

INSULASI TERMAL

1. Perpindahan Panas

A. Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas

Perpindahan kalor (*heat transfer*) adalah perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur di antara dua benda atau material. Dari termodinamika telah diketahui bahwa energi yang pindah tersebut dinamakan kalor atau panas (*heat*). Perpindahan kalor meliputi tiga jenis yaitu perpindahan kalor konduksi atau hantaran, konveksi atau ilian, dan perpindahan kalor radiasi atau sinaran. Dalam bab ini hanya dibahas perpindahan kalor konduksi dan konveksi.

1) Konduksi

Perpindahan kalor konduksi adalah perpindahan kalor yang terjadi pada benda atau material padat karena adanya perbedaan temperatur di antara ujung-ujungnya²⁾. Jika pada suatu benda terdapat suatu gradien temperatur, maka akan terjadi perpindahan energi dari bagian bersuhu tinggi ke bagian bersuhu rendah. Dalam hal ini dikatakan bahwa energi berpindah secara konduksi (hantaran) melalui material tersebut. Perpindahan kalor konduksi dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu konduksi dalam keadaan steady state dan konduksi dalam keadaan unsteady state¹⁾. Kondisi steady state adalah kondisi di mana proses perpindahan panas yang terjadi di antara dua benda atau material yang mempunyai temperatur yang berbeda telah mencapai keseimbangan temperatur. Sedangkan kondisi unsteady state adalah suatu kondisi di mana perpindahan panas pada waktu tertentu sebelum

tercapai keseimbangan. Dalam tulisan ini hanya dibahas perpindahan kalor dalam kondisi steady state.

Besarnya laju perpindahan kalor berbanding lurus dengan gradien suhu normal, yaitu :

$$\frac{q}{A} \approx \frac{\partial T}{\partial X} \quad (1)$$

Jika dimasukkan konstanta proporsionalitas (*proportionality constant*) atau tetapan kesebandingan ke dalam persamaan di atas, maka diperoleh

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial X} \quad (2)$$

q : Laju perpindahan kalor (W)

A : Luas permukaan (m^2)

k : Konduktivitas panas ($W/m^{\circ}C$)

$\frac{\partial T}{\partial X}$: Gradien temperatur ($^{\circ}C/m$)

Tanda minus dalam persamaan (2) menunjukkan bahwa kalor mengalir ke tempat yang lebih rendah dalam skala suhu. Persamaan (2) merupakan persamaan dasar konduktivitas panas atau disebut Hukum Fourier tentang konduksi kalor.

Konduktivitas Panas

Persamaan (2) merupakan persamaan dasar konduktivitas panas. Berdasarkan persamaan tersebut dapat dilakukan percobaan untuk menentukan konduktivitas panas suatu bahan. Konduktivitas panas suatu bahan ditentukan di laboratorium. Konduktivitas panas suatu bahan menunjukkan laju kecepatan kalor mengalir dalam bahan tersebut.

Penerapan Hukum Fourier pada Sistem Dinding Datar

Pada bagian ini akan dijelaskan penerapan Hukum Fourier pada sistem dinding datar. Jika terdapat suatu bahan dinding datar yang mempunyai temperatur yang berbeda pada masing-masing sisinya, maka menurut hukum perpindahan panas akan terjadi aliran kalor

dari suhu yang tinggi ke arah suhu yang lebih rendah. Gambar 1 mengilustrasikan keadaan ini. Jika temperatur bahan tidak berubah terhadap waktu (steady state), maka aliran kalor dapat ditentukan dengan Hukum Fourier sebagai berikut :

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial X} \quad (3)$$

$$q = -\frac{kA}{\Delta X} (T_2 - T_1) \quad (4)$$

$$q = \frac{kA}{\Delta X} (T_1 - T_2) \quad (5)$$

Jika sistem dinding datar terdiri dari berbagai jenis bahan dengan konduktivitas panas yang berbeda-beda (Gambar 2), maka penerapan Hukum Fourier untuk menentukan aliran kalor adalah sebagai berikut :

♦ Aliran kalor q yang mengalir dari r_1 ke r_2 adalah :

$$q = -k_A A \frac{\partial T}{\partial X} \quad (6)$$

$$q = -k_A A \left(\frac{T_2 - T_1}{\Delta X_A} \right) \quad (7)$$

♦ Aliran kalor q yang mengalir dari r_2 ke r_3 adalah :

$$q = -k_B A \frac{\partial T}{\partial X} \quad (8)$$

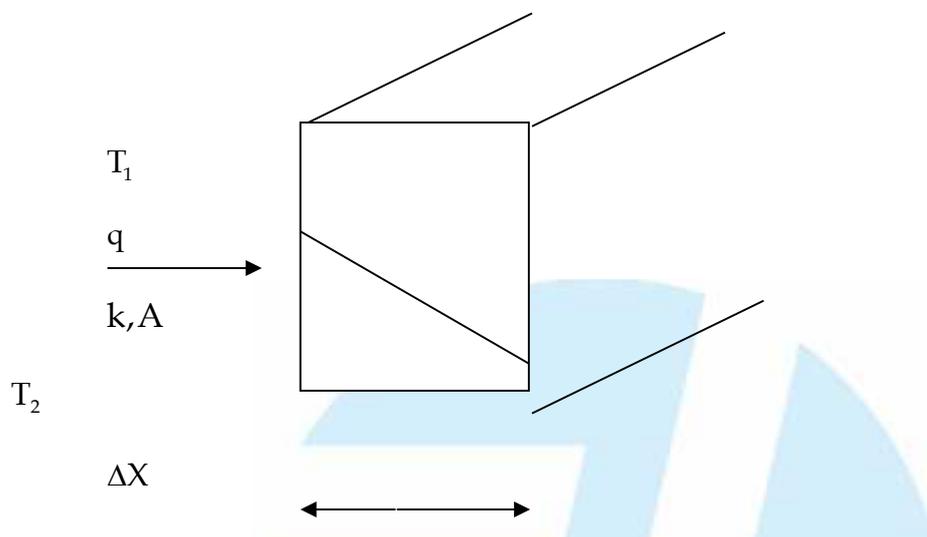
$$q = -k_B A \left(\frac{T_3 - T_2}{\Delta X_B} \right) \quad (9)$$

♦ Aliran kalor q yang mengalir dari r_3 ke r_4 adalah :

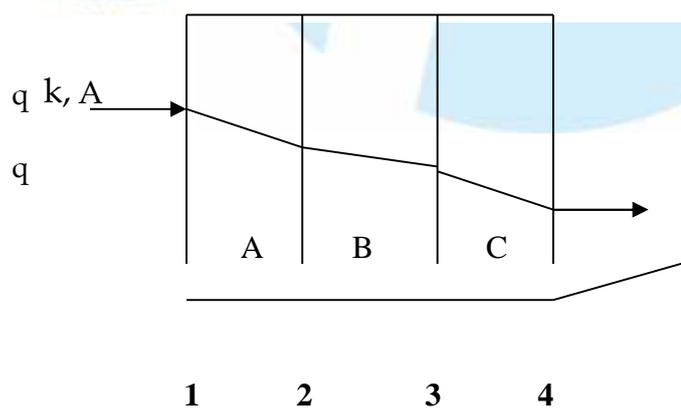
$$q = -k_C A \frac{\partial T}{\partial X} \quad (10)$$

$$q = -k_C A \left(\frac{T_4 - T_3}{\Delta X_C} \right) \quad (11)$$

Besarnya aliran kalor Q adalah sama untuk setiap bahan. Maka dari persamaan (7), (9), dan (11) diperoleh :



Gambar 1 Perpindahan kalor sistem dinding datar



Gambar 2 Perpindahan kalor melalui dinding komposit

$$q = -k_A A \left(\frac{T_2 - T_1}{\Delta X_A} \right) = -k_B A \left(\frac{T_3 - T_2}{\Delta X_B} \right) = -k_C A \left(\frac{T_4 - T_3}{\Delta X_C} \right) \quad (12)$$

Jika ketiga persamaan di atas dipecahkan serentak, maka aliran kalor tersebut dapat dituliskan sebagai berikut :

$$q = \frac{T_1 - T_4}{\frac{\Delta X_A}{k_A A} + \frac{\Delta X_B}{k_B A} + \frac{\Delta X_C}{k_C A}} \quad (13)$$

Untuk memberi pandangan yang lebih konseptual terhadap Hukum Fourier , maka laju perpindahan kalor q dapat dipandang sebagai aliran. Gabungan dari konduktivitas thermal k , tebal bahan ΔX , dan luas A merupakan tahanan terhadap aliran. Suhu merupakan fungsi potensial atau pendorong aliran. Maka persamaan Fourier dapat dituliskan sebagai berikut :

