

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Berdasarkan penelusuran, ada beberapa penelitian sebelumnya yang cukup relevan dengan penelitian ini. Penelitian ini dengan penelitian sebelumnya memiliki perbedaan dan persamaan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Sudrajat, 2017) dengan judul analisis kinerja *heat exchanger shell & tube* pada sistem *cog booster* di integrated steel mill Krakatau. Efektivitas dari *shell and tube* bergantung kepada perbandingan Q_{act} dan Q_{max} yang dihasilkan, sehingga ketika Q_{act} nya mengalami penurunan maka efektivitasnya juga akan mengalami penurunan. Dari hasil analisis pada awal periode pertama menghasilkan nilai efektivitas sebesar 37,4%. Sedangkan di akhir periode kedua efektivitas yang dihasilkan mengalami penurunan menjadi 33,7%. Dengan kata lain dari awal periode pertama hingga akhir periode kedua terjadi penurunan efektivitas sebesar 3,7%.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Yanyusra, 2021) Alat penukar kalor (*Heat Exchanger*) merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menukarkan energi dalam bentuk panas. Berkembangnya teknologi penggunaan alat penukar kalor dalam dunia industri menjadi alasan penulis membuat penelitian tentang alat penukar kalor. Alat penukar kalor yang dibuat adalah alat penukar kalor tipe pipa ganda. Alat penukar kalor ini adalah alat penukar kalor yang paling sederhana dan lebih sering digunakan untuk proses pembelajaran tentang prinsip kerja alat penukar kalor. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai efektivitas dari alat penukar kalor yang sudah dibuat oleh penulis. Penelitian akan dilakukan pada alat penukar kalor tipe pipa ganda dengan melakukan variasi pada suhu fluida panas masuk. Suhu fluida masuk yang digunakan adalah 40°C, 45°C, 50°C, 55°C, 60°C. Fluida pendingin menggunakan suhu $\pm 29^\circ\text{C}$. Laju aliran volume fluida panas 1,65 liter/menit, dan laju aliran volume fluida dingin 2,65 liter/menit. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen langsung dimana proses pengambilan data dilakukan secara langsung pada alat penukar kalor tipe pipa ganda yang sudah dibuat. Pengambilan data temperatur fluida dilakukan dengan melihat nilai yang tertera pada *thermocouple*, dan pengambilan data laju aliran fluida dilakukan

dengan melihat nilai yang tertera pada *flow* meter. Hasil analisa nilai efektivitas pada alat penukar kalor yang sudah dibuat. (A) efektivitas pada aliran berlawanan arah (%): uji coba pertama, kedua, ketiga, keempat, dan kelima, (12,15%), (12,18%), (14,08%), (14,40%), (15,36%). (B) efektivitas pada aliran satu arah (%): uji coba pertama, kedua, ketiga, keempat, dan kelima, (15,39%), (16,13%), (16,50%), (17,58%), (17,86%). Dari beberapa pengujian didapatkan bahwa arah aliran fluida dapat mempengaruhi nilai efektivitas, dimana pada aliran fluida satu arah mendapatkan nilai efektivitas yang lebih baik.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Ekadewi, 2000) dengan judul pengaruh kecepatan aliran terhadap efektivitas *shell and tube heat exchanger* yaitu *Heat Exchanger* merupakan peralatan yang digunakan untuk perpindahan panas antara dua atau lebih fluida. Banyak jenis heat exchanger yang dibuat dan digunakan dalam pusat pembangkit tenaga, unit pendingin, unit pengkondisi udara, proses di industri, sistem turbin gas, dan lain-lain. Dalam *heat exchanger* tidak terjadi pencampuran seperti halnya dalam suatu *mixing chamber*. Dalam radiator mobil misalnya, panas berpindah dari air yang panas yang mengalir dalam pipa radiator ke udara yang mengalir dengan bantuan fan. Efektivitas *shell and tube heat exchanger* meningkat jika fluida, baik di sisi *shell* maupun di sisi *tube*, mengalir dengan kecepatan lebih tinggi hingga suatu harga maksimum dan kemudian akan menurun meskipun kecepatan fluida meningkat terus. Efektivitas *shell and tube heat exchanger* lebih tinggi jika udara panas mengalir di *tube* dan udara dingin mengalir di *shell*.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Ahmad, 2020) dengan judul analisis pengaruh kecepatan aliran fluida dingin terhadap efektivitas *shell and tube heat exchanger* yaitu Berdasarkan hasil perhitungan dapat disimpulkan sebagai berikut: Nilai karakteristik alat penukar kalor didapat paling optimum pada kecepatan fluida dingin (V_c) = 2,91 m/s dan minimum pada kecepatan fluida dingin (V_c) = 1,19 m/s maka didapat ke naikan kecepatan aliran fluida dingin (V_c) meningkatkan nilai karakteristik yang meningkatkan kinerja atau efektivitas (ϵ) suatu alat penukar kalor dari 33,9% menjadi 50%. Pada kecepatan fluida dingin (V_c) = 1,19 m/s fluida dingin dapat menyerap panas hingga temperatur keluar fluida dingin ($T_{c,2}$) naik sampai 44,7 °C dan sampai pada kecepatan fluida dingin (V_c) =

