

BAB II

DASAR TEORI

2.1 PROSES PERANCANGAN

Proses Perancangan adalah suatu proses aktifitas / kegiatan yang akan dilakukan oleh para ahli desain produk industri dari hasil studi, kemudian dituangkan dalam bentuk inovasi / ide-ide desain dan dilanjutkan pada penjabaran ataupun penselarasan yang berhubungan dengan interaksi antar kegiatan terkait.

Aktifitas tersebut dibagi menjadi 5 (lima) tahapan yang terdiri dari ^[1]:

1. Studi banding / survey.
2. Konsep desain
3. Pembuatan model
4. Mock-up
5. Sales mock-up / prototype

2.1.1 Studi Banding

Dalam tahap studi banding ini terdiri dari empat studi yang harus dilakukan yaitu :

1. Studi Banding Pasar
2. Studi Besaran
3. Studi Bentuk
4. Studi Perawatan

2.1.1.1 Studi Banding Pasar

Tujuan studi banding pasar adalah untuk mendapatkan data – data tentang keinginan pengguna (pasar) dalam suatu rancangan desain, terutama yang berkaitan dengan trend atau arah suatu desain produk pada masa yang akan datang (misal : cita rasa, kenyamanan dan komponen estetika, operasional/keamanan dan keselamatan serta simbol – simbol status). Aktifitas studi banding ini juga dapat dilakukan dengan survey yaitu dengan cara membagikan / penyebaran kusioner untuk pengguna / masyarakat yang berhubungan dengan produk yang akan ditawarkan atau dipasarkan.

Untuk mengurangi data yang subjektif dari hasil kuesioner, maka diperlukan data pelengkap sebagai data yang dianggap lebih objektif, yaitu :

1. Observasi pasar.
2. Observasi operasional
3. Test material dan sejenis test lainnya
4. Tingkah laku.

Data – data hasil survey / studi banding ini dapat digunakan sebagai acuan dalam menyusun kebutuhan desain untuk suatu produk rancangan.

2.1.1.2 Studi Banding Besaran

Menentukan besaran atau luas suatu produk yang akan dibuat dengan parameter beberapa produk yang sekelas (hampir sama atau sebagai produk saingan) dan studi literature.

Dalam studi besaran ini, variable yang akan dapat digunakan ialah :

1. Faktor Ergonomi
2. Jenis atau tipe produk
3. Bentuk
4. Variasi ukuran
5. Konfigurasi

2.1.1.3 Studi Banding Bentuk

Studi tentang komponen lain yang terkait dalam suatu produk yang akan dibuat untuk menghasilkan bentuk awal dan menentukan besaran (panjang/lebar) produk.

Hal – hal yang dijadikan acuan dalam studi bentuk :

1. Jumlah atau jenis komponen yang terkait di dalamnya
2. Konfigurasi
3. Ukuran jarak dan posisi
4. Kemampuan

2.1.1.4 Studi Banding Perawatan

Studi tentang berapa lama dan urutan pekerjaan perawatan yang harus dilakukan pada suatu produk dalam waktu tertentu.

Berdasarkan studi ini dapat dijadikan dasar untuk menentukan susunan atas konfigurasi bentuk/desain, dan kemudahan – kemudahan dalam pengoperasiannya.

2.1.2 Konsep Desain

Setelah tahapan studi banding/survey selesai dilakukan dan dituangkan di dalam kebutuhan desain, maka tahapan berikutnya adalah konsep desain yang mengacu pada kebutuhan desain.

Di dalam tahapan ini didalam tahapan ini dilakukan pendefinisian mengenai bentuk dan konfigurasi yang meliputi hal – hal berikut :

1. Panelisasi bentuk
2. Integrasi komponen terkait
3. Rendering dan Styling
4. Fleksibilitas
5. Gambar 3 (tiga) dimensi

Untuk mendukung terlaksananya konsep desain dan sebagai alat bantu presentasi, diperlukan pembuatan suatu model untuk lebih mendekati konsep tersebut pada bentuk yang nyata/aktual. Pada tahapan ini juga disebut fasa desain konsep dan kebutuhan desain.

2.1.3 Pembuatan Model

Tujuan pembuatan model ialah untuk membantu beberapa hal yang berkaitan dengan konsep desain, diantaranya :

1. Sebagai sarana studi desain/rancangan produk untuk mewujudkan suatu konsep desain yang mendekati ketepatan.
2. Penampilan bentuk
3. Alat pembanding dengan produk yang sudah ada.
4. Alat bantu presentasi/dokumentasi pihak marketing

Aktifitas pembuatan model biasanya akan berkaitan dengan mock-up pada tahap fasa, yaitu menindaklanjuti desain konsep menjadi kegiatan lebih spesifik yang akan dimasukkan menjadi technical description dan technical specification.

