

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan negara yang memiliki industri pengolahan karet remah yang mencapai 93,4 %. PT. London Sumatra Tbk merupakan pabrik yang memproduksi karet remah. Agar produksi karet yang dihasilkan sesuai dengan standar mutu karet remah SIR 10, ditentukan oleh penanganan proses pengolahan yang baik. Salah satu proses pengolahan karet remah yang ikut menentukan kualitas mutu suatu produk karet adalah proses pengeringan yang bertujuan untuk mempertahankan agar karet benar-benar kering. Untuk melakukan pengeringan dibutuhkan udara panas untuk mengopitmalkan pengeringan.. Crumb rubber atau karet remah ini merupakan salah satu industri dari non-migas yang merupakan salah satu komoditas ekspor yang menjanjikan. Pada pengolahan Crumb rubber ini dalam setiap 100 kg bahan baku lateks atau karet menghasilkan setidaknya kurang lebih 85% hasil karet bersih, 10% limbah cair dan 3%-5% limbah padat (Prawiranti et al., 2016; Wahyudi, 2022).

Indonesia merupakan salah satu yang memproduksi karet terbesar yaitu sekitar 93,4% Dari hasil produksi karet alam di Indonesia, total produksi karet alam sebagian besar berkisar 85%-90%. Karet alam diekspor dengan beberapa klasifikasi yang meliputi: lateks pekat, Crepe, RSS (Ribbed Smoked Sheet), ADS (Air Dried Sheet), karet standar teknik (SIR = Standard Indonesian Rubber), dan karet skim. Karet standar teknis atau umumnya dikenal dan disebut dengan karet remah (crumb rubber), merupakan jenis karet yang mutunya dinilai berdasarkan sifat-sifat fisika kimia. Permintaan dari karet jenis ini sangat besar khususnya permintaan dari sektor industri ban, yakni menyerap sekitar 70% dari total produksi karet alam, menyebabkan Crumb rubber selalu menjadi unggulan ekspor Indonesia (Latif et al., 2007)

Pengeringan merupakan perpindahan massa air dari bahan yang dikeringkan ke media pengering (*dryer*). *Heater* merupakan alat penukar kalor dimana di dalamnya terjadi aliran perpindahan panas diantara dua fluida atau lebih pada temperatur yang berbeda. Bahan bakar yang digunakan adalah biomassa cangkang kelapa sawit dibakar

dalam mesin pembakar secara langsung (*direct combustion*). Transfer massa ini ditandai dengan pengurangan massa bahan dan perubahan bentuk fisiknya (tekstur, warna, fasa). Energi panas yang dihasilkan pembakaran biomassa ini digunakan untuk memanaskan media pengering (*dryer*). Udara panas dialirkan melalui pipa penyalur (*ducting*) kedalam ruang pengering yang akan dilalui karet remah basah. Suhu pengeringan yang umumnya digunakan berkisar $110\text{ }^{\circ}\text{C} - 120\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Afrizal, 2014).

Namun demikian, dalam sistem *ducting* tersebut sering terjadi masalah terkait kehilangan panas (*heat loss*) yang cukup signifikan selama pemindahan udara panas dari unit heater ke unit *dryer*. *Heat loss* ini terjadi akibat beberapa faktor, seperti isolasi termal *ducting* yang tidak memadai, kebocoran udara panas di sepanjang saluran *ducting*, serta desain saluran *ducting* yang kurang optimal yang menyebabkan aliran panas tidak efisien. Kondisi ini tidak hanya menurunkan suhu udara yang sampai ke unit *dryer*, tetapi juga berkontribusi terhadap pemborosan energi secara keseluruhan.

Pemborosan energi akibat *heat loss* pada sistem *ducting* berdampak langsung terhadap biaya operasional pabrik, karena unit *heater* harus bekerja lebih keras untuk menghasilkan panas yang cukup guna mengkompensasi kehilangan energi tersebut. Selain itu, inefisiensi energi ini juga berimplikasi pada aspek lingkungan, seperti meningkatnya emisi gas rumah kaca yang berkontribusi pada perubahan iklim. Oleh sebab itu, pemahaman yang mendalam mengenai besarnya *heat loss* dan efisiensi energi pada sistem *ducting* sangat penting untuk dilakukan guna meningkatkan kinerja proses pengeringan dan mendukung penghematan energi di industri.

PT. London Sumatra Tbk sebagai salah satu perusahaan pengolahan karet terbesar di Indonesia, memiliki kebutuhan untuk meningkatkan efisiensi energi pada proses produksinya guna meningkatkan daya saing dan keberlanjutan usaha. Melakukan analisis *heat loss* dan efisiensi energi pada sistem *ducting* di pabrik karet ini menjadi langkah strategis yang dapat memberikan gambaran jelas mengenai potensi perbaikan serta solusi teknis yang tepat. Dengan demikian, hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif dalam mengoptimalkan penggunaan energi, mengurangi biaya produksi, serta mendukung upaya konservasi energi dan pelestarian lingkungan.

Penelitian rugi rugi panas yang dilakukan oleh Geraldo Cakrawa Herman dkk tahun 2020 , menyatakan bahwa *Heat loss* dan *pressure drop* merupakan hal umum yang terjadi pada sistem pemipaan, ini disebabkan karena beberapa hal, dan penelitian oleh Geraldo tahun 2020 menyatakan bahwa pemilihan bahan isolasi, tebal isolasi, dan fluida panas mempengaruhi nilai rugi rugi panas. (Geraldo, 2020)

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut maka penulis menetapkan judul **“Analisa *Heat Loss* dan Efisiensi Energi Pada Sistem *Ducting* Saat Proses Produksi Pentransferan Udara Panas Dari Unit Heater Ke Unit *Dryer*”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu :

1. Berapa besar kehilangan panas (*heat loss*) yang terjadi pada sistem *ducting* saat proses pentransferan udara panas dari unit *heater* menuju unit *dryer*
2. Faktor apa saja yang mempengaruhi tingkat kehilangan panas pada sistem *ducting*
3. Apa saja potensi perbaikan atau rekomendasi teknis yang dapat dilakukan untuk mengurangi *heat loss* dan meningkatkan efisiensi energi pada sistem *ducting* di pabrik tersebut.

1.3 Tujuan dan Manfaat

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, maka tujuan penelitian ini yaitu :

1. Untuk mengetahui berapa besar kehilangan panas (*heat loss*) yang terjadi pada sistem *ducting* saat proses pentransferan udara panas dari unit *heater* menuju unit *dryer*
2. Untuk mengetahui faktor apa saja yang mempengaruhi tingkat kehilangan panas pada sistem *ducting*
3. Untuk mengetahui apa saja potensi perbaikan atau rekomendasi teknis yang dapat dilakukan untuk mengurangi *heat loss* dan meningkatkan efisiensi energi pada sistem *ducting* di pabrik tersebut

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, maka manfaat penelitian ini yaitu :

1. Adapun manfaat penelitian ini untuk meningkatkan kemampuan mahasiswa sebagai bahan pembelajaran dan referensi akademik, khususnya yang mempelajari bidang teknik industri, teknik mesin, dan energi, terkait analisis *heat loss* dan efisiensi energi pada sistem *ducting*.
2. Adapun manfaat penelitian ini untuk membantu pabrik dalam mengurangi pemborosan energi dan dampak lingkungan yang diakibatkan oleh *heat loss* pada proses produksi.

1.4 Batasan Masalah dan Asumsi

a. Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Sistem yang dianalisis hanya terbatas pada *ducting* udara panas dari unit heater ke unit *dryer*, tidak termasuk unit heater dan unit *dryer* secara keseluruhan.
2. Pengukuran dan analisis dilakukan pada kondisi operasi normal pabrik, tanpa memperhitungkan variasi ekstrim atau kondisi darurat.
3. Bahan isolasi yang digunakan pada *ducting* tidak diganti selama penelitian, sehingga analisis *heat loss* berdasarkan kondisi isolasi yang ada saat ini.
4. Pengaruh kebocoran udara panas dari sambungan *ducting* dianggap minimal dan tidak dianalisis secara terpisah.
5. Efisiensi energi dihitung berdasarkan energi panas masuk dan keluar udara panas, tanpa mempertimbangkan energi listrik atau bahan bakar yang digunakan unit *heater*.
6. Lingkungan sekitar *ducting* diasumsikan stabil dengan suhu ambient konstan selama pengukuran berlangsung.

b. Asumsi

Adapun asumsi dalam penelitian ini adalah :

1. Aliran udara panas di dalam *ducting* bersifat *steady-state* (tetap) selama pengukuran dilakukan.
2. Tidak ada perubahan signifikan pada sifat fisik udara (kepadatan, tekanan) selama aliran udara panas.
3. Panas hilang melalui *ducting* hanya melalui mekanisme konduksi, konveksi, dan radiasi pada permukaan *ducting*.
4. Isolasi *ducting* dalam kondisi baik dan homogen di seluruh permukaan *ducting*.

5. Alat ukur suhu dan kecepatan udara berfungsi dengan baik dan hasil pengukurannya akurat.
6. Tidak ada sumber panas eksternal lain yang mempengaruhi suhu udara panas selama proses transfer di *ducting*.

1.5 Sistematika Penulisan

BAB I : PENDAHULUAN

Meliputi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, Batasan masalah dan asumsi, dan sistematika penulisan

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Meliputi landasan teori yang berisikan hal-hal mengenai judul dan metode perpindahan panas beserta analisisnya yang digunakan bertujuan untuk menguatkan dalam memecahkan persoalan.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Meliputi waktu dan Lokasi penelitian, bahan dan alat penelitian, jenis dan sumber data, metode pengumpulan data, Analisa proses, kerangka konseptual.