Aliran kalor = Beda potensial thermal / Tahanan thermal

Atau dapat ditulis :

$$q = \frac{\Delta T_{\text{menyeluruh}}}{\sum R_{\text{th}}} \quad (14)$$

Dimana :

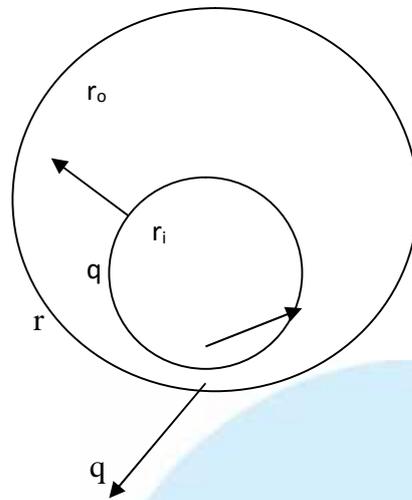
ΔT : Perbedaan temperatur menyeluruh ($^{\circ}\text{C}$)

$\sum R_{\text{th}}$: Tahanan thermal ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

Hukum Fourier pada Sistem Radial – Silinder

Pada bagian sebelumnya telah dijelaskan penerapan Hukum Fourier pada sistem dinding datar. Pada bagian ini akan dijelaskan penerapan Hukum Fourier untuk sistem radial silinder. Suatu silinder panjang dengan jari-jari dalam r_i , jari-jari luar r_o , dan panjang L seperti pada gambar 3. Silinder ini mengalami perbedaan suhu yaitu T_i pada r_i dan T_o pada r_o . Untuk silinder yang panjangnya sangat besar jika dibandingkan dengan

diameternya, dapat diandaikan bahwa aliran kalor berlangsung menurut arah radial. Sehingga koordinat ruang yang diperlukan dalam sistem ini adalah r .



Gambar 3 Aliran kalor melalui sistem silinder

Untuk menentukan aliran kalor digunakan Hukum Fourier dengan menyisipkan luas yang sesuai. Luas bidang aliran kalor dalam sistem silinder adalah :

$$A_r = 2\pi rL \quad (15)$$

sehingga :

$$q_r = -kA_r \frac{\partial T}{\partial r} \quad (16)$$

$$q_r = -2\pi krL \frac{\partial T}{\partial r} \quad (17)$$

Dengan kondisi batas :

$$T = T_i \quad \text{pada} \quad r = r_i$$

$$T = T_o \quad \text{pada} \quad r = r_o \quad (18)$$

maka :

$$q \frac{1}{r} \partial r = -2\pi kL \partial T \quad (19)$$

$$q \int_{r_i}^{r_o} \frac{1}{r} \partial r = -2\pi kL \int_{T_i}^{T_o} \partial T \quad (20)$$

$$q \ln \frac{r_o}{r_i} = -2\pi kL(T_o - T_i) \quad (21)$$

$$q = \frac{2\pi kL(T_i - T_o)}{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)} \quad (22)$$

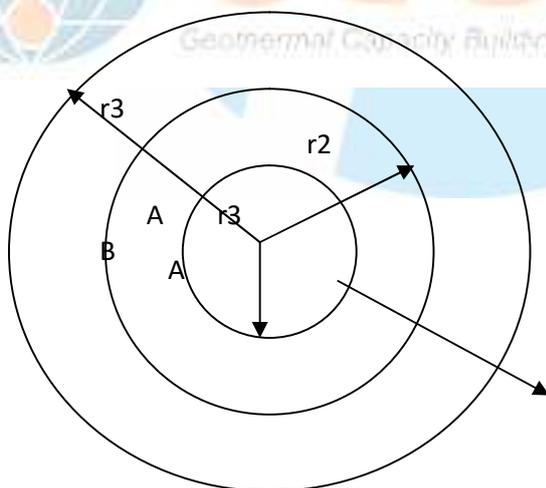
Dalam hal ini tahanan thermal adalah

$$R_{th} = \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi kL} \quad (23)$$

Untuk sistem silinder komposit yang terdiri dari beberapa bahan dengan konduktivitas panas yang berbeda-beda seperti pada Gambar 4, maka penerapan Hukum Fourier untuk menentukan aliran kalor adalah sebagai berikut :

♦ Aliran q dari r_1 ke r_2 :

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial r} \quad (24)$$



Gambar 4 Aliran kalor melalui sistem silinder komposit

$$q = -2\pi r k_A L \frac{\partial T}{\partial r} \quad (25)$$

$$q \frac{1}{r} \partial r = -2\pi k_A L \partial T \quad (26)$$

$$\int_{r_1}^{r_2} q \frac{1}{r} \partial r = \int_{T_1}^{T_2} -2\pi k_A L \partial T \quad (27)$$

$$q \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) = -2\pi k_A L (T_2 - T_1) \quad (28)$$

$$q = \frac{2\pi k_A L (T_1 - T_2)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad (29)$$

♦ Aliran q dari r_2 ke r_3 :

Dengan cara yang sama diperoleh :

$$q = \frac{2\pi k_B L (T_2 - T_3)}{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)} \quad (30)$$

Dengan menggunakan prinsip bahwa aliran kalor q yang mengalir sama, maka besarnya aliran kalor q pada sistem silinder komposit adalah dengan menggabungkan persamaan (29) dan (30), diperoleh :

$$q = \frac{2\pi L (T_1 - T_3)}{\frac{\ln(r_2/r_1)}{k_A} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{k_B}} \quad (31)$$

Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh

Koefisien perpindahan kalor menyeluruh diperlukan untuk menghitung aliran kalor yang terjadi pada suatu sistem dimana terjadi perpindahan kalor konduksi dan konveksi. Untuk mengilustrasikan kondisi ini misalkan terdapat suatu dinding datar dimana pada satu sisinya terdapat fluida panas A dan fluida dingin B pada sisi lain (Gambar 5).

♦ Aliran kalor q dari fluida dengan temperatur T_A ke dinding dengan temperatur T_1 adalah aliran kalor konveksi, diperoleh :

$$q = h_1 A (T_A - T_1) \quad (32)$$

- ◆ Aliran kalor q dari dinding dengan temperatur T_1 ke dinding dengan temperatur T_2 adalah aliran kalor konduksi, diperoleh :

$$q = \frac{kA}{\Delta X}(T_1 - T_2) \quad (33)$$

- Aliran kalor q dari dinding dengan temperatur T_2 ke fluida dengan temperature adalah aliran kalor konveksi, diperoleh :

$$q = h_2A(T_2 - T_B) \quad (34)$$

Besarnya aliran kalor q yang mengalir setiap bagian adalah sama, maka diperoleh :

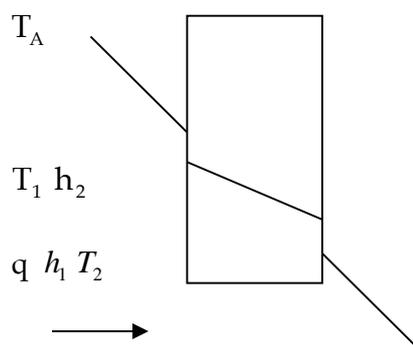
$$q = h_1A(T_A - T_1) = \frac{kA}{\Delta X}(T_1 - T_2) = h_2A(T_2 - T_B) \quad (35)$$

Perpindahan kalor menyeluruh dihitung dengan jalan membagi beda suhu menyeluruh dengan jumlah tahanan thermal :

$$q = \frac{T_A - T_B}{1/h_1A + \Delta X/kA + 1/h_2A} \quad (36)$$

Koefisien perpindahan kalor menyeluruh (overal) didefinisikan :

$$U = \frac{1}{1/h_1A + \Delta X/kA + 1/h_2A} \quad (37)$$



Gambar 5 Perpindahan kalor menyeluruh pada dinding datar

2) Perpindahan Kalor Konveksi

Perpindahan kalor konveksi merupakan perpindahan kalor yang berhubungan dengan fluida yang bergerak, di mana terjadi perbedaan temperatur fluida dengan lingkungan tempat fluida mengalir. Suatu fluida dingin yang mengalir pada suatu permukaan panas, maka fluida tersebut akan menerima panas dan mengalami kenaikan temperatur. Pada dasarnya perpindahan kalor konveksi dapat dikelompokkan dalam dua macam yaitu perpindahan kalor konveksi bebas (alamiah) atau *natural convection* dan perpindahan kalor konveksi paksa atau *forced convection*. Perpindahan kalor konveksi alamiah adalah perpindahan kalor konveksi pada fluida yang pergerakannya tidak disebabkan oleh efek mekanik dari luar. Konveksi alamiah atau konveksi bebas terjadi pada fluida yang karena mengalami pemanasan akan berubah densitasnya dan bergerak. Perpindahan kalor konveksi paksa merupakan perpindahan kalor pada fluida yang pergerakannya disebabkan adanya efek mekanik dari luar. Dalam tulisan ini hanya dibahas perpindahan kalor konveksi paksa

