaca yang sangat dingin, bahan bakar diesel mengental dan meningkatkan viscositas dan membentuk kristal lilin atau gel. Kristal ini dapat terbentuk di sepanjang jalur bahan bakar (terutama pada saringan), membuat

penyalan mesin dalam cuaca dingin menjadi sulit. Pemanas listrik kecil pada tanki bahan bakar dan di sepanjang sistem bahan bakar umumnya menjadi solusi. Selain itu, cara umum yang dipakai adalah untuk memanaskan saringan bahan bakar dan jalur bahan bakar secara elektronik.

Seiring dengan meningkatnya teknologi bahan bakar, pengentalan saat ini jarang terjadi, namun pada kondisi terdingin campuran adalah diesel dan minyak tanah dapat digunakan. Stasiun pengisian bahan bakar di kawasan dingin pada umumnya menyediakan bahan bakar diesel musim dingin yang memungkinkan operasi di bawah semestinya. Di Eropa, karakteristik bahan bakar ini tercantum pada standar EN 590.

2.7.5. Tipe Mesin Diesel

Ada dua kelas mesin diesel: dua-tak dan empat-tak.

Biasanya jumlah silinder dalam kelipatan dua, meskipun berapapun jumlah silinder dapat digunakan selama poros engkol dapat diseimbangkan untuk mencegah getaran yang berlebihan. Mesin 6 segaris paling banyak diproduksi dalam mesin tugas-medium ke tugas-berat, meskipun V8 dan 4 segaris juga banyak diproduksi. Mesin diesel bekerja dengan kompresi udara yang cukup tinggi, sehingga pada mesin disel besar perlu ditambahkan sejumlah udara yang lebih banyak. Maka digunakan Supercharger atau turbocharger pada intake manifold, dengan tujuan memenuhi kebutuhan udara kompresi.

2.8. Rumus Awal Yang Digunakan Dalam Penelitian Alat Penukar Kalor

2.8.1. Besar Kalor Yang Diserap Fluida Dingin

$$Q_{air} = m_{air} \times C_{p_{air}} \times (T_2 - T_1) \dots \dots \dots (2.1.)$$

Dimana : Q_{air} = Kalor yang diserap fluida dingin

m_{air} = Aliran massa air fluida dingin (Kg/s)

Cp_{air} = Panas jenis air (kJ/kg . °C)

t_1 = Temperatur air masuk (°C)

t_2 = Temperatur air keluar (°C)

2.8.2. Besar Kalor Yang Dilepaskan Fluida Panas

$$Q_{gas} = M_{gas} \cdot Cp_{gas} \cdot (Tg_1 - Tg_2) \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana : Q_{gas} = Kalor yang dilepaskan fluida panas

m_{gas} = Aliran massa gas (kg/s)

Cp_{gas} = Panas Jenis gas (kJ/kg . °C)

tg_1 = Temperatur gas masuk (°C)

tg_2 = Temperatur gas keluar (°C)

2.8.3. Perpindahan Panas Menggunakan Metode LMTD

$$Q = U \cdot A \cdot F \cdot LMTD \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana : Q = perpindahan kalor secara pindahan panas (Kw)

U = Koefisien perpindahan panas menyeluruh (kW/m.K)

F = Faktor koreksi

$LMTD$ = *Log Mean Temperatur Deference* (K)

$$LMTD = \frac{(Tg_1 - T_2) - (Tg_2 - T_1)}{\ln \frac{(Tg_1 - T_2)}{(Tg_2 - T_1)}} \dots \dots \dots (2.4)$$

2.8.4. Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh

$$U = \frac{1}{h_{out}} + \frac{\frac{1}{D_{po.in} \frac{D_{po}}{D_{pi}}}}{2 \cdot kp} + \frac{D_{po}}{h_{in} \cdot D_{pi}} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana : h, in = Koefisien perpindahan panas didalam pipa

h_{out} = Koefisien perpindahan panas diluar pipa

K_p = Konduktivitas termal pipa

$D_{p,i}$ = Diameter dalam pipa (m)

$D_{p,out}$ = Diameter luar pipa (m)

2.8.5. Luas Perpindahan Panas

$$A = \frac{Q}{U \cdot F \cdot LMTD} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana : A = Luas perpindahan panas (m^2)

