

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Perpindahan Panas

Perpindahan kalor adalah ilmu yang mempelajari berpindahnya suatu energi (berupa kalor) dari suatu sistem ke sistem lain karena adanya perbedaan temperatur. Perpindahan kalor tidak akan terjadi pada sistem yang memiliki temperatur sama. Perbedaan temperatur menjadi daya penggerak untuk terjadinya perpindahan kalor. Sama dengan perbedaan tegangan sebagai penggerak arus listrik. Proses perpindahan kalor terjadi dari suatu system yang memiliki temperatur lebih tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Keseimbangan pada masing – masing sistem terjadi ketika system memiliki temperatur yang sama. Perpindahan kalor dapat berlangsung dengan 3 (tiga) cara, yaitu:

1. Perpindahan kalor konduksi
2. Perpindahan kalor konveksi (alami dan paksa)
3. Perpindahan kalor radiasi

Konduksi panas adalah perpindahan atau pergerakan panas antara dua benda yang saling bersentuhan. Dalam hal ini, panas akan berpindah dari benda yang suhunya lebih tinggi ke benda yang suhunya lebih rendah: Laju aliran panas dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain luas permukaan benda yang saling bersentuhan, perbedaan suhu awal antara kedua benda, dan konduktivitas panas dari kedua benda tersebut. Konduktivitas panas ialah tingkat kemudahan untuk mengalirkan panas yang dimiliki suatu benda (Holman, 1987).

Konveksi adalah pengangkutan kalor oleh gerak dari zat yang dipanaskan. Proses perpindahan kalor secara aliran/konveksi merupakan satu fenomena permukaan. Proses konveksi hanya terjadi di permukaan bahan. Jadi dalam

proses ini struktur bagian dalam bahan kurang penting. Keadaan permukaan dan keadaan sekelilingnya serta kedudukan permukaan itu adalah yang utama. Lazimnya, keadaan keseimbangan termodinamik di dalam bahan akibat proses konduksi, suhu permukaan bahan akan berbeda dari suhu sekelilingnya (Kern, 1950).

Radiasi adalah perpindahan kalor melalui gelombang dari suatu zat ke zat yang lain. Semua benda memancarkan kalor. Keadaan ini baru terbukti setelah suhu meningkat. Pada hakekatnya proses perpindahan kalor radiasi terjadi dengan perantaraan foton dan juga gelombang elektromagnet. Terdapat dua teori yang berbeda untuk menerangkan bagaimana proses radiasi itu terjadi. Semua bahan pada suhu mutlak tertentu akan menyinari sejumlah energi kalor tertentu. Semakin tinggi suhu bahan tadi maka semakin tinggi pula energy kalor yang disinarkan (Masyithah dan Haryanto, 2006).

2.2. Alat Penukar Panas (*Heat Exchanger*)

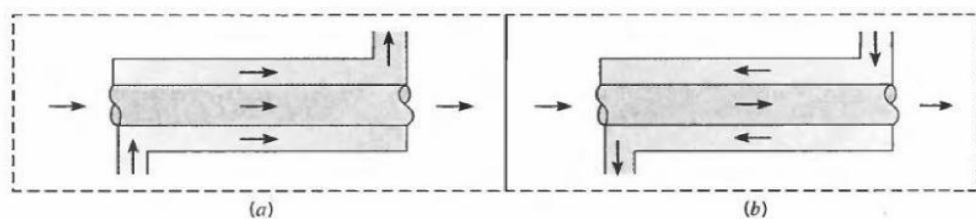
Heat exchanger merupakan peralatan yang digunakan untuk perpindahan panas antara dua atau lebih fluida. Banyak jenis *heat exchanger* yang dibuat dan digunakan dalam pusat pembangkit tenaga, unit pendingin, unit produksi udara, proses di industri, sistem turbin gas, dan lain lain. Dalam *heat exchanger* tidak terjadi pencampuran seperti dalam halnya 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.