2,91 m/s penyerapan panas fluida dingin turun hingga temperature keluar fluida dingin ($T_{c,2}$) hanya naik sampai 41,6 °C, maka jika kecepatan fluida dingin dinaikan terus menerus akan membuat kontak kedua fluida semakin singkat yang berakibat penurunan suhu fluida panas turun yang artinya akan membuat temperatur keluar fluida panas ($T_{h,2}$) akan naik, yang mengakibatkan efektivitas (ϵ) suatu alat penukar kalor akan turun. Terjadi selisih temperatur antara fluida masuk dan keluar menurun yang mengakibatkan turunnya efektivitas *shell and tube heat exchanger*.

Adapun letak persamaan dari penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah terletak pada sistem perpindahan panas yang menggunakan fluida cair berupa air PDAM. Penelitian yang ingin dicapai yaitu meneliti tentang efektivitas alat penukar kalor tipe *shell and tube* menggunakan fluida cair yaitu air PDAM dengan variasi *temperature* fluida panas yang masuk. Penelitian akan dilakukan dengan mengambil metode – metode yang dinilai bisa diterapkan dari penelitian sebelumnya dan mengembangkan lebih lanjut, dalam penelitian ini difokuskan pada pencapaian nilai efektivitas yang dihasilkan dari alat penukar kalor tipe *shell and tube*.

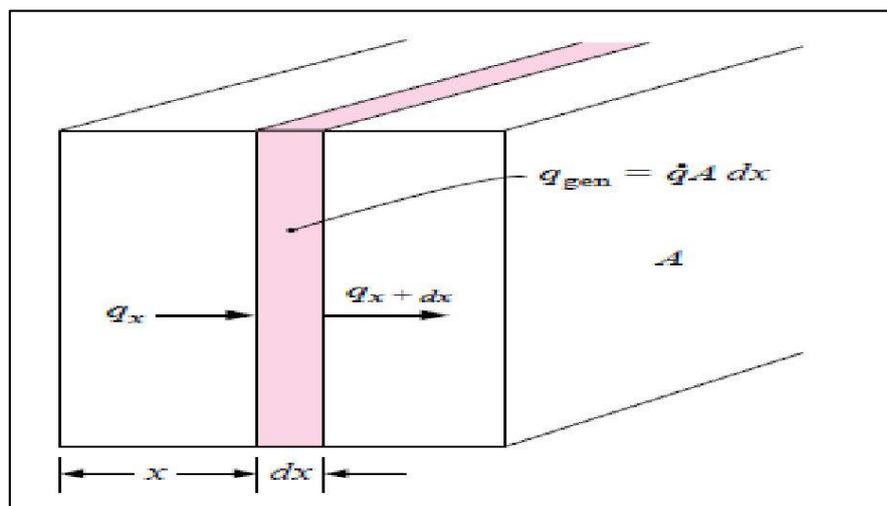
2.2 Heat exchanger

Heat exchanger adalah suatu alat yang dapat menghasilkan perpindahan kalor dari suatu fluida ke fluida lain. Proses perpindahan kalor itu terjadi antara dua fluida yang dipisahkan oleh suatu batas dan mempunyai temperatur yang berbeda. Salah satu konstruksi alat penukar kalor yang banyak digunakan adalah jenis *shell and tube*. (Hasan, 2018). Penukar panas biasanya digunakan dalam praktik berbagai aplikasi, dari sistem pemanas, pendingin udara di rumah tangga, hingga pemrosesan kimia dan produksi listrik di pabrik besar. 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 panas yang memisahkan kedua fluida atau secara kontak langsung (fluida nya bercampur). Energi yang dipertukarkan akan menyebabkan perubahan temperature pada kedua fluida (Cengel, 2003).

Perpindahan panas adalah perpindahan energi akibat adanya perubahan suhu diantara dua tempat yang berbeda. Ada beberapa cara untuk perpindahan panas terjadi, yaitu:

2.2.1 Konduksi

Konduksi adalah perpindahan energi dari partikel yang mempunyai energi lebih tinggi ke partikel yang mempunyai energi lebih rendah, dimana partikel tersebut bersentuhan secara langsung sebagai akibat dari interaksi antara partikel. Konduksi dapat terjadi pada zat padat, cair, dan gas. Di gas dan cairan, konduksi disebabkan oleh tumbukan dan difusi molekul selama gerakan acak antara partikel zat tersebut. Contohnya minuman kaleng dingin di ruangan yang hangat, akhirnya minuman kaleng tersebut menghangat hingga mengikuti suhu kamar sebagai akibat dari perpindahan panas dari ruangan ke minuman melalui kaleng aluminium dengan konduksi (Cengel, 2003).

