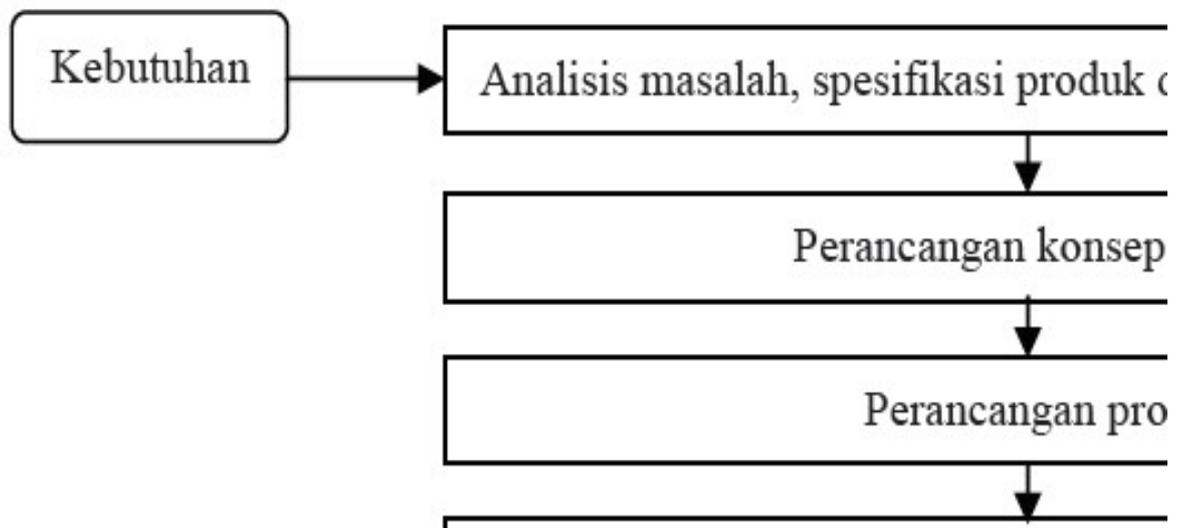


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Teori Perancangan

Harsokusoemo (2000) berpendapat bahwa perancangan terdiri dari satu rangkaian kegiatan yang berurutan, oleh sebab itu perancangan di definisikan sebagai proses perancangan yang kegiatan seluruh proses yang terdapat dalam perancangan tersebut. Kegiatan-kegiatan yang terdapat pada proses perancangan disebut fase. Setiap fase itu terbentuk dari beberapa kegiatan, kegiatan ini yang dinamakan langkah-langkah dalam fase. Deskripsi proses perancangan dicontohkan dengan menyebutkan bahwa proses perancangan terdiri dari fase-fase berikut, yaitu : (1) identifikasi kebutuhan, (2) analisis produk, (3) perancangan konsep, (4) perancangan produk, (5) evaluasi produk hasil rancangan, (6) penyusunan dokumen berupa gambar produk hasil rancangan dan spesifikasi pembuatan produk. Fase-fase tersebut digambarkan pada Gambar 1(Harsokusoemo, 2000).



Gambar 1. Diagram Alir Proses Perancangan

2.2. Tungku Biomassa

Tungku merupakan alat yang digunakan untuk mengkonversi energi potensial biomassa menjadi energi panas. Tungku bagi masyarakat merupakan salah satu alat yang penting untuk memasak. Jenis tungku beraneka ragam sesuai dengan kebudayaan daerah setempat dan jenis bahan bakar yang digunakan. Penggunaan briket biomassa sebagai sumber energi alternatif pembakaran harus disertai dengan keberadaan kompor atau tungku yang menunjang kebutuhan pembakaran bahan bakar briket biomassa tersebut.

Pada prinsipnya, kompor atau tungku dibedakan menjadi dua macam, yaitu tungku portabel atau kompor, jenis ini pada umumnya memuat briket antara 1 - 8 kg serta dapat dipindah-pindahkan, jenis ini digunakan untuk keperluan rumah tangga atau rumah makan dan tungku permanen, memuat lebih dari 8 kg briket dibuat secara permanen, jenis ini dipergunakan untuk industri kecil atau menengah.