BAB IV : PEMBAHASAN

Meliputi metode pengumpulan data, pengolahan data

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Meliputi Kesimpulan dari penelitian ini serta saran dan masukan yang dianggap perlu

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Industri Pengolahan Karet

Pabrik karet adalah fasilitas produksi yang berfokus pada pengolahan bahan baku karet menjadi berbagai produk karet. Bahan baku yang karet yang digunakan dalam pabrik karet dapat berupa karet alam atau karet sintesis, tergantung pada jenis produk yang ingin dihasilkan. Produk karet yang dihasilkan dari pabrik karet dapat berupa ban mobil, ban sepeda, tali karet, karet sintesis, dan produk karet lainnya. Produk karet yang dihasilkan oleh pabrik sangat dibutuhkan dalam berbagai sektor industri lainnya, seperti otomotif, konstruksi, dan manufaktur. Dalam pengolahan karet sendiri ada mempunyai beberapa tahap mulai dari bahan baku dan sampai hasil produk. Hasil produk dari pabrik karet ada beberapa jenis yaitu SIR 10, SIR 20 dan lain-lain. Pabrik karet PT. London Sumatra Tbk Sei Rumbia Rubber Factory adalah pabrik karet yang mengolah karet bahan baku menjadi hasil produk sir 10.(PT.London Sumatra Tbk)

Karet merupakan suatu polimer hidrokarbon yang terbentuk dari emulsi kesesuaian yang diperoleh dari getah tumbuhan dan ada juga hasil produksi secara sintetis. Produksi karet alam Indonesia terbesar berupa karet remah yang mencapai 93,4%. Pengeringan merupakan kritikal proses yang menentukan mutu akhir produk dan salah satu tahapan yang memerlukan energi cukup besar. Energi yang digunakan dalam industri umumnya bersumber dari energi fosil, namun karena ketersediaan sumber energi fosil semakin lama cenderung menurun. Oleh karena itu perlu sumber energi alternatif yaitu biomassa dari limbah industri ini berupa tandan kosong sawit (TKS) sebesar 4,8juta ton, cangkang 1,5 juta ton dan sekitar 1,8 juta ton berupa serabut. Dalam pengeringan karet remah, biomassa dikonversi menjadi sumber energi panas dengan teknik gasifikasi dalam sistem unit pengering. (Vanchlepi & Suwardin, 2014)

2.1.1 Proses Pengolahan Karet Spesifikasi Teknis dengan Bahan Olah dari *Lump*

Tahapan proses pengolahan karet spesifikasi teknis (TSR/SIR) yaitu dengan bahan olah berupa lump dan karet *slab/koagulum* mutu rendah. Perbedaan signifikan dengan yang terbuat dari bahan berupa lateks segar dari kebun adalah bahwa sebelum dilakukan peremahan menjadi butiran karet remah . Adapun lump maupun slab mutu rendah terlebih dahulu harus diberi perlakuan perendaman dan pengecilan ukuran/pemotongan/penghancuran lump, pembuatan lembaran lembaran compo, dan pencucian

a. Penerimaan Bahan Olah

1. Berbagai jenis lump dan tingkat/kondisi mutu dari berbagai kebun karet (perusahaan-kebun karet rakyat) dilakukan penerimaan, baik bobot jenis maupun kondisinya.
2. Sewaktu penerimaan hendaknya dilakukan pemilahan/sortasi kondisi *lump* serta memisahkan kontaminan yang tampak dominan.
3. Selanjutnya, setelah dilakukan penimbangan bobot lump, kemudian dilakukan penetapan KKK *lump (estimated)*. Biasanya di pabrik TSR (SIR) telah dibuat indikator estimasi nilai KKK lump berdasarkan empiris di pabrik yang bersangkutan.



Gambar 2.1 *Lump Store*

Sumber : PT. London Sumatra Tbk, (2022)

b. Pemecahan Ukuran Bahan Olah *Lump*

1. Lump dari ruangan penerimaan secara bertahap dan berangsur-angsur dimasukkan ke mesin pemecah *lump* (*Pre-Breaker Machine Unit*) untuk proses awal mengubah ukuran lump dari bongkahan berukuran besar ke yang lebih kecil.
2. Demikian seterusnya, proses perubahan ukuran lump dilanjutkan ke unit *Hummer Mill* agar ukuran lump menjadi lebih kecil lagi untuk memudahkan dimasukkannya ke mesin penggiling (*creeper*).
3. Selain dari fungsi memperkecil ukuran *lump*, *hummer mill* juga berfungsi untuk memecahkan sekaligus membersihkan lump/mutu rendah dari potongan kayu, tanah yang melekat pada lump, dan sebagainya.



Gambar 2.2 *Pre Breaker*

Sumber: PT. London Sumatra Tbk, (2022)

c. Pencampuran Berbagai Ukuran Kecil *Lump* dan Pencucian

1. Lump yang telah berukuran kecil-kecil diaduk campurkan sekaligus dilakukan proses pencucian/pembersihan lump dari berbagai kotoran yang masih ada pada butiran *lump* tersebut.
2. Alat pecampur sekaligus pencuci butiran butiran kecil lump adalah *Macro Blending Unit*.
3. Volume air untuk membersihkan lump dari kotoran agar diatur sedemikian rupa mencakupi hingga *lump* menjadi relatif bersih.



Gambar 2.3 *Blending Tank*

Sumber: PT. London Sumatra Tbk, (2022)

- d. Penggilingan Bongkah Kecil *Lump* pada Mesin Penggiling (*Creeper*)
1. Setelah dilakukan blending dan pencucian, kemudian bongkah bongkah kecil *lump* secara bertahap dan teratur dimasukkan ke unit penggilingan (*Creeper*)
 2. Unit mesin penggiling *lump* biasanya berseri (*semi continues process*). Secara berturut-turut, lembaran-lembaran Compo yang terbentuk masuk dan keluar berulang ulang dari seri gilingan A ke B dan seterusnya hingga keluar dari seri terakhir *creeper*. Lembaran Compo mempunyai ketebalan sekitar 5-8 cm.



Gambar 2.4 *Creeper*

Sumber: PT. London Sumatra Tbk, (2022)

e. Peremahan

Setelah dilakukan proses penggilingan pada *creeper* selanjutnya secara bertahap dan teratur dilakukan proses peremahan pada unit mesin *Hammer Mill (Cutter Mill)*



Gambar 2.5 *Hammer Mill*

Sumbe: PT. London Sumatra Tbk, (2022)

a. Proses Pengeringan Karet Remah

1. Karet remah pada kotk-kotak (boxes) bersekat akan dikeringkan dalam ruangan pengeringan *Unit-Dryer/Box Dryer* pada suhu 100-120 °C.
2. Kapasitas pengering *Unit-Dryer/Box Dryer* lebih kurang 15-20 menit, sedangkan pada *Box dryer* sekitar 12-15 menit/seri proses pengeringan

b. Pengempaan Bongkah Karet Remah Kering

1. Bongkah-bongkah karet remah kering yang telah ditimbang masing masing seberat 35 kg, kemudian dikempa/dipadatkan pada mesin kempa (*Balling Pressed Unit*)
2. Jumlah bobot karet spesifikasi teknis/bongkah (bales/block) 25-35 kg. Namun, kini ada pula bobot/bales 33,3 kg/bales, kemudian di-pallet (*palletized*) dalam jumlah 1 ton atau 1,2 ton.
3. Ketentuan jumlah bobot/bales maupun per pallet tergantung dari kesepakatan dari perusahaan/pabrik karet yang bersangkutan dalam transaksi/kontraknya.

4. Spesifikasi umum kekuatan tekan mesin kempa berkisar 60-100 ton.
 5. Plastik transparan (*polythene*) yang digunakan untuk pembungkus bongkahan karet (TSR/SIR) harus memenuhi spesifikasi, antara lain sebagai berikut :
 - a) Warna : transparan
 - b) Tebal : 0,3 mm
 - c) Titik leleh : 108oC
 - d) Berat jenis : 0,92
 - e) Jenis plastik : P.E.
- a. Ketentuan warna identitas/symbol pada pembungkus plastik untuk masing-masing jenis/tingkatan mutu karet *SIR* ditetapkan sebagai berikut.
- a) SIR 3 L : hijau muda
 - b) SIR 5 : hijau tua
 - c) SIR 10 : cokelat
 - d) SIR 20 : merah

2.2 Dasar Dasar Perpindahan Panas

Perpindahan panas (*heat transfer*) merupakan cabang penting dalam ilmu teknik yang mempelajari cara energi panas berpindah antara dua sistem atau benda karena adanya perbedaan temperatur. Dalam fisika, panas bukanlah zat, melainkan bentuk energi yang berpindah sebagai akibat dari gradien suhu. Ketika dua sistem memiliki suhu yang berbeda, maka energi akan berpindah dari sistem yang memiliki temperatur lebih tinggi ke sistem yang memiliki temperatur lebih rendah, sampai tercapai keseimbangan termal (*thermal equilibrium*).

Ilmu perpindahan panas memiliki peran yang sangat penting dalam berbagai bidang, seperti teknik mesin, teknik kimia, teknik sipil, arsitektur, sistem pendingin dan pemanas (*HVAC*), pembangkit listrik, industri makanan, hingga rekayasa nuklir. Dalam aplikasi praktisnya, proses perpindahan panas digunakan dalam perancangan insulasi

bangunan, sistem penukar kalor, pendinginan peralatan elektronik, dan pengendalian temperatur proses industri.

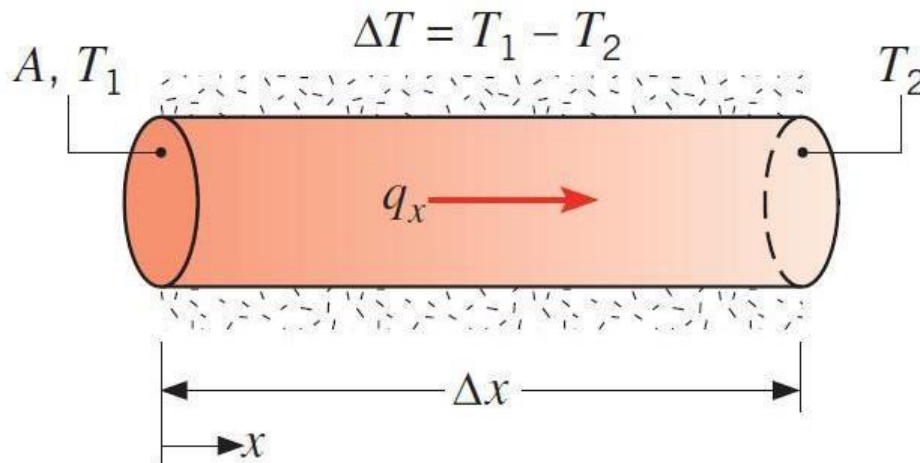
Terdapat tiga mekanisme utama dalam perpindahan panas:

1. Konduksi (*conduction*)
2. Konveksi (*convection*)
3. Radiasi (*radiation*)

Masing-masing mekanisme memiliki dasar teori yang berbeda serta rumus-rumus tersendiri yang digunakan dalam analisis dan perhitungannya.