2.1.4 *Mock-Up*

Yang dimaksud dengan *mock – up* adalah pembuatan atau penjabaran dari gambar yang sudah frozen/terakhir, untuk dijadikan suatu model dengan skala 1 : 1 (hal ini tergantung dari besaran rancangan produk yang akan dibuat).

Mock-up dengan skala 1 : 1 dapat menggunakan jenis material yang lain (apa saja) asalkan tetap dapat mewakili yang sebenarnya/representatife. *Mock-up* juga dapat digunakan sebagai alat peraga/simulasi khususnya dalam kegiatan operasional, yang berkaitan dengan Fit, Form dan Function. Bila suatu produk yang akan dibuat adalah produk yang bersifat dinamis (bergerak) maka *mock-up* tersebut akan lebih banyak membantu didalam menentukan lokasi dari suatu sistem – sistem lainnya agar tidak terjadi benturan/tabrakan diantara sistem-sistem yang ada. *Mock-up* ini juga sering disebut *Engineering Mock-up*.

Untuk membuat *Mock-up* skala 1 : 1 diperlukan suatu gambar tehnik (production drawing) dengan kepresisian yang sangat tinggi sesuai dengan dimensi yang tertera dalam gambar. *Mock-up* juga digunakan dalam fasa *Preliminary Design* (desain awal).

Kegiatan fasa *Preliminary Design* biasanya meliputi hal – hal berikut :

1. Menjabarkan desain konsep menjadi desain skets.
2. Melakukan interaksi awal / preliminary interface dengan group lainnya yang berkaitan dengan produk rancangan (interdisiplin/group interface).
3. Menganalisa permintaan pasar (atau pengguna) untuk menentukan beberapa alternatifif desain.
4. Melakukan analisa awal dan perhitungan kekuatan, material maupun konfigurasinya.
5. Membuat draft specification atau request for proposal untuk material atau part yang harus dipesan kepada perusahaan lain.

2.1.5 Sales Mock – Up Prototype

Sales Mock-Up dibuat untuk produk yang mempunyai ukuran sangat besar dan biasanya mempunyai sifat yang bergerak atau dinamis, misalnya : alat transportasi (motor, mobil, bus, kapal dan pesawat Terbang) dengan skala 1 : 1.

Untuk ukuran yang lebih kecil dari itu biasanya sekaligus dibuatkan prototipenya dengan skala 1 : 1 dan hanya dalam jumlah tertentu, sebagai alat bantu bagian marketing dalam menawarkan atau menjual hasil produk kepada konsumen.

Sales Mock-up dapat dibuat dengan menggunakan material yang bukan sebenarnya asalkan cukup representatif untuk dipresentasikan kepada konsumen atau masyarakat.

Untuk prototipe akan dibuat dengan material yang sebenarnya sesuai gambar atau sejenisnya yang telah mendapatkan persetujuan dari desainer untuk digunakan pada hal – hal yang sama seperti sales mock-up. Pada tahapan ini secara bersamaan juga masuk pada fasa Detail Design dan Fabrication/Assembly.

Di dalam fasa detail desain, dibuat gambar – gambar akhir/final drawing dengan kegiatan sebagai berikut :

1. Pembuatan gambar detail/production drawings.
2. Pembuatan dokumen analisa (misal : analisa kekuatan struktur dan material, analisa berat, analisa warna, dll).
3. Penentuan daftar material/bahan yang akan digunakan.
4. Gambar perencanaan tahapan/urutan kerja produksi (drawing tree).

Fasa detail desain biasanya sudah melewati masa interface antar komponen-komponen terkait untuk menentukan lokasi dan juga selalu berkaitan dengan sistem maintenance/perawatan, disamping kemampuan produksi salam pembuatannya.

Fabrication/Assembly yaitu suatu aktifitas dari produksi untuk mengantisipasi permasalahan yang timbul dari hasil riset dan pengembangan maupun rekayasa engineering, untuk suatu produk yang berhubungan dengan aplikasi teknologi dan proses produksi melalui implementasi dan pembuatan mock-up maupun prototipe (sebagian atau komplet), serta memberikan ide – ide atau konsep perubahan yang bersifat improvement untuk proses produksi.

Sales mock-up dan protipe sangat bermanfaat bagi kepentingan promosi khususnya kepada calon pembeli/customer, sekaligus juga sebagai alat peraga (simulasi) dalam mendemonstrasikan segala peralatan, komponen, dan sistem yang ada.

Sales mock-up juga digunakan oleh para desainer untuk merealisasikan ide-ide inovatif desain maupun improvement atas permintaan calon pembeli (customer requirement), diantaranya : bentuk desain, lay out – interior arrangement/tata letak, warna, dimensi ruangan, dan studi ergonomi.