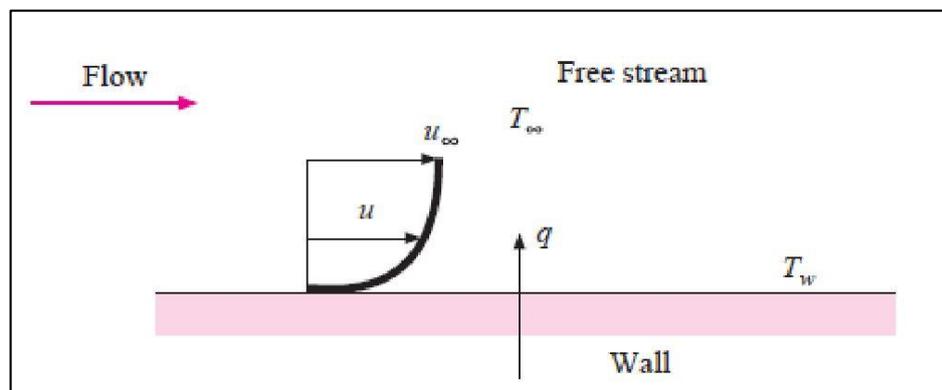


Gambar 2. 1 Perpindahan Panas Secara Konduksi
(sumber: J.P Holman, 1997)

2.2.2 Konveksi

Perpindahan panas konveksi terjadi antara permukaan suatu benda padat dengan fluida (cairan atau gas) yang mengalir menyentuh permukaan benda tersebut. Konveksi adalah cara perpindahan energi antara permukaan benda padat dengan cairan atau gas yang bergerak dimana cairan atau gas tersebut bersentuhan dengan permukaan benda padat. Konveksi melibatkan efek gabungan dari konduksi

dan gerak fluida. Semakin cepat gerakan fluida, semakin besar perpindahan panas konveksi. Kecepatan fluida yang semakin tinggi dapat meningkatkan perpindahan panas antara permukaan padat dan fluida. Contohnya pendinginan balok panas dengan meniupkan udara dingin ke permukaan balok tersebut. Energi pertama-tama ditransfer ke lapisan udara yang berdekatan dengan blok dengan konduksi. Energi ini kemudian dibawa pergi dari permukaan dengan konveksi, yaitu oleh efek gabungan dari konduksi di udara yang disebabkan oleh gerakan molekul udara, dimana gerakan udara yang menghilangkan panas pada permukaan dan menggantikannya dengan udara yang lebih dingin (Cengel, 2003).

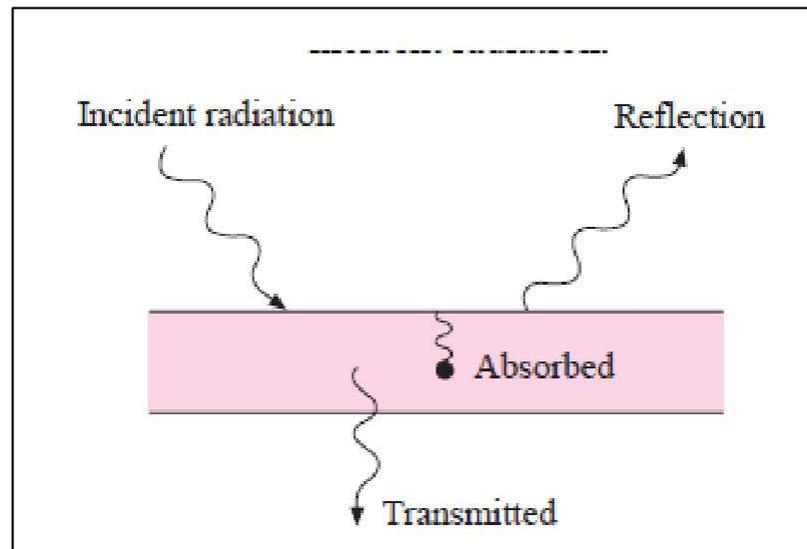


Gambar 2. 2 Perpindahan Panas Secara Konveksi
(sumber: J.P Holman, 1997)

2.2.3 Radiasi

Radiasi adalah energi yang dipancarkan oleh suatu benda dalam bentuk gelombang elektromagnetik sebagai akibat dari perubahan konfigurasi elektronik dari atom atau molekul. Tidak seperti konduksi dan konveksi, perpindahan energi radiasi tidak memerlukan kehadiran media perantara. Faktanya, *transfer* energi melalui radiasi paling cepat (pada kecepatan cahaya) dan itu tidak mengalami redaman meskipun dalam ruang hampa. Hal ini terjadi pada perpindahan energi dari matahari hingga mencapai ke bumi. Dalam studi perpindahan panas kita tertarik pada radiasi termal, yang merupakan bentuk radiasi yang dipancarkan oleh benda karena suhunya. Ini merupakan bentuk yang berbeda, tidak seperti radiasi pada gelombang elektromagnetik, seperti sinar-x, sinar gamma, gelombang mikro, gelombang radio, dan gelombang televisi yang tidak berhubungan dengan suhu. Semua benda pada suhu di atas nol mutlak memancarkan radiasi termal. Radiasi adalah fenomena volumetrik, dan semua padatan, cairan, dan gas memancarkan,

menyerap, atau mentransmisikan radiasi ke berbagai tingkat. Namun, radiasi biasanya dianggap sebagai fenomena permukaan untuk padatan yang tidak tembus cahaya radiasi termal seperti logam, kayu, dan batu karena radiasi yang dipancarkan oleh daerah dari bahan tersebut tidak akan pernah bisa mencapai permukaan, dan insiden radiasi pada benda tersebut biasanya diserap dalam beberapa mikron dari permukaannya (Cengel, 2003).



