

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengerinan

Pengerinan mempunyai pengertian yaitu aplikasi pemanasan melalui kondisi yang teratur, sehingga dapat menghilangkan sebagian besar air dalam suatu bahan dengan cara diuapkan. Penghilangan air dalam suatu bahan dengan cara pengerinan mempunyai satuan operasi yang berbeda dengan dehidrasi. Dehidrasi akan menurunkan aktivitas air yang terkandung dalam bahan dengan cara mengeluarkan atau menghilangkan air dalam jumlah lebih banyak, sehingga umur simpan bahan pangan menjadi lebih panjang atau lebih lama (Muarif, 2013).

2.1.1 Mekanisme Pengerinan

Udara yang terdapat dalam proses pengerinan mempunyai fungsi sebagai pemberi panas pada bahan, sehingga menyebabkan terjadinya penguapan air. Fungsi lain dari udara adalah untuk mengangkut uap air yang dikeluarkan oleh bahan yang dikeringkan. Kecepatan pengerinan akan naik apabila kecepatan udara ditingkatkan. Kadar air akhir apabila mulai mencapai kesetimbangannya, maka akan membuat waktu pengerinan juga ikut naik atau dengan kata lain lebih cepat (Muarif, 2013).

Faktor yang dapat mempengaruhi pengerinan suatu bahan pangan adalah (Buckle et al, 1987):

1. Sifat fisik dan kimia dari bahan pangan.
2. Pengaturan susunan bahan pangan.
3. Sifat fisik dari lingkungan sekitar alat pengerin.
4. Proses pemindahan dari media pemanas ke bahan yang dikeringkan melalui dua tahapan proses selama pengerinan yaitu:
 - a. Proses perpindahan panas terjadinya penguapan air dari bahan yang dikeringkan,
 - b. Proses perubahan air yang terkandung dalam media yang dikeringkan menguapkan air menjadi gas.

Prinsip pengeringan biasanya akan melibatkan dua kejadian, yaitu panas harus diberikan pada bahan yang akan dikeringkan, dan air harus dikeluarkan dari dalam bahan. Dua fenomena ini menyangkut perpindahan panas ke dalam dan perpindahan massa keluar. Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam kecepatan pengeringan adalah:

1. Luas permukaan

Pada umumnya, bahan pangan yang dikeringkan mengalami pengecilan ukuran, baik dengan cara diiris, dipotong, atau digiling. Proses pengecilan ukuran dapat mempercepat proses pengeringan dengan mekanisme sebagai berikut :

- a. Pengecilan ukuran memperluas permukaan bahan. Luas permukaan bahan yang tinggi atau ukuran bahan yang semakin kecil menyebabkan permukaan yang dapat kontak dengan medium pemanas menjadi lebih baik,
- b. Luas permukaan yang tinggi juga menyebabkan air lebih mudah berdifusi atau menguap dari bahan pangan sehingga kecepatan penguapan air lebih cepat dan bahan menjadi lebih cepat kering.
- c. Ukuran yang kecil menyebabkan penurunan jarak yang harus ditempuh oleh panas. Panas harus bergerak menuju pusat bahan pangan yang dikeringkan. Demikian juga jarak pergerakan air dari pusat bahan pangan ke permukaan bahan menjadi lebih pendek.

2. Perbedaan suhu sekitar

Pada umumnya, semakin besar perbedaan suhu antara medium pemanas dengan bahan pangan semakin cepat pindah panas ke bahan pangan dan semakin cepat pula penguapan air dari bahan pangan. Semakin tinggi suhu udara, semakin banyak uap air yang dapat ditampung oleh udara tersebut sebelum terjadi kejenuhan. Dapat disimpulkan bahwa udara bersuhu tinggi lebih cepat mengambil air dari bahan pangan sehingga proses pengeringan lebih cepat.

3. Kecepatan aliran udara

Udara yang bergerak atau bersirkulasi akan lebih cepat mengambil uap air dibandingkan udara diam. Pada proses pergerakan udara, uap air dari bahan

akan diambil dan terjadi mobilitas yang menyebabkan udara tidak pernah mencapai titik jenuh. Semakin cepat pergerakan atau sirkulasi udara, proses pengeringan akan semakin cepat. Prinsip ini yang menyebabkan beberapa proses pengeringan menggunakan sirkulasi udara.

4. Kelembaban Udara

Kelembaban udara menentukan kadar air akhir bahan pangan setelah dikeringkan. Bahan pangan yang telah dikeringkan dapat menyerap air dari udara di sekitarnya. Jika udara disekitar bahan pengering tersebut mengandung uap air tinggi atau lembab, maka kecepatan penyerapan uap air oleh bahan pangan tersebut akan semakin cepat. Proses penyerapan akan terhenti sampai kesetimbangan kelembaban nisbi bahan pangan tersebut tercapai. Kesetimbangan kelembaban nisbi bahan pangan adalah kelembaban pada suhu tertentu dimana tidak terjadi penguapan air dari bahan pangan ke udara dan tidak terjadi penyerapan uap air dari udara oleh bahan pangan.

5. Lama Pengeringan

Lama pengeringan menentukan lama kontak bahan dengan panas. Karena sebagian besar bahan pangan sensitif terhadap panas maka waktu pengeringan yang digunakan harus maksimum, yaitu kadar air bahan akhir yang diinginkan telah tercapai dengan lama pengeringan yang pendek. Pengeringan dengan suhu yang tinggi dan waktu yang pendek dapat lebih menekan kerusakan bahan pangan dibandingkan dengan waktu pengeringan yang lebih lama dan suhu lebih rendah. Misalnya, jika kita akan mengeringkan kacang-kacangan, pengeringan dengan pengering rak pada suhu 80⁰C selama 4 jam akan menghasilkan kacang kering yang mempunyai kualitas yang lebih baik dibandingkan penjemuran selama 2 hari.