(Djarmiko, 1986)membedakan tungku atau kompor pembakaran biomassa atas beberapa jenis, yaitu:

- 1) Tungku biomassa, dimana bahan bakar biomassa langsung dibakar, misalnya tungku lorena, singer, dan lain-lain.
- 2) Tungku bioarang, menggunakan bahan bakar arang, misalnya anglo dan keren.
- 3) Tungku hibrida, menggunakan bahan bakar biomassa dan arang yang disusun sedemikian agar asap dapat terbakar sehingga menghasilkan energi lebih banyak.

Persyaratan kompor atau tungku briket biomassa harus memiliki antara lain ada ruang bakar untuk briket, adanya aliran udara (oksigen) dari lubang bawah menuju lubang atas dengan melewati ruang bakar briket yang terdiri dari aliran udara primer dan sekunder, dan ada ruang untuk menampung abu briket yang terletak di bawah ruang bakar briket. Skema kompor briket dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema tungku briket

Selain itu, tungku juga harus memenuhi beberapa kriteria agar produknya dapat digunakan oleh masyarakat, antara lain memiliki efisiensi yang tinggi, higienis, mudah dinyalakan, alat masak dapat diletakkan di atas lubang dapur setelah pembakaran awal, tidak menghasilkan asap dan debu yang berlebihan, bersih, ramah lingkungan, ekonomis, dan mudah digunakan.

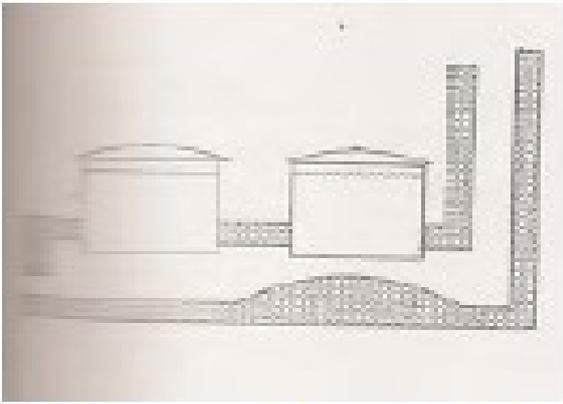
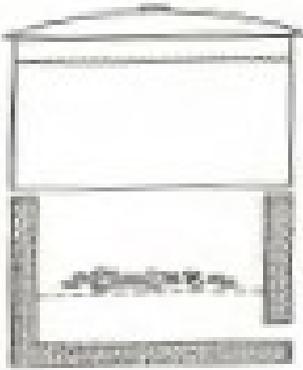
Beberapa kriteria dalam desain tungku atau kompor rumah tangga yang harus diperhatikan antara lain kriteria teknis, budaya, kesehatan, dan keamanan (Febriyantika, 1998). Kriteria teknis tungku atau kompor harus mencapai tiga sasaran, yaitu:

- 1) Mendapat produk yang dapat diproses dengan mudah dan dapat diandalkan. Untuk tujuan itu suhu dan siklus tungku atau kompor harus dikendalikan.
- 2) Harus menggunakan bahan bakar dan bahan bantuan seminimal mungkin. Penghematan bahan bakar menyangkut dua hal, yaitu:
 - a) Pemanfaatan kalor maksimum dengan cara alih kalor yang baik dan isolasi pada tempat-tempat tertentu.
 - b) Pemanfaatan kalor terbuang.
- 3) Mendapat hasil dengan modal awal dan pemeliharaan murah. Kapasitas dan kualitas tungku atau kompor menentukan sasaran yang ketiga ini. Kualitas tungku atau kompor tergantung pada desain sederhana dari penyediaan bahan lokal yang baik untuk konstruksi tungku atau kompor.

