

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Pustaka

Heat exchanger atau alat penukar panas memiliki peran yang sangat penting dalam proses perindustrian. *Heat exchanger* sendiri, adalah alat penukar panas yang digunakan untuk melakukan perpindahan energi termal antara dua atau lebih fluida dengan temperatur yang berbeda (Sitompul, 2021)

Sebelum memasuki proses fabrikasi perlu dilakukan analisis perancangan yang matang sehingga diperoleh alat yang memiliki fungsi operasi dan kinerja yang maksimal sesuai dengan tujuan penggunaan alat. Dalam hal ini, perancangan *heat exchanger* yang dilakukan akan membandingkan nilai koefisien perpindahan panas bersih pada ke-5 design yang memiliki diameter luar *tube* yang berbeda.

Rasyid et al., (2022) melakukan perencanaan serta rancang bangun *heat exchanger* tipe yang sama dengan *tube* sepanjang 16,01ft, berdiameter 1 *inch*, dan ukuran diameter *shell* sebesar 70,866 *inch*. *Heat exchanger* yang dianalisis bekerja pada proses pendinginan 131,8°C *coal gas* menggunakan 31,6°C air, dimodifikasi dengan *helical baffle* pada sudut 3°, 6°, dan 9°. Diperoleh kesimpulan alternatif desain terbaik yaitu pada HE dengan *helical baffle* bersudut 3°, dengan besar nilai *pressure drop* pada *shell* sebesar 0,1134psi, pada *tube* hanya sebesar 0,0021610psi.

Kemudian, Julianto et al., (2022) melakukan analisis efisiensi laju perpindahan panas dengan membandingkan pada *temperature* fluida panas dan laju aliran. *Heat exchanger tipe shell and tube* yang digunakan memiliki dimensi OD *shell* sebesar 29,92” dan OD *tube* sebesar 0,622” serta panjang 3,149ft. Bekerja pada pendinginan air panas di suhu 40°C, 50°C, 60°C. Diketahui bahwa air dengan suhu 40°C dengan laju aliran 1liter/menit dibandingkan dengan laju aliran 2liter/menit dan 3liter/menit. Aliran 1liter/menit pada suhu 40°C memiliki efektivitas perpindahan panas sebesar 22,73%. Hal ini diakibatkan semakin cepat

waktu aliran fluida, maka semakin cepat juga waktu tinggal dan waktu proses perpindahan panasnya.

Tahun 2021, Jalu Prabaswara et al., telah melakukan penelitian pada *heat exchanger* yang bekerja mendinginkan solar dengan *temperature* 260°C menggunakan *crude oil* dengan temperatur 67°C serta dimensi pada diameter luar *tube* sebesar 1 inch, shell 31,614 inch, dan panjang *tube* 10ft. Kemudian diperoleh nilai *pressure drop* sebesar 0.00000175 psi pada sisi *shell* dan 0.02462 psi pada sisi *tube*. Nilai ini tergolong rendah dan masih pada batas izin (10 psi), hal ini terjadi karena: kondisi *fouling* yang tidak melebihi 10% batas nilai *fouling* desain; serta jarak *baffle* (B) berada pada jarak 23,623inch yang kemudian mampu menyebabkan terjadinya turbulensi fluida dalam *shell*.

Adapun Irawan et al., (2020) melakukan penelitian pada pengaruh jumlah *tube* dan *baffle* pada efektivitas *shell and tube heat exchanger* pada proses pendinginan fluida dengan suhu dan kecepatan aliran yang bervariasi. Diperoleh hasil bahwa efektivitas kinerja tertinggi didapat pada STHE dengan jumlah *tube* sebanyak 34 buah sebesar 33%

Penelitian yang dilakukan oleh Marawijaya et al., (2019) pada pembuatan *shell and tube heat exchanger* bertujuan mengetahui korelasi *baffle spacing* dan laju alir terhadap proses perpindahan panas yang terjadi. Proses yang diamati ialah proses pendinginan sejumlah uap panas dengan air bersuhu ruang. Memperoleh data bahwa *baffle* terbaik yang digunakan pada proses tersebut memiliki jarak 5,90inch yang menghasilkan efektivitas kerja sebesar 82,13%.

Penelitian yang dilakukan oleh Subeno & Sirodz Gaos, (2020) membahas analisis perancangan *heat exchanger* dengan *tube* berdiameter luar 3/4inch, panjang 102,362ft, dan *shell* berdiameter luar 13,1496 inch pada proses pemanasan 36°C *chili sauce* diperoleh nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan desain sebesar 55,447W/m².K dengan nilai koefisien perpindahan panas bersih keseluruhan sebesar 44,929 W/m².K, yang mana menunjukkan besar *over* desain yang tidak lebih dari 23,41%.

Kharisma, (2020) melakukan perancangan *heat exchanger* dengan diameter luar *tube* 1 inch dan panjang 6ft, dan diameter *shell* 9,35inch pada 98,8°C air panas

menggunakan 60°C air dingin. Diperoleh nilai penurunan tekanan pada sisi *tube* sebesar 2,65psi, dan 1,96 pada sisi *shell*.

Penelitian yang dilakukan oleh Afandi, (2018) pada simulasi performansi STHE yang bertujuan untuk menganalisis efektivitas perpindahan panas, *pressure drop* menggunakan variasi pada *helical* dan *disk and doughnut baffle* memperoleh hasil yaitu bahwa penggunaan *baffle* tipe *disk and doughnut* memiliki tingkat efektivitas sebesar 20%, dan penggunaan *baffle* tipe *helical* yaitu sebesar 34,89%.

Wicaksono et al., (2017) melakukan penelitian untuk mengetahui jumlah *baffle* terhadap fenomena transfer panas pada *shell and tube heat exchanger* tipe 1-2. Proses yang diamati ialah pendinginan sejumlah 53C air yang dialirkan dalam *shell* dengan 19C air dingin yang dialirkan dalam *tube*. Pada sejumlah 34 *tube* dengan OD sebesar 5/8” dan panjang 2,62ft; serta *shell* berdiameter 5,929” diperoleh bahwa efektivitas termal terbesar terjadi pada STHE dengan *baffle* sebanyak 4 buah dengan nilai efektivitas yaitu 43%.

Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Sudrajat, (2017) pada *shell and tube heat exchanger* tipe EKM-500-T-CN dengan luas permukaan 0,94m² yang bekerja mendinginkan fluida dengan suhu awal sebesar 53,15°C menjadi 46,01°C memperoleh hasil efektivitas kerja sebesar 37,4%. Hal ini disebabkan karena besarnya faktor pengotoran yang menurunkan laju perpindahan panas sebesar 19,45% besarnya nilai ini setara dengan penggunaan solar sejumlah 0,036liter selama 1jam.

Dari pemaparan hasil penelitian di atas dapat disimpulkan bahwa dalam perancangan suatu *heat exchanger*, perhitungan yang matang terhadap dimensi produk perlu dilakukan dengan baik. *Heat exchanger* yang memiliki diameter tube, jarak *pitch*, dan *baffle* yang terlalu kecil mampu memberikan luas area perpindahan panas yang besar akan tetapi, mengakibatkan kenaikan penurunan tekanan dan faktor *fouling*, serta mempersulit proses *cleaning* yang tentu saja tidak diinginkan. Adapun, *heat exchanger* dengan diameter tube, jarak *pitch*, dan *baffle* yang terlalu besar akan mengakibatkan berkurangnya nilai koefisien laju perpindahan panas keseluruhan sehingga berpengaruh pada *efisiensi* kinerja *heat exchanger* tersebut.

Oleh karena itu, dalam perancangan desain pada *heat exchanger* merupakan langkah penting yang digunakan untuk mendapatkan bentuk konstruksi yang sesuai

dengan kondisi proses disuatu perusahaan. Adapaun pada skripsi ini, penulis akan membandingkan nilai efisiensi laju perpindahan panas keseluruhan pada *heat exchanger* dengan memberikan variasi dimensi diameter luar *tube*, yang parameter desainnya dapat diterima berdasarkan nilai *over design* terhadap koefisien perpindahan panasnya.