Hukum Pendinginan Newton

Jika suatu fluida dingin mengalir melalui suatu permukaan yang panas maka akan terjadi perpindahan panas dari permukaan ke fluida. Dalam hal ini terjadi aliran kalor dari permukaan menuju ke dalam fluida. Untuk menentukan besarnya aliran kalor q tersebut adalah dengan menggunakan Hukum Newton tentang pendinginan yaitu sebagai berikut:

$$q = hA(T_w - T_f) \quad (38)$$

q : Aliran kalor (W)

h : Koefisien perpindahan kalor konveksi ($W/m^2\text{°C}$)

A : Luas bidang permukaan (m^2)

T_w : Temperatur dinding (°C)

T_f : Temperatur rata-rata (*bulk temperatur*) fluida (°C)

Persamaan 21 merupakan persamaan dasar perpindahan kalor konveksi, yang selanjutnya akan digunakan dalam penentuan distribusi temperatur fluida pemboran dalam sumur.

Penentuan Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi

Dari Hukum Newton tentang pendinginan, perlu ditentukan koefisien perpindahan kalor konveksi h . Koefisien perpindahan kalor konveksi sangat bergantung pada temperatur fluida, sifat-sifat fisik fluida pada temperatur tertentu, jenis aliran fluida (laminar atau turbulen), dan sifat dinamika fluida. Koefisien perpindahan kalor konveksi dievaluasi pada temperatur fluida.

Untuk menentukan koefisien perpindahan kalor konveksi diperlukan parameter tak berdimensi. Parameter-parameter tersebut meliputi :

a. Reynolds Number (Re)

Reynolds Number merupakan parameter tak berdimensi yang digunakan sebagai kriteria untuk menentukan jenis aliran, apakah aliran fluida laminar atau turbulen. Reynolds Number (Re) didefinisikan sebagai:

$$Re = \frac{\rho u_m l}{\mu} \quad (39)$$

Dimana :

Re : Reynolds Number

ρ : Massa jenis fluida (kg/m^3)

u_m : Kecepatan rata-rata fluida (m/s)

l : Panjang karakteristik (m)

μ : Viskositas fluida (kg/m.s)

Massa jenis dan viskositas fluida pemboran ditentukan berdasarkan temperatur fluida pada saat mengalir.

Panjang karakteristik (*Charateristic length*) didefinisikan sebagai :

$$l = \frac{4A}{P} \quad (40)$$

Dimana :

A : Luas bidang aliran (m²)

P : Wetted perimeter (m)

Dari Reynolds Number dapat ditentukan jenis aliran, yaitu:

Re > 2300, aliran turbulen

Re < 2100, aliran laminar

Untuk Reynolds Number di antara 2100 – 2300, maka jenis alirannya adalah transisi dari aliran laminar ke turbulen.

b. Prandtl Number (Pr)

Prandtl Number merupakan besaran tak berdimensi yang menghubungkan antara medan kecepatan dan medan suhu. Prandtl Number didefinisikan sebagai

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k} \quad (41)$$

Dimana :

μ : Viskositas fluida (kg/m.s)

C_p : Kapasitas panas fluida (kJ/kg.°C)

k : Konduktivitas panas fluida (kW/m.°C)

c. Nusselt Number (Nu)

Nusselt Number merupakan besaran tak berdimensi yang menghubungkan konduktivitas panas fluida dengan koefisien perpindahan kalor konveksi.

Hubungan ini diberikan dengan persamaan :

$$Nu = \frac{hl}{k} \quad (42)$$

Untuk aliran fluida di dalam tabung, Nusselt Number diperoleh :

$$\text{Nu}_d = \frac{hd}{k} \quad (43)$$

Dimana :

d : Diameter dalam tabung (m)

Nusselt Number juga merupakan fungsi dari Reynolds Number dan Prandtl Number, di mana hubungannya tergantung pada jenis aliran fluida. Untuk aliran fluida turbulen dalam tabung licin, Nusselt Number dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan Dittus dan Boelter, yaitu :

$$\text{Nu}_d = 0.023 \text{Re}_d^{0.8} \text{Pr}^{0.4} \quad (44)$$

Sedangkan untuk aliran laminar, Nusselt Number ditentukan dengan menggunakan persamaan Hausen¹⁾, yaitu :

$$\text{Nu}_d = 3.66 + \frac{0.0668 \left(\frac{d}{L}\right) \text{Re}_d \cdot \text{Pr}}{1 + 0.04 \left[\left(\frac{d}{L}\right) \text{Re}_d \cdot \text{Pr}\right]^{2/3}} \quad (45)$$

Dimana :

Re_d : Reynolds Number aliran fluida dalam tabung

d : Diameter dalam tabung (m)

L : Panjang tabung (m)

B. Kehilangan Panas dan Tekanan Pada Pipa Alir Uap

1. Kehilangan Panas

Panas yang hilang di dalam pipa dihitung dengan menggunakan persamaan

$$q = \frac{k_{ins} (T_i - T_w)}{t} \quad (46)$$

sedangkan persamaan yang digunakan untuk mengitung kehilangan panas di luar pipa adalah

$$q = h_o(T_a - T_w) \quad (47)$$

Sementara koefisien panas di luar pipa dapat juga dihitung dengan menggunakan persamaan

$$h_o = 1,24(T_w - T_a)^{\frac{1}{3}} \quad (48)$$

Menurut prinsip hukum kekekalan energi, panas yang hilang di dalam pipa sama dengan panas yang hilang di luar pipa. Dengan mensubstitusikan persamaan-persamaan diatas untuk pressure 2 sampai 20 bar, temperatur dinding 30 sampai 60 °C maka didapatkan persamaan kehilangan panas untuk pipa panas bumi dengan insulator berupa kalsium silikat sbb:

$$H(W/m^2) = \frac{3,3835P^{0,30285}}{t^{0,8844}} \quad (49)$$

sehingga kehilangan panas total di pipa dengan insulator kalsium silikat adalah:

$$H(W) = \frac{3,3835P^{0,30285}}{t^{0,8844}} \times A$$

$$\text{dimana } A = \text{luas area} = \frac{1}{4}fD^2$$

dengan D adalah diameter pipa ditambah tebal insulator.

2. Penurunan Tekanan

Persamaan dasar yang digunakan dalam memprediksi penurunan tekanan adalah persamaan penurunan tekanan Perry (1963), yaitu:

$$P \text{ dalam } t/m^2 = 4f \left(\frac{L}{d} \right) \frac{G^2 V_g}{2g} \quad (50)$$

Agar diperoleh penurunan tekanan yang sesuai dengan unit bar, kedua ruas dari persamaan

di atas dikali dengan $\frac{g}{100}$, sehingga

$$P \text{ dalam bar/m} = \frac{f}{50} \left(\frac{L}{d} \right) G^2 V_g \quad (51)$$

dimana $V_g = \frac{1675}{P^{0.9464}}$, $G = \frac{W}{1000 - d^2}$.