2.2.1 Perpindahan Panas Secara Konduksi (*Conduction*)

Konduksi adalah proses perpindahan energi panas dalam suatu zat padat, cair, atau gas yang tidak melibatkan pergerakan *massa* zat tersebut secara makroskopis. Energi berpindah karena tumbukan antar partikel, getaran atom, dan gerakan elektron bebas. Konduksi paling dominan terjadi pada logam dan bahan padat karena kerapatan molekulnya yang tinggi. Hukum dasar konduksi adalah Hukum Fourier, yang menyatakan bahwa laju perpindahan panas per satuan luas berbanding lurus dengan gradien suhu. Cepat lambatnya proses perpindahan panas konduksi bergantung kepada gradien temperatur, luas permukaan yang tegak lurus terhadap arah hantaran energi panas, dan juga bergantung kepada sifat konduktivitas termal bahan. Apabila perpindahan panas tersebut berlangsung didalam suatu bahan yang memiliki sifat konduktivitas termal (k) yang konstan, maka laju perpindahan panas konduksi didalam bahan tersebut (Q_w) hanya akan bergantung pada parameter beda parameter beda temperatur dan luas permukaan (A) yang dilalui oleh proses perpindahan panas konduksi.



Gambar 2.6 Laju Perpindahan Panas Konduksi

Laju perpindahan panas konduksi tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan (2.1) (Soekardi, 2019)

$$Q_w = -k \cdot A \cdot \nabla T \dots \dots \dots (2.1)$$

Di mana :

Q_w : laju perpindahan panas konduksi

A : luas permukaan yang tegak lurus arah perpindahan panas konduksi

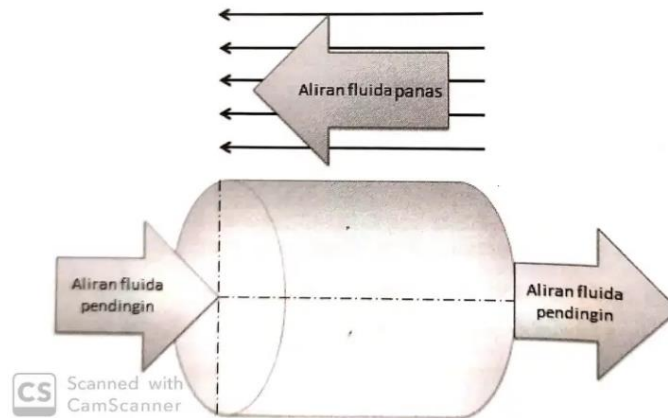
K : konduktivitas termal bahan

∇T : gradien temperatur atau perubahan temperatur dalam ketiga arah

a. Perpindahan Panas Secara Konduksi Pada Silindris

Kebanyakan sistem termal yang dipergunakan di industri adalah sistem termal berjenis tubular, yaitu sistem termal dengan komponen utama berbentuk kumpulan pipa atau *tube* dengan permukaan perpindahan panas berbentuk silinder sebagai media tempat terjadinya pertukaran energi panas. Pada gambar 2.11 adalah salah satu contoh sederhana tentang gambar proses pertukaran energi panas yang berlangsung pada salah satu pipa yang terdapat di dalam sebuah alat penukar kalor tubular. Pada gambar tersebut, aliran fluida yang mengalir di bagian dalam pipa adalah aliran fluida pendingin yang akan menyerap sejumlah tertentu energi panas yang berasal dari aliran fluida yang lebih panas yang bersikulasi dan berkontak dengan permukaan luar pipa. Karena

adanya perbedaan temperatur antara aliran fluida di luar pipa dengan aliran fluida yang bersirkulasi di dalam pipa maka terdapat sejumlah tertentu energi panas yang ditransmisikan dari aliran fluida panas ke arah aliran fluida dingin di dalam pipa melalui perantara dinding pipa bagian luar ke permukaan dinding pipa bagian dalam.



Gambar 2.7 Perpindahan panas konduksi pada silindris

Ada benda yang mudah sekali menghantarkan atau merambatkan kalor, misalnya besi, baja, perak, tembaga aluminium dan jenis-jenis logam lainnya. Benda-benda yang mudah menghantarkan panas ini disebut dengan konduktor. Sebaliknya ada benda yang sulit merambatkan atau menghantarkan kalor, misalnya karet, plastik, kaca dan sebagainya. Benda yang sulit menghantarkan kalor ini disebut dengan isolator.

Nilai konduktivitas termal merupakan sifat fisik suatu bahan atau zat yang sangat penting dalam pemilihan untuk suatu aplikasi proses perpindahan kalor (panas). Nilai konduktivitas termal yang tinggi menunjukkan laju perpindahan energi yang besar dan bahan yang mempunyai konduktivitas termal yang tinggi disebut konduktor sedangkan yang mempunyai nilai k yang rendah disebut isolator.

Berbagai sistem pipa pada instalasi industri sering kali dilapisi dengan bahan isolasi yang terbuat dari jenis bahan dan ketebalan tertentu. Hal tersebut dilakukan untuk mengurangi kehilangan panas ke sekeliling atau sebaliknya. Tentu saja penambahan bahan isolasi akan menyebabkan tahanan termal sistem

menjadi lebih tinggi, sehingga laju kehilangan panas ke sekeliling pipa dapat dipertahankan pada harga tertentu yang cukup rendah.

Untuk laju perpindahan panas konduksi yang terjadi disepanjang jalur distribusi udara panas, maka dapat digunakan persamaan (2.2) (Holman, 1988)

$$\frac{Q_{kond}}{l} = \frac{2\pi(T_w - T_\infty)}{\frac{1}{k_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{k_2} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{k_3} \ln \frac{r_4}{r_3}} \text{ (kkal/m.jam)} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

Q_{kond} : Perpindahan panas konduksi sepanjang jalur distribusi steam (kkal/m.jam)

T_w : Temperatur awal (oF)

T_∞ : Temperatur lingkungan (oF)

K_1 : Pipa baja karbon (BTU/jam.ft oF)

K_2 : Konduktivitas isolator termal rockwool (BTU/jam. °F)

K_3 : Konduktivitas plat aluminium (BTU/jam. oF)

r_1 : Jari-jari dalam pipa (m) r_2 : Jari-jari luar pipa (m)

r_3 : Jari-jari isolasi rockwool (m)

r_4 : Jari-jari isolasi plat aluminium (m)

2.2.2 Perpindahan Panas Secara Konveksi (*Convection*)

Proses perpindahan panas yang berlangsung melalui interaksi antara aliran fluida dengan suatu permukaan padat yang dialirinya dinamakan perpindahan panas konveksi. Sebuah sistem termal terdiri dari suatu fluida yang mengalir pada kondisi tekanan, temperatur dan kecepatan tertentu, dan berkontak dengan suatu permukaan padat. Prinsip mekanika fluida menerangkan bahwa akibat adanya viskositas maka pada batas antara permukaan dengan aliran fluida akan terbentuk suatu lapisan batas yang memiliki ketebalan tertentu yang terdapat gradien kecepatan. Pada daerah tersebut besarnya kecepatan aliran fluida menurun dari arah aliran utama menuju ke permukaan pelat, dan pada daerah dekat permukaan kecepatan lokal aliran fluida semakin mengecil dan kemudian mendekati nol.

Selanjutnya, apabila pada saat yang bersamaan terdapat beda temperatur antara aliran fluida utama dengan permukaan padat tersebut, maka akan terdapat juga gradien temperatur antara permukaan dan aliran fluida. Akibatnya, akan ada sejumlah tertentu energi panas yang berpindah dari media yang bertemperatur lebih tinggi ke media yang bertemperatur lebih rendah, bertenggang kepada arah gradien temperatur yang terbentuk pada sistem termal tersebut.

Mekanisme perpindahan panas akibat adanya gradien temperatur yang terbentuk diantara permukaan padat dengan aliran fluida yang berkontak dengannya disebut perpindahan panas konveksi. Dalam hal permukaan pelat datar memiliki temperatur yang lebih tinggi dari pada temperatur rata-rata fluida yang mengalir dan kontak dengan permukaan atas pelat maka perpindahan panas konveksi berlangsung dalam arah dari permukaan pelat ke aliran fluida. Sebaliknya, apabila temperatur aliran fluida lebih tinggi dari pada temperatur permukaan pelat maka perpindahan panas konveksi berlangsung dari aliran fluida ke arah permukaan pelat.

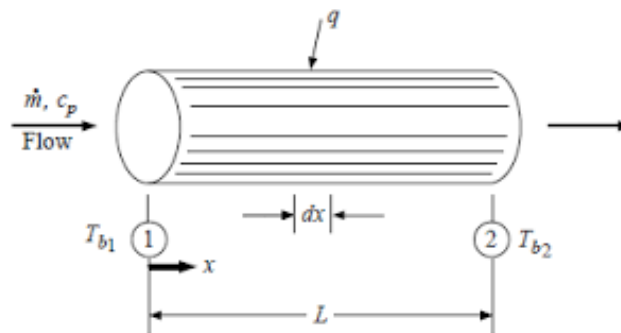
Laju perpindahan panas konveksi, Q_0 atau cepat lambatnya energi panas berpindah secara konveksi bergantung kepada seberapa besar beda temperatur yang terjadi, seberapa besar luas permukaan perpindahan panas yang berkontak dengan aliran fluida, serta bergantung pula kepada faktor tingkat keadaan termodinamika aliran fluida, seperti jenis fluida, tekanan, temperatur, dan kecepatan rata-rata aliran. (Soekardi, 2019).