Gambar 2. 3 Perpindahan Panas Secara Radiasi
(sumber: J.P Holman, 1997)

2.3 Prinsip *Heat Exchanger*

Heat exchanger beroperasi berdasarkan prinsip perpindahan panas (*heat transfer*), yaitu perpindahan panas dari fluida yang temperaturnya lebih tinggi ke fluida yang temperaturnya lebih rendah. Terkadang, ada suatu dinding metal yang menyekat antara kedua fluida yang berlaku sebagai konduktor. *Fluida* panas yang mengalir pada satu sisi yang mana memindahkan panasnya melalui fluida lebih dingin yang mengalir di sisi lainnya. Energi panas hanya mengalir dari yang lebih panas kepada yang lebih dingin dalam percobaan untuk menjangkau keseimbangan. Permukaan area *heat exchanger* mempengaruhi efisiensi dan kecepatan perpindahan panas yang lebih besar area permukaan panas *exchanger*, lebih efisien dan yang lebih cepat pemindahan panasnya.

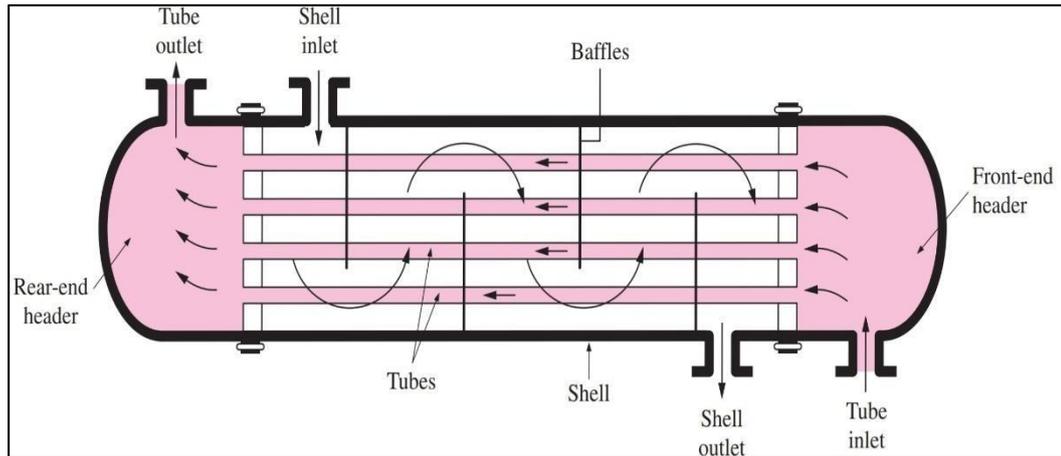
2.4 Klasifikasi *Heat Exchanger*

Heat exchanger dapat diklasifikasikan dalam beberapa kelompok sebagai berikut:

- a. Berdasarkan proses perpindahan panas
 - Perpindahan panas secara langsung
 - Perpindahan panas secara tak langsung
- b. Berdasarkan konstruksi
 - Konstruksi tabung (tubular)
 - Konstruksi tipe pelat
 - Konstruksi dengan luas permukaan diperluas
 - Konstruksi regeneratif
- c. Berdasarkan jenis aliran
 - Alat penukar kalor aliran sejajar (Parallel Flow)
 - Alat penukar kalor aliran berlawanan (Counter Flow)
 - Alat penukar kalor aliran silang (Cross Flow)
- d. Berdasarkan pengaturan aliran
 - Aliran dengan satu pass
 - Aliran dengan multi pass
- e. Berdasarkan banyaknya *fluida* yang digunakan
 - Dua jenis fluida
 - Tiga jenis fluida atau lebih
- f. Berdasarkan mekanisme perpindahan panas
 - Konveksi satu fasa
 - Konveksi dua fasa
 - Kombinasi perpindahan panas secara konveksi dan radiasi

2.5 *Shell and Tube Heat Exchanger*

Shell and tube adalah jenis penukar panas yang paling umum digunakan dalam dunia industri. *Shell and tube* adalah alat penukar panas menggunakan beberapa pipa besar yang dikemas dalam cangkang atau rumah pelindung pipa. Perpindahan panas menggunakan satu cairan mengalir di dalam tabung sementara cairan lainnya mengalir di luar tabung melalui cangkang tersebut.