2.2. Perpindahan Panas

Perpindahan panas secara sederhana dapat dijelaskan sebagai proses berpindahnya energi dari satu area ke area lain sebagai akibat dari perbedaan temperatur antar area. Secara umum terdapat tiga jenis metode perpindahan panas sebagaimana dijelaskan pada buku Perpindahan panas oleh Haryadi & Mahmudi, (2012), yaitu:

2.2.1. Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan Konduksi dapat dilihat sebagai proses perpindahan panas antar benda yang saling melekat atau berkontak langsung satu dengan lainnya di mana tidak terjadi pergerakan relatif pada partikel benda tersebut. Di mana laju panas konduksi dapat dituliskan dengan persamaan berikut (Haryadi & Mahmudi, 2012):

$$Q = k \cdot A \cdot \Delta T \quad (2.1)$$

Berdasarkan pada sifat konduktivitas termal atau daya hantar panasnya, suatu material dapat dibagi menjadi dua, yaitu: konduktor, merupakan material dengan daya hantar panas yang baik misalnya logam; dan isolator, merupakan material dengan daya hantar panas yang buruk kain, kayu.

2.2.2. Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi merupakan proses perpindahan panas yang terjadi di antara dua permukaan sebuah benda padat dengan fluida (liquid maupun gas). Fenomena ini ditandai dengan diikuti oleh perpindahan massa fluida tersebut. Misalnya dinding pipa berbahan logam yang berubah menjadi panas, akibat adanya aliran alir bersuhu lebih tinggi di dalamnya.

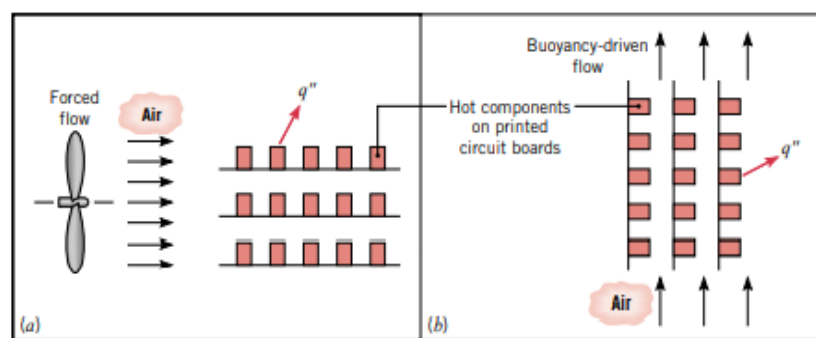
Pada perpindahan panas konveksi, laju perpindahan panasnya dituliskan dengan persamaan berikut (Haryadi & Mahmudi, 2012):

$$Q = h_c \cdot A \cdot \Delta T \quad (2.2)$$

Berdasarkan buku *Fundamental of Heat and Mass Transfer* karya Incropera et al., (2007) perpindahan panas secara konveksi dibagi menjadi dua berdasarkan penyebabnya, yaitu perpindahan panas konveksi secara paksa dan perpindahan panas konveksi secara alami.

Perpindahan panas secara paksa terjadi karena adanya penyebab eksternal, seperti pada kipas, ataupun pompa. Sebagai contoh, penggunaan kipas untuk mendorong aliran udara untuk mendinginkan komponen elektronik yang panas sehingga terjadi perpindahan panas secara konveksi dari komponen elektronika ke udara dingin.

Perpindahan panas secara alami terjadi karena adanya aliran yang diinduksi oleh gaya apung, hal ini terjadi karena perbedaan densitas atau masa jenis akibat variasi pada temperatur suatu fluida. Contohnya adalah perpindahan panas konveksi secara alami pada udara di sekitar sirkuit elektronika. Udara dingin yang melakukan kontak dengan komponen elektronika tersebut mengalami perubahan masa jenis akibat peningkatan temperatur secara konveksi sehingga bergerak ke atas dan terciptalah aliran fluida secara alami di sekitar komponen elektronika tersebut. Peristiwa tersebut dapat dilihat pada ilustrasi berikut:



Gambar 2.1 a) perpindahan panas konduksi b) perpindahan panas konveksi (Incropera et al., 2007)

2.2.3. Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas secara radiasi merupakan proses berpindahannya panas yang terjadi di antara dua permukaan tanpa adanya media perantara. Misalnya ialah perpindahan panas dari matahari ke mobil berwarna hitam, dalam hal ini udara

bukanlah perantara perpindahan panas yang terjadi karena temperatur udara antara matahari dan mobil tidak lebih tinggi daripada temperatur mobil tersebut.

Pada perpindahan panas radiasi, persamaan laju perpindahan panasnya dirumuskan sebagai berikut (Haryadi & Mahmudi, 2012):

$$Q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot \Delta T^4 \quad (\text{Btu/hr}) \quad (2.3)$$

Pada persamaan ini, ε merupakan angka emisivitas bahan di mana $0 < \varepsilon < 1$. Nilainya 0 untuk benda putih, dan 1 untuk benda hitam.

2.3. Heat Exchanger

Thulukkanam, (2013) dalam bukunya yang berjudul *Heat Exchanger Design Handbook*, edisi ke-2 menjabarkan klasifikasi jenis *heat exchanger* sebagai berikut:

Secara umum *heat exchanger* dapat diklasifikasikan berdasarkan: 1) *construction*, 2) *transfer processes*, 3) *degress of surgace compactness* 4) *flow arrangements*, 5) *pass arrangements*, 6) *phase of the process fluids*, dan 7) *heat transfer mechanisms*. Berikut dijabarkan gambaran umum mengenai klasifikasi *heat exchanger* yang terdapat diindustri:

2.3.1. Construction

Berdasarkan konstruksinya, *heat exchanger* dibedakan sebagai berikut:

1. Tubular Heat Exchanger

Tubular heat exchanger adalah *heat exchanger* dengan badan konstruksi umumnya berbentuk tabung, dengan pembagian sebagai berikut:

a. Double Pipe Heat Exchanger

Double pipe heat exchanger memiliki dua pipa konsentris yang berbentuk tabung U yang melengkung. Karena konstruksinya, *heat exchanger* ini juga disebut dengan *hairpin heat exchanger*. Penggunaannya biasanya pada pekerjaan dengan kinerja ringan, ukurannya yang *compact* dan kurang dari 300ft² namun memiliki kemampuan waktu kerja termal yang panjang.



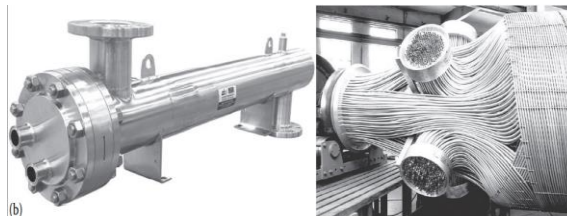
Gambar 2.2 *Double Pipe Heat Exchanger*
(Thulukkanam, 2013)

b. *Shell and Tube Heat Exchanger*

Pada proses industri, penggunaan *shell and tube heat exchanger* merupakan yang paling banyak dibandingkan dengan *heat exchanger* tipe lain. Lebih dari 90% *heat exchanger* yang digunakan di industri adalah yang bertipe *shell and tube*. Hal ini disebabkan karena prosedur desain dan manufakturnya yang telah *well established* dari berbagai jenis material, riwayat kepuasan pengguna yang tinggi, ketersediaan kode serta standar desain yang memadai, tidak adanya limit tekanan dan temperatur kerja, serta ukuran dan tipe yang mampu disesuaikan menurut kebutuhan industri.

c. *Coiled Tube Heat Exchanger*

Konstruksi pada *heat exchanger* ini melibatkan sejumlah besar tabung kecil yang digulung membentuk heliks pada sebuah tabung inti yang lebih besar sebagai pusatnya. Akibat bentuk konstruksinya yang unik, CTHE memberikan keuntungan antara lain: mampu melakukan perpindahan panas dalam skala besar dengan lebih dari dua fluida, mampu melakukan tekanan kerja yang tinggi, dan dengan angka perpindahan panas yang besar.