Dasar pemikiran dalam mendesain suatu tungku antara lain kebutuhan penggunaan sumber daya yang ada. Data teknis dan parameter social diperlukan untuk mendesain tungku yang tepat guna. Beberapa data yang dibutuhkan untuk mendesain suatu tungku menurut *project officer Cambodia Fuelwood Saving Project* (CFSP) antara lain:

- a. Fungsi tungku : dilihat dari keperluan penggunaan, seperti untuk merebus, menggoreng, mengukus, memanggang, mengasap, mendidihkan dalam waktu lama, dan lain-lain.
- b. Bahan-bahan tungku: material yang digunakan (aluminium, tembaga, kuningan, plat besi, besi tuang, *stainless stell*, keramik, tembikar), bentuk (datar atau dasarnya berbentuk bola), karakteristik penggunaan (pemberian tekanan atau tekanan normal), tipe penggunaan (merebus, menggoreng, dan lain-lain), ukuran (diameter, tinggi).
- c. Kebiasaan memasak: posisi memasak (duduk, berdiri, jongkok, menekuk kaki), tradisi dan kebiasaan-kebiasaan sosial.
- d. Tipe bahan bakar dan ukuran: tipe (balok, kayu, limbah pertanian, batubara, limbah biomassa, kayu keras), ukuran bahan bakar.
- e. Konstruksi tungku: bahan-bahan lokal yang tersedia, ukuran tungku, satu atau lebih lubang dapur .

Untuk memperoleh efisiensi pembakaran yang baik dari sebuah kompor atau tungku, desain teknis tungku atau kompor harus diperhatikan. Menurut(Djarmiko, 1986)perapian terbuka hanya menyadap tidak lebih dari 10 persen energi kayu sedangkan sebuah tungku yang ditingkatkan (tertutup) dapat memanfaatkan efisiensi 20 persen atau lebih. Rancangan tungku sangat menentukan sempurna atau tidaknya proses pembakaran berlangsung dan besarnya energi yang dapat dimanfaatkan oleh tungku atau kompor tersebut. Selain itu, rancangan tungku juga akan menentukan laju pembakaran atau jumlah bahan bakar terbakar per satuan waktu(Abdullah K., 2007). Gambar 3 memuat berbagai jenis tungku berbahan bakar biomassa dengan kesetimbangan panas yang terjadi pada tungku.

Jenis tungku	Kestimbangan
<p data-bbox="363 315 997 353">Tungku tradisional perapian terbuka</p> 	<p data-bbox="1058 315 1321 398">Berguna: 8% Untuk pem</p> <p data-bbox="1058 443 1321 566">Losses: 10% hilang ter 82% hilang di l</p>
<p data-bbox="352 696 1015 775">Tungku permanen dengan dua lubang dapur dan sebuah cerobong</p> 	<p data-bbox="1058 696 1321 819">Berguna: 11.8% diserap 3.6% diserap o</p> <p data-bbox="1058 864 1321 1234">Losses: 29.2% diserap 1.9% hilang ok dari bada 39% hilang set aliran gas 2.7% hilang se sempurna 11.8% tidak ter</p>
<p data-bbox="352 1245 1015 1323">Tungku permanen dengan tiga lubang dapur dan sebuah cerobong</p>	<p data-bbox="1058 1245 1321 1323">Berguna: 6% untuk nems</p>
<p data-bbox="459 1350 916 1388">Tungku batubara Thailand</p> 	<p data-bbox="1058 1350 1321 1451">Berguna: 3.1 % diserap v</p> <p data-bbox="1058 1507 1321 1946">Losses: 4.6% hilang ter 0.2% hilang ka dari jaran dengan ai 13% diserap ol 1.3% hilang ka dari bada 2.1% hilang se</p>

Gambar 3. Kestimbanganpanastungku

Menurut (Djarmiko, 1986) untuk mengurangi kehilangan panas pada tungku atau kompor dapat dilakukan dengan memberi insulasi pada tungku atau kompor, mengatur lubang pemasukan udara dan penyempurnaan pembakaran, aliran udara dikonsentrasikan ke lubang dapur, desain pengeluaran (cerobong) yang sesuai untuk pengeluaran udara, pemakaian alat masak yang mengurangi kebocoran dan kehilangan panas.