Faktor gesekan yang digunakan adalah faktor gesekan Fanning

$$f = \frac{0.034}{R_n^{0.1505}} \quad (52)$$

dimana faktor gesekan ini berelasi dengan bilangan Reynold

$$R_n = \frac{Gd}{\mu_g} (10)^6 \quad (53)$$

Dengan substitusi pers. (52) ke (51) diperoleh

$$P \text{ dalam bar/m} = \frac{0.3319996752(10)^{-6} W^{1.85} L}{P^{0.9314} d^{4.85}} \quad (54)$$

Untuk $L = 1000$ m, diperoleh

$$P \text{ dalam bar/km} = \frac{3.32 \times 10^{-4} W^{1.85}}{P^{0.9314} d^{4.85}} \quad (55)$$

3. True Wetness

True Wetness atau fraksi fasa liquid bentukan adalah fraksi jumlah kondensat akibat proses kondensasi sepanjang pipa. Jumlah kondensat yang terbentuk dipengaruhi karena kehilangan panas dan penurunan tekanan yang terjadi selama fluida mengalir di dalam pipa. Dalam pipa panas bumi dominasi uap, kehilangan panas dalam pipa mengakibatkan terjadinya perubahan fasa yaitu dari fasa uap menjadi fasa air. Semakin banyak panas yang hilang jumlah air/kondensat yang terbentuk akan semakin besar. Berikut adalah persamaan untuk menghitung jumlah kondensat yang terbentuk karena kehilangan panas sepanjang 1000 meter pipa

$$\% \text{wetness karena kehilangan panas} / \text{km} = \frac{HfD}{h_{fg}} \frac{1000}{W} 100\% \quad (56)$$

Persamaan kehilangan panas spesifik atau Specific thermal heat loss (kWt/m²) untuk insulator Asbestos paper adalah :

$$H(KW/m^2) = \frac{3.464078P^{0.302848}}{t^{0.884444}} \quad (57)$$

dengan menggunakan korelasi h_{fg} dan mensubstitusikan per. (57) ke pers. (56) didapat persamaan true wetness karena kehilangan panas sebagai berikut:

$$\%wetness\ karena\ kehilangan\ panas / km = \frac{468.5421030P^{0.367148} D}{t^{0.88444} W} \quad (58)$$

Berbeda dengan pengaruh kehilangan panas terhadap jumlah kondensat yang terbentuk, pengaruh penurunan tekanan di dalam pipa akan mengurangi jumlah kondensat yang terbentuk. Hal ini disebabkan karena pada saat tekanan turun, entalpi uap akan naik sehingga uap yang mengalir dalam pipa akan mengurangi proporsi air yang terbentuk.

Dengan menurunkan korelasi h_g terhadap P , diperoleh

$$h_g = \frac{40.2135}{P^{0.985}} P \quad (59)$$

Peningkatan dari h_g dapat mengurangi $\frac{h_g}{h_{fg}}$ kg kondensat untuk setiap kilogram uap yang mengalir. Dalam bentuk persen diperoleh

$$\%Wetness\ karena\ penurunan\ tekanan = \frac{h_g}{h_{fg}} (100) \quad (60)$$

$$\%Wetness\ karena\ penurunantekanan / km = \frac{0.0006368987956W^{1.85}}{P^{1.850454} d^{4.85}} \quad (61)$$

Jadi kondensat yang terbentuk di pipa panas bumi dominasi uap dengan insulator kalsium silikat diperoleh dengan mengurangi pers (58) dengan pers. (61):

$$w_i = True \% Wetness/km = \frac{468.5421030P^{0.367148} D}{t^{0.88444} W} - \frac{0.0006368987956W^{1.85}}{P^{1.850454} D^{4.85}} \quad (62)$$

	Kalsium Silikat
Kehilangan panas (heat Loss)	$H(W/m^2) = \frac{3P^{0.30285}}{t^{0.8844}}$
Penurunan tekanan (pressure drop)	$P \text{ dalam bar/km} = \frac{0.00033199996752W^{1.85}}{p^{0.9314}d^{4.85}}$
Jumlah kondensat terbentuk (true wetness)	$w_t = \frac{468.5421030P^{0.367148}D}{t^{0.8844}W} - \frac{0.0006368987956W^{1.85}}{p^{1.850454}d^{4.85}}$

C. Insulasi Termal

1. Pengertian dan Tujuan

Insulasi diartikan sebagai material atau kombinasi dari material yang berfungsi untuk mengurangi terjadinya aliran energi kalor atau panas. Panas akan selalu mengalir karena adanya perbedaan temperatur antar media panas dengan temperatur ambient. Secara umum panas dapat berpindah melalui 3 mekanisme, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Satuan energi panas dalam SI dapat dituliskan dalam Joule (J) atau Watt (J/s)

Tujuan utama dilakukan insulasi termal adalah:

- a. Konservasi energi
- b. Mengurangi kehilangan atau penambahan panas
- c. Menjaga kondisi temperatur operasi
- d. Menjaga efisiensi/efektifitas sistem/proses/mesin
- e. Mencegah kondensasi
- f. Menjaga kualitas produk
- g. Melindungi pekerja
- h. Mengurangi emisi pengotor ke lingkungan

2. Sifat Material Insulator

Dalam menentukan jenis insulator yang digunakan, dalam desain ada beberapa hal perlu diperhatikan. Hal-hal yang perlu diperhatikan mencakup sifat termal, sifat fisik dan sifat lain. Sifat-sifat termal yang perlu diperhatikan dari material mencakup;

a. Temperatur

Temperatur adalah skala unit yang digunakan untuk menggambarkan status termal suatu sistem. Ada 4 satuan yang umum digunakan, untuk British unit umumnya digunakan Fahrenheit (F) atau Rankine (R) sedangkan untuk SI unit digunakan Celcius (C) atau Kelvin (K). Setiap jenis insulator memiliki rentang temperatur operasi yang berbeda-beda, oleh sebab itu perlu diperhatikan temperatur operasi minimum dan maksimum insulator. Hal tersebut dilakukan untuk mencegah terjadinya kegagalan insulasi termal seperti pecah, terbakar, kondensasi dll. Perbandingan dari masing-masing jenis satuan temperatur untuk fluida air dapat dilihat dibawah ini

- Fahrenheit

Skala unit dibagi ke dalam 180 bagian. Dalam kondisi tekanan atmosfer, titik beku ada pada temperatur 32 °F dan titik didih pada temperatur 212 °F

- Rankine

Skala unit dibagi ke dalam 180 bagian. Dalam kondisi tekanan atmosfer, titik beku ada pada temperatur 491.7 °R dan titik didih ada pada temperatur 671.7 °R

- Celcius

Skala unit dibagi ke dalam 100 bagian. Dalam kondisi tekanan atmosfer titik beku ada pada temperatur 0 °C dan titik didih pada temperatur 100 °C

- Kelvin

Skala unit dibagi ke dalam 100 bagian. Dalam kondisi tekanan atmosfer titik beku ada pada temperatur 273.2 K dan titik didih ada pada temperatur 373.2 K

b. Konduktivitas Termal

Besaran yang digunakan untuk menunjukkan laju perpindahan panas per satuan panjang benda homogen dalam kondisi steady state.

c. Konduktansi Termal

Besaran yang digunakan untuk menunjukkan laju perpindahan panas per satuan luas area dalam kondisi steady state.

d. Emisivitas ()

Besaran yang digunakan untuk menggambarkan kemampuan permukaan material untuk memancarkan energi secara radiasi. Nilai tersebut merupakan perbandingan dengan energi dipancarkan secara radiasi oleh black body saat kondisi temperatur yang sama

e. Resistansi termal (R)

Besaran ini menunjukkan resistansi material untuk mengalirkan panas

f. *Thermal transmittance* (U)

Yaitu total konduktansi laju panas untuk beberapa rangkaian material

Selain sifat termal, terdapat sifat lain yang perlu diperhatikan dalam menentukan jenis material insulator yang digunakan. Sifat-sifat tersebut antara lain:

a. Alkalinity (pH) atau derajat keasaman

Sifat ini penting untuk diperhatikan apabila jenis material yang diberi insulasi adalah logam. Derajat keasamaan yang rendah dapat mempercepat proses korosi, terutama untuk area dengan kadar air tinggi. Insulator tidak dapat mempercepat terjadinya proses korosi.

b. Bentuk/tampilan

Diperhitungkan apabila akan ditempatkan didaerah terbuka dan bentuk bidang yang diberikan insulasi seperti *valve* atau *fitting* pipa.

c. *Breaking load*

Dalam beberapa instalasi, insulator harus dapat bertahan terhadap perubahan terus-menerus yang terjadi di material yang diisolasi. Contohnya adalah tahan terhadap kerusakan akibat getaran.

d. Kapilaritas

Diperhitungkan apabila terjadi kontak dengan cairan.

e. Reaksi kimia

Reaksi yang dapat terjadi dengan insulator apakah dapat menimbulkan potensi bahaya kebakaran dan menyebabkan potensi korosi.

f. Resistansi terhadap unsur kimia

Resistansi material terhadap bahan kimia seperti garam atau unsur kimia lainnya.

g. Koefisien ekspansi, koefisien kontraksi dan koefisien susut

Ketahanan material terhadap pemuluran dan pengerutan akibat perubahan temperatur. Umumnya diperhitungkan untuk insulasi temperatur yang sangat tinggi atau sangat rendah.

h. *Combustibility/Flash point*

Ketahanan material untuk terbakar akibat temperatur tinggi. Hal tersebut berhubungan dengan potensi bahaya kebakaran.

i. *Flame retardancy*

Sifat ini berhubungan erat dengan sifat sebelumnya, yaitu menggambarkan kecepatan perambatan api saat terbakar.

j. Daya tekan

Sifat ini merupakan salah satu sifat fisik bahan. Diperhitungkan apabila insulator akan mengalami gaya tekan atau gaya dorong.

k. Densitas

Densitas berhubungan dengan daya tekan material. Diperhitungkan untuk mendapatkan berat total yang sesuai dengan desain. Berat total yang dimaksudkan adalah berat insulator dan bahan yang diinsulasi.

l. Resistansi terhadap sinar UV

Diperhitungkan apabila material berada didaerah terbuka dan terus menerus terpapar sinar matahari.

m. Koefisien absorpsi gelombang suara

Diperhitungkan apabila terdapat batas atenuasi suara yang diijinkan. Umumnya di lokasi rumah sakit atau stasiun radio.

n. Resistansi terhadap jamur dan bakteri lain

Diperhitungkan apabila insulator dapat menjadi media pertumbuhan jamur atau bakteri

o. Toksisitas

Diperhitungkan untuk mencegah bahaya keracunan terhadap pekerja yang ada.