Secara singkat mekanisme konveksi adalah melalui beberapa tahap sebagai berikut:

1. Pertama kalor mengalir secara konduksi dari permukaan padat ke partikel partikel fluida yang di dekatnya.
2. Kalor ini menaikkan temperatur fluida dan energi dalamnya. Kemudian partikel-partikel yang bertemperatur tinggi bergerak ke arah partikel-partikel yang bertemperatur lebih rendah. Dengan demikian timbul aliran fluida dan energi secara simultan. Energi sebenarnya disimpan pula dalam partikel-

partikel fluida dan diangkut sebagai akibat gerakan *massa* partikel-partikel tersebut.

Perpindahan kalor konveksi merupakan perpindahan kalor dari suatu bagian ke bagian lain dari suatu fluida atau antar fluida ke fluida lain dengan adanya gerakan/aliran fluida-fluida tersebut, dimana perpindahan kalor nya dengan arah tegak lurus terhadap arah aliran fluida.



Gambar 2.8 Perpindahan kalor konveksi di dalam pipa

Laju perpindahan panas konveksi dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan (2.3) (Chandrasa, 2019)

$$Q_o = h_o A_o (T_w - T_f) \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

h_o = Koefisien perpindahan panas konveksi, yang bergantung pada dimensi dan geometri permukaan serta bergantung kepada tingkat keadaan termodinamika aliran fluida

A_o = Luas permukaan perpindahan panas konveksi, yaitu luas permukaan padat yang berkontak dengan aliran fluida

T_w = Temperatur dalam

T^∞ = Temperatur udara sekitar

Untuk mencari nilai luas penampang persatuan panjang, maka dapat digunakan persamaan (2.4)

$$A = 2\pi rL \text{ (m}^2\text{)}$$

Dimana :

A : luas penampang persatuan Panjang (m²)

π : 3,14

r : jari-jari isolator pipa (m²)

L : panjang pipa (m)

Untuk mencari nilai koefiesin perpindahan panas (h), maka dapat digunakan persamaan (2.5)

$$h = \frac{nu \cdot k}{Lc} \text{ (W/m}^2\text{ }^\circ\text{K)} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

h : koefisien perpindahan kalor (W/m² °K)

nu : bilangan *nusselts*

k : konduktivitas termal udara (W/m² °K)

LC:D1 : diameter dalam pipa baja karbon (m)

Untuk mencari nilai temperature rata-rata (T_f), maka dapat digunakan persamaan (2.6)

$$T_f = \frac{T_w + T_\infty}{2} \text{ (}^\circ\text{F)} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

T_f : Temperatur rata-rata (°F)

T_w : temperature fluida (°F)

T_∞ : temperature sekitar (°F)

Setelah nilai temperatur rata-rata (T_f) didapat, maka didapat nilai Dari Bilangan *Prandtl* (Pr), nilai konduktivitas termal (k), nilai kinematikan viskositas (ν), dan nilai kalor spesifik (C_p). Untuk mencari Bilangan Nusslet pada pipa, maka digunakan persamaan (2.7)

$$Nu = 0,023 (Re)^{0,8}(Pr)^{0,4} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

Nu : Bilangan *nusselt*

Re : Bilangan *Reynolds*

Pr : Bilangan *Prandlt*

2.2.3 Perpindahan Panas Secara Radiasi

Perpindahan panas radiasi merupakan salah satu perpindahan yang banyak ditemui pada beragam mesin termal yang bekerja dengan kondisi temperatur tinggi, seperti misalnya yang terjadi pada mesin turbin gas, motor bakar torak, mesin turbin uap. Pada umumnya, sistem termal yang bekerja dengan temperatur tinggi, perpindahan panas radiasinya lebih dominan dibandingkan dengan konveksi ataupun konduksi.

Berbeda dengan proses perpindahan panas konduksi dan konveksi yang berlangsung melalui perantara berupa bahan atau material tertentu, proses perpindahan panas radiasi, yang berupa pancaran energi panas atau radiasi termal, berlangsung melalui media vakum. Pada dasarnya setiap benda yang memiliki temperatur tertentu memancarkan sejumlah tertentu energi panas, dan besarnya energi panas yang dipancarkannya selain bergantung kepada temperatur dan luas permukaan benda tersebut, juga bergantung kepada sifat permukaannya. Laju pancaran energi panas yang diradiasikan dari permukaan sebuah benda yang memiliki temperatur tertentu, sebesar T , dapat dinyatakan dengan persamaan (2.12) (Soekardi, 2019)

$$Q_r = \varepsilon\sigma AT^4 \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

ε : Emisivitas permukaan benda

σ : Konstanta *Boltzmann* ($5,669 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$)

A : Luas permukaan yang memancarkan radiasi panas

T : 21 Temperatur *absolut* permukaan benda tersebut

Pada kasus 21emper sebuah benda memiliki emisivitas radiasi ε_1 bertemperatur tertentu sebesar (T_1) dan memiliki luas permukaan A_1 , benda tersebut berada di dalam sebuah sistem lain yang lebih besar daengan teemperatur yang berbeda (T_2) yang lebih rendah dari pada T_1 . Oleh karena itu, laju pertukaran energi panas secara radiasi diantara kedua permukaan tersebut dapat diperkirakan besarnya melalui persamaan (2.9)

$$Q_r = \varepsilon_1\sigma A_1(T_1^4 - T_2^4) \dots\dots\dots(2.9)$$

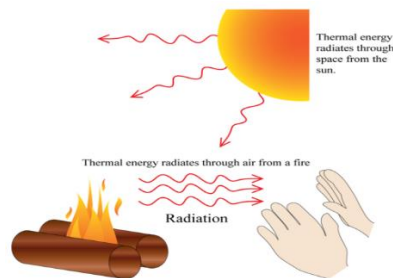
Dimana :

ε : emisivitas permukaan benda

σ : Konstanta Boltzmann ($5,669 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$)

A : luas permukaan yang memancarkan radiasi panas

T : 21emperature absolut permukaan benda tersebut



Gambar 2.9 Perpindahan panas secara radiasi

2.3 Instalasi *Ducting*



Gambar 2.10 Ducting

Ducting adalah sistem saluran tertutup yang digunakan untuk menyalurkan udara dari satu titik ke titik lain, biasanya dalam sistem *Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC)*. Udara yang dialirkan dapat berupa udara panas, udara dingin, maupun udara segar tergantung pada tujuan sistem. *Ducting* berfungsi untuk mengalirkan udara dengan laju aliran (*flow rate*) tertentu, menjaga kualitas udara yang dialirkan, dan meminimalkan kehilangan tekanan (*pressure drop*) dan kebisingan.

Prinsip kerja *ducting* didasarkan pada mekanika fluida, khususnya hukum kontinuitas dan hukum Bernoulli. Hukum kontinuitas menyatakan bahwa laju aliran volumetrik udara tetap konstan di sepanjang saluran, yaitu:

$$Q = A \times v \dots\dots\dots (2.10)$$

di mana

Q : debit udara (m^3/s),

A : luas penampang (m^2),

v : kecepatan udara (m/s).

2.3.1 Bahan Saluran Ducting

2.3.1.1 Saluran Logam

Saluran udara umumnya dibentuk dengan melipat lembaran logam menjadi bentuk yang diinginkan. Secara tradisional, saluran udara AC terbuat dari baja galvanis, diikuti oleh aluminium. Logam lain yang digunakan dalam kondisi khusus adalah tembaga dan baja tahan karat. Logam yang digunakan secara luas bergantung pada aplikasi saluran udara dan tercantum di bawah ini:

1. Baja galvanis : Ini adalah material standar yang paling umum digunakan dalam fabrikasi saluran udara untuk sebagian besar sistem pendingin udara kenyamanan. Spesifikasi untuk lembaran baja galvanis adalah ASTM A653, dengan lapisan G90
2. Aluminium: Sistem ini banyak digunakan dalam aplikasi ruang bersih. Sistem ini juga disukai untuk udara yang mengandung uap air, sistem pembuangan khusus, dan sistem saluran hias. Spesifikasi untuk lembaran aluminium adalah ASTM B209, paduan 1100, 3003, atau 5052.
3. Baja Tahan Karat: Baja ini digunakan dalam sistem saluran untuk pembuangan dapur, udara lembap, dan pembuangan asap. Spesifikasi untuk lembaran baja tahan karat adalah ASTM A167, Kelas 302 atau 304, Kondisi A (anil), Finishing No. 4 untuk saluran terbuka dan Finishing No. 2B untuk saluran tersembunyi.
4. Baja Karbon (Besi Hitam): Banyak digunakan dalam aplikasi yang melibatkan cerobong asap, cerobong asap, kap, serta persyaratan suhu tinggi dan pelapisan khusus lainnya untuk penggunaan industri
5. Tembaga: Terutama digunakan untuk pembuangan bahan kimia tertentu dan saluran udara hias.

Tabel 2.1 Konduktivitas termal material

Jenis Material	Konduktivitas Termal (W/m.K)
Baja Karbon	43
Alumunium	205
Tembaga	390
Besi	45-55
Kaca	0.8-1.5
Batu Bata	0.7-10
Kayu	0.1-0.2
Polistirena	0.03
Karet 0.15 – 0.025	0.15-0.25
Beton	1.4-2.0

2.3.1.2 Saluran Non-Logam

Kategori ini mencakup saluran yang terbuat dari papan plastik atau busa, yang dibentuk dengancara dipotong dan dilipat untuk menghasilkan geometri penampang yang dibutuhkan. Papan biasanya dilapisi aluminium, baik di bagian dalam maupun luar. Kelemahan utama jenis saluran ini adalah klasifikasinya terhadap api. Sekalipun memenuhi standar setempat, ketika terkena api, saluran ini sering kali menunjukkan kinerja yang buruk dalam hal menghasilkan asap dan tetesan api.