Hampir disemua *heat exchanger*, perpindahan panas didominasi oleh konveksi dan konduksi dari fluida panas ke fluida dingin, dimana keduanya dipisahkan oleh dinding. Perpindahan panas secara konveksi sangat dipengaruhi oleh bentuk geometri *heat exchanger* dan tiga bilangan tak berdimensi, yaitu

bilangan Reynold, bilangan Nusselt dan bilangan Prandtl fluida. Besar konveksi yang terjadi dalam suatu *double-pipe heat exchanger* akan berbeda dengan *cross-flow heat exchanger* atau *compact heat exchanger* atau *plate heat exchanger* untuk berbeda temperatur yang sama. Sedang besar ketiga bilangan tak berdimensi tersebut tergantung pada kecepatan aliran serta *property* fluida yang meliputi massa jenis, viskositas absolut, panas jenis dan konduktivitas panas. (Cengel, 2003)

Alat penukar kalor (*Heat Exchanger*) secara tipikal diklasifikasikan berdasarkan susunan aliran (*flow arrangement*) dan tipe konstruksi. Penukar kalor yang paling sederhana adalah satu penukar kalor yang mana fluida panas dan dingin bergerak atau mengalir pada arah yang sama atau berlawanan dalam sebuah pipa berbentuk bundar (atau pipa rangkap dua). Pada susunan aliran sejajar (*parallel-flow arrangement*) yang ditunjukkan gambar 1 (a) fluida panas dan dingin masuk pada ujung yang sama, mengalir dalam arah yang sama dan keluar pada ujung yang sama.

Pada susunan aliran berlawanan (*counter flow arrangement*) yang ditunjukkan gambar 1(b), kedua fluida tersebut pada ujung yang berlawanan, mengalir dalam arah yang berlawanan, dan keluar pada ujung yang berlawanan.



Gambar 1. Aliran Fluida pada *Heat Exchanger*

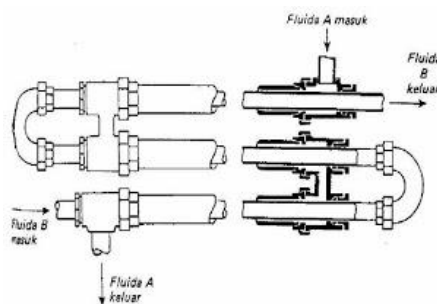
2.3. Tipe-tipe *Heat Exchanger*

1) *Double pipe heat exchanger* (penukar panas pipa rangkap)

Salah satu jenis penukar panas adalah susunan pipa ganda. Dalam jenis penukar panas dapat digunakan berlawanan arah aliran atau searah, baik dengan cairan panas atau dingin.

Alat penukar panas pipa rangkap terdiri dari dua pipa logam standar yang dikedua ujungnya dilas menjadi satu atau dihubungkan dengan kotak penyekat. Fluida yang satu mengalir di dalam pipa, sedangkan fluida kedua mengalir di dalam ruang anulus antara pipa luar dengan pipa dalam. Alat penukar panas jenis ini dapat digunakan pada laju alir fluida yang kecil dan tekanan operasi yang tinggi.

(Septiani, 2012)



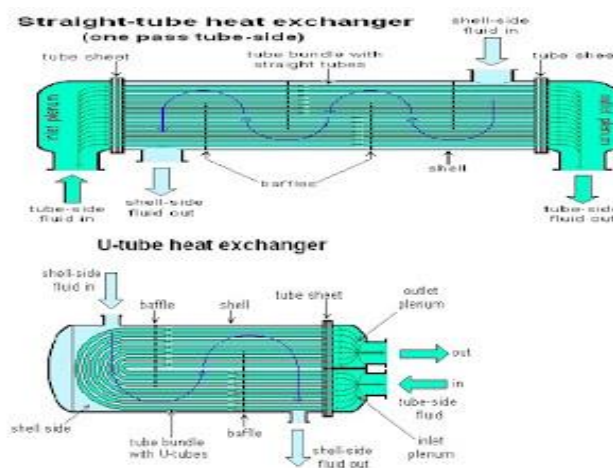
Gambar 2. *Double pipe heat exchanger*

(Septiani, 2012)

2) *Shell and tube heat exchanger* (penukar panas cangkang dan buluh)