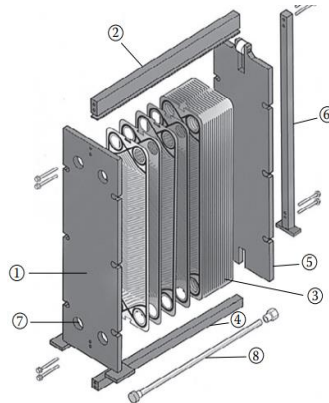
Gambar 2.3 *Shell and Tube Heat Exchanger*; Gambar 2.4 *Coiled Tube Heat Exchanger*
(Thulukkanam, 2013)

2. *Plate Heat Exchanger*

Sesuai namanya, konstruksi umum badan *heat exchanger* PHE terdiri dari pelat yang dihubungkan sedemikian rupa sehingga dapat dimanfaatkan dalam proses perpindahan panas. *plate heat exchanger* diklasifikasikan kembali menjadi 3 jenis yaitu:

a. *Plate and Frame* atau *Gasketed Plate Heat Exchanger*

Heat exchanger tipe ini pada dasarnya terdiri dari sejumlah pelat logam yang bergelombang dan saling bersentuhan satu sama lain. Masing-masing pelat memiliki lubang yang berfungsi sebagai *port* masuk dan keluar, dan segel yang dirancang untuk mengalirkan fluida secara bergantian.



Gambar 2.5 *Plate and Frame Heat Exchanger*
(Thulukkanam, 2013)

Di atas merupakan gambaran konstruksi komponen *plate and frame heat exchanger*, dengan keterangan sebagai berikut:

- | | |
|-------------------------------|----------------------------------|
| 1. <i>Fixed frame plate</i> | 5. <i>Movable pressure plate</i> |
| 2. <i>Top carrying bar</i> | 6. <i>Support column</i> |
| 3. <i>Plate pack</i> | 7. <i>Fluids port</i> |
| 4. <i>Bottom carrying bar</i> | 8. <i>Tightening bolts</i> |

b. *Spiral Plate Heat Exchanger*

SPHE telah digunakan sejak 1930-an, merupakan tipe *heat exchanger* yang dibangun pertama kali di Swedia pada proses penurunan panas bubur pulp. SPHE sesuai untuk fluida dengan tingkat viskositas tinggi, serta biasanya digunakan pada proses pendinginan.



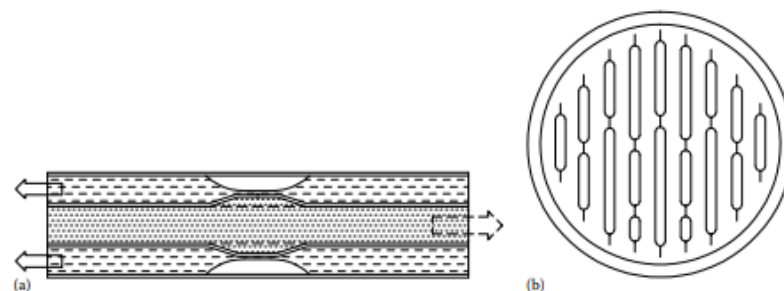
Gambar 2.6 *Spiral Plate Heat Exchanger*
(Thulukkanam, 2013)

c. *Plate or Panel Coil Heat Exchanger*

Heat exchanger ini terdiri dari gulungan panel sebagai sumber panas (namun bergantung pula apakah fluida dalam koil sedang dipanaskan atau didinginkan). Penukar panas jenis ini relatif lebih murah dan dapat dibuat menjadi bentuk apa saja dengan ketebalan yang beragam sesuai dengan kebutuhan proses industri.

d. *Lamella Heat Exchanger*

Lamella heat exchanger merupakan *heat exchanger* dengan desain konstruksi yang efisien dan *compact*. Desainnya merupakan bentuk hasil pengelasan dari *plate and frame heat exchanger* dengan *shell and tube heat exchanger* tanpa adanya *baffle*. Pada *heat exchanger* ini, keberadaan *tube* digantikan oleh pelat tipis yang disusun secara paralel. Hal ini kemudian membuat *Lamella* mampu bekerja pada tekanan tinggi hingga 300psi dan dengan turbulensi fluida yang kencang.



Gambar 2.7 *Lamella Heat Exchanger*
(Thulukkanam, 2013)

2.3.2 *Transfer Process*

Pada pengklasifikasian ini terdiri atas:

1. *Indirect Contact Heat Exchanger*

Pada *indirect contact heat exchanger* fluida kerja yang mengalir pada *heat exchanger* tidak bercampur secara langsung, namun terpisah oleh media seperti pelat, atau pun pipa. Peralatan yang masuk kelompok ini ialah *ekonomiser*, air *preheater*, dan ketel uap.

2. *Direct Contact Heat Exchanger*

Pada tipe ini fluida kerja yang mengalir pada *heat exchanger* bercampur secara langsung pada suatu wadah tertentu. Di mana peralatan yang masuk kelompok ini ialah *jet kondenser*, *water injection*, *desuperheater*, pesawat *dearator*.

2.3.3. *Surface Compactness*

Heat exchanger yang kompak penting ketika terdapat batasan ukuran dan berat dari suatu industri. Dalam hal ini, *heat exchanger* dikatakan kompak apabila luas permukaannya kurang dari 700 m². Adapun keuntungan dari sebuah *heat exchanger* dengan ukuran volume yang kecil ialah sebagai berikut:

1. Ruang penyimpanan yang lebih kecil
2. Berat yang ringan
3. Kemudahan pemindahan alat
4. Fondasi struktur yang lebih kecil
5. Kontrol temperatur yang lebih baik.

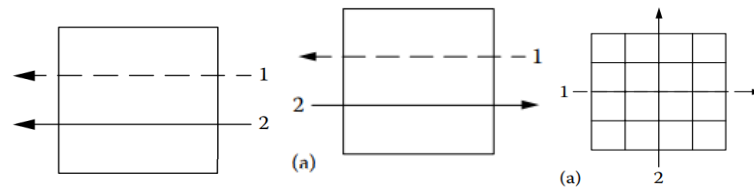
2.3.4. *Flow Arrangement*

Berdasarkan jenis aliran fluida yang mengalir dalam sebuah *heat exchanger* terdapat beberapa jenis pengaturan aliran yang pemilihannya berdasarkan pada nilai efisiensi, jalur aliran fluida, tegangan termal, temperatur level, dan kriteria desain lainnya. Adapun jenis-jenis aliran fluida pada *heat exchanger* itu sendiri ialah:

1. *Parallelflow*

Pada tipe paralel *flow* atau aliran searah, fluida mengalir masuk dan keluar di arah ujung yang sama. Aliran jenis ini memiliki nilai perpindahan panas yang paling rendah di antara yang lain, namun merupakan jenis aliran yang paling menguntungkan apabila digunakan untuk memanaskan cairan dengan viskositas tinggi. Hal ini disebabkan pemanasan cepat yang terjadi akibat adanya perbedaan

temperatur tinggi pada ujung *inlet*. Ilustrasi aliran *parallel flow* digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.8 Ilustrasi *Parallelflow*, *Counterflow*, *Crossflow* (Thulukkanam, 2013)

2. *Counterflow*

Pada tipe *counterflow* atau aliran berlawanan arah, kedua fluida masuk dan keluar pada arah yang berlawanan. Idealnya, aliran ini merupakan aliran paling efektif digunakan pada parameter yang sama.

3. *Crossflow*

Pada tipe *crossflow* atau aliran menyilang, fluida mengalir secara secara bersilangan satu dengan yang lain.