1. Plastik Bertulang *Fiberglass* (FRP):Produk ini terutama digunakan untuk pembuangan bahan kimia, scrubber, dan sistem saluran bawah tanah. Keunggulannya antara lain ketahanan terhadap korosi, insulasi mandiri, peredaman suara yang sangat baik, dan penyegelan berkualitas tinggi. Karakteristik yang membatasi meliputi biaya, berat, rentang sifat kimia dan fisika, serta kesesuaian dengan kode.
2. *Polivinil Klorida* (PVC):Produk ini digunakan untuk sistem pembuangan asap kimia dan sistem saluran bawah tanah. Keunggulannya meliputi

ketahanan terhadap korosi, bobot yang ringan, dan kemudahan modifikasi. Karakteristik yang membatasi meliputi biaya, fabrikasi, penerimaan kode, guncangan termal, dan bobot.

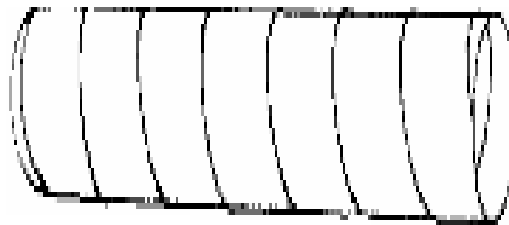
3. Kain:*Ducting* kain, juga dikenal sebagai saluran tekstil, biasanya terbuat dari bahan poliester permeabel khusus dan biasanya digunakan di tempat yang membutuhkan distribusi udara yang merata. Karena sifat distribusi udaranya, saluran tekstil biasanya tidak disembunyikan di dalam plafon gantung. Kondensasi tidak menjadimasalah pada saluran kain, sehingga dapat digunakan di tempat yang membutuhkan pasokan udara di bawah titik embun tanpa insulasi.
4. Saluran Fleksibel:Saluran fleksibel terdiri dari lapisan dalam saluran yang ditopang di bagian dalam oleh kumparan kawat heliks dan dilapisi insulasi selimut dengan jaket penghalang uap fleksibel di bagian luar. Saluran fleksibel sering digunakan untuk runout, serta dengan kerah logam yang digunakan untuk menghubungkan saluran fleksibel ke plenum, batang, dan cabang yang terbuat dari lembaran logam atau papan saluran. Saluran fleksibel memberikan kemudahan pemasangan karena dapat dengan mudah disesuaikan dengan kebutuhan. Menghindari benturan, tetapi memiliki beberapa kelemahan. Saluran fleksibel memiliki kehilangan gesekan yang lebih besar di dalamnya dibandingkan saluran logam. Saluran fleksibel harus sependek mungkin (maksimal 5 hingga 6 kaki) dan harus diregangkan sekencang mungkin.

2.3.2 Jenis Bentuk *Ducting*

Saluran yang umum digunakan untuk mengalirkan udara berbentuk bulat, persegi, atau persegi panjang. Semuanya memiliki kelebihan dan kekurangan, dan menemukan aplikasi di mana salah satunya jelas lebih unggul daripada yang lain.

2.3.2.1 Saluran Bulat

Bentuk saluran yang paling efisien (memberikan hambatan paling kecil) dalam mengalirkan udara bergerak adalah saluran bundar, karena memiliki luas penampang terbesar dan permukaan kontak terkecil. Dengan kata lain, saluran bundar menggunakan lebih sedikit material dibandingkan saluran persegi atau persegi panjang untuk volume udara yang sama. Saluran berdiameter 18 inci, misalnya, memiliki kapasitas udara yang sama dengan saluran persegi panjang berukuran 26" x 11". Saluran bundar memiliki luas penampang 254,5 inci persegi dan keliling 4,7 kaki, sedangkan saluran persegi panjang memiliki luas 286 inci persegi dan keliling 6,2 kaki. Dengan demikian, saluran persegi panjang mengandung 32% lebih banyak logam dan akan lebih mahal secara proporsional.



Round Duct

Gambar 2.11 *ducting* saluran bulat

Selain itu, insulasi, penopang, dan biaya tenaga kerja lebih tinggi untuk saluran persegi panjang dengan kapasitas yang sama. Beberapa keuntungan dari saluran udara bundar meliputi:

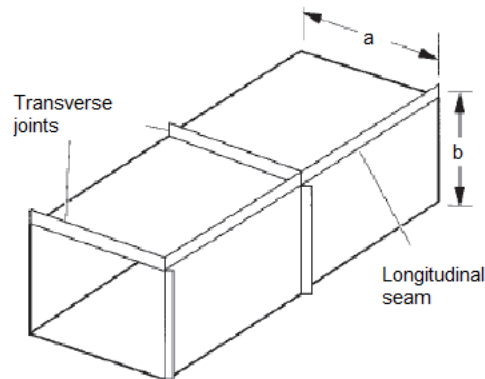
1. Bentuk bundar menghasilkan penurunan tekanan yang lebih rendah, sehingga membutuhkan tenaga kipas yang lebih kecil untuk menggerakkan udara dan, akibatnya, peralatan yang lebih kecil.
2. Bentuk bulat juga memiliki luas permukaan yang lebih kecil dan membutuhkan lebih sedikit isolasi saat dibungkus secara luar.

3. Saluran bundar tersedia dalam ukuran yang lebih panjang daripada saluran persegi panjang, sehingga menghilangkan sambungan lapangan yang mahal. Sambungan spiral lock-seam menambah kekakuan; oleh karena itu, saluran spiral dapat dibuat menggunakan ukuran yang lebih ringan daripada saluran sambungan longitudinal. Saluran spiral lebih jarang bocor dan dapat lebih mudah disegel dibandingkan dengan saluran persegi panjang.
4. Kinerja akustik saluran bundar dan oval lebih unggul karena permukaannya yang melengkung memungkinkan lebih sedikit kebisingan. Suara frekuensi rendah tertahan dengan baik di saluran bundar.
5. Saluran bundar dapat membantu menciptakan lingkungan dalam ruangan yang lebih sehat. Luas permukaan yang lebih kecil, tanpa sudut, dan aliran udara yang lebih baik mengurangi kemungkinan kotoran dan debu menumpuk di dalam saluran, sehingga menjadi tempat berkembang biaknya bakteri.

Meskipun saluran udara bundar memiliki banyak keuntungan, ada beberapa kekurangannya. Salah satu kelemahan paling menonjol dari saluran udara bundar adalah membutuhkan ketinggian bersih yang lebih tinggi untuk pemasangan. Jika tinggi bersih ruang berbulu di atas saluran gantung Langit-langitnya 14 inci, sehingga saluran berdiameter 18 inci tidak dapat dipasang di dalamnya; namun, saluran persegi panjang 26" x 11" yang setara akan mudah masuk ke ruangan tersebut. Kombinasi plenum persegi panjang dan cabang bundar terkadang merupakan kompromi yang baik.

2.3.2.2 Saluran Persegi Panjang

Saluran persegi atau persegi panjang lebih cocok untuk konstruksi bangunan. Saluran ini dapat dipasang di atas langit-langit dan di dalam dinding, serta jauh lebih mudah dipasang di antara balok dan tiang.



Gambar 2.12 *Ducting* Saluran persegi panjang

Jika saluran persegi panjang harus digunakan karena keterbatasan ruang, pertahankan rasio lebar-tinggi (rasio aspek) tetap rendah. Bagian saluran persegi panjang dengan rasio aspek mendekati 1 menghasilkan bentuk saluran persegi panjang yang paling efisien dalam hal mengalirkan udara. Saluran dengan rasio aspek di atas 4 jauh kurang efisien dalam penggunaan material dan mengalami kehilangan tekanan yang besar. Rasio aspek 2 hingga 3 ideal untuk menghemat ruang kepala dengan mengorbankan biaya material saluran tambahan dan energi kipas.

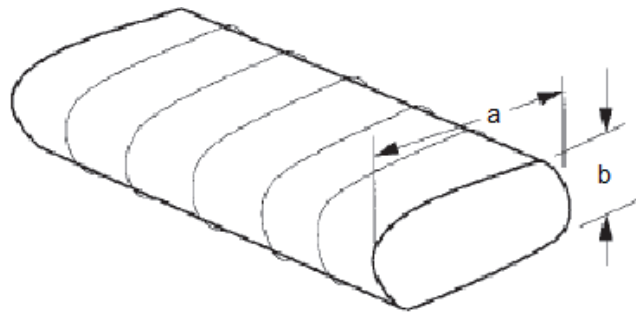
Kerugian dari saluran persegi panjang adalah sebagai berikut:

1. Mereka menciptakan penurunan tekanan yang lebih tinggi;
2. Mereka menggunakan lebih banyak pon logam untuk laju aliran udara yang sama seperti saluran bundar;
3. Panjang sambungannya terbatas pada lebar lembaran yang disediakan oleh kontraktor;
4. Sambungannya lebih sulit untuk disegel;
5. Yang memiliki rasio aspek tinggi dapat mengirimkan noise berlebihan jika tidak didukung dengan benar.

2.3.2.3 Saluran *Oval*

Saluran *oval* datar memiliki persyaratan ketinggian yang lebih rendah daripada saluran bundar dan tetap mempertahankan sebagian besar keunggulan saluran bundar. Namun, *fitting* untuk saluran *oval* datar sulit dibuat atau dimodifikasi di lapangan. Kekurangan lainnya meliputi:

1. Kesulitan dalam menangani dan mengirimkan ukuran yang lebih besar;
2. Kecenderungan saluran ini menjadi lebih bulat di bawah tekanan; dan,
3. Pada rasio aspek yang besar, kesulitan dalam merakit sambungan selip *oval*.