Gambar 2. 4 *Heat exchanger shell and tube*
(*sumber: Cengel, 2003*)

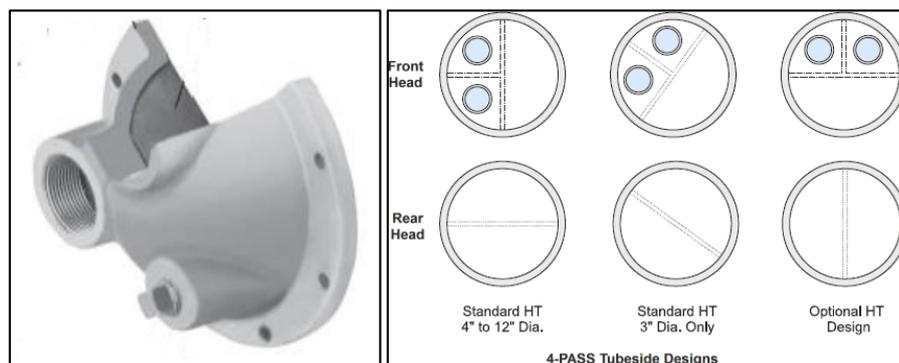
Baffle biasanya ditempatkan di *shell* untuk memaksa *force* cairan sisi *shell* mengalir melintasi *shell* untuk meningkatkan perpindahan panas. Meskipun digunakan secara luas, *shell and tube* tidak cocok untuk digunakan di dunia otomotif dan pesawat terbang, karena ukuran dan beratnya yang relatif besar.

2.5.1 Struktur *Shell and Tube Heat Exchanger*

Berikut merupakan struktur atau bagian dari *heat exchanger* tipe *shell and tube*, yaitu;

a. *Head*

Head yaitu kepala *heat exchanger* yang berfungsi sebagai penutup bagian depan dan belakang *shell*. Bentuk dari kepala *heat exchanger* ini adalah lingkaran.

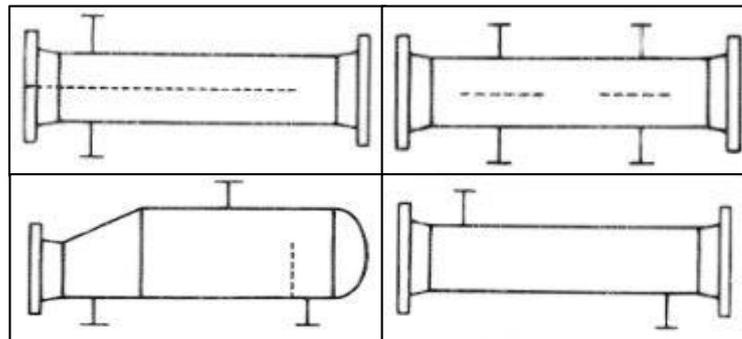


Gambar 2. 5 *Desain Heat Exchanger*
(*sumber: Primo, 2012*)

Tebal plat dari kepala *heat exchanger* ini tergantung dengan hasil perhitungan yang ditentukan dari karakteristik *fluida* yang akan diproses di dalam *heat exchanger*. *Head* ini dapat dihubungkan dengan dinding bejana (*shell*) *heat exchanger* dengan baut dan *connection tubesheet* dimana ukuran atau diameter dari pada *head* harus sama dengan *shell*, untuk ketebalan bejana akan sedikit lebih tipis dibandingkan dengan ketebalan dinding, sedangkan untuk jenis material sama dengan material yang digunakan pada *shell*. (Kern, 1984)

b. *Shell*

Shell merupakan komponen *heat exchanger* tempat terjadinya proses pertukaran kalor antar *fluida*. *Shell* berbentuk silinder yang dapat menahan tekanan dari luar.

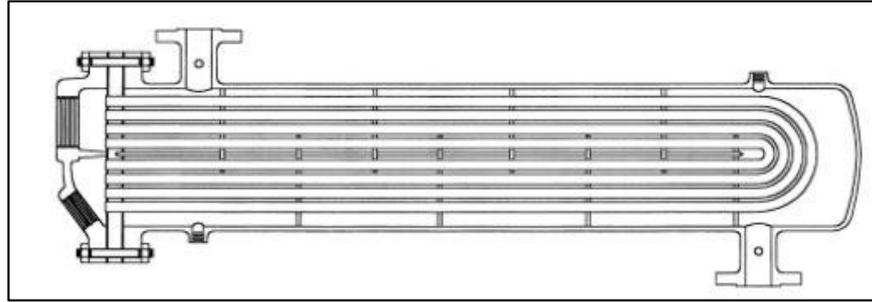


Gambar 2. 6 *Shell And Tube Heat Exchanger*
(sumber: TEMA, 2007)

Tebalnya *shell* tergantung dari hasil perhitungan dan dari karakteristik *fluida* yang akan diproses didalamnya, dimana dinding *shell* terbuat dari plat baja yang di *roll* dibentuk menjadi suatu diameter lingkaran yang berbentuk tabung. Ukuran dan diameter *shell* dapat disesuaikan dengan dengan hasil perhitungan panjang *tube* dan jumlah *tube* didalamnya.