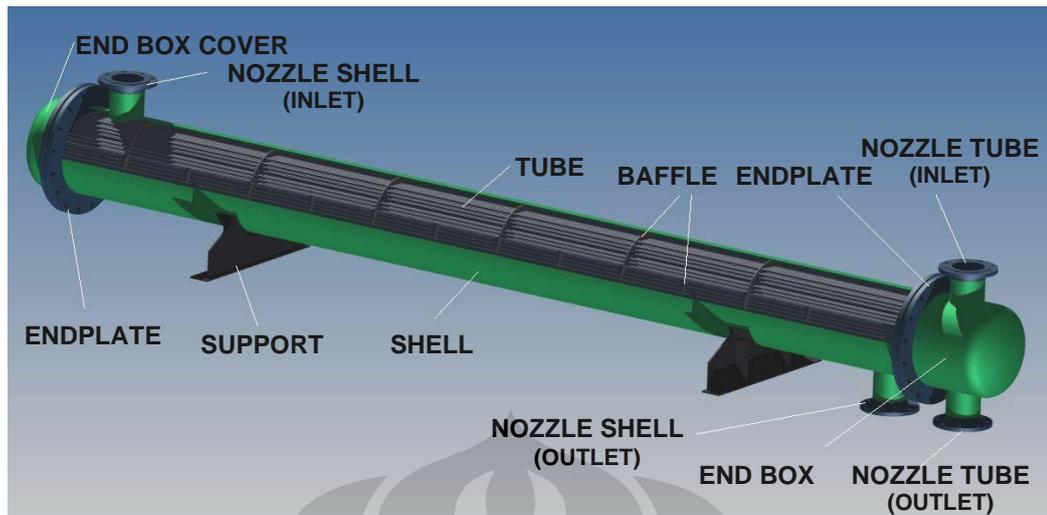
Hubungan antara detail desain dan Fabrication Assembly sangatlah erat, dikarenakan aktifitas kedua-duanya yang selalu saling mengisi. Hasil – hasil evaluasi dari permintaan calon pembeli dapat dapat dijabarkan kembali pada gambar – gambar detail desain yang akan dibuat di pabrikan, dan sebaliknya bila diketemukan masalah/problem yang timbul pada saat instalasi dilakukan, maka dapat segera memberikan masukan kepada desainer untuk dituangkan berikutnya pada rancangan desain.

2.2 SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER

Shell and tube heat exchanger adalah suatu alat penukar kalor yang umum digunakan di dalam dunia industri.

Di dalam konstruksi alat penukar kalor shell and tube ini suatu fluida mengalir di dalam tube (pipa), sedang fluida lain dialirkan melalui shell (selongsong) melintasi dinding luar tube. Untuk menjamin fluida di bagian shell mengalir melintasi tube dan dengan demikian menyebabkan perpindahan kalor lebih tinggi, maka di dalam shell dipasangkangkan sekat-sekat (baffle).

Gambar 2.1 menunjukkan salah satu contoh konstruksi *Shell and tube heat exchanger* tipe fixed head dengan 1 lintasan aliran fluida di *shell* dan 2 lintasan aliran fluida di *tube*.



Gambar 2.1 *Shell and tube heat exchanger (fixed head)*

2.3 AUTODESK INVENTOR

Autodesk Inventor adalah software otomatisasi dari mechanical desain yang memiliki kelebihan karena menggunakan pemodelan dilihat dari segi ruang (grafik interface). Penggunaan software ini mudah untuk dipelajari bagi mechanical desainer untuk membuat sket gambar, pemodelan produk dan detail gambar kerja.

Pada software *Autodesk Inventor* dapat melakukan penggambaran seperti halnya pada *Autocad*. Tetapi dengan menggunakan *Autodesk Inventor* dapat melakukan penggambaran dengan tiga dimensi yang langsung berhubungan dengan gambar dua dimensi yang telah digambar.

Adapun keuntungan dengan adanya hal diatas ialah :

1. Dengan penggambaran model lebih cepat dari penggambaran dengan garis (line).
2. *Autodesk Inventor* membuat penggambaran dari model terlebih dahulu dan langsung akan menghasilkan gambar kerja sehingga lebih efisien.
3. *Autodesk Inventor* dapat mengedit, mencek dan memperbaiki dari modelnya yang terlihat lebih jelas sehingga kesalahan penggambaran dapat terhindari.

4. *Autodesk Inventor* dapat menginsert dimensi dari model secara otomatis pada drawing yang pada akhirnya dapat berubah pada modelnya.
5. Parameter dan relasi dari model saling berhubungan jadi keduanya selalu saling berhubungan satu sama lain.
6. Desain pemodelan template berbasis API (Application Programming Inface) mudah dilakukan dengan standard desain yang telah ditentukan parameter standard nya.
7. Revisi (perubahan) konstruksi pada model 3D, akan secara otomatis merubah detail gambar 2D sampai dengan pembuatan Bill Of Material (BOM).
8. *Autodesk Inventor* juga mengaplikasikan dalam pembuatan produk yang memiliki kelebihan dalam konstruksi perakitan (assembling) dikarenakan memiliki dasar – dasar pemodelan assembling produk yang sangat lengkap .
9. Pengembangan system manajemen produk lebih lanjut dapat mengaplikasikan PDM (Product Data Manajement), sehingga sistem desain lebih terkontrol.