2.2 Jenis-Jenis Alat Pengering

Pemilihan jenis pengeringan yang sesuai untuk suatu produk pangan ditentukan oleh kualitas produk akhir yang diinginkan, sifat bahan pangan yang dikeirngkan, dan biaya produksi atau pertimbangan ekonomi. Beberapa jenis

pengeringan telah digunakan secara komersial, dan jenis pengeringan tertentu cocok untuk produk pangan yang lain. Berdasarkan bahan yang akan dipisahkan, *dryer* terdiri dari:

1. Pengereng untuk Zat Padat dan Tapal

a. *Rotary Dryer* (Pengereng Putar)

Alat pengereng ini berbentuk silinder yang bergerak pada porosnya. Silinder ini dihubungkan dengan alat pemutar dan letaknya agak miring. Permukaan dalam silinder dilengkapi dengan penggerak bahan yang berfungsi untuk mengaduk bahan. Udara panas mengalir searah dan dapat pula berlawanan arah jatuhnya bahan kering pada alat pengereng.

b. *Screen Conveyor Dryer*

Lapisan bahan yang akan dikeringkan diangkut perlahan-lahan diatas logam melalui kamar atau terowongan pengereng yang mempunyai kipas dan pemanas udara.

c. *Tower Dryer* (Pengereng Menara)

Pengereng menara terdiri dari sederetan talam bundar yang dipasang bersusun keatas pada suatu poros tengah yang berputar. Zat padat itu menempuh jalan seperti melalui pengereng, sampai keluar sebagian hasil yang kering dari dasar menara.

d. *Screw Conveyor Dryer* (Pengereng Konveyor Sekrup)

Pengereng konveyor sekrup adalah suatu pengereng kontinyu kalor tak langsung, yang pada pokoknya terdiri dari sebuah konveyor sekrup horizontal (konveyor dayung) yang terletak di dalam selongsong bermantel berbentuk silinder.

e. Alat Pengereng Tipe Rak (*Tray Dryer*)

Tray dryer atau alat pengereng tipe rak, mempunyai bentuk persegi dan didalamnya berisi rak-rak, yang digunakan sebagai tempat bahan yang akan dikeringkan. Pada umumnya rak tidak dapat dikeluarkan. Beberapa alat pengereng jenis ini rak-raknya mempunyai roda sehingga dapat dikeluarkan dari alat pengerengnya. Bahan diletakan di atas rak (*tray*) yang terbuat dari

logam yang berlubang. Kegunaan lubang-lubang tersebut untuk mengalirkan udara panas.

Ukuran yang digunakan bermacam-macam, ada yang luasnya 200 cm² dan ada juga yang 400 cm². Luas rak dan besar lubang-lubang rak tergantung pada bahan yang dikeringkan. Apabila bahan yang akan dikeringkan berupa butiran halus, maka lubangnya berukuran kecil. Pada alat pengering ini bahan selain ditempatkan langsung pada rak-rak dapat juga ditebarkan pada wadah lainnya misalnya pada baki dan nampan. Kemudian pada baki dan nampan ini disusun diatas rak yang ada di dalam pengering. Selain alat pemanas udara, biasanya juga digunakan juga kipas (*fan*) untuk mengatur sirkulasi udara dalam alat pengering. Udara yang telah melewati kipas masuk ke dalam alat pemanas, pada alat ini udara dipanaskan lebih dulu kemudian dialurkan diantara rak-rak yang sudah berisi bahan. Arah aliran udara panas didalam alat pengering bisa dari atas ke bawah dan bisa juga dari bawah ke atas, sesuai dengan dengan ukuran bahan yang dikeringkan. Untuk menentukan arah aliran udara panas ini maka letak kipas juga harus disesuaikan (Unari Taib, dkk, 2008).

2. Pengeringan Larutan dan Bubur

a. *Spray Dyer* (Pengering Semprot)

Pada proses pengeringan semprot, cairan disemprotkan melalui nozel pada udara panas. Pada *spray dryer*, bahan cair berpartikel kasar (*slurry*) dimasukkan lewat pipa saluran yang berputar dan disemprotkan ke dalam jalur yang berudara bersih, kering, dan panas dalam suatu tempat yang besar, kemudian produk yang telah kering dikumpulkan dalam filter kotak, dan siap untuk dikemas. Ada dua tipe pengering semprot, yaitu tipe horizontal dan tipe vertical. Kontruksi alat pengering semprot secara umum terdiri dari:

1. Pemanas dengan satu atau lebih kipas untuk menghasilkan udara panas dengan suhu dan kecepatan tertentu,
2. *Atomizer*, nozel, atau jet untuk menghasilkan partikel-partikel cairan dengan ukuran tertentu,

3. *Chamber* atau wadah pengering dimana partikel-partikel kontak dengan udara pengering,

4. Wadah penampung untuk menampung produk yang sudah dikeringkan.

b. *Thin Film Dryer* (Pengering Film Tipis)

Saingan *Spray dryer* dalam beberapa penerapan tertentu adalah pengering film tipis yang dapat menanganani zat padat maupun bubuk dan menghasilkan hasil padat yang kering dan bebas mengalir. Efisiensi termal pengering film tipis biasanya tinggi dan kehilangan zat padatnya pun kecil. Alat ini relatif lebih mahal dan luas permukaan perpindahan kalornya terbatas (Unair Thaib, dkk).

2.3 Klasifikasi Pengering

Pengeringan dimana zat padat bersentuhan langsung dengan gas panas (biasanya udara) disebut pengeringan adiabatik (*adiabatic dryer*) atau pengeringan langsung (*direct dryer*). Bila perpindahan kalor berlangsung dari suatu medium luar dinamakan pengering nonadiabatik atau pengering tak langsung. Pada beberapa unit terdapat gabungan pengeringan adiabatik dan nonadiabatik, pengering ini biasa disebut pengering langsung-tak-langsung (*direct-indirect-dryer*).

Berdasarkan cara penanganan zat padat didalam pengering, klasifikasi pengeringan dikelompokkan menjadi :

1. Pengering Adiabatik

Dalam pengeringan adiabatik, zat padat kontak langsung dengan gas panas dibedakan atas : (McCabe,1985)

- a. Gas ditiup melintas permukaan hamparan atau lembaran zat padat, atau melintas pada satu atau kedua sisi lembaran. Proses ini disebut pengeringan dengan sirkulasi silang
- b. zat padat disiramkan kebawah melalui suatu arus gas yang bergerak perlahan-lahan keatas. Proses ini disebut penyiraman didalam pengering putar.

- c. Gas dialirkan melalui zat padat dengan kecepatan yang cukup untuk memfluidisasikan hamparan.
- d. Zat padat seluruhnya dibawah ikut dengan arus gas kecepatan tinggi dan diangkut secara *pneumatic* dari piranti pencampuran kepemisah mekanik.

2. Pengering Non Adiabatik

Dalam pengering non adiabatik, satu-satunya gas yang harus dikeluarkan ialah uap air atau uap zat pelarut, walaupun kadang-kadang sejumlah kecil “gas penyapu” (biasanya udara atau nitrogen) dilewatkan juga melalui unit itu. (McCabe,1985). Pengering-pengering adiabatik dibedakan terutama menurut zat padat yang kontak dengan permukaan panas atau sumber panas kalor lainnya yang terbagi atas :

- a. zat padat dihamparkan diatas suatu permukaan horizontal yang stasioner atau bergerak lambat. Pemanasan permukaan itu dapat dilakukan dengan listrik atau dengan fluida perpindahan kalor seperti uap air panas. Pemberian kalor itu dapat pula dilakukan dengan pemanas radiasi yang ditempatkan diatas zat padat itu.
- b. Zat padat itu bergerak diatas permukaan panas, yang biasanya berbentuk silinder, dengan bantuan pengaduk atau konveyor sekrup (*screw konveyor*).
- c. Zat padat menggelincir dengan gaya gravitasi diatas permukaan panas yang miring atau dibawa naik bersama permukaan itu selama selang waktu tertentu dan kemudian diluncurkan lagi ke suatu lokasi yang baru.