2.3.5. *Pass Arrangement*

Berdasarkan jumlah laluanannya secara umum terdapat dua jenis *heat exchanger*, yaitu *singlepass* dan *multipass*. Sebuah fluida dikatakan memiliki *singlepass* jika fluida tersebut mengalir sepanjang *section* aliran *heat exchanger* sebanyak satu kali. Sedangkan pada *multipass*, fluida tersebut akan berbalik arah dan laluan fluida dalam *heat exchanger* terjadi sebanyak dua kali atau lebih.

Secara khusus *multipassing* laluan fluida digunakan untuk meningkatkan efisiensi perpindahan panas *heat exchanger*, dengan bertambahnya jumlah lintasan, maka arah aliran atau *flow arrangement* akan berubah menjadi *counterflow* dan sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya, aliran *counterflow* lebih efektif dalam melakukan perpindahan panas dibanding aliran *parallel*.

2.3.6. *Phase of Fluids*

Fase fluida yang dialirkan bersamaan pada sebuah *heat exchanger* dibagi menjadi:

1. Gas-Liquid

Heat exchanger yang bekerja menggunakan fluida gas-liquid bersamaan umumnya bertipe *tube-fin compact heat exchanger* dengan aliran liquid berada pada sisi tube. Contoh yang dapat ditemui sehari-hari ialah pada *condensor* dan evaporator AC di rumah-rumah.

2. Liquid-Liquid

Tipe *heat exchanger* yang umum digunakan untuk kerja fluida ini ialah tipe *shell and tube* dan *plate and frame*. Ketika dua fluida ini dipompa masuk ke dalam *inlet nozzle*, maka akan terjadi proses perpindahan panas konveksi secara paksa yang memungkinkan penurunan temperatur pada fluida yang lebih panas.

3. Gas-Gas

Heat exchanger yang bekerja pada fluida ini dapat ditemukan pada *rotary generator, intercoolers, dan sistem cryogenic gas liqudfaction*. Pada banyak kasus, gas tertentu akan di *compressed* sehingga terjadi peningkatan *density* dan *pressure*, sementara gas lainnya akan dibiarkan bersifat *low density* dan *low pressure*.

2.3.7. Heat Transfer Mechanism

Pada dasarnya, mekanisme perpindahan panas pada suatu fluida ke fluida lainnya diklasifikasikan menjadi dua, yaitu:

1. Kondenser

Kondenser bekerja dengan mendinginkan fluida gas menjadi liquid. Di mana, pendinginnya dapat berupa liquid maupun gas. Pada proses kerjanya, fluida panas biasanya akan dialirkan pada *tube*, dan fluida dingin akan dialirkan di luar *tube*.

2. Evaporator

Evaporator dibagi menjadi dua kelas, yaitu:

- a. *Fired System*: sistem ini memerlukan sumber api dalam proses evaporasinya. Evaporator dengan *fired* sistem kemudian disebut *boiler*.
- b. *Unfired system*: sistem ini tidak memerlukan sumber panas berupa api, namun dapat berupa uap panas.

2.4. Shell and Tube Heat Exchanger

Ciri utama *shell and tube heat exchanger* ialah pada terdapatnya sekumpulan *tube* yang dipasang dalam badan *shell* berbentuk silinder di mana dua jenis fluida

yang saling bertukar panas mengalir secara terpisah. Agar aliran dalam badan *shell* turbulen dan memperbesar koefisien perpindahan panas konveksi, maka pada dinding dalamnya dipasang sekat (*baffle*).

Menurut (Sitompul, 2021) tipe *shell and tube* sendiri merupakan tipe yang paling banyak digunakan oleh industri khususnya pada industri minyak dan gas, hal ini dikarenakan beberapa alasan di antaranya:

1. Konfigurasinya memungkinkan terbentuknya area permukaan perpindahan panas yang luas dengan volume yang kecil.
2. *Layout*-nya sesuai digunakan untuk menahan suhu dan tekanan yang tinggi.
3. Perawatan yang mudah.
4. Prosedur perencanaannya telah mapan (*well establish*).
5. Prosedur pengoperasiannya yang terbilang mudah.
6. Dapat dibuat dengan berbagai macam material.

2.4.1. Standar TEMA

Standar TEMA (*Tubular Exchanger Manufacturers Association*) adalah standar desain dan manufaktur sebuah *heat exchanger* yang dipakai oleh banyak negara. Berdasarkan (*Tubular Exchanger Manufacturers Association*, 2019) informasi mengenai *heat exchanger* dijelaskan sebagai berikut:

Standar ini mendefinisikan klasifikasi desain STHE dalam simbol abjad, yaitu:

1. TEMA B - umumnya digunakan untuk proses kimia
2. TEMA C – umumnya digunakan pada kerja komersial dan lebih umum dipakai pada industri
3. TEMA R – umumnya digunakan pada kerja berat, contohnya pada industri perminyakan.

Standar TEMA selain mengatur geometri dan konstruksi komponen STHE, juga mengatur: ketebalan *shell* dan *channel*, ketebalan *baffle*, jarak *baffle*, kelonggaran *tube* dan *baffle*, toleransi sambungan, kelonggaran *shell* dan *baffle*, toleransi pada dimensi, desain *tubesheet*, dan masih banyak lagi.

Apabila ditinjau dari konstruksinya, *heat exchanger* tipe *shell and tube* ini terdiri dari 4 bagian utama, yaitu:

1. Bagian depan tetap, atau *Front End Stationary Head*
2. *Shell*, merupakan badan *heat exchanger* umumnya berbentuk cangkang silindris
3. Bagian belakang, *Rear End Head*
4. Berkas tube atau *tube bundle*, merupakan rangkaian *tube* yang dimasukkan ke dalam *shell*.

Posisi *tube* dapat secara permanen ditanam ke dalam *shell* (*fixes tube sheet exchanger*) ataupun mampu dilepas (*floating head or U-tube exchanger*) untuk memudahkan kegiatan perawatan dan perbaikan.

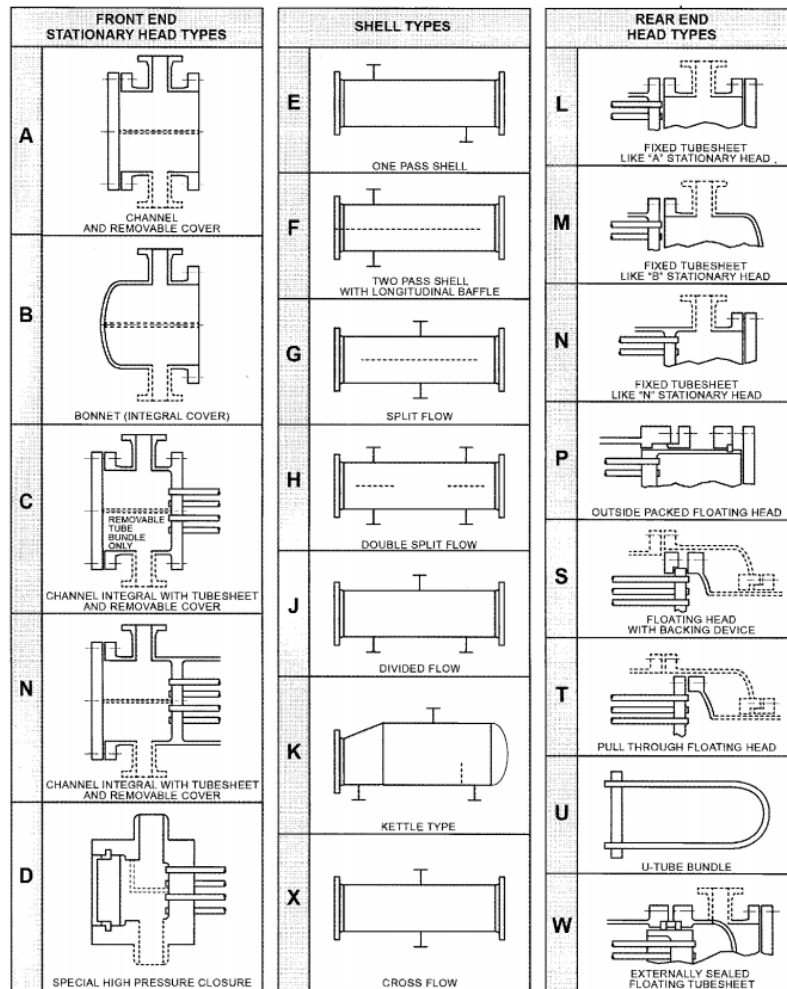
Adapun standar TEMA menggunakan tiga huruf untuk mengkodekan tipe *front-end*, *shell* dan *rear-end* dari *heat exchanger* tipe *shell end tube*, sebagaimana yang disajikan pada gambar 2.9