Gambar 2.13 *Ducting* saluran *oval*

2.4 Isolator Termal

Insulasi termal memiliki banyak manfaat dalam aplikasi perpipaan industri dan komersial. Pada aplikasi perpipaan panas atau di sekitarnya, insulasi termal berguna untuk mengurangi kehilangan panas. Salah satu tujuan pemasangan insulasi yaitu untuk kontrol kondensasi, sehingga insulasi yang cukup untuk menjaga suhu permukaan di atas titik embun. Sistem insulasi adalah segala kombinasi bahan insulasi yang digunakan bersama dengan bahan-bahan, perekat, sealant, pelapis, membran, penghalang, atau produk aksesori lainnya untuk membuat kombinasi isolasi yang efisien untuk pengurangan aliran panas. Rekayasa sistem insulasi seringkali dapat menentukan atau mengarahkan kinerja tertinggi dari proses. Sistem insulasi yang direkayasa secara tidak benar dapat mengalami kerusakan dan degradasi. Degradasi ini akan membahayakan karakteristik kinerja bahan insulasi dan dalam banyak kasus

seluruh proses yang ditentukan sistem insulasi. Ada banyak jenis bahan insulasi yang tersedia untuk aplikasi perpipaan komersial dan industri. Setiap bahan memiliki sifat dan karakteristik kinerja masing-masing (Mohinder L. Nayyar, 2000).

Beberapa fungsi dari pada isolator dalam perpipaan atau industri

2. Mengurangi Kehilangan atau Penyerapan Panas

Menghambat perpindahan panas keluar dari pipa berfluida panas atau masuk ke pipa berfluida dingin.

3. Mencegah Kondensasi dan Korosi

Menghindari pembentukan tetesan air yang dapat menyebabkan kerusakan pada lapisan luar pipa.

4. Meningkatkan Efisiensi Energi

Mengurangi beban kerja sistem pemanas atau pendingin sehingga hemat energi.

5. Mengurangi Kebisingan

Menyerap suara dari aliran fluida pada kecepatan tinggi.

2.4.1 Konsep Dasar Isolator Thermal

Bagi suatu sistem termal yang terdiri dari zat tertentu ingin dipertahankan kondisi temperatur rendahnya dan berada di lingkungan yang bertemperatur lebih tinggi maka sistem isolasi yang dipasang pada permukaan dinding batasnya dimaksudkan untuk memperlambat laju kebocoran energi panas yang akan masuk ke dalam sistem. Sebaliknya, bagi suatu sistem termal yang terdiri zat tertentu dan ingin dipertahankan kondisi temperaturnya yang tinggi dan berada di lingkungan yang bertemperatur lebih rendah maka sistem isolasi yang dipasang pada permukaan dinding batasnya dimaksudkan untuk memperlambat laju kebocoran energi panas yang akan keluar dari sistem.

Apabila pada suatu sistem termal bertemperatur tinggi laju kebocoran panasnya semakin besar maka laju suplai energi untuk mempertahankan kondisi temperatur zat yang konstan juga menjadi semakin besar. Hal tersebut tentu akan mengakibatkan meningkatnya konsumsi energi bagi instalasi industri di mana sistem termal tersebut

terpasang. Oleh karena itu, memilih sistem termal yang sebaik-baiknya merupakan suatu keperluan yang sangat strategis karena berkaitan dengan konsumsi energi bagi instalasi industri. Untuk memasang lapisan isolasi pada sistem pipa termal merupakan suatu yang mudah, tetapi jenis bahan isolasi seperti apa yang dipergunakan dan seberapa tebal bahan isolasi yang diperlukan bagi sistem termal yang bekerja pada kondisi tertentu memerlukan pemahaman konsep sistem isolasi termal yang memiliki beragam jenis bahan.

Tabel 2.2 Konduktivitas termal insulasi

Jenis	Material Isolator	Tahanan Termal W/m.K
Polyurethane Foam	Poliuretan	0.020 – 0.025
Glass Wool	Serat Kaca	0.035- 0.045
Rock Wool	Serat Batu	0.035 – 0.040
Expanded Polysyrene	Polistiren Ekspansif	0.032 – 0.038
Extruded Polystyrene	Polistiren Ekstrusi	0.028 – 0.035
Fiberglass	Serat kaca	0.035 – 0.045
Aerogel	Aerogel	0.013 – 0.020
Cellular Glass	Kaca Seluler	0.038 – 0.050

Karakteristik yang paling penting bagi bahan isolasi adalah harus memiliki konduktivitas termal yang cukup rendah, tahan terhadap resapan air, dan 120 bahan isolasi harus tersedia dengan harga yang ekonomis. Pada banyak instalasi industri, terutama pada instalasi industri kimia, kebanyakan bahan yang dipergunakan untuk bahan isolasi termal adalah bahan kalsium silika atau dari bahan *fiberglass*. Bahan silika pada umumnya dipergunakan sebagai bahan isolasi termal sistem bertemperatur di atas 225°C, sedangkan *fiberglass* umumnya dipergunakan bagi sistem bertemperatur yang lebih rendah.

Dikarenakan laju kebocoran energi panas yang melewati sistem isolasi adalah perpindahan panas konduksi maka terdapat kondisi tebal isolasi tertentu di mana laju kebocoran panas menjadi lebih tinggi dari pada sistem yang sama yang tidak dilapisi bahan isolasi. Ketebalan isolasi tertentu di mana laju kebocoran panas ke sekeliling mulai menurun dinamakan tebal isolasi kritis.

Lapisan bahan isolasi sistem tersebut memiliki tahanan termal konduksi yang dapat dihitung menggunakan persamaan (2.11)

$$R_{iso} = \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi kL} \dots\dots\dots(2.11)$$

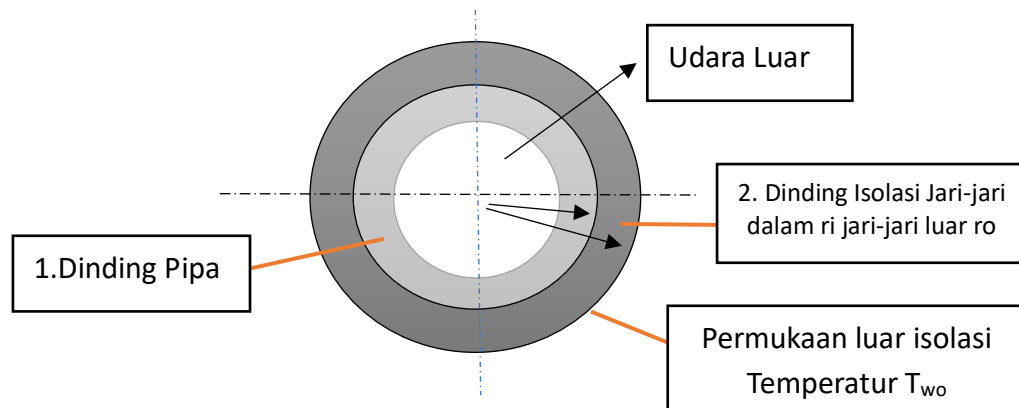
Dimana :

R_{iso} : Hambatan thermal isolator

r_o : diameter dalam isolator

r_i : diameter luar isolator

L : Panjang isolator



Gambar 2.14 Instalasi Insulasi

Untuk mengetahui temperatur di setiap insulasi perpipaan berdasarkan konduktivitas bahan insulasi dapat menggunakan persamaan (2.12)

$$Q = \frac{T_{in} - T_1}{R_p} \dots\dots\dots(2.12)$$

Di mana :

Q	= Panas yang hilang (W/m)
T_{in}	= Temperatur udara panas yang masuk (K)
T_1	= Temperatur pada pipa
R_p	= Besar hambatan jenis bahan pipa

2.4.2 Jenis Jenis Isolator Termal

1. Mineral *Wool* (*Rock Wool / Slag Wool*)

Mineral *wool* adalah isolasi berbahan serat anorganik yang dibuat dari batuan basalt atau terak sisa peleburan logam. Proses pembuatannya melibatkan peleburan bahan baku pada suhu tinggi, kemudian dilelehkan dan dipintal menjadi serat halus. Karena sifatnya yang tahan panas, tahan api, menyerap suara, dan memiliki konduktivitas termal rendah, *rockwool* banyak digunakan di berbagai industri. Berikut industri dan aplikasi utama *rockwool*

- Industri Konstruksi & Bangunan digunakan sebagai isolasi termal pada dinding, plafon, dan atap untuk mengurangi kehilangan panas/peningkatan suhu. Peredam suara di ruang rekaman, bioskop, studio musik, perkantoran, dan gedung bertingkat. Proteksi kebakaran, karena *rockwool* tidak mudah terbakar (*fire resistant*).
- Industri Minyak & Gas / Petrokimia digunakan sebagai Insulasi pipa dan tangki untuk menjaga suhu fluida agar tidak cepat hilang panas. Isolasi pada boiler, *furnace*, dan *ducting* agar efisiensi termal lebih tinggi. *Fireproofing* pada struktur baja di kilang dan fasilitas migas.



Gambar 2.15 Mineral Wool

Sifat mineral wool (*rock wool/ slag wool*)

- Konduktivitas termal: 0,035–0,045 W/m·K
- Tahan suhu hingga ± 700 °C
- Tahan api dan tidak mudah terbakar
- Menyerap suara dengan baik

2. *Glass Wool (Fiberglass)*

Glass wool dibuat dari serat kaca halus yang dibentuk dalam lembaran atau selubung berbentuk pipa. Material ini memiliki struktur berpori yang memerangkap udara, menjadikannya konduktivitas termal rendah. Berikut industri dan aplikasi utama *glasswool* :

- Industri konstruksi & bangunan digunakan sebagai isolasi termal untuk dinding, plafon, atap gedung, rumah, dan perkantoran. *Glasswool* digunakan juga sebagai peredam suara pada ruang studio, bioskop, ruang rapat, dan perumahan dekat jalan raya.
- Pada industri HVAC juga digunakan untuk mengurangi kehilangan panas/dingin.
- Industri pembangkit & industri berat digunakan sebagai insulasi boiler, pipa uap, dan peralatan panas (tapi umumnya ntuk suhu sedang, bukan ekstrem tinggi)



Gambar 2.16 Mineral *Wool*

Sifat:

1. Konduktivitas termal: 0,033–0,040 W/m·K
 2. Tahan suhu hingga ± 450 °C
 3. Ringan dan mudah dipasang
3. Kalsium silikat (*Calcium silicate*)

Calcium silicate adalah jenis bahan insulasi yang memiliki karakteristik ringan, konduktivitas termal yang rendah dan mampu untuk menahan temperatur yang tinggi. Bahan yang memiliki nama singkat *cal-sil* ini biasanya dijual dalam tiga bentuk : balok, pipa atau berbentuk lembaran. Kalsium silikat mampu menahan panas pada range -18 sampai 650°C. Kalsium silikat biasanya digunakan pada temperatur yang cukup tinggi (> 250°F) pada pipa atau *equipment*.