2.4 Pengelompokan Mesin Pengering

Jenis bahan yang akan dikeringkan, mutu hasil akhir yang dikeringkan dan pertimbangan ekonomi mempengaruhi pemilihan alat dan kondisi pengering yang akan digunakan misalnya untuk jenis bahan padatan atau yang berbentuk lempeng maka alat yang sesuai untuk mengeringkan bahan tersebut adalah pengering Kabinet atau *tray dryer* , *oven* dan *rotary dryer* , sedangkan bahan yang berbentuk pasta alat yang sesuai untuk mengeringkan adalah pengering drum (Brennan et, al., 1974 dan novilia,2006). Ada beberapa criteria yang digunakan untuk mengelompokkan mesin pengering, seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Pengelompokkan Mesin Pengering

Kriteria	Jenis
Modus Operasi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Batch. Contohnya: try and compartment dryer, through circulation dryer, vacuum rotary dryer, vacuum tray dryer. 2. Kontinyu. Contohnya : pneumatic dryer, tunnel dryer, rotary dryer, fluidized bed dryer, drum dryer, cylinder dryer, tray dryer, spray dryer.
Metode pindah panas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Konduksi. Contohnya : belt conveyer dryer, rotary dryer flash dryer, spray dryer, tray dryer, fluidized bed dryer 2. Konveksi. Contohnya : drum dryer, vacuum tray dryer, steam jacket rotary dryer 3. Radiasi. Contohnya : microwave
Tekanan Operasi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Vakum. Contohnya: vacuum rotary dryer, vacuum tray dryer freeze dryer. 2. Tekanan atmosfer. Contohnya : rotary dryer, tunnel dryer, drum dryer, cylinder dryer, tray dryer, spray dryer.
Waktu bahan dalam mesin pengering	<ol style="list-style-type: none"> 1. Singkat (< 1 menit). Contohnya : flash dryer, spray dryer, drum dryer. 2. Sedang (1-120 menit) belt conveyer dryer, fluidized bed dryer, rotary dryer, tray dryer 3. Panjang (> 120 menit). Contohnya : Tray Dryer (Batch)

Sumber : Mujumdar dan Menon, 1995

2.5 Furnace (Tungku Pembakaran)

Furnace adalah alat tempat terjadinya pembakaran suatu bahan bakar (padat, cair, dan gas) dimana gas hasil pembakaran tersebut dimanfaatkan panasnya untuk memanaskan suatu bahan. *Furnace* berfungsi untuk memindahkan panas (kalor) yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar yang berlangsung dalam suatu ruang pembakaran (*combustion chamber*) ke fluida yang dipanaskan

dengan mengalirkannya melalui pipa-pipa pembuluh (*tube*). Tujuan dari pemindahan panas hasil pembakaran ke *fluida* adalah agar tercapai suhu operasi yang diinginkan pada proses berikutnya. Sumber panas *furnace* berasal dari pembakaran antara bahan bakar padat, cair, dan gas dengan udara yang panasnya digunakan untuk memanaskan *crude oil* yang mengalir di dalam tube.

Furnace memiliki struktur bangunan plat baja (*metal*) yang bagian dalamnya dilapisi oleh material tahan api, batu isolasi, dan *refractory* yang fungsinya untuk mencegah kehilangan panas serta dapat menyimpan sekaligus memantulkan panas radiasi kembali ke permukaan *tube* yang dikenal dengan "*Fire Box*" atau "*Combustion Chamber*". *Furnace* pada dasarnya terdiri dari sebuah ruang pembakaran yang menghasilkan sumber kalor untuk diserap kumparan pipa (*tube coil*) yang didalamnya mengalir *fluida*. Dalam konstruksi ini biasanya *tube coil* dipasang menelusuri dan merapat ke bagian lorong yang menyalurkan gas hasil bakar (*flue gas*) dari ruang bakar ke cerobong asap (*stack*). Perpindahan kalor di ruang pembakaran terutama terjadi karena radiasi disebut seksi radiasi (*radiant section*), sedangkan di saluran gas hasil pembakaran terutama oleh konveksi disebut seksi konveksi (*convection section*). Untuk mencegah supaya gas buangan tidak terlalu cepat meninggalkan ruang konveksi maka pada cerobong sering kali dipasang penyekat (*damper*). Perpindahan panas kalor melalui pada pipa dikenal sebagai konduksi (Putri,2012).

2.5.1 Tipe *Furnace*

Furnace memiliki beberapa jenis atau tipe. Jenis-jenis *furnace* tersebut terdiri dari (Putri,2012):

a. Tipe Box (*Box Furnace*)

Dapur tipe *box* mempunyai bagian *radiant* dan konveksi yang dipisahkan oleh dinding batu tahan api yang disebut *bridge wall*. Burner dipasang pada ujung dapur dan api diarahkan tegak lurus dengan pipa atau dinding samping dapur (api sejajar dengan pipa). Aplikasi dapur tipe box :

1. Beban kalor berkisar 60-80 MMBtu/Jam atau lebih.
2. Dipakai untuk melayani unit proses dengan kapasitas besar.

3. Umumnya bahan bakar yang dipakai adalah *fuel oil*.
4. Dipakai pada instalasi-instalasi tua, adakalanya pada instalasi baru yang mempunyai persediaan bahan bakar dengan kadar abu (*ash*) tinggi.

b. Tipe Silindris Tegak (*Vertical*)

Furnace ini mempunyai bentuk konstruksi silinder dan bentuk alas (lantai) bulat. *Tube* dipasang *vertical* ataupun *konikal*. Burner dipasang pada lantai sehingga nyala api tegak lurus ke atas sejajar dengan dinding *furnace*. *Furnace* ini dibuat dengan atau tanpa ruang konveksi. Jenis pipa pemanas yang dipasang di ruang konveksi biasanya menggunakan *finned tube* yang banyak digunakan pada *furnace* dengan bahan bakar gas.

Aplikasi dapur tipe silindris :

1. Digunakan untuk pemanasan *fluida* yang mempunyai perbedaan suhu antara *inlet* dan *outlet* tidak terlalu besar atau sekitar 200⁰F (90⁰C).
2. Beban kalor berkisar antara 10 s.d. 200 gj/jam.
3. Umumnya dipakai pemanas fluida umpan reaktor.