Jenis ini merupakan jenis yang paling banyak digunakan dalam industri perminyakan. Alat ini terdiri dari sebuah *shell* (tabung/slinder besar) dimana di dalamnya terdapat suatu *bundle* (berkas) pipa dengan diameter yang *relative* kecil. Satu jenis fluida mengalir di dalam pipa-pipa sedangkan fluida lainnya mengalir di bagian luar pipa tetapi masih di dalam *shell*. Alat penukar panas *shell and tube* terdiri atas suatu bundel pipa yang dihubungkan secara parallel dan ditempatkan

dalam sebuah pipa mantel (cangkang). Fluida yang satu mengalir di dalam bundel pipa, sedangkan fluida yang lain mengalir di luar pipa pada arah yang sama, berlawanan, atau bersilangan. Kedua ujung pipa tersebut dilas pada penunjang pipa yang menempel pada mantel. Untuk meningkatkan efisiensi pertukaran panas, biasanya pada alat penukar panas *shell and tube* dipasang sekat (*baffle*). Ini bertujuan untuk membuat turbulensi aliran fluida dan menambah waktu tinggal (*residence time*), namun pemasangan sekat akan memperbesar *pressure drop* operasi dan menambah beban kerja pompa, sehingga laju alir fluida yang dipertukarkan panasnya harus diatur. (Septiani, 2012)

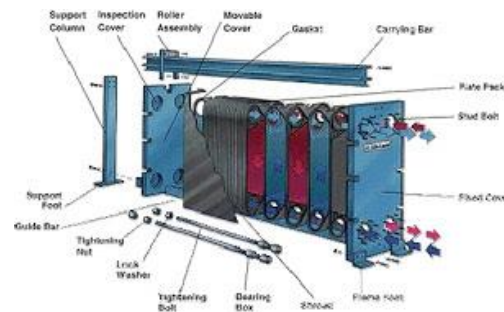


Gambar 3. *Shell and tube heat exchanger*
(Septiani, 2012)

3) *Plate and frame heat exchanger*

Alat penukar panas *plate and frame* terdiri dari paket pelat – pelat tegak lurus, bergelombang, atau profil lain. Pemisah antara pelat tegak lurus dipasang penyekat lunak (biasanya terbuat dari karet). Pelat – pelat dan sekat disatukan oleh suatu perangkat penekan yang pada setiap sudut pelat terdapat lubang pengalir fluida. Melalui lubang ini, fluida dialirkan masuk dan keluar pada sisi yang

lain, sedangkan fluida yang lain mengalir melalui lubang dan ruang pada sisi sebelahnya karena ada sekat. (Septiani, 2012)



Gambar 4. *Plate and frame heat exchanger*

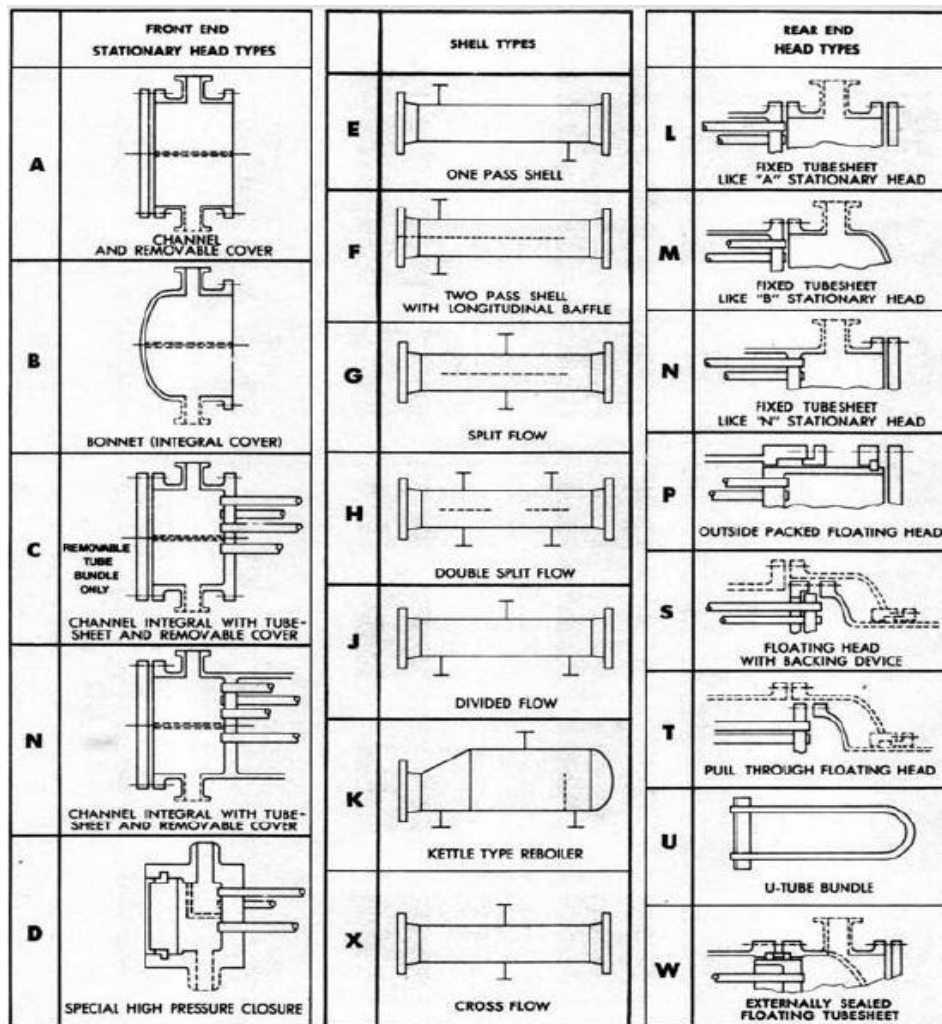
(Septiani, 2012)