Autodesk Inventor merupakan software alternatif bagi mechanical desainer dalam melakukan perancangan dan pemodelan dalam membuat sebuah produk. Sehingga pada akhirnya dapat menghasilkan produk yang efektif dan optimal.

2.4 PERPINDAHAN KALOR

Untuk perhitungan, penentuan bahan dan ukuran atau pengecekan kekuatan bahan atau elemen konstruksi, seseorang perlu mengetahui dasar – dasar dari ilmu kekuatan bahan, seperti : kekuatan bahan, tegangan (kekuatan patah, batas mulur dan tegangan ijin), pembebanan dan kasus pembebanan (statis , dinamis).

2.4.1. KONDUKSI

Konduksi merupakan perpindahan kalor yang terjadi pada benda padat. Jika pada suatu benda terdapat gradien suhu, maka akan terjadi perpindahan energi dari bagian suhu tinggi ke bagian yang bersuhu rendah.

Persamaan di bawah tentang konduksi kalor disebut dengan hukum Fourier (Joseph Fourier; ahli matematika fisika dari Perancis).

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2-1)$$

$q =$	laju perpindahan kalor	[W]
$k =$	konduktivitas termal	[W/m°C]
$A =$	luas penampang	[m ²]
$\frac{dT}{dx} =$	gradien suhu ke arah perpindahan kalor	

2.4.2. KONVEKSI

Konveksi adalah pertukaran energi antara permukaan benda padat yang mempunyai luasan A dengan fluida sekitarnya.

Persamaan umum perpindahan kalor konveksi adalah :

Fluksi kalor (laju kalor Q / luas permukaan A), Q/A , sebanding dengan beda temperatur antara fluida dan permukaan padat. Pembandingnya dikenal dengan koefisien perpindahan kalor konveksi yang disimbolkan dengan h .

$$q = hxA \times (T_s - T_\infty) \quad (2.2)$$

q	= laju perpindahan kalor	[W]
h	= koefisien perpindahan kalor konveksi	[w/m ² °C]
A	= luas penampang	[m ²]
T_w	= Temperatur plat	[°C]
T_∞	= Temperatur fluida	[°C]

2.4.3. RADIASI

Radiasi panas adalah pancaran gelombang elektromagnetik dari permukaan atau gas yang beradiasi yang mempunyai temperatur tinggi. Radiasi panas tidak membutuhkan media penghantar seperti halnya pada konduksi atau konveksi panas.

Radiator (penyinar) ideal, atau *benda hitam (black body)*, memancarkan energi dengan laju yang sebanding dengan pangkat empat suhu absolut benda. Jika dua benda saling bertukar kalor dengan proses radiasi, maka kalor bersih yang bertukar sebanding dengan beda T^4 . jadi,

$$q = \sigma A(T_s - T_{sur}) \quad (2.3)$$

Dimana :

T_s = Temperatur permukaan [$^{\circ}\text{C}$]

T_{sur} = Temperatur Lingkungan [$^{\circ}\text{C}$]

σ = $5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$.

Persamaan (2.3) disebut hukum stefan-boltzmann tentang radiasi termal, dan berlaku untuk benda hitam. Perlu dicatat bahwa persamaan ini hanya berlaku untuk radiasi termal saja; radiasi elektromagnetik lain tidaklah sesederhana itu.

2.5 Teori dan dasar perancangan *Shell and Tube heat exchanger*

Prosedur perhitungan *desain shell and tube heat exchanger* dapat dilihat pada diagram alir gambar 2.2.

2.5.1 Perpindahan Kalor

Persamaan umum perpindahan kalor :