2.6 Ketel Uap

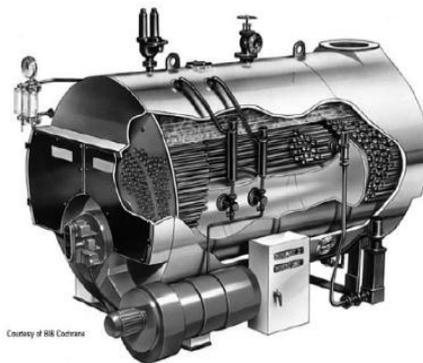
Ketel uap adalah sebuah alat untuk menghasilkan uap, dimana terdiri dari dua bagian yang penting yaitu: dapur pemanasan, dimana yang menghasilkan panas yang didapat dari pembakaran bahan bakar dan *boiler proper*, sebuah alat yang mengubah air menjadi uap. Uap atau fluida panas kemudian disirkulasikan dari ketel untuk berbagai proses dalam aplikasi pemanasan (Ridho Fadillah,2015). Klasifikasi ketel uap ada beberapa macam, untuk memilih ketel uap harus mengetahui klasifikasinya terlebih dahulu, sehingga dapat memilih dengan benar dan sesuai dengan kegunaannya di industri. Karena jika salah dalam pemilihan ketel uap akan menyebabkan penggunaan tidak akan maksimal dan dapat menyebabkan masalah dikemudian harinya. Berdasarkan fluida yang mengalir dalam pipa ketel uap dibagi beberapa jenis, yaitu :

a. Ketel Pipa api (*Fire tube boiler*)

Ketel pipa api digunakan untuk memanasi air dan uap, akan melalui silinder api, pipa-pipa ataupun tabung-tabung api (*fire cylinder, fire duct, fire*

pipe, dan *fire tubes*), yang dibagian luarnya terdapat air atau uap. Pada ketel pipa api, gas panas melewati pipa-pipa dan air umpan ketel ada di dalam *shell* untuk dirubah menjadi *steam*. Ketel pipa api dapat menggunakan bahan bakar minyak bakar, gas atau bahan bakar padat dalam operasinya (Djokosetyardjo,195). Adapun kelebihan menggunakan ketel uap pipa api, antara lain :

1. Menghasilkan uap dengan tekanan lebih tinggi daripada ketel pipa api
2. Untuk daya yang sama menempati ruang yang lebih kecil daripada ketel pipaapi
3. Laju aliran uap lebih rendah
4. Komponen – komponen yang berbeda bisa diurai sehingga mudah untuk dipindahkan
5. Permukaan pemanasan lebih efektif karena gas panas mengalir keatas pada arah tegak lurus
6. Pecah pada pipa tidak meniimbulkan kerusakan ke seluruh ketel



Gambar 1. Ketel Pipa Api

Sumber : (Ridho Fadillah,2015. Academia.com)

b. Ketel pipa air (*water tube boiler*)

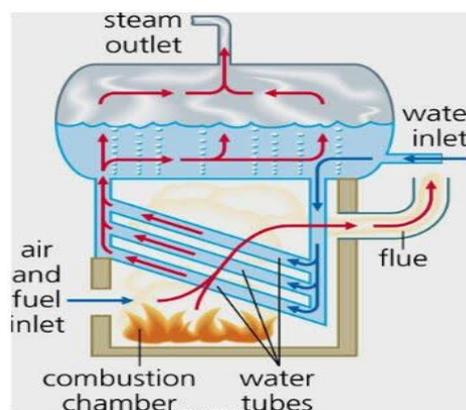
Pada ketel pipa air, air diumpankan Boiler melalui pipa-pipa masuk kedalam *drum*. Air yang tersirkulasi dipanaskan oleh gas pembakaran membentuk steam pada daerah uap dalam drum. Ketel ini dipilih jika kebutuhan *steam* dan tekanan steam sangat tinggi (ridho fadillah,2015. Academia.com).

Pada ketel pipa air, air diumpangkan boiler melalui pipa-pipa masuk ke dalam drum. Air yang tersirkulasi dipanaskan oleh gas pembakaran membentuk steam pada daerah uap dalam drum. Ketel ini dipilih jika kebutuhan *steam* dan tekanan *steam* sangat tinggi seperti pada kasus ketel untuk pembangkit tenaga. Untuk ketel pipa air yang menggunakan bahan bakar padat, tidak umum dirancang secara paket. Karakteristik ketel pipa air sebagai berikut:

1. *Fored, induced* dan *balanced draft* membantu untuk meningkatkan efisiensi pembakaran.
2. Kurang toleran terhadap kualitas air yang dihasilkan dari plant pengolahan air.
3. Memungkinkan untuk tingkat efisiensi panas yang lebih tinggi.

Adapun keuntungan menggunakan ketel uap pipa air, antara lain :

1. Konstruksi ketel sederhana
2. Biaya awal murah
3. Baik untuk kapasitas uap yang besar



Gambar 2. Ketel Pipa Air

Sumber : (Ridho Fadillah,2015. Academia.com)

2.7 Kipas (*fan*)

Fan yang digunakan terdiri dari dua yaitu *fan* untuk *heat exchanger* dan *fan* untuk menghembuskan udara panas (*heat exhauster*). *Blower heat exchanger* adalah mesin atau alat yang digunakan untuk menaikkan atau

memperbesar tekanan udara atau gas yang akan dialirkan dalam suatu ruangan tertentu juga sebagai pengisapan atau pemvakuman udara atau gas tertentu.

Kipas angin (*fan*) adalah perangkat mekanis yang digunakan untuk membuat aliran gas kontinu seperti udara. Kipas pendingin berfungsi untuk mengalirkan udara melewati alat *heat exchanger* agar panas yang terdapat pada dinding dan sirip-sirip pada alat *heat exchanger* dapat dilepas dengan mudah ke udara. Aliran udara pada mesin-mesin kendaraan selalu parallel dengan gerakan kendaraan, tetapi berlawanan, artinya kipas menghisap udara luar dari depan masuk ke dalam ruang mesin. Karena itu, kipas pendingin dan alat *heat exchanger* selalu tegak lurus terhadap arah dari gerakan kendaraan. Dalam setiap sistem pendingin, yang menggunakan gas sebagai penghantar, kipas angin adalah unit wajib yang menciptakan aliran udara dalam sistem. Sistem ini dapat dilihat dalam kipas angin sederhana yang digunakan di rumah tangga. Ketika membutuhkan tekanan yang tinggi diperlukan *blower* yang digunakan sebagai pengganti kipas angin. Sehingga, *Fan* dapat menghasilkan aliran gas dengan sedikit tekanan dan volume gas yang lebih besar, sementara *blower* dapat menghasilkan rasio tekanan yang relative lebih tinggi dengan volume aliran gas yang lebih besar. Adapun jenis-jenis kipas angin (*fan*) antara lain (M. Yusron Rahman, 25):

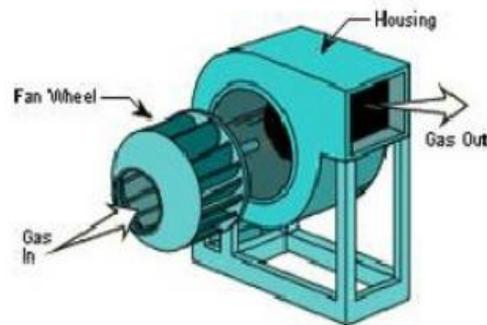
1. Berdasarkan pengaturan kecepatannya

Berdasarkan pengaturan kecepatannya, *fan* ada yang memiliki kecepatan sehingga dapat diatur kecepatannya dan ada pula memiliki kecepatan konstan.