c. *Tube*

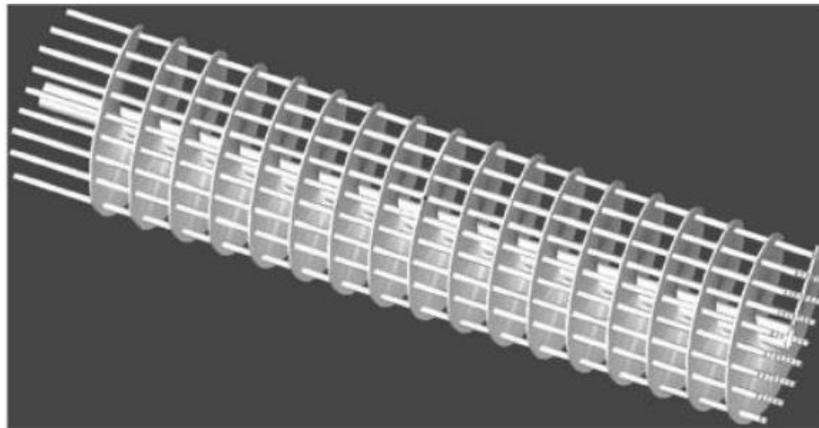
Tube adalah pipa-pipa berukuran kecil sebagai tempat mengalirnya *fluida* yang akan didinginkan atau dipanaskan pada *heat exchanger*. Ukuran dari pipa ini diperoleh dari asumsi dan perhitungan perpindahan panasnya. Biasanya terbuat dari material yang memiliki konduktivitas thermal yang besar.



Gambar 2. 7 *Tube Heat Exchanger*
(sumber: S. Kakac, 2012)

d. *Baffles*

Baffles adalah sekat sekat yang dipasang pada *tube* yang berfungsi untuk mengarahkan aliran sehingga distribusi perpindahan panas merata dan juga sebagai penopang komponen *tube*.



Gambar 2. 8 *Baffles Heat Exchanger*
(sumber: B. Peng, 2007)

e. *Nozzle*

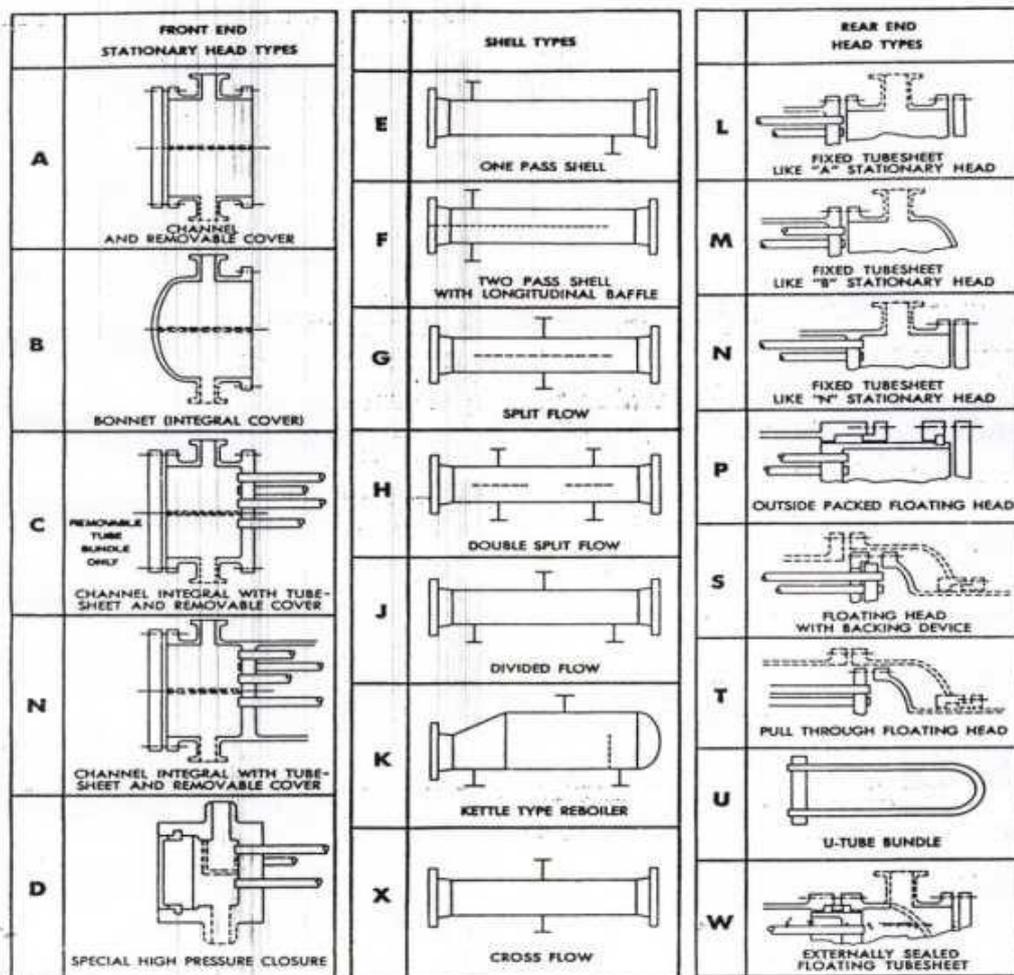
Nozzle berfungsi sebagai penghubung antara *shell* dengan proses pemipaan aliran fluida yang akan dialirkan keluar masuk (*nozzle outlet inlet*) dari dan *shell* itu sendiri, dari dan ke proses lanjutan kedalam sistem pemipaan atau *interface* atau alat-alat instrumen pendukung lainnya.