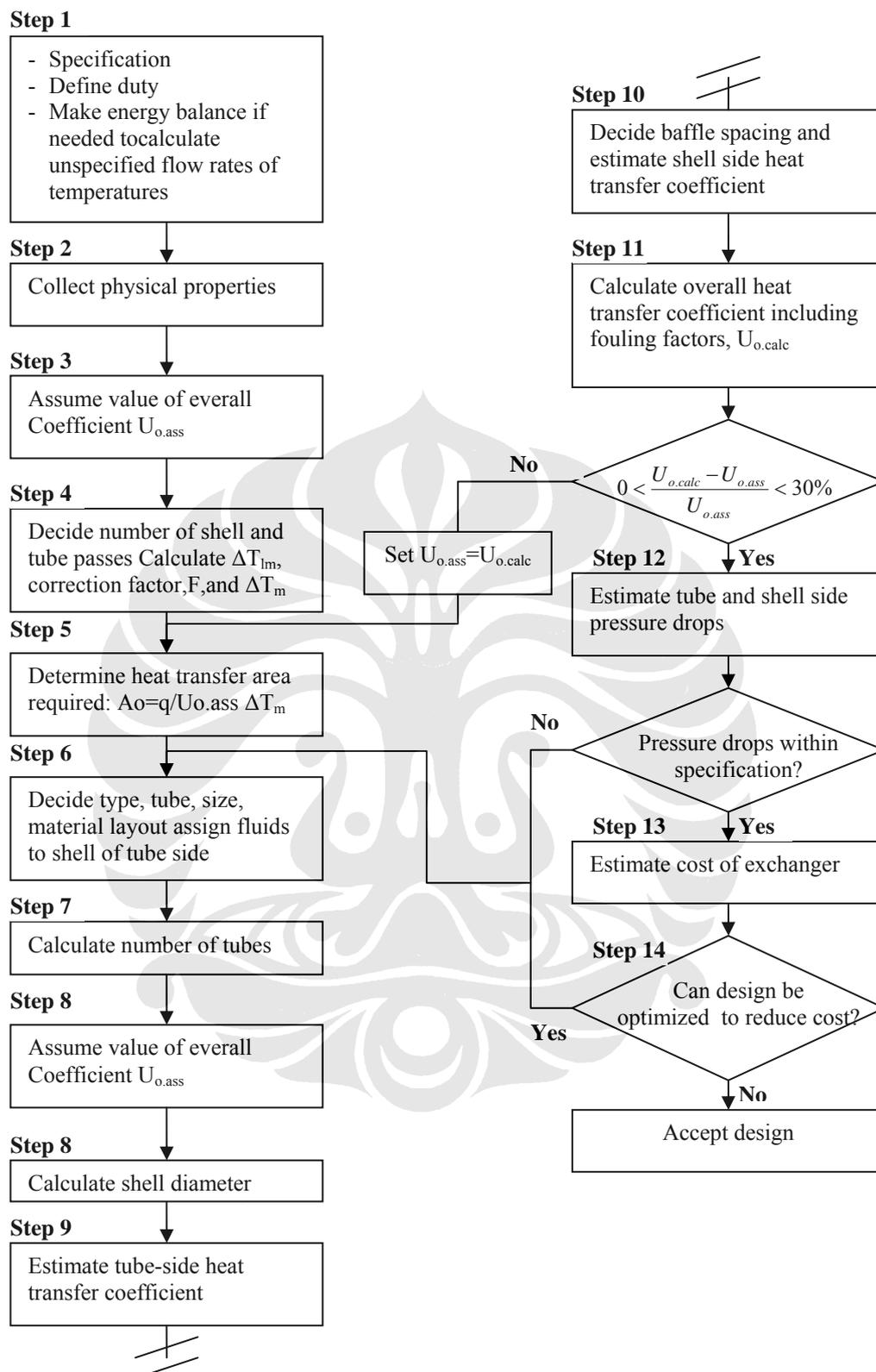
$$q = UA\Delta T_m \quad (2.4)$$

q = perpindahan kalor [W]

U = Koefisien perpindahan kalor menyeluruh [$\text{W/m}^{\circ}\text{C}$]

A = Luas permukaan perpindahan kalor [m^2]

ΔT_m = Beda suhu rata-rata yang digunakan dalam penukar kalor [$^{\circ}\text{C}$]



Gambar 2.2 Prosedur perhitungan desain *shell and tube heat exchanger* (open university course T333 Principles and application of Heat Transfer)

Perpindahan kalor juga dapat diperoleh dari persamaan :

$$q = m_h c_{p,h} (T_{h,i} - T_{h,o}) = m_c c_{p,c} (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (2.5)$$

q = perpindahan kalor [W]

m_h = laju aliran fluida 1 [kg/hr]

$c_{p,h}$ = Nilai kalor spesifik fluida 1 [J/kg°C]

$T_{h,i}$ = Temperatur inlet fluida 1 [°C]

$T_{h,o}$ = Temperatur outlet fluida 1 [°C]

m_c = laju aliran fluida 2 [kg/hr]

$c_{p,c}$ = Nilai kalor spesifik fluida 2 [J/kg°C]

$T_{c,o}$ = Temperatur inlet fluida 2 [°C]

$T_{c,i}$ = Temperatur outlet fluida 2 [°C]

2.5.2 Koefisien perpindahan kalor menyeluruh

$$\frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_{od}} + \frac{d \ln\left(\frac{d_o}{d_i}\right)}{2k_w} + \frac{d_o}{d_i} x \frac{1}{h_{id}} + \frac{d_o}{d_i} x \frac{1}{h_i} \quad (2.6)$$

U_o = Koefisien perpindahan kalor menyeluruh [W/m°C]

h_o = Outside fluid film coefficient [W/m°C]

h_i = Inside fluid film coefficient [W/m°C]

h_{od} = Outside dirt factor (fouling factor) [W/m°C]

h_{id} = Inside dirt factor (fouling factor) [W/m°C]

k_w = Konduktifitas termal dinding tube [W/m°C]

d_i = Inside tube diameter [m]

d_o = Outside tube diameter [m]