2. Berdasarkan desainnya

- a) *Centrifugal fan*

Centrifugal fan adalah mesin yang digunakan untuk menggerakkan udara atau gas lainnya. *Fan* ini menaikkan kecepatan dari aliran udara dengan bagian berputarnya. *Fan* ini memanfaatkan energi kinetic dari kipasnya untuk menaikkan tekanan udara.



Gambar 3. Centrifugal fan

Sumber : www.Academia.edu/blower

b) *Axial fan*

Axial fan memakai gaya poros untuk menggerakkan udara atau gas, berputar dengan poros utama dengan kipas yang dipasang secara tegak lurus dari diameter luar poros. *Axial fan* biasa digunakan pada sistem ventilasi silindrikal pendek, yang aliran masuk dan keluarnya dapat dihubungkan.



Gambar 4. Axial fan

Sumber : www.Academia.edu/blower

3. Berdasarkan Penempatannya

a. *Exhaust fan*

Exhaust fan adalah *fan* yang ditempatkan setelah komponen utamanya sehingga fungsinya untuk menarik udara/gas ke arah komponen tersebut.

b. *Blower fan*

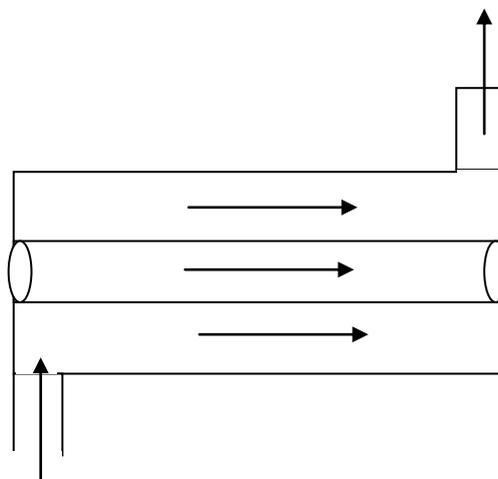
Blower fan adalah *fan* yang ditempatkan sebelum komponen utamanya sehingga fungsinya untuk mendorong udara/gas ke arah komponen tersebut (Rizki Fauzi, Academia.edu).

2.8 Heat Exchanger

Heat exchanger adalah suatu alat yang menghasilkan perpindahan panas dari satu fluida ke fluida lainnya. Jenis penukar panas yang sederhana ialah sebuah wadah dimana fluida yang panas dan fluida yang dingin dicampur secara langsung. Dalam sistem demikian kedua suhu mencapai suhu akhir yang sama, dan jumlah panas yang berpindah dapat diperkirakan dengan mempersamakan kerugian energi dari fluida yang lebih panas dengan perolehan energi oleh fluida yang lebih dingin. Contohnya seperti peralatan perpindahan panas menggunakan pencampuran fluida-fluida secara langsung adalah pemanas air pengisi ketel terbuka. Berdasarkan arah aliran fluida, *Heat Exchanger* dapat dibedakan menjadi (Frank Kreith, Arko Prijono, M.Sc, 1986):

1. *Heat Exchanger* dengan aliran searah (*co-current/parallel flow*)

Pertukaran panas jenis ini, kedua fluida (dingin dan panas) masuk pada sisi *Heat Exchanger* yang sama, mengalir dengan arah yang sama, dan keluar pada sisi yang sama. Karakter *Heat Exchanger* jenis ini, temperatur fluida dingin yang keluar dari *Heat Exchanger* (T_{co}) tidak dapat melebihi temperatur fluida panas yang keluar (T_{ho}), sehingga diperlukan media pendingin atau media pemanas yang banyak. Berikut merupakan gambar aliran searah (Frank Kreith, Arko Prijono, M.Sc, 1986):

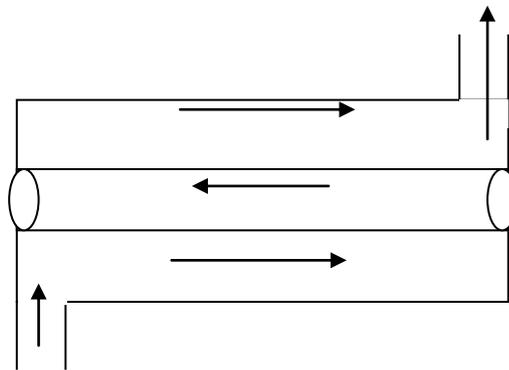


Gambar 5. Aliran searah (*parallel flow*)

Sumber: Frank Kreith, Arko Prijono, M.Sc, 1986

2. *Heat Exchanger* dengan aliran berlawanan arah (*counter-current flow*)

Heat Exchanger jenis ini memiliki karakteristik; kedua fluida (panas dan dingin) masuk ke *Heat exchanger* dengan arah berlawanan, mengalir dengan arah berlawanan dan keluar *Heat exchanger* pada sisi yang berlawanan. Berikut merupakan gambar aliran berlawanan arah (Frank Kreith, Arko Prijono, M.Sc, 1986):



Gambar 6. Aliran Berlawanan (*Counterflow*)

Sumber: Frank Kreith, Arko Prijono, M.Sc, 1986

Pada Dasarnya prinsip kerja dari alat penukar kalor yaitu memindahkan panas dari dua fluida pada temperatur berbeda di mana transfer panas dapat dilakukan secara langsung ataupun tidak langsung.

a. Secara kontak langsung

Panas yang dipindahkan antara fluida panas dan dingin melalui permukaan kontak langsung berarti tidak ada dinding antara kedua fluida. Transfer panas yang terjadi yaitu melalui interfase / penghubung antara kedua fluida. Contoh : aliran steam pada kontak langsung yaitu 2 zat cair yang immiscible (tidak dapat bercampur), gas-liquid, dan partikel padat-kombinasi fluida.