2.9. Mencari Jarak Sekat Baffel, L_b

Untuk mencari jarak sekat baffel ditentukan oleh batas range 0,4-0,6 sampai diameter Shell , dalam penelitian ini digunakan yaitu sbb :

$$L_b = 0,4 \times D_s \dots\dots\dots(2.7)$$

2.9.1. Mencari Koefisien Perpindahan Panas Didalam Pipa , h_{in}

➤ Bilangan Reynold

$$Re_{gas} = \frac{4 \cdot m_1}{\pi \cdot D_{pi} \cdot \mu} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana : Re_{gas} = bilangan Reynold didalam pipa

$$m_1 = m_{gas} / N_t$$

➤ Diameter didalam pipa

$$D_{pi} = D_{out} - 2 \times t \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana : t = tebal pipa (tube)

➤ Bilangan Nusselt turbulen

$$Nu_{gas} = C \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,3} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana , C untuk ketentuan aliran :

0,021 = untuk Gas

0,023 = Untuk cairan tidak viscos

0,027 = Untuk cairan tidak viscos

Sumber : JP.HOLMAN, *Perpindahan kalor*

Maka untuk menentukan koefisien perpindahan panas pada pipa dapat digunakan persamaan berikut :

$$h_{in} = \frac{nu_{gas} \cdot k_{gas}}{D_{pi}} \dots \dots \dots (2.11)$$

Nb : untuk Konduktivitas termal K_{gas} dapat dicari melalui perhitungan tabel Ineterpolasi JP. HOLMAN.

2.9.2. Mencari Koefisien Perpindahan Panas Didalam Shell

Untuk Menghitung Koefisien perpindahan Panas didalam shell dibutuhkan Perhitungan Luas aliran silang Tegak lurus (A_s) Untuk Jajaran Pipa pada Sumbu Shell, Yaitu :

$$A_s = \frac{(P_t - D_{po}) \cdot D_s \cdot L_b}{P_t} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana : P_t = tube pitch ; jarak antara dua pusat pipa (m)

D_s = Diameter Shell (m)

L_b = Jarak baffel (m)

A_s = Luas transisi sisi shell (m^2)

➤ Menghitung Kecepatan massa G_s di sisi shell

$$G_s = \frac{m_{air}}{A_s} \dots \dots \dots (2.13)$$

➤ Menhitung Diameter ekivalen susunan Segitiga

$$D_e = \frac{4\left(\frac{p_t}{2} \times 0,87 \cdot p_t - 0,5\pi \frac{D_{po^2}}{4}\right)}{\pi \frac{D_{pi}}{2}} \dots \dots \dots (2.14)$$

➤ Bilangan Reynold di sisi shell

$$Re_{air} = \frac{G_s \cdot D_e}{\mu_{air}} \dots \dots \dots (2.15)$$

2.9.3. Penurunan Tekanan Didalam Pipa Dan Didalam Shell

$$\Delta P_t = \left(4 \cdot F \frac{L \cdot Np}{Dp_{in}} + 4 \cdot Np\right) \frac{p_{gas} \cdot U^2 m}{2} \dots \dots \dots (2.16)$$

2.9.4. Friction Factor Didalam Pipa

$$F = (1,58 \ln Re_{gas} - 3,28)^2 \dots \dots \dots (2.17)$$

2.9.5. Penurunan Tekanan Didalam Shell

$$\Delta P_s = \frac{f \cdot G_s^2 \cdot (Nb + 1) \cdot D_s}{2 \cdot p \cdot D_e \cdot \phi_s} \dots \dots \dots (2.18)$$

Dimana : ΔPs = Penurunan tekanan didalam shell (Pa)

$$\phi_s = \left(\frac{\mu_{air}}{\mu_{wair}}\right) \dots \dots \dots (2.19)$$

➤ Friction factor didalam shell

$$F = \exp(0,576 - 0,19 \ln Re_{air}) \dots \dots \dots (2.20)$$

2.9.6. Mencari Efektivitas Penukar Kalor

Dapat dicari dengan persamaan sbb :

$$\epsilon = \frac{Q}{Q_{max}} \dots \dots \dots (2.21)$$

Dimana :

$$Q_{max} = c_{min} (T_{g1} - T_1) \dots \dots \dots (2.22)$$

Kapasitas minimum dipilih dari $c_c = m_c \times Cp_{air}$ dan $c_h = m_h \times Cp_{gas}$