2.4. Komponen-komponen *Heat Exchanger*

Dalam penguraian komponen-komponen *heat exchanger* jenis *shell and tube* akan dibahas beberapa komponen yang sangat berpengaruh pada konstruksi *heat exchanger*. Beberapa komponen dari *heat exchanger* jenis *shell and tube*, yaitu:

a. *Shell*

Konstruksi *shell* sangat ditentukan oleh keadaan *tubes* yang akan ditempatkan didalamnya. *Shell* ini dapat dibuat dari pipa yang berukuran besar atau pelat logam yang dirol. *Shell* merupakan badan dari *heat exchanger*, dimana didapat *tube bundle*. Untuk temperatur yang sangat tinggi kadang-kadang *shell* dibagi dua disambungkan dengan sambungan ekspansi. Bentuk-bentuk *shell* yang lazim digunakan ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 5. Jenis shell berdasarkan TEMA

(Carl Branen, 2002)

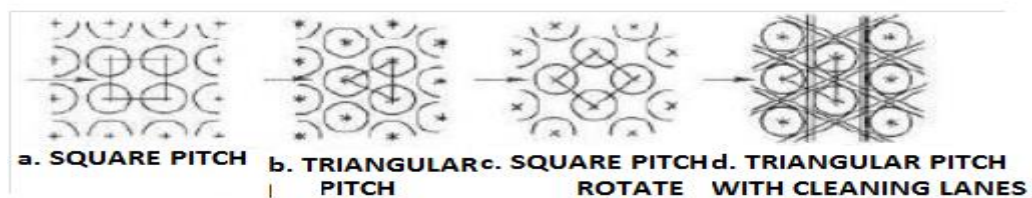
b. Tube (Pipa)

Diameter dalam *tube* merupakan diameter dalam aktual dalam ukuran inch dengan toleransi yang sangat cepat. *Tube* dapat dibuat dari berbagai jenis logam, seperti besi, tembaga, perunggu, tembaga-nikel, aluminium perunggu, aluminium dan stainless steel. Ukuran ketebalan pipa berbeda-beda dan dinyatakan dalam bilangan yang disebut *Birmingham Wire Gage* (BWG). Ukuran pipa yang secara

umum digunakan biasanya mengikuti ukuran-ukuran yang telah baku, semakin besar bilangan BWG, maka semakin tipis pipanya.

Jenis-jenis *tube pitch* yang utama adalah:

1. *Square pitch*
2. *Triangular pitch*
3. *Square pitch rotated*
4. *Triangular pitch with cleaning lanes* (Kern, 1950)



Gambar 6. Jenis-jenis tube pitch

(Kern, 1950)

c. Sekat (*Baffle*)

Adapun fungsi dari pemasangan sekat (*baffle*) pada *heat exchanger* ini antara lain adalah untuk:

- Sebagai penahan dari *tube bundle*.
- Untuk mengurangi atau menambah terjadinya getaran.
- Sebagai alat untuk mengarahkan aliran fluida yang berada di dalam *tube*.