b. Secara kontak tak langsung

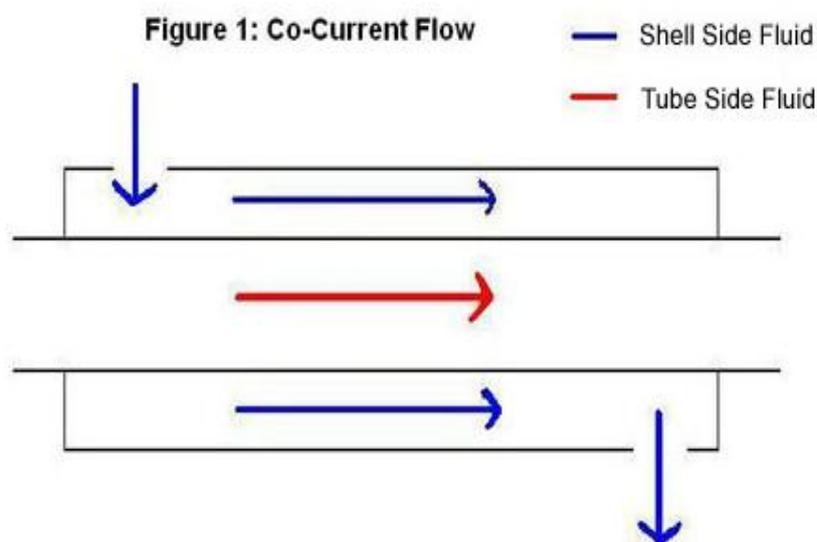
Perpindahan panas terjadi antara fluida panas dan dingin melalui dinding pemisah. Dalam sistem ini, kedua fluida akan mengalir.

2.8.1 Jenis – jenis Heat Exchanger

Ada beberapa jenis heat exchanger yang banyak digunakan dalam industri, yaitu:

a. Penukar panas pipa rangkap (*double pipe heat exchanger*)

Salah satu jenis penukar panas adalah susunan pipa ganda. Dalam jenis penukar panas dapat digunakan berlawanan arah aliran atau arah aliran, baik dengan cairan panas atau dingin cairan yang terkandung dalam ruang annular dan cairan lainnya dalam pipa. Alat penukar panas pipa rangkap terdiri dari dua pipa logam standart 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. Sedangkan untuk kapasitas yang lebih besar digunakan penukar panas jenis cangkang dan pipa (*shell and tube heat exchanger*). Berikut merupakan gambar dari penukar panas tipe rangkap :

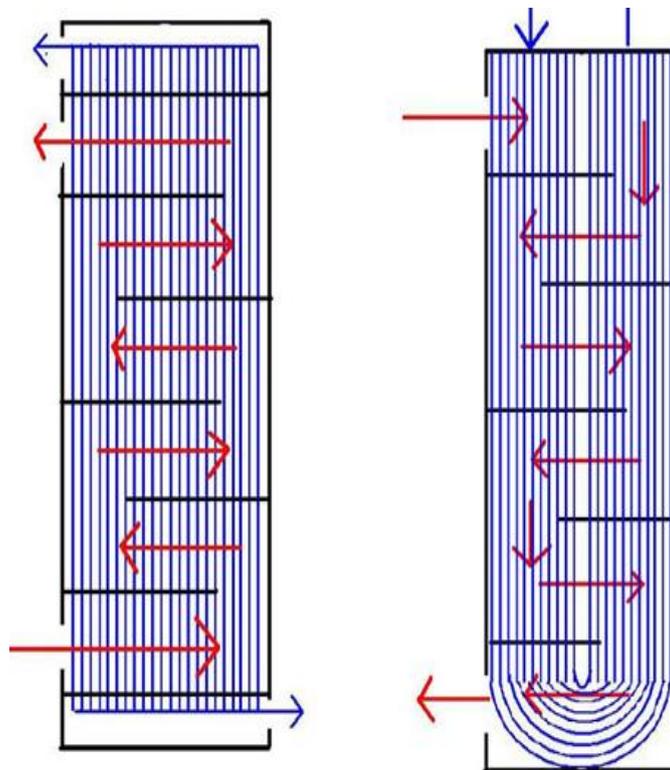


Gambar 7. Double Pipe Heat Exchanger

Sumber: Frank Kreith, Arko Prijono, M.Sc, 1986

b. Penukar panas cangkang dan pipa (*shell and tube heat exchanger*)

Alat penukar panas cangkang dan pipa terdiri dari sebuah pipa (*tube*) yang terletak konsentrik (sesumbu) didalam pipa lainnya yang merupakan cangkang (*shell*) untuk susunan ini. 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 cangkang dan pipa 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 (Frank Kreith, Arko Prijono, M.Sc, 1986).



Gambar 8. Shell and Tube

Sumber: Frank Kreith, Arko Prijono, M.Sc, 1986

c. Penukar Kalor Aliran silang

Penukar kalor aliran silang banyak digunakan dalam pemanasan dan pendinginan udara atau gas. Gas dialirkan menyilang berkas tabung, sedangkan fluida lain digunakan di dalam tabung untuk memanaskan atau mendinginkan. Didalam alat penukar kalor ini, fluida mengalir melintas tabung disebut arus campur (*mixed stream*), sedangkan fluida di dalam tabung disebut arus tak tercampur (*unmixed*). Gas itu dikatakan bercampur karena dapat bergerak dengan bebas di dalam alat itu sambil menukar kalor. Fluida yang satu lagi terkurung di dalam tabung saluran penukar kalor dan tidak dapat bercampur selama proses perpindahan panas. Pada alat penukar kalor aliran silang, gas mengalir melintas berkas tabung bersirip dan karena terkurung di dalam saluran-saluran di antara sirip-sirip, tidak bercampur pada waktu mengalir melalui penukar kalor (Holman, 487).

d. *Compact Heat Exchanger*

Ada beberapa alat penukar lain yang disebut penukar kalor kompak (*compact heat exchanger*) yang terutama digunakan dalam aliran gas di mana koefisien kalor menyeluruh adalah rendah dan kita memerlukan luas yang lebih dari 650 m^2 per m^3 volume. Penukar jenis kalor ini sangat cocok untuk penerapan dalam aliran gas dimana nilai h rendah. Pada alat penukar kalor ini terdapat beberapa jenis yaitu penukar kalor bersirip-bundar dengan tabung rata. Salah satu contoh alat penukar adalah radiator. Radiator berfungsi untuk melepaskan panas air pendingin yang telah menyerap panas dari mesin ke udara melalui sirip-sirip pendingin yang ada di radiator. Banyaknya panas yang dapat dihilangkan melalui radiator tergantung pada:

1. Kecepatan aliran udara

Udara yang mengalir dapat diperoleh dari laju kendaraan atau melalui hembusan dari kipas,

2. Suhu udara luar

Semakin rendah suhu udara lingkungan akan semakin cepat menyerap panas air radiator,

3. Suhu air pendingin

Semakin rendah beda suhu air pendingin dengan suhu udara luar akan semakin cepat melepaskan panas,