3. Jenis Insulator

Macam jenis insulasi termal cukup banyak dan bervariasi. Jenis insulasi dapat dibedakan berdasarkan beberapa macam, antara lain berdasarkan fungsi dan temperatur.

A. Berdasarkan Fungsi

Jika dilihat berdasarkan fungsinya, insulator dibedakan menjadi 2 yaitu material utama dan material pelindung. Material utama memiliki fungsi utama untuk menghambat terjadinya aliran energi panas dari dalam ke luar atau sebaliknya. Sedangkan material pelindung memiliki fungsi utama untuk memberikan perlindungan terhadap material utama.

Material Utama

Dalam industri terdapat beberapa jenis material utama yang umum digunakan, antara lain;

a. Kalsium silikat

Bahan utama insulasi kalsium silikat adalah silikat kalsium hidro yang diperkuat dengan serat/fiber. Umumnya tersedia dalam bentuk cetakan dan bersifat kaku. Rentang temperatur insulasi adalah antara 35 °C hingga 815 °C. Material ini memiliki daya lentur dan daya tekan baik. Sifat kalsium silikat adalah penyerap air, namun material ini dapat mengering tanpa mengalami banyak kerusakan. Bahan ini tidak mudah terbakar dan banyak digunakan pada bidang panas terutama pada pipa panas. Dalam aplikasinya diperlukan material pelindung atau *jacketing*.



Gambar 6. Kalsium silikat

b. Mineral fiber

Memiliki 2 bahan pembentuk utama, yaitu

- Gelas/Kaca

Tersedia dalam bentuk lembaran fleksibel, papankaku, selosong pipadan bentuk cetakan lain. Rentang temperatur insulasi antara -40°C sampai 232°C. Serat kaca bersifat netral, namun pengikat serat memiliki unsur pH. Jenis ini tidak mudah terbakar dan memiliki kualitas penyerapan suara yang baik.

- Batuan and Terak (*Rock and slag*)

Batuandan terakseratdiikat oleh bahan tahan panasdan menghasilkanseratmineralatau wol. Rentang temperatur maksimum insulasi dapat mencapai1.035°C. Pengikatorganik yang samajuga digunakan dalam produksiserat kaca (*fiber glass*) danjuga digunakan dalam produksi kebanyakan produk serat mineral. Serat mineral jenis ini tidak mudah terbakar danmemiliki sifat tahanapi yang sangat baik.

c. *Cellular Glass*

Tersedia dalam bentuk papan dan blok. Dapat dibentuk menjadi selubung pipadan berbagai bentuk lainnya. Rentang temperatur insulasi antara -273°C sampai 200 °C dan 650 °C untuk sistem komposit. Jenis ini memiliki kekuatan struktural yang baik, tetapi resistansi benturan yang buruk, tidak mudah terbakar, tidak mudah menyerap cairan dan tahan terhadap banyak bahan kimia. Cellular Glass insulation adalah tipe insulasi yang memiliki range -260 sampai 480 derajat celcius. Insulasi yang dibuat dari pecahan kaca (glass) yang di kombinasikan dengan perekat ini memiliki karakteristik yang ringan, rigid (kaku), terdiri dari jutaan sel kaca yang tertutup rapat (sealed) pada setiap rongga kacanya. Sangat cocok digunakan dalam kondisi kelembaban yang tinggi di banding insulator lainnya, sehingga banyak digunakan untuk insulasi pipa di bawah tanah. Disamping itu ia pula tidak mudah mengalami pembengkakan atau penyusutan.



Gambar 7. Cellular Glass

Biasanya pula digunakan pula di bagian bawah dari tanki atau vessel dimana terdapat kemungkinan kelembaban yang tinggi.

d. *Expanded silica* atau perlite

Perlite adalah mineral serbaguna yang di tambang dan di proses dengan dampak minimal terhadap lingkungan. Green community mengakui kalau bahan perlit yang disempurnakan – seperti untuk insulasi - memiliki performa tinggi yang di ambil dari bahan alami. Perlite merupakan kaca vulkanik amorphous yang memiliki kandungan air relative tinggi dan biasanya dibentuk dari hidrasi Obsidian. Perlite telah banyak di kembangkan untuk aplikasi komersial. Perlite dapat berkembang 20 kali dari volume awalnya dan berbentuk (seperti sel sel dalam internal struktur) yang membentuk gelembung mikroskopik. Karena perbedaan sifat fisik yang sangat berarti membuat perlite sangat efisien, dan memiliki densitas rendah. Jenis ini memiliki koefisien susut rendah, tahan korosi dan tidak mudah terbakar. Rentang suhu yang dapat di jaga oleh perlite adalah dari temprateur (871 – 1093°C) dengan kondisi softening poin. Tersedia dalam berbagai bentuk dan blok.

e. Busa elastomerik (*elastomeric foam*)

Jenis ini merupakan kombinasi antara busa resin dan elastomer untuk menghasilkan bahan selular yang fleksibel. Umumnya tersedia dalam bentuk lembaran. Insulasi elastomer baik digunakan untuk area yang memiliki kadar air dan kelembapan tinggi, tetapi tidak tahan panas dan api. Rentang temperatur maksimum adalah 105°C

f. Busa plastik (*plastic foam*)

Jenis ini terbuat dari resin plastik, bersifat kaku, berbentuk struktur selular dan dapat disesuaikan dengan bentuk bahan yang diinsulasi. Nilai konduktivitas akan menurun setelah beberapa saat akibat udara yang terperangkap dalam struktur selular. Jenis ini memiliki bobot yang ringan dengan karakteristik potongan yang sangat baik, tetapi tidak tahan api. Kandungan bahan kimia bervariasi tergantung masing-masing produsen. Tersedia dalam bentuk, lembaran atau papan. Umumnya digunakan insulasi temperatur rendah dan menengah.



g. Serat tahan api (*refractory fibre*)

Bahan insulasi refractory fiber serat mineral atau keramik, termasuk juga alumina dan silika. Diikat oleh pengikat anorganik dengan suhu yang sangat tinggi. Tersedia dalam bentuk selubung atau kaku. Memiliki ketahanan thermal

shock tinggi, dengan temperatur mencapai 1750 C dan memiliki ketahanan api yang sangat baik.

h. Semen

Insulasi semen merupakan campuran dari berbagai serat insulasi yang diikat dengan air dan semen, untuk membentuk massa plastik lunak untuk diaplikasikan pada permukaan yang tidak teratur. Insulasi semen dapat digunakan untuk tahap akhir lapisan (*finishing*) atau sebagai lapisan awal pada insulasi temperatur rendah dan menengah, yang kemudian dilapisi dengan insulasi lain. Insulasi semen dapat diterapkan pada suhu permukaan yang tinggi, tergantung dengan jenis fiber yang ditambahkan. Sifat yang perlu diperhatikan koefisien susut dan sifat adhesinya.