Dalam membuat tungku dengan efisiensi tinggi, faktor yang harus diperhatikan adalah konservasi panas. Panas yang hilang pada tungku dapat terjadi karena pembakaran yang tidak sempurna (*incomplete combustion*), kehilangan panas akibat pemanasan tungku, kehilangan panas dari dinding tungku ke alat pemasak, penggunaan energi untuk menguapkan air yang berlebih pada bahan bakar kayu yang memiliki kadar air tinggi, tidak digunakannya penutup alat masak ketika memasak, dan penggunaan potongan-potongan bahan bakar kayu yang terlalu besar atau kecil (Utami, 2008).

Surtikasari menguji berbagai jenis tungku untuk mengetahui efisiensi termal. Jenis tungku yang diuji yaitu tiga jenis tungku khusus briket batubara dan tungku-tungku tradisional Indonesia, seperti tungku tanah liat, tungku semen, dan tungku seng. Bahan bakar yang digunakan Surtikasari adalah batubara. Hasil pengukuran beberapa jenis tungku pada penelitian Surtikasari, 1995 dalam (Utami, 2008) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian beberapa jenis tungku

	Tungku Tanah liat	Tungku Semen	Tungku seng	anglo
Q_{in} (kJ/kg)	6956.801	5515.355	5815.738	7992.04
Q_g (kJ/kg)	5008.917	3765.971	4090.192	7121.76
η_g (%)	72.88	68.277	70.392	88.949
Q_e (kJ/kg)	1906.703	1366.736	1837.219	183.04
η_t (%)	27.591	24.74	31.619	22.958
Q_{out} (kJ/kg)	1778.823	1238.36	1704.013	1754.51
η_p (%)	93.3	90.38	92.706	95.695
η_s (%)	25.74	22.243	29.322	21.969

2.3. Teori Pembakaran Bahan Bakar Biomassa

Pembakaran adalah reaksi suatu zat dengan oksigen (O_2). Pembakaran adalah salah satu konversi energi biomassa yang paling banyak dipakai karena menghasilkan energi panas langsung. Energi panas yang dihasilkan selain dapat dimanfaatkan langsung untuk proses panas, juga dapat diubah menjadi bentuk lain (listrik atau mekanis). Pembakaran membutuhkan bahan bakar dan udara. Bahan bakar umumnya adalah senyawa hidrokarbon. Biomassa juga dapat digunakan sebagai bahan bakar. Proses pembakaran akan menghasilkan energi, semakin besar energi yang dihasilkan oleh pembakaran maka semakin baik fungsinya sebagai bahan bakar. Besarnya energi yang dihasilkan oleh pembakaran suatu bahan bakar tergantung pada jumlah karbon yang dikandung dan bentuk senyawanya, sempurna atau tidaknya pembakaran tersebut, terjadinya pembakaran habis.

Menurut (Febriyantika, 1998), syarat-syarat bahan bakar yang dapat digunakan di sektor rumah tangga maupun industri adalah :

- a. Mudah dinyalakan
- b. Tidak mengeluarkan asap yang berlebihan dan tidak berbau
- c. Tidak mudah pecah dalam penanganan
- d. Kedap air dan tidak berjamur atau tidak mengalami degradasi jika disimpan dalam waktu yang relatif lama
- e. Kandungan abunya rendah (kurang dari 7% berat kering).
- f. Harga dapat bersaing dengan bahan bakar lain

Bahan bakar padat adalah bahan bakar yang berasal dari biomassa maupun hasil metamorfosa fosil-fosil tanaman masa lalu. Klasifikasi bahan bakar padat adalah sebagai berikut :

- a. Biomassa dan hasil-hasil olahannya. Contoh hasil biomassa adalah kayu, sedangkan contoh hasil olahan biomassa adalah arang kayu..
- b. Batubara dan hasil olahannya. Yang tergolong batubara adalah peat, lignit, antrasit, dan sebagainya. Contoh hasil olahan batubara adalah briket batubara.
- c. Kokas Bahan bakar padat mengandung unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), abu, dan air(Febriyantika, 1998).