4. Kerapatan (*density*) udara

Semakin kurang kerapatan udara semakin cepat pendinginannya,

5. Luas permukaan pendinginan

Pelepasan panas dari logam ke udara semakin besar bila permukaan sentuh dengan udara semakin luas,

6. Perbandingan panjang dan diameter tabung radiator

Semakin banyak air pendingin yang berada dalam radiator, akan semakin efektif sistem pendingin bekerja (M. Yusron Rahman, 13)

2.9 Pengertian Kerupuk

Kerupuk adalah suatu jenis makanan kering yang terbuat dari bahan-bahan yang mengandung pati cukup tinggi. Pengertian lain menyebutkan bahwa kerupuk merupakan jenis makanan kecil yang mengalami pengembangan volume membentuk produk yang porus dan mempunyai densitas rendah selama proses penggorengan. Pengembangan kerupuk merupakan proses ekspansi tiba-tiba dari uap air dalam struktur adonan sehingga diperoleh produk yang volumenya mengembang. Pada proses penggorengan akan terjadi penguapan air yang terikat dalam gel pati akibat peningkatan suhu dan dihasilkan tekanan uap yang mendesak gel pati sehingga terjadi pengembangan dan sekaligus terbentuk rongga-rongga udara pada kerupuk yang telah digoreng (ebookpangan.com, 2009).

2.10 Tanaman Kelapa

Tanaman kelapa (*Cocos nucifera L.*) merupakan salah satu tanaman yang termasuk dalam *famili Palmae* dan banyak tumbuh di daerah tropis, seperti di Indonesia. Tanaman kelapa membutuhkan lingkungan hidup yang sesuai untuk pertumbuhan dan produksinya. Faktor lingkungan itu adalah sinar matahari, temperatur, curah hujan, kelembaban, dan tanah (Palungkun, 2001).

Kelapa dikenal sebagai tanaman yang serbaguna karena seluruh bagian tanaman ini bermanfaat bagi kehidupan manusia serta mempunyai nilai ekonomis yang cukup tinggi. Salah satu bagian yang terpenting dari tanaman kelapa adalah

buah kelapa. Buah kelapa terdiri dari beberapa komponen yaitu kulit luar (*epicarp*), sabut (*mesocarp*), tempurung kelapa (*endocarp*), daging buah (*endosperm*), dan air kelapa.

2.10.1 Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa merupakan bagian buah kelapa yang fungsinya secara biologis adalah pelindung inti buah dan terletak di bagian sebelah dalam sabut dengan ketebalan berkisar antara 3–6 mm. Tempurung kelapa dikategorikan sebagai kayu keras tetapi mempunyai kadar lignin yang lebih tinggi dan kadar selulosa lebih rendah dengan kadar air sekitar enam sampai sembilan persen (dihitung berdasarkan berat kering) dan terutama tersusun dari lignin, selulosa dan hemiselulosa (Tilman, 1981). Apabila tempurung kelapa dibakar pada temperatur tinggi dalam ruangan yang tidak berhubungan dengan udara maka akan terjadi rangkaian proses penguraian penyusun tempurung kelapa tersebut dan akan menghasilkan arang, destilat, tar dan gas. Destilat ini merupakan komponen yang sering disebut sebagai asap cair (Pranata, 2008).

Tempurung kelapa termasuk golongan kayu keras dengan kadar air sekitar enam sampai sembilan persen (dihitung berdasar berat kering), dan terutama tersusun dari lignin, selulosa dan hemiselulosa. Data komposisi kimia tempurung kelapa dapat kita lihat pada tabel 2. berikut ini.

Tabel 2. Komposisi Kimia Tempurung Kelapa

Komponen	Presentase (%)
Selulosa	26,6
Hemiselulosa	27,7
Lignin	29,4
Abu	0,6
Komponen Ekstraktif	4,2
Uronat Anhidrat	3,5
Nitrogen	0,1
Air	8,0

(Sumber : Suhardiyono, 2008)

2.11 Kandungan Air

Kandungan air yang terdapat dalam bahan terutama hasil pertanian terbagi menjadi 2 bagian, yaitu air yang terdapat dalam keadaan bebas (free water) dan air yang terdapat dalam keadaan terikat (bound water). Air bebas adalah selisih antara kadar air suatu bahan pada suhu dan kelembaban tertentu dengan kadar air kesetimbangan pada suhu dan kelembaban yang sama. Air bebas umumnya terdapat pada bagian permukaan bahan. Air terikat adalah air yang dinakdug oleh suatu bahan yang berada salam kesetimbangan tekanan uap kurang dari cairan murni pada suhu yang sama. Air terikat terdapat pada bahan dalam keadaan terikat secara fisis dan kimia (sutijahartini,1985).

Untuk menguapkan air dari bahan pangan diperlukan energy penguapan. Besarnya energy penguapan untuk air terikat secara fisis, dan energy penguapan yang paling besar adalah energy penguapan untuk air terikat secara kimia. Pada proses pengeringan, air yang pertama kali diuapkan adalah air bebas, dilanjutkan dengan air terikat. Air yang dapat diuapkan tersebut dinamakan vaporable water (sutijahartini,1985).

Salah satu faktor yang mempengaruhi proses pengeringan adalah kadar air. Pengeringan bertujuan untuk mengurangi kadar air bahan sehingga menghambat perkembangan organisme pembusuk. Kadar air suatu bahan berpengaruh terhadap banyaknya air yang diuapkan dan lamanya proses pengeringan (Taib et al., 1988).

Kadar air suatu bahan merupakan banyaknya kandungan air persatuan bobot bahan yang dinyatakan dalam persen basis basah (wet basis) atau dalam persen basis kering (dry basis). Kadar air basis basah mempunyai batas maksimum teoritis sebesar 100%, sedangkan kadar air basis kering lebih 100%. Kadar air basis basah (M_{wb}) adalah perbandingan antara berat air yang ada dalam bahan dengan berat total bahan. Struktur bahan secara umum dapat didasarkan pada kadar air yang biasanya ditunjukkan dalam persentase kadar air basis basah atau basis kering. Kadar air basis basah (M_{wb}) banyak digunakan dalam penentuan harga pasar sedangkan kadar air basis kering (M_{db}) digunakan dalam bidang teknik. Persamaan dalam penentuan kadar air (Brooker et al, 1974) :

$$M_{wb} = \frac{wt-wd}{wd} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan : M_{wb} = kadar air basis basah (%)

W_t = berat total (gram)

W_d = berat padatan (gram)

$$M_{db} = \frac{wt-wd}{wd} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan : M_{db} = kadar air basis kering (%)

W_t = berat total (gram)

W_d = berat padatan (gram)