2.5. Perhitungan Nilai Efektivitas *Heat Exchanger*

Untuk menentukan efektivitas dari penukar panas kita perlu menemukan perpindahan panas maksimum yang mungkin yang dapat diduga dicapai dalam penukar panas kontra-aliran panjang tak terbatas. Oleh karena itu salah satu cairan akan mengalami perbedaan suhu maksimum yang mungkin, yang merupakan perbedaan suhu antara suhu masuk dari arus panas dan suhu inlet aliran dingin. Hasil metode dengan menghitung harga kapasitas panas (laju aliran massa yaitu dikalikan dengan panas spesifik) C_h dan C_c untuk cairan panas dan dingin masing-masing, dan yang menunjukkan yang lebih kecil sebagai C_{min} . Alasan untuk memilih tingkat kapasitas panas yang lebih kecil adalah untuk menyertakan perpindahan panas maksimum antara cairan bekerja selama perhitungan.

$$q_{max} = C_{min}(T_{h,i} - T_{c,i})$$

Kemudian ditemukan, dimana q_{max} adalah panas maksimum yang dapat ditransfer antara cairan. Menurut persamaan di atas, untuk mengalami perpindahan panas maksimum kapasitas panas harus diminimalkan karena kita menggunakan perbedaan suhu maksimum mungkin. Hal ini membenarkan penggunaan C_{min} dalam persamaan *efektivitas (E)*, adalah rasio antara tingkat perpindahan panas yang sebenarnya dan *transfer rate* mungkin panas maksimum:

$$E = \frac{q}{q_{max}}$$

$$q = C_h(T_{h,i} - T_{h,o}) = C_c(T_{c,o} - T_{c,i})$$

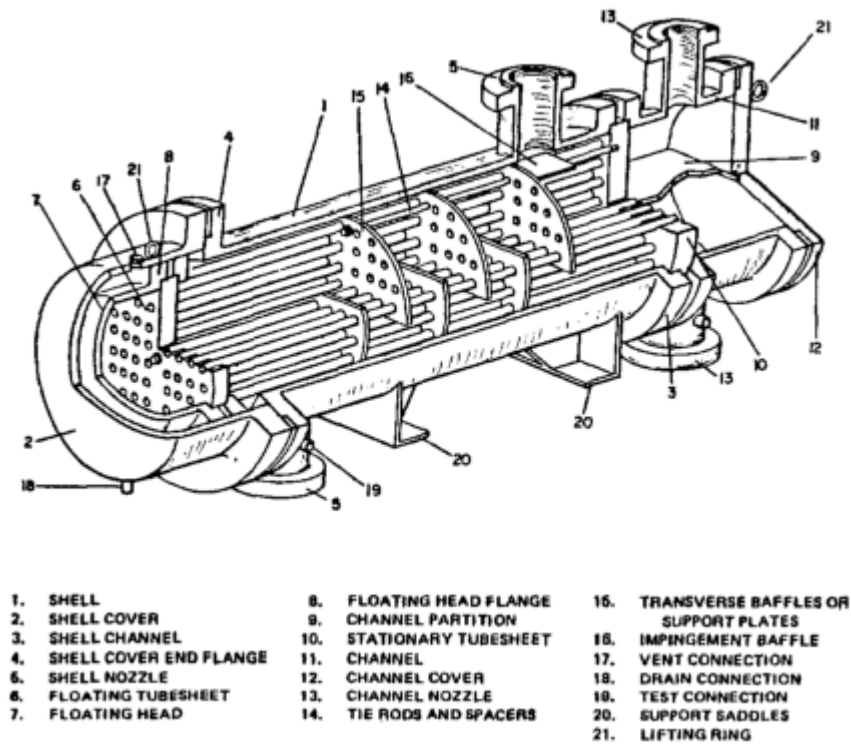
(Budi Susanto, 2011)

2.6. Perancangan Alat *Heat Exchanger*

Heat exchanger (HE) atau alat penukar panas, memiliki fungsi sebagai sebuah peralatan yang berguna dalam melakukan pertukaran panas. Salah satu jenis HE yang banyak ditemui pada industri kimia adalah jenis *shell and tube heat exchanger*. Terdapat beberapa alasan mengapa *shell and tube heat exchanger* sering digunakan adalah:

- Memiliki permukaan perpindahan panas persatuan volume yang lebih besar
- Mempunyai susunan mekanik yang baik dengan bentuk yang cukup baik untuk operasi bertekanan.
- Tersedia dalam berbagai bahan konstruksi
- Prosedur pengopersian lebih mudah
- Metode perancangan yang lebih baik telah tersedia
- Pembersihan dapat dilakukan dengan mudah

Sejumlah besar parameter yang terlibat dalam merancang alat penukar panas *shell and tube* ditentukan oleh kondisi termal dan nilai ekonomi yang diinginkan, termasuk diameter *tube*, ketebalan, panjang, jumlah *pass*, pitch, *square* atau *triangular*, ukuran *shell*, jumlah *baffle shell*, jenis *baffle*, jarak *baffle*, dan sebagainya.