Unsur-unsur tersebut membentuk ikatan kimia yang memiliki sifat khas untuk setiap jenis bahan bakar padat. Sifat-sifat bahan bakar padat berikut unsur-unsur yang terkandung di dalamnya dapat dilihat pada Tabel 2.

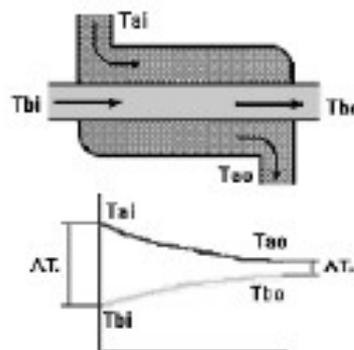
Tabel 2. Kandungan unsur dan sifat – sifat beberapa bahan bakar padat

Bahan Bakar	Komposisi Persen Berat						Nilai Kalor (kJ/kg)	Ternyalaan (°C)
	C	H	O+N	S	H ₂ O	Abu		
Antrasit	83-87	3.5-4.0	3.0-4.7	0.9	1-3	4-6	32500	300-550
Semi Antrasit	63-76	3.5-4.8	8-10	0.5-1.8	5-15	4-14	26700	-
Batubara Bituminous	46-56	3.5-5.0	9-16	0.2-3.0	18-32	2-10	17000	-
Lignit	37	7	13.5	0.5	37	5	16300	250-400
Peat	38-49	3.0-4.5	19-25	0.2-1.0	16-29	1-9	13800	225-300
Kokas	80-90	0.5-1.5	1.5-5.0	0.5-1.5	1-5	5-12	28000	600-700
Kayu Kemang	35-45	3.0-5.0	-	-	7-22	0.3-3.0	14400	200-300
Arang Kayu	85	1	-	-	12	3	29600	-

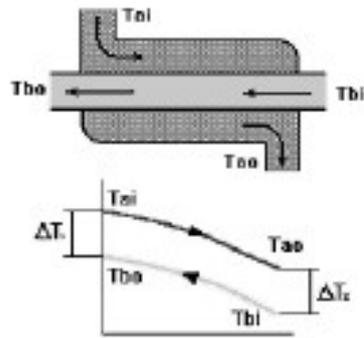
Sumber : Porges (1976) dan Djokoseyardjo (1993) dalam Febriyanti (1998)

2.5. Penukar Panas (*Heat Exchanger*)

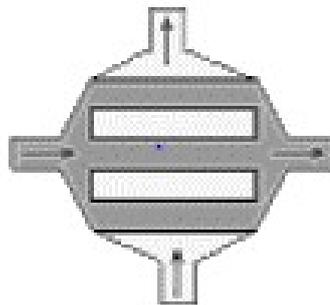
Penukar panas atau *heat exchanger* merupakan alat yang mempunyai fungsi untuk mempertukarkan panas dari satu fluida ke fluida lain. Fluida-fluida tersebut dicegah bercampur satu dengan lainnya oleh pembatas seperti dinding pipa. Contoh dari penukar panas antara lain evaporator refrigerasi, kondensor dan radiator. Penukar panas dibagi menjadi empat tipe yaitu : (1) penukar panas dengan salah satu fluidanya bersuhu konstan, (2) penukar panas arus berlawanan/*counter flow*, (3) penukar panas arus searah/*parallel flow*, (4) penukar panas arus bersilangan/*cross flow* (Henderson, 1976). Pada Gambar 4, 5, 6 dan 7 disajikan tipe-tipe penukar panas.