Metode penentuan kadar air dapat dilakukan dengan dua cara yaitu metode langsung dan metode tidak langsung. Metode langsung menerapkan metode oven dan metode destilasi. Pada metode oven, sampel bahan diletakkan ke dalam oven hingga diperoleh berat konstan pada bahan. Penentuan kadar air pada metode oven didasarkan pada banyaknya air yang hilang dari produk. Adapun pada metode destilasi, kadar air dihilangkan dengan memanaskan biji ke dalam air dan selanjutnya menentukan volume atau massa air yang hilang pada biji dalam uap yang terkondensasi atau dengan pengurangan berat sampel. Untuk menghitung kadar air basis basah digunakan rumus perhitungan (Brooker et al, 1974):

$$Ka = \frac{Ba}{(Ba + Bk)} \times 100\% \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

Ka = Kadar air basis basah (%)

Ba = Massa air dalam bahan (gram)

Bk = Massa bahan kering mutlak (gram)

Laju massa air yang dikeringkan menggunakan perhitungan (Brooker et al, 1974):

$$W_a = \frac{M_0 - M_1}{Waktu\ pengeringan} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

W_a = Laju massa air yang dikeringkan (gram/menit)

M_0 = Massa air dalam bahan (gram)

M_1 = Massa bahan produk kering (gram)

Laju pengeringan rata-rata dapat dituliskan dengan persamaan (Brooker et al, 1974):

$$\bar{W} = \frac{\text{pengurangan massa air (gram)}}{\text{waktu pengeringan (menit)}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

$$\bar{W} = \text{Laju pengeringan rata-rata (gram/menit)}$$

2.12 Entalpi

Entalpi adalah istilah dalam termodinamika yang menyatakan jumlah energi dari suatu sistem termodinamika. Entalpi terdiri dari energi dalam sistem, termasuk satu dari lima potensial termodinamika dan fungsi keadaan, juga volume dan tekanannya (merupakan besaran ekstensif).

Total entalpi (H) tidak bisa diukur secara langsung. Sama seperti pada mekanika klasik, hanya perubahannya yang dapat dinilai. Entalpi merupakan potensial termodinamika, maka untuk mengukur entalpi suatu sistem, kita harus menentukan titik referensi terlebih dahulu, baru kita dapat mengukur perubahan entalpi ΔH . Perubahan ΔH bernilai positif untuk reaksi *endoterm* dan negatif untuk *eksoterm*.

Untuk proses tekanan konstan, ΔH sama dengan perubahan energi dalam sistem ditambah kerja yang dilakukan sistem oleh lingkungannya. Maka, perubahan entalpi pada kondisi ini adalah panas yang diserap atau dilepas melalui reaksi kimia atau perpindahan panas eksternal.

Entalpi gas ideal, *solid*, dan *liquid* tidak tergantung pada tekanan. Benda nyata pada temperatur dan tekanan ruang biasanya kurang lebih mengikuti sifat ini, sehingga dapat menyederhanakan perhitungan entalpi (frandonata,2014).

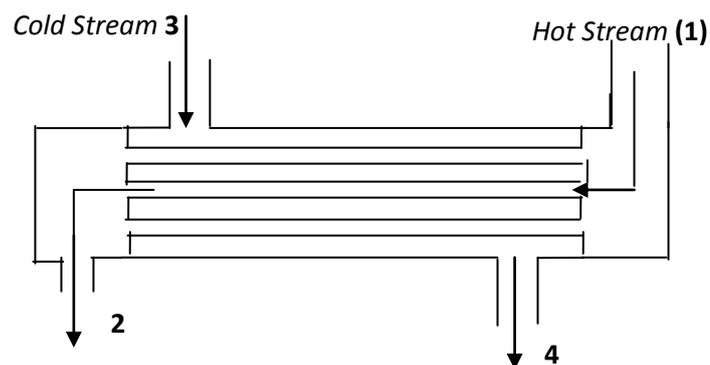
2.13 Entropi

Entropi adalah salah satu besaran termodinamika yang mengukur energi dalam sistem per satuan temperatur yang tidak dapat digunakan untuk melakukan usaha. Mungkin manifestasi yang paling umum dari entropi adalah (mengikuti hukum termodinamika), entropi dari sebuah sistem tertutup selalu naik dan pada kondisi perpindahan panas, energi panas berpindah dari komponen yang bersuhu lebih tinggi ke komponen yang bersuhu lebih rendah. Pada suatu sistem yang panasnya terisolasi, entropi hanya berjalan satu arah (bukan proses *reversible*/

bolak-balik). Entropi suatu sistem perlu diukur untuk menentukan bahwa energi tidak dapat dipakai untuk melakukan usaha pada proses-proses termodinamika. Proses-proses ini hanya bisa dilakukan oleh energi yang sudah diubah bentuknya, dan ketika energi diubah menjadi kerja/usaha, maka secara teoritis mempunyai efisiensi maksimum tertentu. Selama kerja/usaha tersebut, entropi akan terkumpul pada sistem, yang lalu terdisipasi dalam bentuk panas buangan. Entropi menunjukkan bahwa energi panas selalu mengalir secara spontan dari daerah yang suhunya lebih tinggi ke daerah yang suhunya lebih rendah (frandonata, 2014).

2.14 Exergi

Pengertian Exergi, exergi sebagai potensi kerja maksimum dalam bentuk materi atau energi dalam berinteraksi dengan lingkungannya. Potensi kerja ini diperoleh melalui proses *reversible*. Exergi dapat ditransfer di antara sistem dan dapat dihancurkan oleh *irreversible* di dalam sistem. Exergi adalah kerja maksimum teoritis yang mampu diperoleh saat sistem tersebut berinteraksi dengan lingkungan dalam mencapai kesetimbangan (Sutini, 2011).



Gambar 9. Heat Exchanger

exergi sistem terbuka

$$e_{f1} = \dot{m}_h (h_1 - h_0) - T_0 (s_1 - s_0) \dots\dots\dots (2.6)$$

$$e_{f2} = \dot{m}_h (h_2 - h_0) - T_0 (s_2 - s_0) \dots\dots\dots (2.7)$$

$$e_{f3} = \dot{m}_c (h_3 - h_4) - T_0 (s_3 - s_0) \dots\dots\dots (2.8)$$

$$e_{f4} = \dot{m}_c (h_4 - h_3) - T_0 (s_4 - s_3) \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

- \dot{m}_h = laju alir massa *steam*
 \dot{m}_c = laju alir massa fluida dingin
 e_{f1} = perpindahan exergi keadaan 1
 e_{f2} = perpindahan exergi keadaan 2
 e_{f3} = perpindahan exergi dari keadaan 3
 e_{f4} = perpindahan exergi keadaan 4
 h = entalphi
 s = entropi
 T_0 = Temperatur Refrensi (sumber: Sutini, 2011)