Sebagai contoh pada gambar 2.10 penulisan kode jenis *heat exchanger* dimulai dari *stationary head – shell – rear head*. Sebagai contoh, *heat exchanger* tipe BEM berarti bahwa *heat exchanger* tersebut memiliki *stationary head tipe bonnet (integral cover)*, *shell* bertipe *one pass*, dan *rear head* tipe *fix tubesheet*. Adapun perbedaannya dengan standar TEMA di gambar 2.9, STHE ini menggunakan *rear head* tipe *fix tubesheet* jenis *conical*.

Selanjutnya pada bagian berkas *tube* atau *tubes bundle* pada umumnya adalah sama, di mana di kedua ujungnya di-roll pada *tube sheet*. Akan tetapi terdapat perbedaan yaitu:

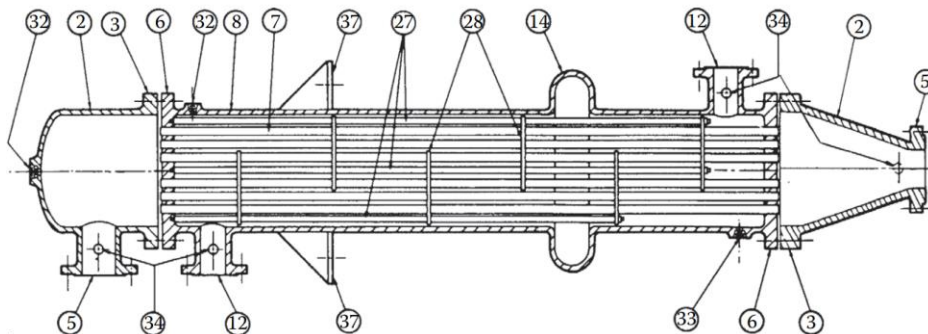
1. *Tube bundle* lurus dengan dua buah *tube sheet*
2. *Tube bundle* berbentuk U dengan 1 buah *tube sheet*

Berikut merupakan nomenklatur *heat exchanger* menurut standar TEMA:



Gambar 2.9 Nomenclature for heat exchanger komponen (Tubular Exchanger Manufacturers Association, 2019)

Adapun komponen *heat exchanger* tipe BEM *conical head* disajikan pada gambar berikut:



Gambar 2.10 Heat Exchanger Tipe BEM Conical Head (Tubular Exchanger Manufacturers Association, 2019)

Dengan keterangan lebih lanjut sebagai berikut:

- | | |
|---|---|
| 1. <i>Stationary Head</i> | 21. <i>Floating Head Cover – External</i> |
| 2. <i>Stationary Head – Bonet</i> | 22. <i>Floating Tube Sheet Skirt</i> |
| 3. <i>Stationary Head Flange</i> | 23. <i>Packing Box</i> |
| 4. <i>Tutup Channel</i> | 24. <i>Packing</i> |
| 5. <i>Stationary Head Nozzel</i> | 25. <i>Packing Gland</i> |
| 6. <i>Stationary Tubesheet</i> | 26. <i>Latern Ring</i> |
| 7. <i>Tubes</i> | 27. <i>Tierods dan Spacers</i> |
| 8. <i>Shell</i> | 28. <i>Transverse Baffles/ Support Plates</i> |
| 9. <i>Shell Cover</i> | 29. <i>Impingement Plate</i> |
| 10. <i>Shell Stationary Head Flange</i> | 30. <i>Longitudinal Baffle</i> |
| 11. <i>Shell Rear End Flang</i> | 31. <i>Pass Partition</i> |
| 12. <i>Shell Nozzle</i> | 32. <i>Vent Connection</i> |
| 13. <i>Shell Cover Flange</i> | 33. <i>Drain Connection</i> |
| 14. <i>Expansion Joint</i> | 34. <i>Instrument Connection</i> |
| 15. <i>Floating Tubesheet</i> | 35. <i>Support Saddle</i> |
| 16. <i>Floating Head Cover</i> | 36. <i>Lifting Lug</i> |
| 17. <i>Floating Head Cover Flange</i> | 37. <i>Support Saddle</i> |
| 18. <i>Floating Head Backing Device</i> | 38. <i>Weir</i> |
| 19. <i>Split Shear Ring</i> | 39. <i>Liquid Level Connection</i> |
| 20. <i>Slip on Backing Flang</i> | 40. <i>Floating Head Support</i> |

Lebih lanjut, konstruksi STHE dijelaskan sebagai berikut:

2.4.2. Shell

Shell atau cangkang, merupakan komponen berbentuk silinder berongga tempat mengalirnya fluida (umumnya fluida dingin dialirkan di sisi *shell*) (Utami, 2018).

Jenis *shell* disajikan pada gambar 2.9 memiliki kode E, F, G, H, J, dan K. Penggunaan *shell* paling umum ialah *shell* dengan tipe E (*one pass shell*), hal ini

dikarenakan sifatnya yang mampu digunakan pada proses kerja secara luas, seperti *boiling*, dan *condensing*. (Serth & Lestina, 2014)

Menurut Sitompul, (2021) dari segi pembuatannya, *shell* dikelompokkan sebagai berikut:

- a. *Shell* yang dibuat dari pipa (*pipe shell*)
- b. *Shell* yang dibuat dari pelat (*plate shell*)

Biasanya *pipe shell* digunakan untuk *shell* berukuran kecil, sedangkan *plate shell* digunakan untuk *shell* berukuran besar.

2.4.2. Tube

Menurut (Sitompul, 2021) penjabaran lebih lanjut mengenai *tube* disajikan sebagai berikut:

Tube merupakan komponen berbentuk pipa memanjang yang berada di dalam *shell*, perbedaan mendasar antara *tube* dengan pipa ialah pada ukuran diameternya, di mana dengan ukuran diameter yang sama, *tube* dan pipa memiliki ketebalan yang berbeda. Bentuk geometri *tube* sangat mempengaruhi performa *heat exchanger* seperti:

- a. Temperatur operasi dan tekanan pada kedua sisi
- b. Tekanan termal akibat adanya perbedaan termal antara *shell* dan *tube*
- c. Korosifitas

Oleh karena itu, pertimbangan pemilihan bentuk *tube* mencakup diameter luar, ketebalan dinding, *tube pitch*, serta pola *tube layout*.

1. *Tube* Diameter

Ukuran *tube* dispesifikasikan berdasarkan *outside* diameter dan tebal dindingnya. Berdasarkan sudut pandang perpindahan panas, *tube* dengan diameter lebih kecil menghasilkan koefisien perpindahan panas yang lebih tinggi dan menghasilkan alat *heat exchanger* yang lebih kompak. Namun, *tube* dengan diameter lebih besar lebih mudah dibersihkan, dan sesuai apabila nilai penurunan tekanan yang diperlukan kecil.

2. *Tube Wall Thickness*

Tebal dinding *tube* diidentifikasi dengan nilai *Birmingham Wire Gauge* (BWG).

3. *Tube Length*

Umumnya STHE yang ekonomis ditandai dengan diameter *shell* yang kecil dan tube yang panjang. Namun, pada STHE yang akan dioperasikan dilepas pantai *tube* yang panjang akan menyulitkan kegiatan instalasi karena keterbatasan ruang. Dalam hal ini STHE yang lebih pendek dan besar akan lebih baik walaupun harganya lebih mahal. Adapun panjang standar *tube* sesuai standar TEMA yaitu 96ft, 120ft, 144ft, 196ft, dan 240ft.