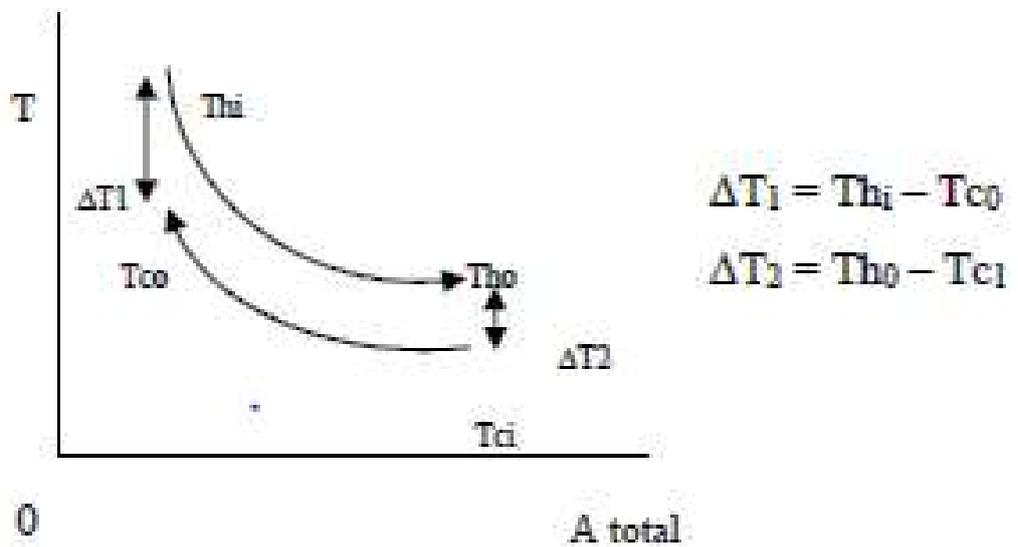
Gambar 4. Penukar Panas Arus Searah



Gambar 5. PenukarPanasArusBerlawanan



Gambar 6. PenukarPanasArusBersilang



Gambar 7. DistribusiSuhu di dalamPenukarPanasTipeBerlawanan

2.6. Analisis Perpindahan Panas

Perpindahan panas yang terjadi akibat pembakaran bahan bakar terjadi secara konduksi, konveksi, dan radiasi. Pada keadaan mantap (*steady state*), kehilangan panas dari hasil pembakaran terjadi melalui permukaan dinding tungku dan melalui saluran udara dan gas hasil pembakaran. Sedangkan untuk gabungan aliran kalor konduksi dan konveksi dinyatakan dalam koefisien pindah panas menyeluruh (Febriyantika, 1998).

Perpindahan panas pada penukar panas terjadi secara :

1. Konduksi

Konduksi yaitu perpindahan panas melalui kontak langsung antara molekul zat yang berbeda suhu, dapat terjadi pada gas, cairan maupun padatan. Perpindahan panas konduksi tergantung pada konduktifitas bahan. Pada Tabel 3 disajikan konduktivitas panas beberapa bahan. Resistansi logam dihitung dengan persamaan berikut :

$$R_f = \frac{D_o - D_i}{2k} \times \frac{D_o}{D_i - D_o} \dots\dots\dots (1)$$

Tabel 3. Konduktivitas panas beberapa bahan

Bahan	Konduktifitas Panas (k), W/m °C					
	0°C	100°C	200°C	300°C	400°C	600°C
Aluminium	202	206	215	228	249	
Besi	73	67	62	55	48	40
Magnesium	171	168	163	157		
Nikel	93	83	73	64	59	
Perak	417	415	412			
Tembaga	386	379	374	369	363	353
Timah	65.9	59	56			

(Holman, 1986)

2. Konveksi

Konveksi yaitu perpindahan panas yang dihubungkan dengan pergerakan fluida. Konveksi paksa yaitu jika fluida bergerak karena adanya gaya gesek dari luar sedangkan konveksi alami yaitu pergerakan fluida yang terjadi karena perbedaan massa jenis yang disebabkan oleh perbedaan suhu. Pada penukar panas ini terjadi perpindahan panas konveksi paksa dan konveksi alami. Konveksi paksa terjadi karena adanya gaya tambahan dari luar. Konveksi paksa yang terjadi yaitu konveksi paksa dalam tabung aliran menyilang kumpulan pipa (*tube bank*).