Gambar 7. Desain *Shell and Tube Heat Exchanger*

Prosedur yang dilakukan dalam merancang alat penukar panas meliputi laporan beberapa aturan berdasarkan praktek umum. Langkah pertama yang harus dilakukan yaitu menentukan laju aliran, suhu terminal dan sifat fisik dari fluida yang akan dipakai. Kemudian dilanjutkan dengan menghitung LMTD dan faktor koreksi suhu. Setelah didapatkan nilai LMTD, selanjutnya menentukan tipe alat penukar panas (dalam hal ini *shell and tube*) dan jumlah *pass*. Biasanya tipe *shell and tube* dasar yang banyak digunakan adalah 1-2, satu *shell pass* dan dua melewati *tube*. Pada tahap ini juga ditentukan panjang *tube*, biasanya 8, 12, 16,

atau 20 ft. Standar diameter *tube* yang sering dipakai adalah 0,75 atau lin. OD, dengan pitches ditunjukkan pada data yang ada di bawah ini:

Heat Exchanger Tube Sheet Layout Count Table																		
37	35	33	31	29	27	25	23 1/4	21 1/4	19 1/4	17 1/4	15 1/4	13 1/4	12	10	8	I.D. of Shell (in.)		
1260	1143	1019	881	763	663	553	481	391	307	247	193	135	105	69	33	3/4" on 1 1/2" Δ	Fixed Tubes	One-Pass
1127	1007	880	765	667	577	493	423	343	277	217	157	117	91	57	33	3/4" on 1" Δ		
965	865	765	665	587	495	419	355	287	235	183	139	101	85	53	33	3/4" on 1" □		
808	733	651	581	427	361	307	247	205	163	133	103	73	57	33	15	1" on 1 1/4" Δ		
595	545	477	413	359	303	255	215	179	139	111	83	65	45	33	17	1" on 1 1/4" □		
1242	1088	964	846	734	626	528	452	370	300	228	166	124	94	58	32	3/4" on 1 1/2" Δ	Fixed Tubes	Two-Pass
1088	972	858	746	646	556	468	398	326	254	208	154	110	90	56	28	3/4" on 1" Δ		
940	840	740	644	550	466	408	340	280	223	172	126	94	78	48	26	1" on 1 1/4" Δ		
808	738	658	586	410	346	292	244	204	162	126	92	62	52	32	16	1" on 1 1/4" □		
584	522	460	402	348	298	248	218	172	136	100	76	56	40	26	12	1" on 1 1/4" □		
1126	1008	882	768	648	558	460	398	304	234	180	134	94	64	34	8	3/4" on 1 1/2" Δ	U Tubes	Four-Pass
1000	882	772	674	566	484	406	336	270	212	158	108	72	60	26	8	3/4" on 1" Δ		
884	778	688	596	506	436	362	304	242	188	142	100	72	62	30	12	3/4" on 1" □		
610	532	466	406	340	284	234	192	154	120	84	58	42	26	8	XX	1" on 1 1/4" Δ		
526	464	406	356	304	256	214	180	134	100	70	58	38	22	12	XX	1" on 1 1/4" □		
1172	1024	904	788	680	576	484	412	332	266	206	154	108	84	48	XX	3/4" on 1 1/2" Δ	Fixed Tubes	Four-Pass