B. Material Pelindung/Proteksi (Finishing Material)

Efisiensi insulasi termal ditentukan berdasarkan besar energi panas yang mengalir ke lingkungan. Untuk mencapai efisiensi yang diharapkan, maka sebelumnya minimal ketebalan insulator utama sudah ditentukan berdasarkan nilai laju perpindahan panas yang diijinkan. Untuk mencegah insulator rusak atau berkurang ketebalannya, maka diperlukan material proteksi. Pemilihan material proteksi juga harus mempertimbangkan kondisi faktor mekanis, kimia dan juga faktor biaya. Penggunaan jenis insulasi proteksi dapat digabungkan atau terpisah. Macam dan jenis insulasi material proteksi adalah;

a. *Weather retarders*

Pelindung ini berfungsi untuk memberikan perlindungan terhadap cuaca. Mencegah penetrasi air dan salju, selain itu juga memproteksi dari sinar matahari dan ozone. Bentuk insulasi ini dapat berbentuk selubung (*jacketing*) metal atau plastik atau dalam bentuk coating. Pemilihan jenis weather barrier/retarder yang umum digunakan ada beberapa macam, antara lain:

- Film plastik
Keunggulan murah dan ringan, tetapi bahan akan terdegradasi seiring waktu penggunaan. Tingkat kekuatan material tidak terlalu baik, sehingga perlu diberikan tambahan pelindung mekanik
- Laminasi
Serupa dengan film plastik dan membutuhkan zat adhesif atau sealer untuk mengisi celah di bagian sambungan atau lekukan. Tingkat kekuatan material tidak terlalu baik
- Galvanized-steel
Merupakan jenis bahan yang pertama kali digunakan sebagai *weather barrier* dalam industri, karena material yang kuat, tahan api, tahan lama terhadap cuaca. Tetapi tidak terlalu baik dalam menahan laju korosi untuk temperatur tinggi, sehingga dalam aplikasinya diperlukan coating tambahan.
- Stainless-steel
Umumnya digunakan dengan ketebalan material sekitar 0.25 mm. Serupa dengan Galvanized-steel. Keunggulan lainnya adalah material jenis ini sangat baik dalam hal tahan korosi dan beberapa zat kimia lainnya. Nilai emisivitas material ini antara 0.4 – 0.8. Dari segi ekonomi, harga material ini relatif lebih mahal dibandingkan material logam lainnya.
- Alumunium
Umumnya digunakan dengan ketebalan antara 0.152 – 0.533 mm. Termasuk kedalam material logam dengan bobot ringan dan mudah dibentuk dan dipotong. Kelemahannya tidak termasuk logam yang keras dan kuat. Sehingga dalam aplikasi perlu dipertimbangkan lokasi instalasi yang tepat. Untuk aplikasi dalam insulasi temperatur rendah, di bagian dalam lapisan

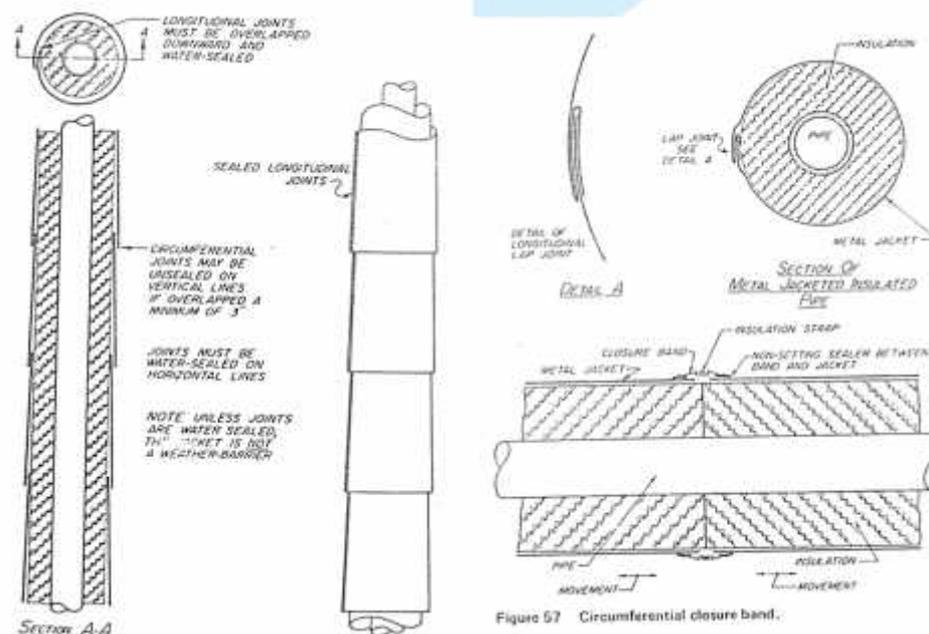
umumnya ditambahkan *vapour retarders* untuk mencegah kondensasi. Nilai emisivitas material ini antara 0.05 – 0.1.

Jenis-jenis *weather retarder* dapat dilihat dalam tabel dibawah ini.

Type	Composition	Fasteners	Notes
JACKETS:	1. Flims laminated to walls or foil	Contact adhesives and/or tape	Corrosion resistant, bacteria and mildew resistant
	2. Stainless steel (various alloys – available with factory-applied moisture retarder)	Bands, screws or rivets	Excellent mechanical strength, corrosion, mildew and bacteria resistant. Excellent fire resistance.
	3. Galvanized steel (coated and with factory-applied moisture retarder)	Bands, screws or rivets	Good mechanical strength and fire resistance.
	4. Aluminum alloys (preferably with factory-applied moisture retarder)	Bands, screw or rivets	Good mechanical strength, good workability, poor fire resistance.
	5. Polyvinyl Chloride (PVC)	Mechanical fasteners, adhesives, or matching tape	May require protection from ultra-violet radiation. Resists chemicals and bacteria.
	6. High Impact Plastic (ABS)	ABS welding adhesive or mechanical fasteners	Washable surface for food processing applications.
	7. Plastic film (PVDC)	Adhesive or tape	Corrosion, Bacteria, mildew and chemical resistance. May require protection from ultra-violet radiation. Workable surface for food processing applications.
MASTICS:	1. Asphalt emulsion	Apply with reinforcing mesh	Water base, a breather mastic
	2. Asphalt cut-back	Apply with reinforcing mesh	Solvent base, also a vapour barrier
	3. Resin emulsion	Apply with reinforcing mesh	Tough, resilient film
	4. Polyvinyl acetate	Apply with reinforcing mesh	Tough, resilient film
	5. Acrylic	Apply with reinforcing mesh	Tough, resilient film

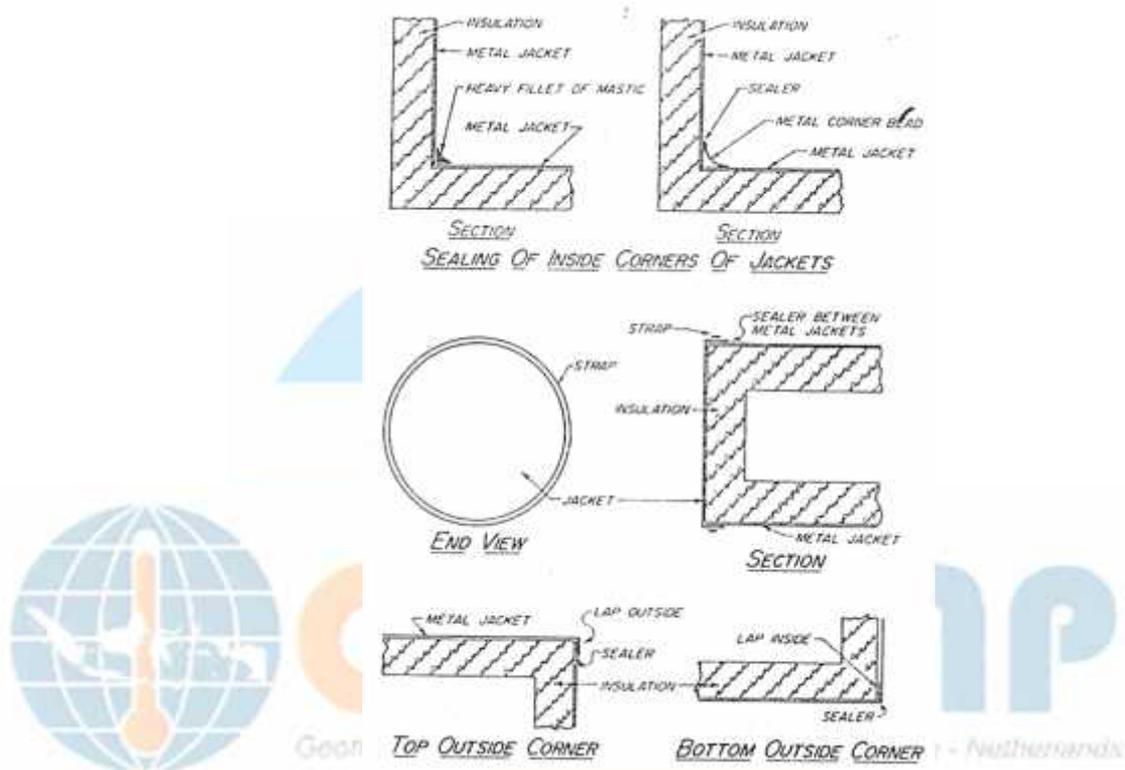
*Covering shall not be termed a weather barrier unless its joint and overlaps are adequate to prevent the entry of rainwater