Koefisien pindah panas kumpulan pipa dalam tabung dapat diketahui dengan menggunakan persamaan Holman.

$$Re_c = \frac{v_c \times \rho_c \times D_{eq}}{\mu_c} \dots\dots\dots 2)$$

$$D_{eq} = \frac{4(S_n S_p - \pi D_o^2 / 4)}{\pi D_o} \dots\dots\dots 3)$$

$$h_o = 0.278 \times \frac{k_c}{D_{in}} \times 0.92 \times Re_c^{0.62} \times Pr_c^{1/3} \dots\dots\dots 4)$$

Konveksi alami yang terjadi yaitu konveksi alami dalam pipa penukar panas yang dipengaruhi oleh bilangan *Grashof*. Perpindahan panas secara alami semakin efektif dengan semakin besarnya bilangan *Grashof*. Untuk pipa vertikal, panjang pipa lebih mempengaruhi bilangan *Grashof* dan *Nuselt* daripada diameter pipa (Welty, 1974). Koefisien 10 pindah panas dalam pipa dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Gr_h = \frac{g \times \beta_h \times \rho_h^2 \times L^3 \times (T_h - T_{ho})}{\mu_h^2} \dots\dots\dots 5)$$

$$Nu_h = 0.59 \times (Gr_h \times Pr_h)^{1/4} \dots\dots\dots 6)$$

$$h_i = \frac{Nu_h \times k_h}{D_i} \dots\dots\dots 7)$$

Persamaan umum untuk proses pindah panas yang terjadi pada penukarpanas tipe cangkang dan pipa secara sederhana dijelaskan berdasarkan hukumkekekalan energi. Fluida panas dalam hal ini adalah udara hasil pembakaranyang mengalir di dalam pipa, sedangkan fluida dingin adalah udara pengeringyang mengalir di luar pipa. Pada kondisi tunak, dengan mengabaikankehilangan panas disepanjang aliran yang dilaluinya, maka panas yangdipindahkan dari udara hasil pembakaran (Qh) sama dengan udara panas yangditerima oleh udara pengering (Qc).

Jumlah akumulasi panas sama dengan nol pada kondisi tunak, makajumlah panas masuk sama dengan jumlah panas keluar.

$$Q_h = Q_c = m \times C_{p_c} \times (T_{co} - T_{ci}) \dots\dots\dots 8)$$

Perpindahan panas untuk berbagai tipe penukar panas dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Q = U \times A \times \Delta T_{\log} \dots\dots\dots 9)$$

Dimana A adalah parameter konstan luas permukaan perpindahan panas (m^2), U adalah koefisien panas keseluruhan ($W/m^2.K$) ditentukan dengan persamaan berikut :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_c} + R_k + \frac{A_0}{h_h \times A_i}} \dots\dots\dots 10)$$

ΔT_{log} adalah beda suhu rata-rata logaritmik rata-rata antara udara hasil pembakaran dan udara pengeringan dalam penukar panas yang ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\Delta T_{\log} = \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{Ln \left(\frac{T_{hi} - T_{co}}{T_{ho} - T_{ci}} \right)} \dots\dots\dots 11)$$

Untuk menentukan laju perpindahan panas yang tidak menyangkut suhu keluar yang manapun digunakan nilai efektifitas penukar panas. Keefektifan penukar panas adalah perbandingan laju perpindahan panas yang sebenarnya dalam penukar panas terhadap laju pertukaran panas yang mungkin terjadi (Kreith, 1978).