Gambar 2. 9 *Nozzel Heat Exchanger*
(sumber: Primo, 2012)

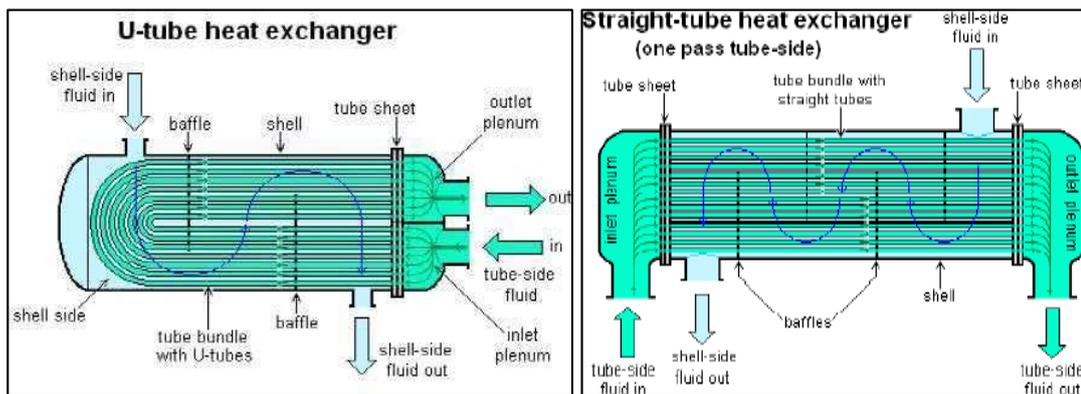
2.6 Desain *Shell and Tube Heat Exchanger*

Terdapat banyak variasi pada desain *shell and tube*. Secara khusus, ujung dari tiap tabung dihubungkan ke *plenums* (terkadang disebut *water boxes*) melalui lubang dalam *tube sheets*. *Shell and Tube Heat Exchanger* adalah jenis *heat exchanger* yang paling umum dipergunakan pada proses *Refinery Oil and Gas* dan *Petrochemical*. Dalam hal *design Shell and Tube Heat Exchanger* (STHE), standar yang dipakai adalah ASME *Section VIII* dan TEMA *Class R*, atau API 660. Ada dua sisi utama dalam *design STHE*, *shell side* dan *tube side*. Berdasarkan konstruksinya, STHE dapat dibagi atas beberapa tipe, masing masing tipe diberi kode berdasarkan kombinasi *type front head, shell, dan rear head*.



Gambar 2. 10 Tipe-tipe *head and shell* berdasarkan konstruksinya
(sumber: TEMA, 2007)

Setelah mengetahui karakteristik dari masing masing type *shell and tube heat exchanger*, selanjutnya desain didasarkan atas keperluan atau *service* nya. Desain yang kompleks biasanya menimbulkan biaya yang lebih mahal dan perawatan yang lebih sulit sehingga biasanya hanya digunakan untuk keperluan yang tidak memungkinkan penggunaan yang lebih simpel. Tabung mungkin berbentuk lurus atau bengkokkan dimana dengan bentuk U atau sering disebut dengan *U-tubes*.



Gambar 2. 11 *U-tube dan Straight Tube Heat Exchanger*
(sumber: Sitompul, 1993)

Didalam pembangkit daya litrik disebut reactor air bertekanan, *heat exchangers* besar disebut steam generator merupakan berfasa ganda. *Shell and tubes* yang secara khas memiliki *U-tubes*. Semua hal tersebut digunakan untuk mendidihkan air dari *steam* turbin condenser menjadi uap air untuk mengendalikan turbin tersebut untuk menghasilkan tenaga. Kebanyakan *shell and tube heat exchanger* memiliki desain aliran baik 1,2, atau 4 aliran pada sisi tabung. Hal ini bergantung pada frekuensi fluida pada tabung yang melalui fluida pada shell.

Pada *heat exchanger* berfasa tunggal, fluida masuk pada satu ujung tabung dan keluar melalui ujung tabung lainnya. *Steam* turbin condenser dalam pembangkit tenaga sering merupakan 1-pass *straight tube heat exchanger*. Dua dan empat pass merupakan desain yang umum karena fluida dapat masuk dan keluar pada sisi yang sama. Hal tersebut membuat konstruksinya menjadi lebih sederhana. Terdapat *baffles* yang mengarahkan aliran melalui sisi *shell* sehingga fluida tidak mengambil jalan pintas melalui sisi shell yang dapat menyebabkan volume arus rendah yang tidak efektif.