Untuk aplikasi bentuk selubung logam di pipa silinder dapat dilihat dalam gambar dibawah. Selubung diletakkan secara bertumpuk sedemikian rupa sehingga mencegah air masuk. Untuk insulasi dengan temperatur tinggi, selain ditumpuk celah sambungan perlu diberi pengikat (*strap*) untuk memberi ruang terjadinya pemuaihan pipa



Gambar 8. Aplikasi selubung weather-barrier di pipa silinder

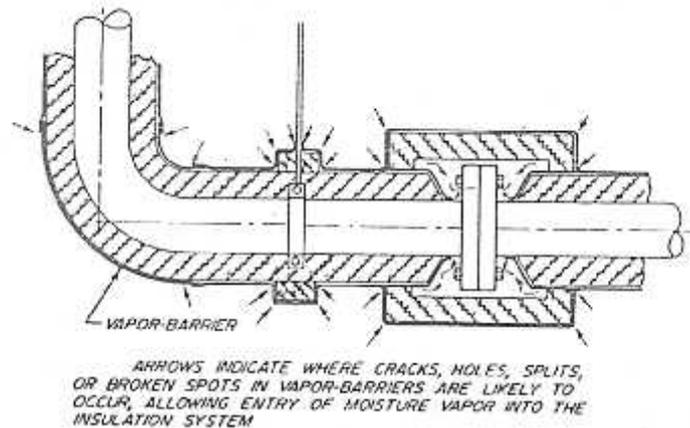
Sedangkan untuk aplikasi di permukaan datar dan bersiku, peletakkan selubung juga diletakkan bertumpuk dan dibagian celah diberi tambahan sealer kedap air. Tujuan sealer untuk mencegah air masuk ke dalam bagian yang tidak bisa tertutup oleh selubung logam. Gambar instalasi dapat dilihat dibawah ini.



Gambar 9. Aplikasi selubung weather-barrier di permukaan datar

b. Vapour retarders

Vapour retarders memiliki fungsi utama untuk mencegah penetrasi uap air ke lapisan dalam atau sebaliknya. Bagian sambungan dari *vapour retarders* harus diberi tambahan perekat atau *sealer* untuk dapat mencegah uap masuk atau keluar dari celah sambungan atau sudut. *Vapour retarders* umumnya hanya digunakan untuk insulasi dengan temperatur rendah, untuk mencegah terjadinya kondensasi. Potensi terjadi penetrasi uap air dalam instalasi pipa silinder ditunjukkan oleh tanda panah dalam gambar dibawah.



Gambar 10. Potensi penetrasi uap air

Kecepatan penetrasi uap air berdasarkan temperatur dapat dilihat dari tabel. (1 Metric *Permeance* (Perm) adalah jumlah 1 gr air yang dapat melewati material seluas 1 m² selama 24 jam dengan beda tekanan sebesar 1 mm Hg)

Required water vapour permeance in relation to plant temperature at an ambient temperature of +10°C (dry bulb)		
Temperature of plant (cold surface) °C	Water vapour permeance of barrier g/(s. MN)	Metric Perms
0	0,010	0,12
-5	0,004	0,046
-10	0,002	0,023
-15	0,0015	0,017
-20 to 40	0,001	0,012

Note: For temperatures lower than -40°C please consult a IASAA member. Refer matrix of members elsewhere in this publication.

Bentuk dari *vapour retarders* ada 3 macam;

- Selubung kaku (*rigid jacketing*)

Selubung berbahan plastik yang memiliki bentuk sesuai dimensi yang diinginkan. Aplikasi menggunakan zat adhesif

- Selubung membran (*membrane jacketing*)

Berbentuk laminasi foil seperti film plastik yang diaplikasikan pada bidang yang diisolasi. Mungkin diperlukan sealing tambahan untuk mengurangi kelembapan.

- Aplikasi mastik

Bentuk solvent yang aplikasikan pada bidang yang akan diinsulasi, berbentuk lapisan tipis setelah mengalami pengeringan.

Tabel dibawah ini paduan sederhana untuk memilih jenis bahan *vapour retarders*

TYPE	PRODUCE NAME	TEMP RANGE °C	REC D.F.I (mm) vs	WEI FLAMABLE	EXPOSURE RESISTANCE	NON SUITABLE SUBSTRATE	WATER VAPOUR PERMEANCE g's MN ⁻²	METHOD OF APPLICATION
Bituminous	BE1 Bitumen Emulsion	-5/55	1,5	No	Internal	None	0,0081	Brush
	BE Emulsion	-5/55	1,5	No	Internal	None	0,0022	Trowel
	57C Rubberised Emulsion	-30/60	1,5	No	Internal	None	-	Brush
Epoxy	755 Epoxy Paint	-10/8	0,3	Yes	External	EPS	-	Brush/Spray
	334 Epoxy Coating	-10/120	0,3	No	External	None	-	Brush
	Alcoate SF322	Dry 120	2,0	Flash 0°C			0,005	Brush
	Hintac 380	-10/50	0,3	Flash 0°C			0,058	Brush
	Trusy 340	-10/90	0,8	No	Internal	None	0,003	Brush
	1 C KL		Film	N/A	Internal	None	0,001	N/A
	1 C KH 1 C RH		Film Film	N/A N/A	Internal Internal	None None	<0,001 Neg.	N/A N/A
Electrometric	Foster Monclar	-30/120	0,75	Yes	External	EPS	0,006	Brush/spray/trowel
	Foster 55-44	-73/121	Seal 1	Yes	External	EPS	-	Trowel/glove
	Foster 30-45	-60/149	Seal 1	Yes	External	None	-	Trowel/glove
	800 Hypalon	-40/120	0,3	Yes	External	EPS	0,000	Brush/spray
	795 PU Coating	-20/180	0,5	Yes	External	EPS	0,000	Brush/spray
	606 Elastothane	30/120	1,0	No	External	None	-	Brush
	153 FR Mastic	-30/80	1,9	Yes	External	EPS	N/A	Trowel
	625 Non-sump Mastic	-40/120	Band	Yes	External	EPS	N/A	Roll
	151 Glass Mastic	70/150	Band	No	Internal	None	N/A	Gun/trowel
Synthetic Emulsions	Foster 30-36	-18/82	0,9	No	Internal	None	0,083	Brush/spray
	Foster 30-70 (Latex)	-46/82	0,4	No	External	None	0,180	Brush/spray
	Foster 35-00	-29/93	1,0	No	External	None	0,090	Trowel/glove
	2415 Phurex	-20/120	0,45	No	External	None	0,057	Brush/trowel
	2191 Phurex	-20/80	0,45	No	External	None	0,072	Brush/trowel
	240 Phurex	-30/90	0,45	No	External	None	0,05	Brush/trowel
	835 Acryl seb	-20/80	0,5	No	External	None	-	Brush
	147 Acryl Coat	20/80	0,2	No	External	None	-	Brush
Others	Foster 65-05	-29/93	2,0	Yes	External	EPS	0,007	Brush/spray
	Foil-Mylar	-70/100	Film	N/A	Internal	None	0,001	N/A

* Tested in acceptance with ASTM E96 Desiccant method.

** Recommended Dry Film Thickness

Note: It is recommended that the users contact the manufacturer for more information.

c. Pelindung mekanik

Selubung kaku untuk memberikan perlindungan terhadap benturan, beban mekanis dan abrasi yang diakibatkan oleh personil, peralatan mesin, dll. Dalam perancangan perlu dipertimbangkan kekuatan bahan selubung.

d. Pelindung korosi dan pelindung api

- Pelindung korosi

Berfungsi untuk mencegah terjadinya korosi akibat unsur-unsur yang ada di atmosfer

- Tahan api

Berfungsi untuk memperlambat penyebaran api apabila terjadi kebakaran.

e. *Appearance coverings*

Variasi dari coating dan selubung. Memberikan efek warna untuk mempermudah pengenalan jenis fluida didalam dan jenis komponen instalasi

f. *Hygienic coverings*

Insulasi yang berfungsi untuk memberikan perlindungan dari degradasi material akibat bakteri atau jamur yang timbul di permukaan.