$$\text{Efektifitas} = \varepsilon = \frac{\text{laju pindah panas sebenarnya}}{\text{laju pindah panas yang mungkin terjadi}} \dots\dots\dots 12)$$

$$\text{Laju pindah panas sebenarnya} = C_{\min} (T_{co} - T_{ci}) \dots\dots\dots 13)$$

$$\text{Laju pindah panas yang mungkin terjadi} = C_{\min} (T_{hi} - T_{ci}) \dots\dots\dots 14)$$

Nilai efektifitas penukar panas untuk aliran berlawanan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\varepsilon = 2 \left\{ 1 + C + (1 + C^2)^{1/2} \times \frac{(1 + \exp(-NTU(1 + C^2)^{1/2}))}{(1 - \exp(-NTU(1 + C^2)^{1/2}))} \right\}^{-1} \dots\dots\dots 15)$$

$$NTU = \frac{U \times A}{C_{\min}} \dots\dots\dots 16)$$

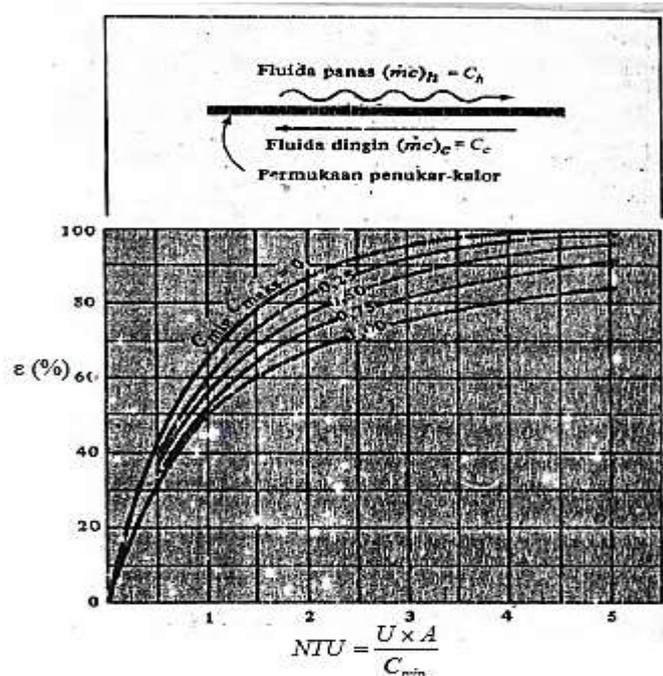
$$C = \frac{C_{\min}}{C_{\max}} = \frac{(m \times Cp)_{\min}}{(m \times Cp)_{\max}} \dots\dots\dots 17)$$

NTU (*number of heat transfer units*) adalah jumlah satuan perpindahan panas yang merupakan tolak ukur perpindahan panas suatu penukar panas. Harga NTU semakin besar maka penukar panas mendekati batatermodinamikanya (Kreith, 1973). Bila keefektifan penukar panas telah

diketahui, maka kesetaraan lajupindah panas pada persamaan 15) dapat diekspresikan sebagai berikut (Kreith, 1978) :

$$Q = \varepsilon \times C_{\min} (T_H - T_C) \dots\dots\dots 18)$$

Perbandingan efektifitas untuk susunan penukar kalor berlawanan arahdisajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Efektifitas Penukar Kalor Aliran Berlawanan Arah

2.7.Efisiensi Tungku

Efisiensi pada analisis panas pembakaran untuk tungku dibedakan atas efisiensi pembakaran, efisiensi tungku, efisiensi pemasakan, dan efisiensi total sistem. Efisiensi sistem merupakan perbandingan jumlah panas yang untuk menaikkan suhu air dan untuk penguapan terhadap panas bahan bakar terpakai. Panas bahan bakar terpakai adalah selisih massa bahan bakar awal dengan massa bahan bakar sisa dikali dengan nilai kalornya.

$$\text{Efisiensi tungku } (\eta_t) = \frac{Q_{e1}}{Q_g} (\%) \dots\dots\dots (10)$$

Dimana :

Q_{e1} = Panas efektif (kcal)

Q_g = Panas pembakaran (kcal)