4. *Tube Count*

Ketika melakukan perancangan STHE penting untuk mengetahui total *tube* yang mampu muat ke dalam *shell*. Metode paling konvensional untuk mengetahui ini ialah dengan melakukan perhitungan dan *plotting* pada tabel yang telah diberikan oleh TEMA.

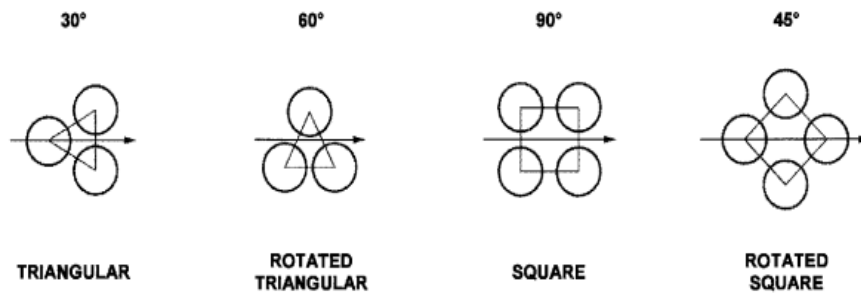
5. *Tube Pitch*

Pemilihan *pitch* tabung adalah upaya penting untuk menentukan kinerja STHE. *Pitch* dengan jarak yang saling berdekatan digunakan untuk meningkatkan perpindahan panas sisi *shell* dan kekompakan permukaan namun sulit untuk dibersihkan dan faktor *fouling* yang perlu dipertimbangkan. Sedangkan *tube pitch* yang berjauhan bagus untuk menjaga penurunan tekanan sisi *shell* dan pembersihan serta nilai *fouling* yang rendah.

6. *Tube Layout*

Terdapat beberapa susunan *tubes* pada alat *heat exchanger*, yaitu:

- a. *Triangular pitch*
- b. *Rotate triangular pitch / inline triangular pitch*
- c. *In line square pitch*
- d. *Diamond square pitch*



Gambar 2.11 *Tube Layout*
(*Tubular Exchanger Manufacturers Association, 2019*)

Adapun susunan *tube* dengan perpindahan panas paling baik ialah *tube* dengan susunan segitiga (*triangular pitch*), selain itu polanya memungkinkan penyusunan yang lebih kompak. Akan tetapi susunan tipe ini hanya direkomendasikan untuk fluida bersih (*non-fouling*) karena hanya memungkinkan dilakukannya *chemical cleaning* atau pembersihan secara kimia.

Susunan *tube rotated triangular* mempunyai karakteristik tidak sebaik jenis sebelumnya. Hal ini diakibatkan koefisien perpindahan panas yang tidak begitu baik, akan tetapi penurunan tekanan yang terjadi kurang lebih sama dengan susunan *tube triangular*.

Susunan *tube in line square* banyak digunakan dengan pertimbangan, sebagai berikut:

- Apabila *pressure drop* pada alat sangat kecil
- Apabila diperlukannya pembersihan secara mekanik
- Baik bekerja pada aliran turbulen

akan tetapi, apabila ditinjau dari segi perpindahan panasnya, susunan ini mempunyai koefisien perpindahan panas yang lebih kecil dibanding dengan susunan sebelumnya.

Susunan *tube* terakhir yaitu *rotated square* atau *diamond square* baik digunakan pada kondisi operasi tekanan kecil, tetapi lebih besar dari penurunan tekanan bujur sangkar. Pembersihan secara mekanik juga baik dilakukan pada susunan *tube* jenis ini.

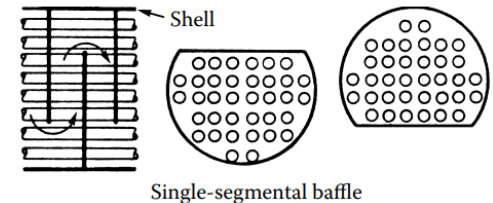
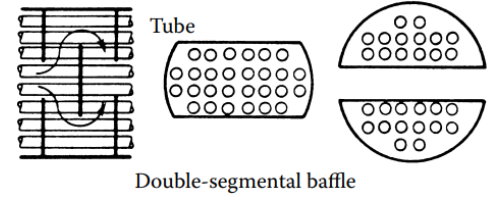
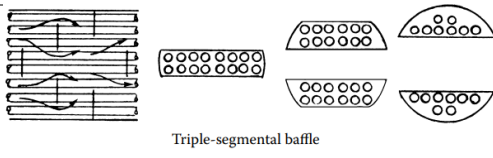
Berikut merupakan hal hal yang perlu dipertimbangkan dalam memilih susunan tube alat penukar panas, yaitu:

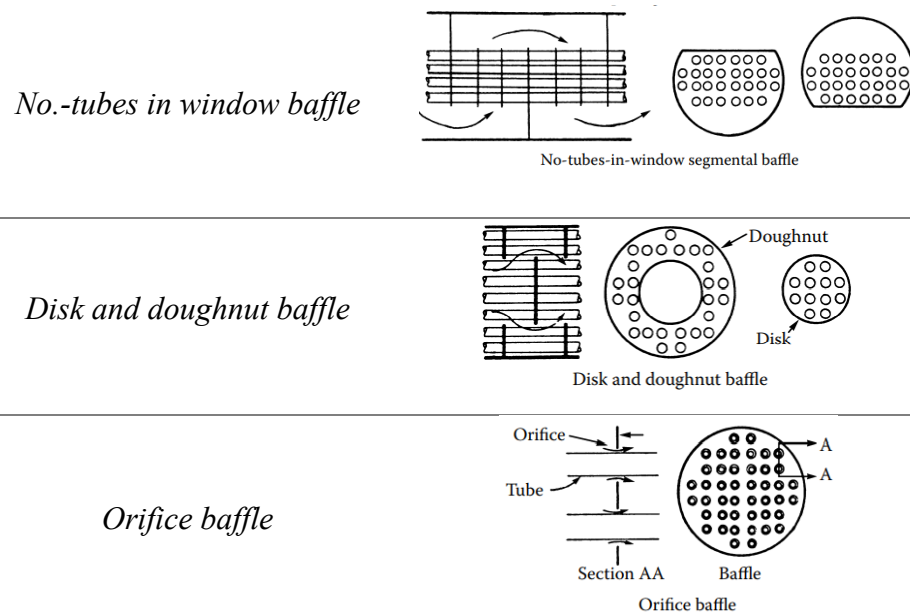
- Besarnya *pressure drop* yang akan terjadi
- Jenis aliran fluida yang mengalir di luar *tube*
- Faktor *fouling* fluida
- Cara pembersihan yang sebaiknya dilakukan pada *heat exchanger* yang akan dirancang. Apakah secara kimiawi, atau mekanik.