Tabel 2.1 Perkiraan nilai koefisien menyeluruh

Shell and tube exchangers		
Hot fluid	Cold fluid	U ($W/m^2\text{ }^\circ\text{C}$)
<i>Heat exchangers</i>		
Water	Water	800–1500
Organic solvents	Organic solvents	100–300
Light oils	Light oils	100–400
Heavy oils	Heavy oils	50–300
Gases	Gases	10–50
<i>Coolers</i>		
Organic solvents	Water	250–750
Light oils	Water	350–900
Heavy oils	Water	60–300
Gases	Water	20–300
Organic solvents	Brine	150–500
Water	Brine	600–1200
Gases	Brine	15–250
<i>Heaters</i>		
Steam	Water	1500–4000
Steam	Organic solvents	500–1000
Steam	Light oils	300–900
Steam	Heavy oils	60–450
Steam	Gases	30–300
Dowtherm	Heavy oils	50–300
Dowtherm	Gases	20–200
Flue gases	Steam	30–100
Flue	Hydrocarbon vapours	30–100
<i>Condensers</i>		
Aqueous vapours	Water	1000–1500
Organic vapours	Water	700–1000
Organics (some non-condensables)	Water	500–700
Vacuum condensers	Water	200–500
<i>Vaporisers</i>		
Steam	Aqueous solutions	1000–1500
Steam	Light organics	900–1200
Steam	Heavy organics	600–900

Tabel 2.2 Koefisien faktor *fouling*

Fluid	Coefficient ($W/m^2\text{ }^\circ\text{C}$)	Factor (resistance) ($m^2\text{ }^\circ\text{C}/W$)
River water	3000–12,000	0.0003–0.0001
Sea water	1000–3000	0.001–0.0003
Cooling water (towers)	3000–6000	0.0003–0.00017
Towns water (soft)	3000–5000	0.0003–0.0002
Towns water (hard)	1000–2000	0.001–0.0005
Steam condensate	1500–5000	0.00067–0.0002
Steam (oil free)	4000–10,000	0.0025–0.0001
Steam (oil traces)	2000–5000	0.0005–0.0002
Refrigerated brine	3000–5000	0.0003–0.0002
Air and industrial gases	5000–10,000	0.0002–0.0001
Flue gases	2000–5000	0.0005–0.0002
Organic vapours	5000	0.0002
Organic liquids	5000	0.0002
Light hydrocarbons	5000	0.0002
Heavy hydrocarbons	2000	0.0005
Boiling organics	2500	0.0004
Condensing organics	5000	0.0002
Heat transfer fluids	5000	0.0002
Aqueous salt solutions	3000–5000	0.0003–0.0002

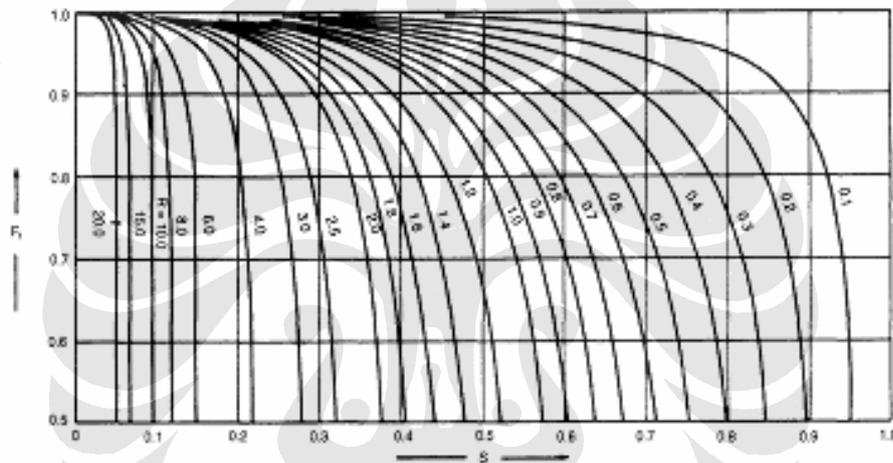
2.5.3 Beda suhu rata-tata log (LMTD)

$$LMTD = \frac{(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})}{\ln(T_{h,i} - T_{c,o}) / (T_{h,o} - T_{c,i})} \quad (2.7)$$

Faktor koreksi temperature :

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad (2.8)$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \quad (2.9)$$