1024	912	802	692	596	508	424	360	292	232	180	134	96	72	44	XX	3/4" on 1" Δ		
880	778	688	590	510	440	366	308	242	192	142	126	88	72	48	XX	3/4" on 1" □		
638	560	480	422	368	308	258	212	176	138	104	78	60	44	24	XX	1" on 1 1/4" Δ		
534	476	414	360	310	260	214	182	142	110	84	74	48	40	24	XX	1" on 1 1/4" □		
1002	976	852	740	622	534	438	378	286	218	166	122	84	56	28	XX	3/4" on 1 1/2" Δ	U Tubes	Four-Pass
908	832	744	648	542	462	386	318	254	198	146	98	64	52	20	XX	3/4" on 1" Δ		
832	748	660	560	482	414	342	286	226	174	130	90	64	44	24	XX	3/4" on 1" □		
584	508	444	376	322	266	218	178	142	110	74	50	38	20	XX	1" on 1 1/4" Δ			
500	440	384	336	286	238	198	166	122	90	60	50	32	16	XX	1" on 1 1/4" □			
1106	964	844	732	632	532	440	372	294	230	174	110	80	XX	XX	XX	3/4" on 1 1/2" Δ	Fixed Tubes	Six-Pass
964	832	744	640	548	464	388	322	258	202	156	104	66	XX	XX	XX	3/4" on 1" Δ		
838	724	634	536	460	394	324	266	212	158	118	78	54	XX	XX	XX	3/4" on 1" □		
586	514	442	382	328	274	220	182	150	112	82	66	34	XX	XX	XX	1" on 1 1/4" Δ		
484	430	368	318	268	226	184	154	116	88	66	44	XX	XX	XX	XX	1" on 1 1/4" □		
1058	944	826	716	606	510	416	358	272	206	156	110	74	XX	XX	XX	3/4" on 1 1/2" Δ	U Tubes	Four-Pass
940	826	720	626	518	440	366	300	238	184	134	88	56	XX	XX	XX	3/4" on 1" Δ		
820	718	632	534	458	392	322	268	210	160	118	80	66	XX	XX	XX	3/4" on 1" □		
662	488	426	356	304	252	206	168	130	100	68	42	30	XX	XX	XX	1" on 1 1/4" Δ		
478	420	362	316	268	224	182	152	110	80	60	42	XX	XX	XX	XX	1" on 1 1/4" □		
1040	902	790	682	576	484	398	332	258	198	140	94	XX	XX	XX	XX	3/4" on 1 1/2" Δ	Fixed Tubes	Eight-Pass
902	798	694	588	490	422	344	286	224	170	124	82	XX	XX	XX	XX	3/4" on 1" Δ		
760	662	576	480	414	352	286	228	174	132	94	XX	XX	XX	XX	XX	3/4" on 1" □		
542	466	400	342	298	240	190	154	120	90	66	XX	XX	XX	XX	XX	1" on 1 1/4" Δ		
438	388	334	280	230	192	150	128	94	74	XX	XX	XX	XX	XX	XX	1" on 1 1/4" □		
1032	916	796	688	578	480	398	342	254	190	142	102	68	XX	XX	XX	3/4" on 1 1/2" Δ	U Tubes	Four-Pass
908	796	692	600	498	422	350	286	226	170	122	82	52	XX	XX	XX	3/4" on 1" Δ		
792	692	608	512	438	374	306	254	194	146	106	70	48	XX	XX	XX	3/4" on 1" □		
640	464	404	340	290	238	190	154	118	90	68	38	24	XX	XX	XX	1" on 1 1/4" Δ		
458	396	344	300	254	206	170	142	98	70	60	34	XX	XX	XX	XX	1" on 1 1/4" □		