2.4.3. Baffle

Berdasarkan buku *Process Heat Transfer Principles, Application and Rules of Tumbs* karya (Serth & Lestina, 2014) *baffle* atau sekat memiliki dua fungsi penting, yaitu pada termal desain berfungsi untuk meningkatkan nilai koefisien perpindahan panas; dan pada *mechanical* desain berfungsi untuk mendukung kekuatan struktural tabung guna mencegah getaran dan kendur pada komponen di dalamnya. Terdapat beberapa jenis *baffle* berdasarkan standar TEMA di antaranya:

Tabel 2.1 Jenis-Jenis *Baffle*
(Serth & Lestina, 2014)

Nama	Ilustrasi
<i>Single segmental baffle</i>	
<i>Double segmental baffle</i>	
<i>Triple segmental baffle</i>	



2.5. Parameter Desain

Menurut Serth & Lestina, (2014) dalam perancangan *heat exchanger*, berikut merupakan parameter keandalan suatu desain:

2.5.1. Laju Perpindahan Panas

Untuk membangun hubungan antara Laju Perpindahan Panas/*Heat Duty* (Q), Luas permukaan (A), suhu, dan koefisien perpindahan panas (U), persamaan dasar yang digunakan untuk analisis adalah persamaan perubahan energi dan perpindahan panas. Persamaan perubahan energi pada *heat exchanger* menurut (Serth & Lestina, 2014) ialah sebagai berikut:

$$q = C_{p,h}(T_{h,i} - T_{h,o}) = C_{p,c}(t_{c,i} - t_{c,o}) \quad (2.4)$$

dan persamaan laju perpindahan panasnya ialah:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_m \quad (2.5)$$

di mana, adalah ΔT_m *true mean temperature difference* (MTD) atau perbedaan temperatur panas sebenarnya. Hal ini kemudian dapat dicari menggunakan metode numerik LMTD sebagai berikut:

2.5.2. Log Mean Temperature Different LMTD

Log mean temperature difference (LMTD) merupakan metode perhitungan efisiensi termal pada *heat exchanger*. Pada sebuah *heat exchanger multi-pass*, pola alirannya adalah campuran antara *co-current* dan *counter current* hal ini menyulitkan penetapan suhu rata-rata perpindahan panasnya karena terdapat perbedaan antara MTD sebenarnya dengan MTD logaritmik. Oleh karena itu, perhitungan LMTD diperlukan untuk memperoleh rerata perpindahan panas yang terjadi dengan lebih akurat. Dalam hubungannya dengan *heat transfer rate equation*, ditunjukkan pada persamaan menurut (Serth & Lestina, 2014) di bawah ini

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_m = U \cdot A \cdot F \cdot \Delta T_{lm} \quad (2.6)$$

Di mana T_{lm} adalah T LMTD, dan F adalah faktor koreksi LMTD. Adapun secara umum persamaan LMTD dituliskan sebagai berikut:

$$\Delta T_{lm} = \frac{T_{maks} - T_{min}}{\frac{\ln \Delta T_{maks}}{\Delta T_{min}}} \quad (2.7)$$

Faktor koreksi LMTD digunakan untuk mencari selisih nilai perubahan perpindahan panas *actual* dengan nilai perubahan perpindahan panas logaritmik.

2.5.3. Total Heat Transfer Area

Luas area perpindahan panas adalah luas area di mana perpindahan panas dari fluida dalam tube dengan fluida dalam *shell* terjadi. Umumnya, luas area ini didasarkan pada luas permukaan diameter luar pada *tube*. Sehingga, total area perpindahan panas dapat dihitung menggunakan persamaan menurut (Serth & Lestina, 2014) berikut:

$$A = \frac{Q}{U_D \cdot \Delta T_m} \quad (2.8)$$

2.5.4. Laju Perpindahan panas maksimum

Menurut (Serth & Lestina, 2014) nilai laju perpindahan panas maksimum akan diperoleh apabila salah satu fluida mengalami perubahan temperatur sebesar beda temperatur maksimum yang terdapat pada *heat exchanger* tersebut.

$$Q = C_{min} \times (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (2.9)$$

2.6. Metode Kern

Berdasarkan acuan pada buku Alat Penukar Panas karya (Sitompul, 2021) Berikut merupakan langkah perhitungan yang dilakukan dalam proses perancangan suatu heat exchanger menggunakan metode Kern.

2.6.1. Laju Perpindahan Panas

Persamaan yang digunakan untuk mencari laju perpindahan panas pada *chilled water* menurut (Sitompul, 2021) ialah:

$$Q = m_c \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (2.10)$$

sehingga apabila berdasarkan Asas *Black*, maka diperoleh:

$$\begin{aligned} Q_{masuk} &= Q_{ketuar} \\ Q_{POME} &= Q_{Water} \end{aligned} \quad (2.11)$$

2.6.2. Log Mean Temperature Different LMTD

Pada upaya menemukan perubahan temperatur rata-rata sebenarnya, digunakan nilai LMTD dan faktor koreksi yang dalam hubungannya dengan persamaan perpindahan panas, ditunjukkan pada persamaan (Sitompul, 2021) di bawah ini:

$$Q = m_c \cdot A \cdot \Delta T_m = U \cdot A \cdot F \cdot \Delta T_{lm} \quad (2.12)$$

di mana T_{lm} adalah T LMTD, dan F adalah faktor koreksi LMTD. Adapun secara umum persamaan LMTD dituliskan sebagai berikut:

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_{maks} - \Delta T_{min}}{2,3 \log \frac{\Delta T_{maks}}{\Delta T_{min}}} \quad (2.13)$$

Faktor koreksi LMTD selain digunakan untuk mencari selisih nilai perubahan perpindahan panas actual dengan nilai perubahan perpindahan panas logaritmik juga dapat dijadikan acuan dalam mencari jumlah laluan *heat exchanger* yang dirancang.

Nilai F kemudian dapat diperoleh untuk kemudian digunakan mendapatkan nilai perubahan temperatur sebenarnya berdasarkan persamaan (Sitompul, 2021) berikut:

$$\Delta T_m = F \cdot \Delta T_{lm} \quad (2.14)$$

2.6.3. Preliminary Heat Transfer Coefficiency Design

Perancangan desain *shell and tube heat exchanger* merupakan proses iterasi rumit dan panjang, yang biasanya dilakukan dengan bantuan program komputer. Dalam hal ini, telah ditentukan perkiraan kasar (estimasi) dari koefisien perpindahan panas yang mungkin terjadi berdasarkan jenis fluida yang mengalir ke dalam *heat exchanger*. Berdasarkan standar yang diberikan (Serth & Lestina, 2014) diketahui pada proses pendinginan dengan media air pada gas POME (*Hydrogen containing natural gas mix*) dengan *chilled water* diperoleh:

$$U_{D,estimasi} = 10-50 \text{ BTU/h.ft}^2.\text{°F.} \quad (2.15)$$

2.6.4. Tube Data

Berdasarkan data desain yang telah ditentukan, maka diperlukan adanya penetapan terhadap *flow area per-tube*, *surface* per-lin berdasarkan data yang dapat diperoleh dari tabel standar dimensi *tube* pada TEMA yaitu:

Tabel 2.2 Tube Data
(Tubular Exchanger Manufacturers Association, 2019)

Outside Diameter (OD _t)	Inch	½	¾	1	1 ¼	1,5
Inlet Diameter (ID _t)	Inch	0.402	0.652	0.902	1.15	1.4
Flow Area (a')	in ²	0.127	0.334	0.639	1.04	1.54
BWG		18	18	18	18	18
Number of Pass	n'	2	2	2	2	2

2.6.5. Area Perpindahan panas

Area perpindahan panas estimasi dapat diperoleh dengan melakukan perhitungan pada persamaan menurut (Sitompul, 2021) berikut:

$$Ae = \frac{Q}{U_{D,estimasi} \cdot \Delta T_m} \quad (2.16)$$

2.6.6. Jumlah tube

Penentuan terhadap jumlah *tube*, dapat menggunakan perhitungan pada persamaan (Sitompul, 2021) berikut:

$$N_t = \frac{Ae}{a'' \cdot L} \quad (2.17)$$

dalam hal ini, perlu dilakukan standarisasi jumlah *tube* terhadap standar yang disesuaikan dengan jumlah laluan. Secara bersamaan pada penyesuaian ini juga akan diperoleh diameter dalam *shell* (ID_s).