Selain itu, kalsium silikat merupakan adalah bahan *corrosion inhibitor* atau dapat menghambat terjadinya korosi pada pipa sehingga ia dipandang memiliki kontribusi yang cukup besar dalam sector. Kalsium silikat banyak dipakai sebagai insulasi panas (*thermal insulation*) di berbagai industri, terutama yang beroperasi pada temperatur tinggi. Contoh penggunaannya:

- a. Industri minyak & gas, petrokimia, pembangkit Listrik, digunakan sebagai isolasi pada pipa uap, ducting, boiler, furnace, dan peralatan proses panas

- b. Industri semen & baja digunakan sebagai insulasi pada kiln, tungku pembakaran, dan saluran gas panas



Gambar 2.17 Kalsium Silikat

Beberapa sifat khas kalsium silikat :

- a. Konduktivitas termal rendah sekitar $0,05 - 0,09 \text{ W/m.k}$ tergantung densitas teperatur
- b. Tahan temperatur tinggi mampu menahan panas hingga $650 - 1000 \text{ }^\circ\text{C}$
- c. Tahan api tidak mudah terbakar, termasuk *non-combustible material* tahan kelembapan terbatas sifat higroskopis dan mudah menyerap

4. *Cellular Glass Insulation*

Cellular glass inculation material adalah tipe insulasi yang memiliki range (-260 sampai 480°C). Insulasi yang dibuat dari pecahan kaca (*glass*) yang dikombinasikan dengan perekat ini memiliki karakteristik yang ringan, *rigid* (kaku), terdiri dari jutaan sel kaca yang tertutup rapat (*sealed*) pada setiap rongga kacanya. Penggunaan secara umu dari *cellular glass* adalah untuk pipa bawah tanah (*underground pipe*). Hal tersebut karena kekuatan fisik dari *cellular glass* yang tinggi dan ketahanan terhadap kelembapan yang tinggi. *Cellular glass* terbuat dari kaca, bukan terbuat dari makhluk hidup atau senyawanya, maka ia memiliki ketahanan terhadap air yang luar biasa. Sehingga tidak mengalami kenaikan berat hingga 90% dari kelembapannya. *Cellular glass* dapat digunakan pada suhu rendah

ataupun dalam kondisi dingin yang ekstrim. Disamping itu, bahan ini pula tidak mudah terbakar. Biasanya pula digunakan pula di bagian bawah dari tangki atau *vessel* dimana terdapat kemungkinan kelembapan yang tinggi. *Cellular glass* banyak dipakai di :

- a. Kriogenik LNG, pipa gas cair, sistem penyimpanan nitrogen cair, oksigen cair. Cocok karena tidak menyerap air dan tidak pecah akibat beku
- b. Industri minyak & gas, petrokimia, energi sebagai insulasi pada pipa, tangki, vessel yang butuh kontrol kondensasi dan perlindungan korosi.



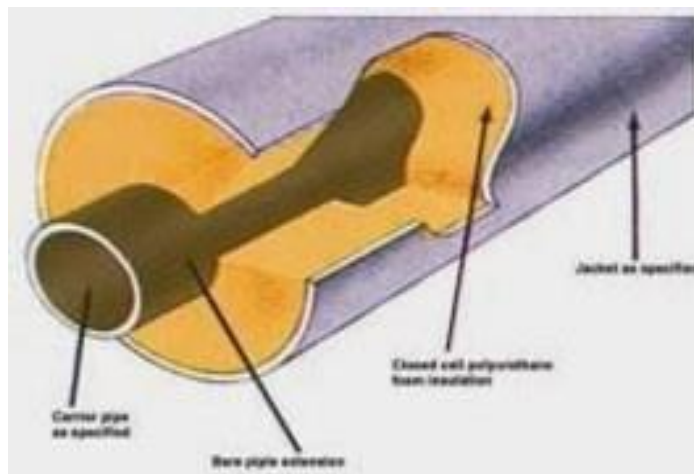
Gambar 2.18 Cellular Glass

Beberapa karakteristik khas *cellular glass* :

- a. Konduktivitas termal rendah : $0,038 - 0,055 \text{ W/m.K}$ stabil dalam jangka panjang
- b. Densitas sekitar $120 - 200 \text{ kg/m}^3$, cukup ringan.
- c. Tidak menyerap air (waterproof, karena sel tertutup)
- d. Tahan bahan kimia tidak terpengaruh oleh sebagian besar asam, pelarut, minyak, atau hama biologis (jamur, tikus, serangga)

5. Polyurethane Insulation

Polyurethane adalah polimer organik yang dibentuk dengan mereaksikan polyol (dengan *diisocyanate* atau polimer *isocyanate*) dibantu adanya katalisa dan zat yang cocok. *Polyurethane* merupakan bahan polymeric yang mengandung berbagai kumpulan urethane. *Polyurethane insulation* dapat menahan panas pada temperatur (-210 °C sampai 150°C). *Polyurethane* digemari karena berbeda dengan bahan plastik, ia dapat disesuaikan dengan insulasi yang dibutuhkan. Menariknya dari jenis insulasi ini dapat dibentuk di lapangan karena melalui pencampuran cairan (*spray*) disamping memang sudah terlebih dahulu disediakan dalam bentuk bongkahan yang dapat tinggal dipasang.



Gambar 2.19 *Polyurethane*

6. Polystyrene Insulation

Insulasi *Polystyrene* memiliki sifat yang ringan, kaku karena terbuat dari manik-manik padat. *Polystyrene* memiliki bentuk seperti gabus (*styrofoam*). Istilah *styrofoam* dengan *polystyrene* sering kali tercampur, namun pada dasarnya terdapat perbedaan antara kedua istilah tersebut. *Styrofoam* sebenarnya adalah nama merek yang dimiliki oleh Dow Chemical Company dan terbuat dari *polystyrene*, dan proses melibatkan penggunaan suhu dan

tekanan ekstrim. Sedangkan *polystyrene* memiliki kepadatan lebih tinggi yang menyebabkan ia tidak dapat mengapung diatas air, *styrofoam* dapat dengan mudah mengapung diatas air karena memiliki kepadatan yang lebih rendah.



Gambar 2.20 *Polystyrene*

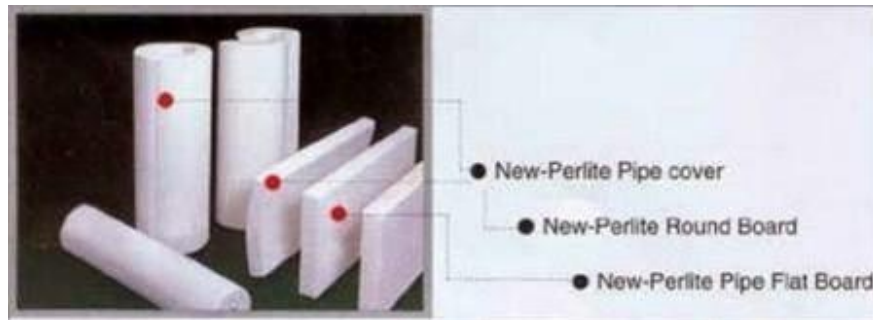
Beberapa sifat utama *polyurethane* adalah :

- a. Konduktivitas termal rendah : 0,018 – 0,030 W/m.K (lebih baik dibanding glasswool atau rockwool)
- b. Memiliki densitas ringan (30-60 kg/m³) tapi cukup kokoh secara mekanis
- c. Tahan air dan uap struktur sel tertutup membuatnya hamper kedap air, cocok untuk aplikasi lembab
- d. Relatif tahan terhadap minyak, pelarut ringan, dan beberapa bahan kimia
- e. Rentang suhu pemakaian biasanya -180°C hingga +110°C tergantung formulasi

7. *Perlite Insulation Material*

Perlite adalah mineral serbaguna yang ditambang dan diproses dengan dampak minimal terhadap lingkungan. *Green Community* mengakui kalau bahan *perlite* yang disempurnakan seperti insulasi-insulasi memiliki performa tinggi yang diambil dari bahan alami. *Perlite* merupakan kaca vulkanik *amorphous* yang memiliki kandungan air relatif tinggi dan biasanya dibentuk dari hidrasi obsidian. *Perlite* memiliki density yang rendah dan harga yang

relatif murah. *Range* yang dapat dijaga insulasi ini yaitu pada temperatur (871°C hingga 1093 °C).



Gambar 2.21 Perlite

$$R_{iso} = \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi kL} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

- R_{iso} : Hambatan thermal isolator
- r_o : Diamater dalam isolator
- r_i : Diamater luar isolator
- L : Panjang isolator

2.5 Efisiensi Termal

Efisiensi termal adalah ukuran yang digunakan untuk menilai seberapa efektif suatu sistem termal mengubah energi panas yang diterima menjadi energi berguna. Menurut Çengel dan Boles (2015), efisiensi termal dinyatakan sebagai perbandingan antara energi berguna yang dihasilkan dengan energi panas yang masuk. Efisiensi ini digunakan secara luas pada berbagai aplikasi, mulai dari mesin kalor, turbin uap, boiler, hingga sistem perpindahan panas seperti heat exchanger dan ducting.