Heat exchanger arus berlawanan merupakan yang paling efisien sebab memberikan perbedaan suhu rata-rata yang paling tinggi antara arus dingin dengan arus panas. Banyak perusahaan tidak menggunakannya sebab dapat rusak dengan mudah dan menjadi lebih mahal untuk dibangun. Sering *multiple heat exchanger* dapat digunakan untuk menirukan arus aliran berlawanan dari *exchanger* tunggal yang besar. (Prijono, 1994)

2.7 Efektivitas *Heat Exchanger*

Pada keilmuan perpindahan panas, efisiensi pada alat penukar kalor lebih sering disebut dengan efektivitas. Parameter efektivitas perpindahan panas di dalam sebuah alat penukar kalor didefinisikan sebagai perbandingan antara laju perpindahan panas yang aktual berbanding dengan nilai laju perpindahan panas ideal atau laju perpindahan panas maksimum yang mungkin secara perhitungan termodinamika berlangsung di dalam alat tersebut (Chandrasa Soekardi, 2015). Nilai efektivitas pada alat penukar kalor tipe pipa ganda dapat dihitung dengan persamaan berikut: (Cengel, 2003)

$$\varepsilon = \frac{Q_{actual}}{Q_{max}} \dots\dots\dots (2.1)$$

Q_{actual} adalah laju perpindahan panas aktual, yaitu nilai laju perpindahan yang sebenarnya atau terjadi pada alat penukar kalor yang digunakan pada saat penelitian. Q_{actual} dapat dihitung dengan persamaan berikut: (Cengel, 2003)

$$Q_{actual} = \dot{m}_h C_{ph} (T_{h,in} - T_{h,out}) \dots\dots\dots (2.2)$$

$$Q_{actual} = C_h (T_{h,in} - T_{h,out}) \dots\dots\dots (2.3)$$

Q_{max} adalah laju perpindahan panas maksimum atau ideal adalah laju perpindahan panas yang didapat dari proses perhitungan termodinamika, atau keadaan ideal pada perpindahan panas yang seharusnya terjadi. Nilai Q_{max} dapat dihitung dengan persamaan berikut: (Cengel, 2003)

$$Q_{max} = C_{min}(T_{h,in} - T_{c,in}) \dots\dots\dots (2.4)$$

$$C_h = \dot{m}_h C_{ph} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$C_c = \dot{m}_c C_{pc} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

Q_{actual} = laju perpindahan panas aktual (kW)

Q_{max} = laju perpindahan panas maksimum atau ideal (kW)

\dot{m}_h, \dot{m}_c = laju aliran massa fluida (kg/s)

C_{ph}, C_{pc} = panas spesifik (kJ/kg • °C)

C_h, C_c = kapasitas panas (kJ/s • °C)

C_{min} = nilai terkecil antara C_h dan C_c

T = Temperatur fluida ($^{\circ}\text{C}$)

Menurut Incropera dan Dewitt (1981), efektivitas suatu *heat exchanger* didefinisikan sebagai perbandingan antara perpindahan panas yang diharapkan (nyata) dengan perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi dalam *heat exchanger* tersebut.

$$\varepsilon = \frac{\text{perpindahan panas yang diharapkan}}{\text{perpindahan panas maksimum yang mungkin}} \dots\dots\dots (2.7)$$

Perpindahan panas yang diharapkan dalam penelitian ini adalah perpindahan panas yang diterima udara dingin:

$$Q_{\text{udara dingin}} = (m \cdot cp)_{\text{udara dingin}} (T_{c,o} - T_{c,i}) \dots\dots\dots (2.8)$$

Sedang perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi dalam *heat exchanger* ditentukan sebagai berikut:

➤ Jika $(m \cdot cp)_{\text{udara dingin}} \geq (m \cdot cp)_{\text{udara panas}}$, maka $Q_{\text{max}} = (m \cdot cp)_{\text{udara panas}} (T_{h,i} - T_{c,i}) \dots\dots\dots (2.9)$

➤ Jika $(m \cdot cp)_{\text{udara dingin}} < (m \cdot cp)_{\text{udara panas}}$, maka $Q_{\text{max}} = (m \cdot cp)_{\text{udara dingin}} (T_{h,i} - T_{c,i}) \dots\dots\dots (2.10)$

Perpindahan panas maksimum mungkin terjadi bila salah satu fluida mengalami perbedaan suhu sebesar beda suhu maksimum yang terdapat dalam *heat exchanger* tersebut, yaitu selisih antara suhu masuk fluida panas dan fluida dingin. Fluida yang mungkin mengalami perbedaan suhu maksimum ini ialah fluida yang mempunyai nilai kapasitas panas $(m \cdot cp)$ minimum.