2.6.7. Evaluasi nilai perpindahan panas

Berikut merupakan langkah untuk melakukan evaluasi perpindahan panas pada sisi *tube* menurut (Sitompul, 2021):

$$a_t = \frac{N_t}{n' \cdot 144} \quad (2.18)$$

Adapun nilai area perpindahan panas pada *shell* dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$a_s = \frac{ID_s \cdot C \cdot B}{n' \cdot t \cdot 144} \quad (2.19)$$

2.6.8 Menghitung Koefisien Perpindahan Panas

Nilai koefisien perpindahan panas pada *tube* dapat diperoleh dengan melakukan perhitungan numerik sebagai berikut:

- a. Menghitung nilai Reynold

Sebelum mencari nilai Reynold perlu ditemukan besar kecepatan aliran massa pada *tube*, menggunakan persamaan:

$$G_t = \frac{m_{ch}}{a_t}$$

(2.20)

Sehingga diperoleh persamaan nilai Reynold yaitu:

$$N_{re} = \frac{G_t \cdot id_t}{\mu \cdot 2,42} \quad (2.21)$$

- b. Mencari faktor panas ($J_{h,t}$)

Nilai faktor panas, ditentukan berdasarkan nilai Reynold pada *tube* yang kemudian disesuaikan pada kurva perpindahan panas sisi *tube*.

- c. Menghitung koefisien perpindahan panas (h_{io})

$$h_i = J_{h,t} \cdot \frac{k}{D} \cdot (Pr)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} \quad (2.22)$$

Kemudian nilai h_{io} dapat diperoleh dengan persamaan:

$$h_{io} = \frac{h_i}{\phi_t} \times \frac{IDt}{ODt} \quad (2.23)$$

Adapun untuk mendapatkan nilai perpindahan panas pada *shell* (h_o) digunakan cara yang hampir sama, yaitu:

- a. Menghitung nilai Reynold

Sebelum mencari nilai Reynold perlu ditemukan besar kecepatan aliran massa pada *shell*, menggunakan persamaan:

$$G_s = \frac{m_{cc}}{a_s} \quad (2.24)$$

Selanjutnya mencari diameter ekivalen pada *shell* menggunakan rumus:

$$D_e = \frac{4 \times (\frac{1}{2} Pt \times 0.86 Pt - \frac{1}{2} \pi d_o^2 / 4)}{\frac{1}{2} \pi d_o} \quad (2.25)$$

Sehingga diperoleh persamaan nilai Reynold yaitu:

$$N_{re} = \frac{G_s \cdot D_e}{\mu \cdot 2,42} \quad (2.26)$$

- b. Mencari faktor panas ($J_{h,s}$)

Nilai faktor panas, ditentukan berdasarkan nilai Reynold pada *shell* yang kemudian disesuaikan pada kurva perpindahan panas sisi *shell*.

- c. Menghitung koefisien perpindahan panas

$$h_o = J_h \cdot \frac{k}{D_e} \cdot \left(\frac{C_{p,c} \cdot \mu}{k}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} \quad (2.27)$$

2.6.8. Clean Overall Heat Transfer Coefficient

Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk mencari koefisien perpindahan panas keseluruhan pada saat *heat exchanger* dalam kondisi bersih:

$$U_c = \frac{h_o \cdot h_i}{h_o + h_i} \quad (2.28)$$

2.6.9. Laju Perpindahan Panas *Required Design*

Berdasarkan data yang telah diperoleh di atas, maka koefisien perpindahan panas desain secara keseluruhan yaitu:

$$U_{req} = \frac{Nt \text{ hitung} \times U_{asumsi}}{Nt \text{ standar}} \quad (2.29)$$

Nilai U_{req} merupakan koefisien desain perhitungan sebenarnya yang harus dipenuhi dalam perancangan *heat exchanger*, Nilai U_{req} perhitungan ini kemudian akan dibandingkan dengan besar nilai U_c menggunakan *software* HTRI, apabila nilai $U_c > U_{req}$, maka desain tersebut dapat diterima.

2.7. Material

Berikut merupakan data *properties* dari material yang digunakan:

2.7.1. POME Gas

Palm Oil Mill Effluent (POME) sendiri menurut (Winanti et al., 2019) adalah limbah pengolahan tandan buah segar kelapa sawit yang memiliki suhu tinggi dengan tingkat keasaman (pH) yang sangat rendah berkisar 4,56-4,98 COD (*Chemical Oxygen Demand*).

2.7.2. Chilled Water

Chilled water digunakan sebagai media pendingin memiliki data *properties* sebagai berikut:

Tabel 2.3 *Physical Properties of Cooling Water*
(Pan et al., 2021)

<i>Density</i>	988,2	Kg/m ³
<i>Specific Heat</i>	4182	J/(kg.K)
<i>Heat Termal Conductivity</i>	0,6	W/(m.K)
<i>Viscosity</i>	0,001003	Kg/(m.s)

2.7.3. Stainless Steel 304

Stainless Steel 304 adalah baja tahan karat yang umum digunakan pada segala jangkauan produk. Memiliki karakteristik produksi dan pengelasan yang sangat baik. Material ini banyak digunakan pada produk: panel arsitektural, kontainer kimia, dan terutama *heat exchanger*. Berikut merupakan data *properties* dari *stainles steel 304*:

Tabel 2.4 *Physical properties of Stainless Steel 304*
(Atlas Steel Australia, 2013)

<i>Density</i>	8000	Kg/m³
<i>Thermal Conductivity</i>	16,2	W/m.K
<i>Specific Heat</i>	500	J/kg.K

2.8. PT Wiratama Indotech



Gambar 2.12 Logo PT Wiratama Indotech
(PT Wiratama Indotech, 2017)

Berdasarkan dokumen profil PT Wiratama Indotech, (2017) dijelaskan sebagai berikut: PT Wiratama Indotech berdiri sejak tahun 2003 sebagai sebuah perusahaan yang bekerja dibidang spesialisasi tata udara dan alat pendingin, secara khusus menerima jasa desain, konstruksi, perawatan dan perbaikan pada produk produk *heat exchanger* dan *cooling system*.

Perusahaan ini berlokasi di Jl. Komodo Blok D No. 60 Komplek AL, Jati Bening, Pondok Gede, Bekasi.

PT Wiratama Indotech memerikan berbagai pelayanan terbaik pada produk tata udara dan pendingin sesuai dengan permintaan *costumer* yang kemudian dikerjakan oleh tenaga-tenaga professional dan tersertifikasi.

Adapun kualifikasi PT Wiratama Indotech ialah sebagai berikut:

- a. PT Wiratama Indotech memiliki pengalaman lebih dari 19 tahun sebagai *supplier* dan *fabrikator* produk-produk *heat exchanger* dan *cooling systems*.
- b. Desain dan perancangan produk menggunakan *software selection* terstandar desain khusus *heat exchanger*.
- c. Peralatan kerja fabrikasi yang memadai.

- d. Produk-produk yang dikerjakan oleh tenaga profesional dan tersertifikasi dalam bidangnya.
- e. Telah terdaftar sebagai Perusahaan Jasa Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SKP-PJK3) bidang Kegiatan Pesawat Uap oleh Kementerian Tenaga Kerja (Kemenaker).

2.9. HTRI *Software*

Berdasarkan informasi yang diperoleh dari (*Heat Transfer Research Inc.*, 2019) HTRI adalah perangkat lunak yang berfungsi menilai, mensimulasikan, dan atau merancang berbagai peralatan perpindahan panas. Adapun beberapa model *heat exchanger* yang mampu dikerjakan menggunakan *software* HTRI ialah:

- *Tubular based geometries*

Pada *heat exchanger* tipe ini, HTRI mampu mengerjakan proses *rating, simulation, design, and analysis* terhadap *air coolers and economizers (Xace), shell and tube heat (Xist), hairpin (Xhpe), jacketed pipes (Xjpe)*.

- *Compact heat Exchangers*

Pada *heat exchanger* tipe ini HTRI mampu mengerjakan proses *rating, simulation, design, dan analysis* terhadap *plate-fin (Xpfe), plate and frame (Xpfe), spiral plate (Xspe)*.

Pada perancangan tipe *shell and tube*, HTRI mendukung semua jenis tipe berstandar TEMA (*Tubular exchanger manufacture Association*) dan termasuk juga fungsi yang terintegrasi untuk perhitungan getaran akibat adanya aliran dan desain tata letak tabung.