Secara matematis, efisiensi termal dapat ditulis sebagai:

$$N_{th} \frac{W_{out}}{Q_{in}} \dots\dots\dots(2.15)$$

Di mana :

- N_{th} : efisiensi termal (tanpa satuan atau dalam %)
- W_{out} : energi keluaran berguna (J atay kJ)
- Q_{in} : energi panas masukan (J atau kJ)

Dalam konteks sistem ducting yang menyalurkan udara panas, efisiensi termal menggambarkan kemampuan sistem dalam menyalurkan panas dari sumber (misalnya unit *heater*) ke beban (misalnya unit *dryer*) dengan kehilangan panas seminimal mungkin. Efisiensi termal pada sistem *ducting* ditentukan oleh sejauh mana panas dapat dipertahankan selama proses penyaluran udara panas. Kehilangan panas dapat terjadi melalui mekanisme:

1. Konduksi – perpindahan panas melalui material dinding *ducting*.
2. Konveksi – perpindahan panas dari udara panas ke dinding *duct* (internal) dan dari dinding *duct* ke udara luar (eksternal).
3. Radiasi – pancaran panas dari permukaan luar *ducting*.

2.5.1 Faktor yang Mempengaruhi Efisiensi Termal

Pada sistem perpindahan panas non-mekanik, seperti *heat exchanger* atau sistem *ducting*, istilah efisiensi termal sering dinyatakan dalam bentuk perbandingan energi panas yang berhasil ditransfer ke media kerja dibandingkan dengan total energi panas yang tersedia pada sumber panas. Faktor yang dapat mempengaruhi efisiensi termal :

1. Suhu Udara Masuk dan Keluar, Semakin besar perbedaan suhu antara udara masuk dan keluar pada beban, semakin tinggi efisiensinya.
2. Kualitas Isolasi, Nilai konduktivitas termal isolator yang rendah dan pemasangan yang rapat mengurangi kehilangan panas.
3. Panjang dan Diameter *ducting*, Semakin panjang *duct*, semakin besar potensi kehilangan panas.
4. Kebocoran Udara, celah sambungan *duct* akan mengurangi aliran udara panas yang sampai ke beban.
5. Kecepatan Aliran Udara, kecepatan yang terlalu rendah meningkatkan waktu kontak panas dengan dinding *duct*, sehingga rugi panas lebih besar.

2.6 Heater

Unit air *heater* merupakan suatu alat yang berfungsi untuk menghasilkan udara panas. Udara panas yang dihasilkan heater digunakan untuk melakukan proses pengeringan dengan suhu berkisar 110-120°C. Sumber

energi yang umum digunakan masih bahan bakar yang berasal dari fosil. Tetapi seiring semakin mahalnya biaya penggunaan bahan bakar fosil, Beberapa pabrik pengolahan karet remah sudah mengganti bahan bakarnya menggunakan biomassa berupa cangkang sawit. Cangkang akan masuk kedalam ruang pembakar atau *blaze* dengan menggunakan *conveyor*, kemudian hasil pembakaran akan masuk kedalam pipa kecil (*tube*) dengan 4 tahap hingga tahap terakhir dan dibuang melalui *chimney*. Udara atmosfer dengan suhu 30°C dihisap masuk kedalam *heater* melalui pipa penyalur (*ducting*) kemudian akan melewati pipa (*tube*) dalam heater sehingga udara atmosfer akan menjadi panas setelah melewati *tube* karena terjadi perpindahan panas secara konveksi. Udara panas yang telah panas tersebut akan masuk kedalam *dryer* melalui pipa penyalur (*ducting*). (PT.Lonsum, 2022).



Gambar 2.22 Heater

2.6.1 Komponen Air Heater

1. Elektromotor 3 fasa, berfungsi sebagai sumber penggerak untuk menggerakkan *conveyor* rantai yang menghantarkan bahan bakar (cangkang) ke ruang bakar



Gambar 2.23 Elektro Motor 3 fasa

2. Rantai, berfungsi untuk meneruskan putaran dari elektromotor ke poros *conveyor*.



Gambar 2.24 Rantai

3. *Sprocket*, berfungsi sebagai tumpuan/bantalan rantai.



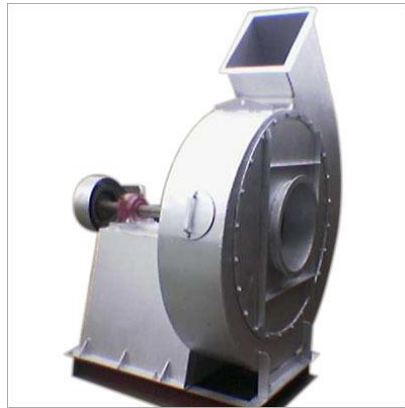
Gambar 2.25 Sproket

4. *Conveyor* rantai, berfungsi untuk menghantarkan bahan bakar menuju ruang pembakaran.



Gambar 2.26 *Conveyor*

5. FDF (*Forced Draft Fan*), berfungsi untuk menghisap hasil pembakaran dalam *heater* menuju proses (*dryer*)



Gambar 2.27 *FDF*

6. *Tube Bank*, berfungsi sebagai saluran udara panas hasil pembakaran dalam *heater*



Gambar 2.28 *Tube Bank*

7. Termometer sebagai alat ukur untuk mengukur suhu udara panas



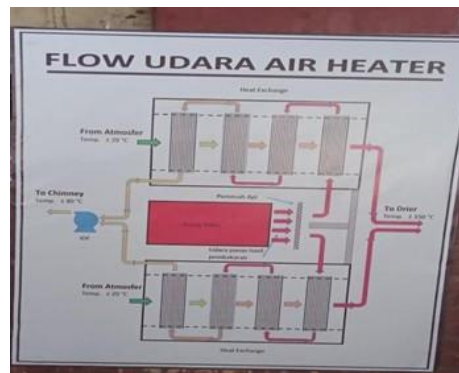
Gambar 2.29 *Termometer*

8. IDF – *Induced Draft Fan*, berfungsi sebagai alat untuk mengisap sisa pembakaran pada *heater* dan dibuang menuju *chimney*



Gambar 2.30 *IDF*

Berikut Flow singkat udara yang dhisap dan masuk kedalam sistem *heater* dan terjadi perpindahan panas antara udara yang masuk dengan udara yang dipanaskan, tentunya sistem daripada perpindahan panas dibawah ini dilapisi dengn body *heater* itu sendiri.



Gambar 2.31 *Air Heater Flow*

2.7 Refrensi Penelitian

Menurut penelitian Abdul Hamid, dkk, dengan judul penelitian “ Evaluasi Penggunaan Isolator Pada Sistem Perpindahan Panas Suatu Alat Heat Exchanger “ tahun 2018 yang mana Panas adalah salah satu bentuk energi yang dapat dipindahkan dari suatu tempat ke tempat lain, tetapi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan sama sekali. Dalam suatu proses, panas dapat mengakibatkan terjadinya kenaikan suhu suatu zat dan atau perubahan tekanan, reaksi kimia dan kelistrikan. Proses terjadinya

perpindahan panas dapat dilakukan secara langsung, yaitu fluida yang panas akan bercampur secara langsung dengan fluida dingin tanpa adanya pemisah dan untuk secara tidak langsung, yaitu bila diantara fluida panas dan fluida dingin tidak berhubungan langsung tetapi dipisahkan oleh sekat-sekat pemisah. Perbedaan temperatur merupakan potensi utama terjadinya perpindahan energi dalam bentuk panas yang sering atau lebih populer disingkat dengan perpindahan panas. Dari studi pustaka diperoleh bahwa ada 3 (tiga) cara perpindahan panas yaitu: konduksi, konveksi dan radiasi. Selain ketiga cara itu ada pula cara perpindahan panas gabungan.(Supriyadi,1987)

Dalam praktek terlalu sulit untuk membuktikan bahwa perpindahan panas hanya berlangsung dengan satu cara yang tersebut diatas. Perpindahan panas akan berlangsung bersamaan, sebagai contoh misalnya perpindahan panas pada pipa steam yang terisolasi, maka perpindahan panas tersebut akan berlangsung baik dari dinding dalam pipa ke permukaan isolasi maupun dari permukaan luar isolasi keudara sekitarnya, dimana perpindahan panas berlangsung secara konduksi, konveksi dan radiasi.

Dalam pemilihan isolator pada sistem perpindahan panas suatu alat heat exchanger sesungguhnya merupakan perencanaan untuk mengetahui keuntungan dalam pemakaian isolasi pada heat exchanger. Berikut adalah beberapa alternatif material isolasi yang dapat digunakan, yaitu : (Supriyadi,1987)

- a. Calcium silicate,
- b. Diatomaceous silica,
- c. Cellular glass,
- d. Magnesium carbonate, dan
- e. Serat-serat mineral.

Mengingat beragamnya material yang digunakan sebagai isolasi, hal ini menggambarkan bahwa jenis material isolasi yang digunakan memberikan kontribusi yang berbeda terhadap kehilangan panas (heat loss) dalam suatu sistem. Dalam

penelitian ini, peneliti tidak membahas secara keseluruhan tentang jenis material isolasi yang digunakan. Namun peneliti hanya membahas tentang kontribusi kehilangan panas dari material Calcium Silicate. Pembahasan selanjutnya dalam mengestimasi ketebalan isolasi disamping memperhitungkan keselamatan, peneliti mencoba dengan perhitungan :

- a. Kehilangan panas pada sistem alat heat exchanger tanpa isolasi,
- b. Kehilangan Panas pada sistem alat heat exchanger terisolasi kalsium silikat + aluminium jacket.
- c. Dilanjutkan dengan perhitungan jumlah penghematan panas yang hilang.

Beberapa ketentuan yang perlu diperhatikan untuk pemilihan suatu bahan isolasi panas adalah: (Muntolib dan Rusdiyantoro, 2014)

- a. Tidak mudah terbakar sampai pada batas limit tertentu, dalam arti bahan isolasi harus mempunyai ketahanan panas yang sesuai untuk menghadapi suhu kerja pada alat-alat yang panasnya cukup tinggi.
- b. Tidak menimbulkan korosi terhadap permukaan yang di isolasi.
- c. Tahan lama, susunan kimianya stabil.
- d. Mempunyai *thermal conductivity* yang rendah dan ongkos pemasangan rendah.
- e. Ketebalan yang sesuai untuk kondisi operasi.