Gambar 8. Data Shell dan Tube pada Heat Exchanger

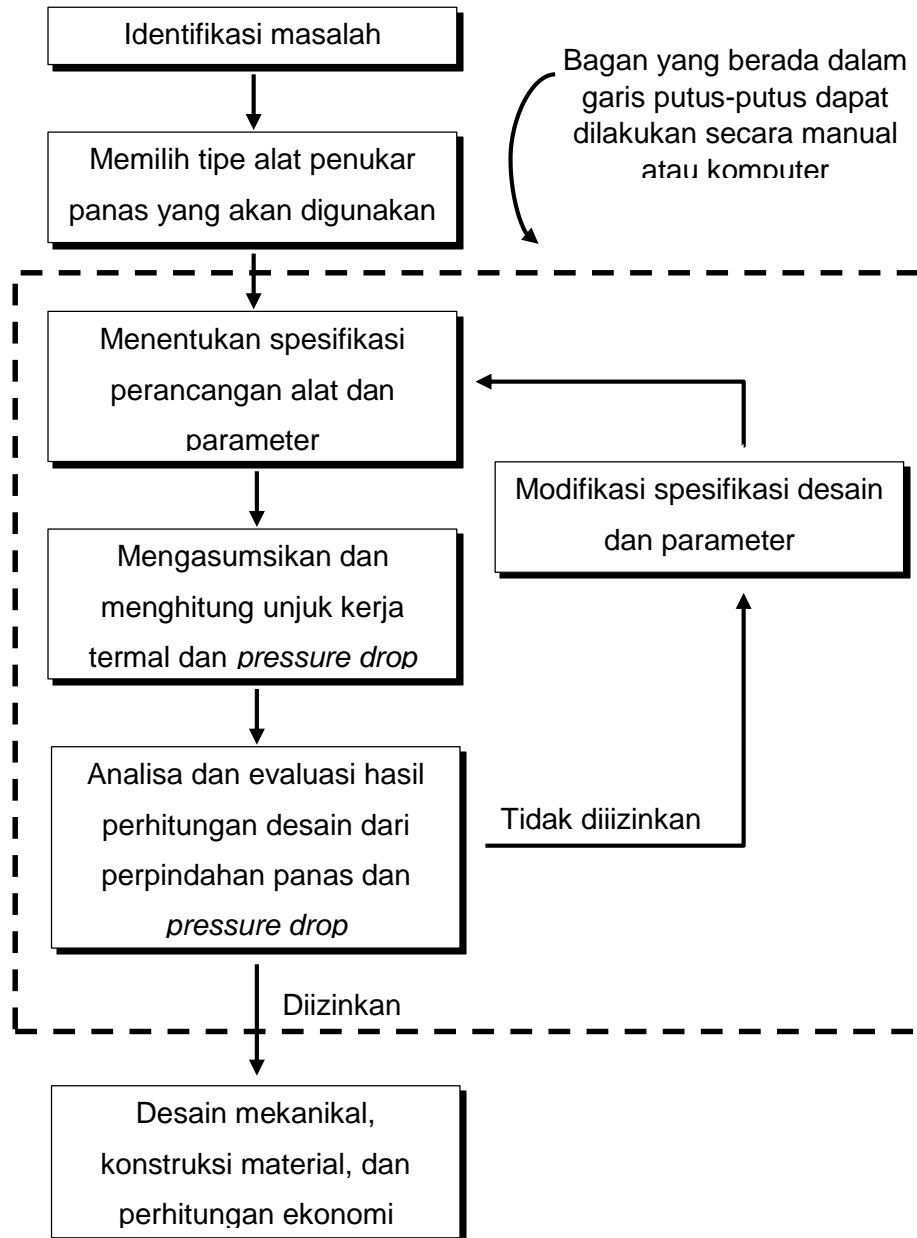
(Walas, 1988)

Dari data tersebut juga dapat dicari diameter *shell* dari sesuai dengan pilihan diameter *tube*, panjang, *pitch*, dan jumlah *pass*.

Setelah langkah tersebut dilakukan, asumsikan nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan. Desain penukar tentatif sekarang siap mengevaluasi dengan rinci perpindahan panas yang optimal dan penurunan tekanan data. Hasil dari perhitungan akan menyarankan perubahan apa yang mungkin diperlukan untuk

memenuhi persyaratan termal, dan nilai ekonomi yang sesuai untuk peralatan.

(Walas, 1988)



Gambar 9. Diagram Blok Prosedur Perancangan *Heat Exchanger*
(Walas, 1988)

2.7. Penempatan Fluida pada *Shell and Tube Heat Exchanger*

- Fluida bertekanan tinggi dialirkan di dalam *tube* karena *tube* standar cukup kuat menahan tekanan yang tinggi.

- Fluida berpotensi *fouling* dialirkan di dalam *tube* agar pembersihan lebih mudah dilakukan.
- Fluida korosif dialirkan di dalam *tube* karena pengaliran di dalam shell membutuhkan bahan konstruksi yang mahal yang lebih banyak.
- Fluida bertemperatur tinggi dan diinginkan untuk memanfaatkan panasnya dialirkan di dalam *tube* karena dengan ini kehilangan panas dapat dihindarkan.
- Fluida dengan viskositas yang lebih rendah dialirkan di dalam *tube* karena pengaliran fluida dengan viskositas tinggi di dalam penampang alir yang kecil membutuhkan energi yang lebih besar.
- Fluida dengan viskositas tinggi ditempatkan di *shell* karena dapat digunakan *baffle* untuk menambah laju perpindahan.
- Fluida dengan laju alir rendah dialirkan di dalam *tube*. Diameter *tube* yang kecil menyebabkan kecepatan linier fluida (*velocity*) masih cukup tinggi, sehingga menghambat *fouling* dan mempercepat perpindahan panas.
- Fluida yang mempunyai volume besar dilewatkan melalui *tube*, karena adanya cukup ruangan. (Indra, 2012)