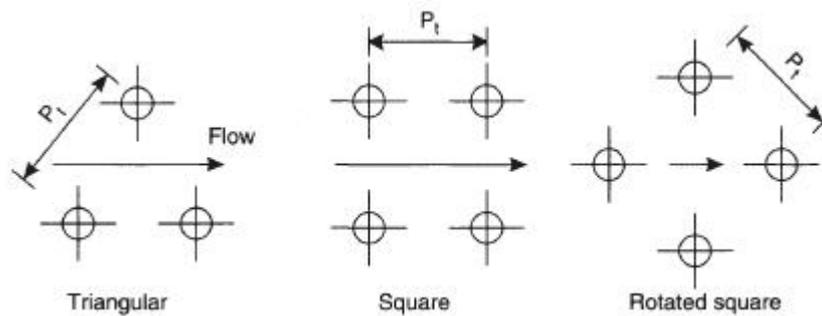


Gambar 2.3 Grafik faktor koreksi temperature
(one shell pass; two or more even tube passes)

2.5.4 Dimensi dan layout Shell and tube

Susunan pipa dalam shell and tube heat exchanger terdiri dari 3 macam seperti ditunjukkan dalam gambar 2.3 , yaitu :

1. Pola segitiga (*equilateral triangular*)
2. Pola bujur sangkar (*square*)
3. Pola bujursangkar yang diputar (*rotated square pattern*)



Gambar 2.4 Tube patterns

Jumlah tube dapat dihitung dari persamaan :

$$N_t = \frac{A}{\pi d_o L} \quad (2.10)$$

$$D_b = d_o \left(\frac{N_t}{K_1} \right)^{1/n_1} \quad (2.11)$$

Nilai K_1 dan n_1 ditentukan dari tabel 2.3

N_t = Jumlah tube

D_b = Diameter bundle [mm]

d_o = Diameter luar tube [mm]

Diameter shell dihitung dari persamaan :

$$D_s = D_b + BDC \quad (2.12)$$

D_s = Diameter Shell [mm]

BDC = bundle diameter clearance [mm]

Nilai BDC ditentukan dari tabel 2.3

Tabel 2.3 Nilai konstanta K_1 dan n_1

Triangular pitch, $p_t = 1.25d_o$					
No. passes	1	2	4	6	8
K_1	0.319	0.249	0.175	0.0743	0.0365
n_1	2.142	2.207	2.285	2.499	2.675
Square pitch, $p_t = 1.25d_o$					
No. passes	1	2	4	6	8
K_1	0.215	0.156	0.158	0.0402	0.0331
n_1	2.207	2.291	2.263	2.617	2.643

2.5.5 Metoda Kern's

Metoda Kern's adalah suatu metoda untuk menghitung perkiraan nilai koefisien perpindahan kalor dan *pressure drop* yang terjadi di *shell*.

1. equivalent diameter *shell*. (*triangular pitch arrangement*)

$$d_e = \frac{1.10}{d_o} (p_t^2 - 0.917d_o^2) \quad (2.15)$$

2. Menentukan bilangan *reynold* dan *Prandtl*.

$$\text{Re} = \frac{G_s d_s}{\mu} \quad (2.16)$$

$$\text{Pr} = \frac{C_p \mu}{k} \quad (2.18)$$

3. menentukan nilai faktor perpindahan kalor (j_h).

Nilai faktor perpindahan kalor ditunjukkan dalam gambar 2.5.

4. menentukan nilai koefisien perpidahan kalor yang terjadi di *shell*.

$$h_s = \frac{k}{d_e} j_h \text{Re Pr}^{1/3} \quad (2.19)$$

5. menentukan nilai koefisien perpidahan kalor yang terjadi di *shell*.

$$h_s = \frac{k}{d_e} j_h \text{Re Pr}^{1/3} \quad (2.19)$$

6. Menentukan nilai *pressure drop* yang terjadi di *shell*.

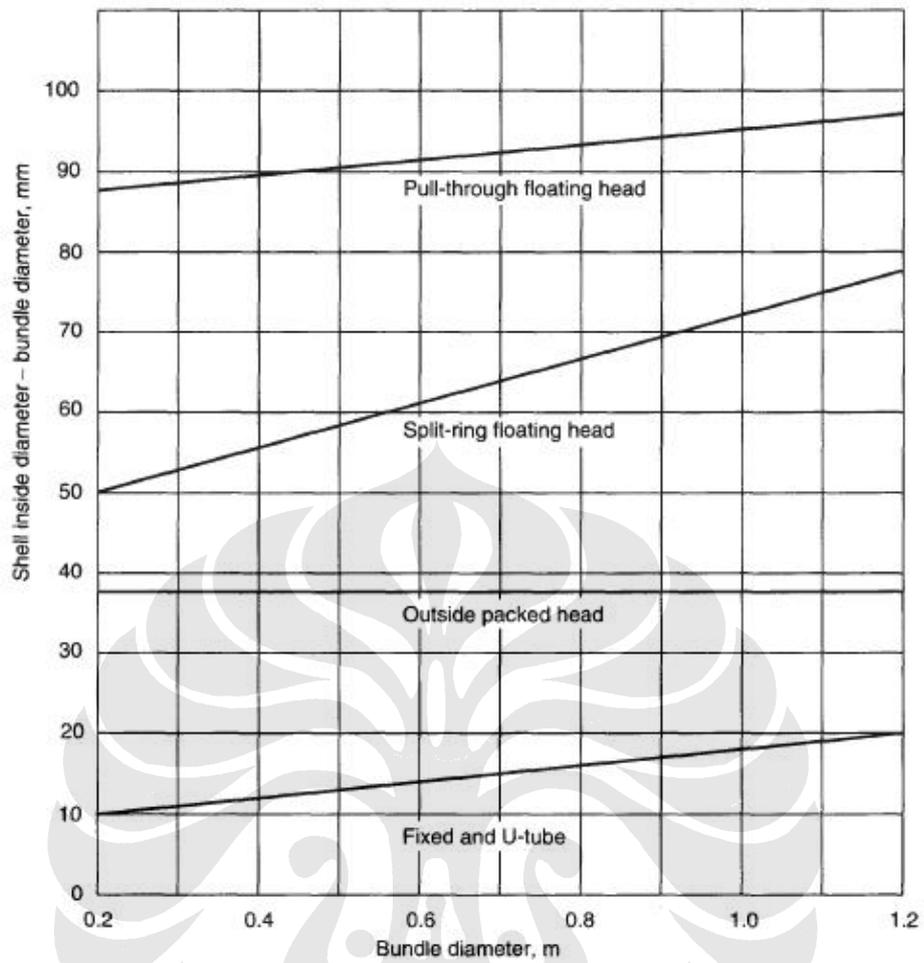
$$\Delta P_s = \left(\frac{D_s}{d_e} \right) \left(\frac{L}{l_B} \right) \frac{\rho u_s^2}{2} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-0.14} \quad (2.20)$$

7. Menentukan nilai *pressure drop* yang terjadi di *shell*.

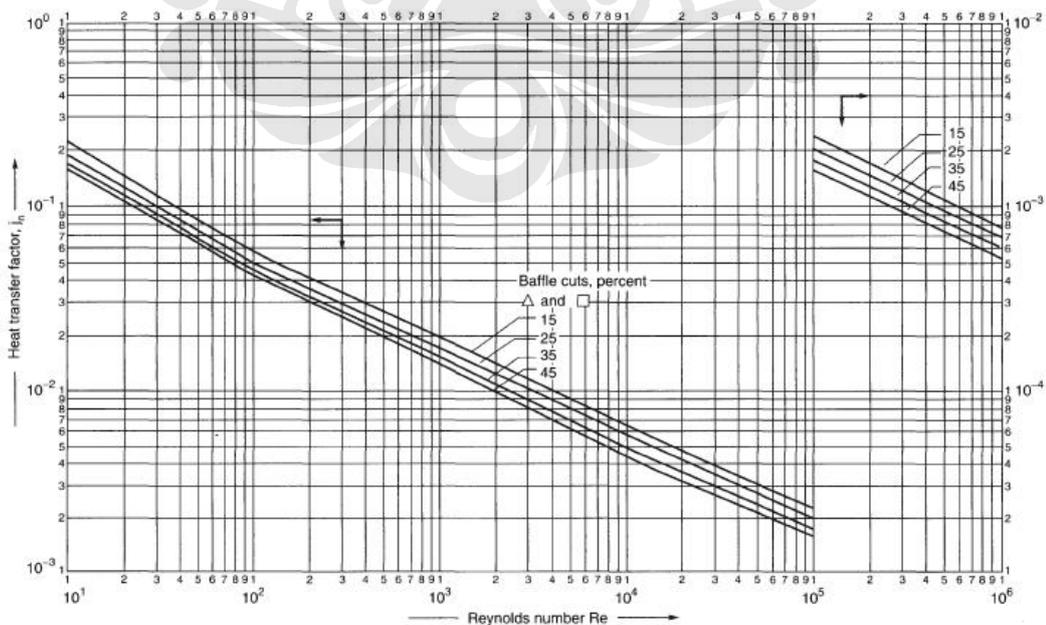
$$\Delta P_s = \left(\frac{D_s}{d_e} \right) \left(\frac{L}{l_B} \right) \frac{\rho u_s^2}{2} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-0.14} \quad (2.21)$$

8. Menentukan nilai *pressure drop* yang terjadi di *shell*.

$$\Delta P_s = \left(\frac{D_s}{d_e} \right) \left(\frac{L}{l_B} \right) \frac{\rho u_s^2}{2} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-0.14} \quad (2.21)$$



Gambar 2.5 Shell bundle clearance



Gambar 2.6 shell side heat transfer factors, segmental baffle

2.5.6 Pressure drop di bagian *tube*

Pressure drop di tube dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\Delta P_t = N_p \left[8j_f \left(\frac{L}{d_i} \right) \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-m} + 2.5 \right] \frac{\rho u_t^2}{2} \quad (2.22)$$