C. Berdasarkan Temperatur

Rentang insulasi termal dalam sistem cukup luas, yaitu $(-75)^{\circ}\text{C} - 815^{\circ}\text{C}$. Menurut rentang tersebut, insulasi termal dibagi menjadi 3 bagian, yaitu rendah, menengah dan tinggi.

Insulasi Termal Temperatur Rendah

Insulasi ini banyak ditemukan di instalasi sistem refrigasi atau *cold/chilled water*, dengan rentang temperatur antara $(-75)^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C}$. Kendala utama dari insulasi pada temperatur rendah adalah penetrasi uap air dan efisiensi operasi. Insulasi yang digunakan dalam temperatur rendah harus memiliki daya serap air/uap air yang sangat rendah, hal tersebut bertujuan untuk mencegah terjadinya kondensasi. Dalam hal tersebut banyak ditambahkan *vapour retarder* dalam lapisan insulasi, tetapi hal tersebut tidak berarti dapat meniadakan penetrasi uap air ke lapisan dalam. Seperti sudah dijelaskan sebelumnya, potensi penetrasi uap air dapat melalui celah sambungan yang tidak diberi sealer ataupun melalui retakan

insulator. Uap air yang masuk akan terkondensasi, membeku dan akhirnya merusak insulasi. Jika ditinjau dari segi biaya, biaya refrigerasi lebih tinggi dibandingkan pemanasan. Maka seringkali ketebalan insulator melebihi ketebalan yang dianggap ekonomis. Ditinjau dari akibat yang mungkin ditimbulkan, maka rentang temperatur diklasifikasikan menjadi;

1. Refrigerasi (0°C – -75°C)

Selain terjadi kondensasi, uap air akan membeku dan dapat merusak sistem insulasi

2. Cold/chilled water (15°C – 0°C)

Uap air akan terkondensasi dan dapat menyebabkan kegagalan insulasi termal karena ada perpindahan panas secara konveksi. Selain itu ada potensi terjadinya korosi untuk material logam. Dalam hal ini vapour retarder harus memiliki nilai permeance 0.02 Perms.

Jenis insulator yang umum digunakan dapat dilihat dari tabel dibawah ini:

Type	Form	Temp. Range	K Factor* Metric/ Imperial	Mean Temp. C (F)	Notes
GLASS CELLULAR	Pipe Covering Block	-258°C to 427°C -450°F to 800°C	0.48 (.33) @	4° (40°)	Good strength, water and vapour resistant, non-combustible, poor abrasion resistance.
GLASS FIBER	Pipe Covering Board Blanket	to 455°C to (850°F) to 538°C to (1000°F) to 538°C to (1000°F)	0.05 (.24) @ 0.02 (.22) @ 0.00 (.21) @	4° (40°) 4° (40°) 4° (40°)	Good workability, non-combustible, water absorbent. Readily available. Vapour retarder required. Low compressive strength.
FLASTOMERIC FOAM	Pipe Sheet Roll	-10°C to 104°C -40°F to 220°F	0.38 (.27) @	13° (50°)	Closed cell good workability, finish not required. Limited thickness to max. flame spread/smoke. Required L/V protection.
POLYSTYRENE (Extruded)	Pipe Covering Board	-183°C to 74°C -297°F to 165°F	0.05 (.24) @	4° (40°)	Lightweight, good workability. Check manufacturers' data. Combustible. Some are treated for fire retardancy. All are closed cell except polystyrene expanded.
POLYSTYRENE (Expanded)	Pipe Covering Board	-40°C to 80°C -40°F to 175°F	0.05 (.25) @	4° (40°)	K-value may change as these materials age. Combustible. High flame spread and smoke.
POLYURETHANE	Pipe Covering Sheet	-40°C to 107°C -40°F to 212°F	0.05 (.18) @	4° (40°)	
POLYURETHANE	Pipe Covering Sheet Roll	70°C to 100°C -94°C to 212°F	0.05 (.25) @	13° (50°)	
POLYISOCYANURATE	Pipe Covering Sheet	-183°C to 140°C -297°F to 300°F	0.05 (.18) @	4° (40°)	Lightweight, good workability. Check manufacturers' data. Some are treated for fire retardancy. K Values may change with age.

NOTE: Special attention must be given to installation and vapour seal.

*K-Factor Metric = W/m.K / Imperial = Btu.in./h.ft².°F

Insulasi Termal Temperatur Menengah

Rentang temperatur intermediate adalah 15°C – 315°C , rentang tersebut banyak terdapat dalam proses industri. Pemilihan jenis material yang digunakan didasarkan kepada nilai termal, sifat fisik, sifat kimia, bentuk, waktu instalasi dan biaya. Jenis insulator yang umum digunakan dapat dilihat dari tabel dibawah ini:

Type	Form	Temp. Range	K-Factor* Metric/ Imperial	Mean Temp. C (F)	Notes
CALCIUM SILICATE	Pipe Covering Block Segments Type I	to 649°C (1200°F)	.065 (.45) @	93° (203°)	High compression strength, good workability, water absorbent, non-combustible. High flexural strength. Resistant to abrasion. See manufacturers' data for shrinkage factors.
GLASS CELLULAR	Pipe Covering Block Segments	to 427°C (800°F)	.050 (.35) @ .063 (.44) @	24° (75°) 93° (203°)	Good strength, water and vapour resistant, non-combustible, poor abrasion resistance. Subject to thermal shock. For applications over 204°C (400°F) see manufacturers' specifications.
GLASS FIBER	Pipe Covering Board	to 455°C (850°F) to 538°C (1000°F)	.037 (.26) @ .053 (.23) @	24° (75°) 24° (75°)	Good workability, non-combustible, water absorbent. Low compression resistance.
GLASS FIBER MINERAL FIBER	Blanket Pipe Covering Block Board Blanket	to 538°C (1000°F) to 649°C (1200°F) to 1035°C (1895°F) to 649°C (1200°F) to 649°C (1200°F)	.033 (.23) @ .037 (.26) @ .037 (.26) @ .037 (.26) @ .048 (.33) @	24° (75°) 24° (75°) 24° (75°) 24° (75°) 24° (75°)	General purpose material, many facings available. Good workability, non-combustible. Water absorbent. Low compression resistance.
PERLITE (Expanded)	Pipe Covering Board	to 649°C (1200°F)	.078 (.53) @	93° (203°)	Good workability, non-combustible. Poor abrasion resistance. Special packaging required to protect material. Corrosion inhibitor.
ELASTOMERIC FOAM	Pipe Covering I Sheet II Roll	-43°C to 105°C -43°F to 220°F	.043 (.30) @	24° (75°)	Cleed coil, finish not required, good workability. May require UV protection. Flame spread/smoke limited.
POLYSTYRENE (Extruded)	Pipe Covering Board	-183°C to 74°C -297°F to 163°F	.037 (.26) @	24° (75°)	Lightweight, excellent workability, combustible although some are treated for fire retardancy (check manufacturers' data sheet for properties).
POLYSTYRENE (Expanded)	Pipe Covering Board	-43°C to 80°C -43°F to 175°F	.039 (.27) @	24° (75°)	High flame spread/smoke. Check manufacturers' data sheets for values. K value may change as these materials age.
POLYURETHANE	Pipe Covering	-43°C to 105°C -43°F to 225°F	.027 (.19) @	24° (75°)	

Insulasi Termal Temperatur Tinggi

Rentang temperatur insulasi adalah 316°C – 815°C. Sistem temperatur tinggi umumnya ditemukan di turbin, cerobong, exhausts, ruang bakar, boiler. Insulator untuk temperatur tinggi tidak terlalu banyak, umumnya merupakan kombinasi dari beberapa material yang sama. Jenis insulator yang umum digunakan dapat dilihat dari tabel dibawah ini:

Type	Form	Temp. Range	K-Factor* Metric/ Imperial	Mean Temp. C (F)	Notes
CALCIUM SILICATE	Pipe Covering Block Segments Type I Type II	to 649°C (1200°F) to 871°C (1600°F)	.087 (.60) @ .101 (.70) @	260° (500°) 260° (500°)	High compressive strength, good cutting characteristics, water absorbent, non-combustible. High flexural strength. Resistant to abrasion. See manufacturers' data for shrinkage factors.
GLASS CELLULAR HIGH TEMP	Pipe Covering Block Segments	to 427°C (800°F)	.103 (.72) @	260° (500°)	Good strength, water and vapour resistant, non-combustible, poor abrasion resistance. Subject to thermal shock. For application over 204°C (400°F), see manufacturers' specifications.
GLASS FIBER	Pipe Covering Board Blanket	to 455°C (850°F) to 538°C (1000°F)	.083 (.58) @ .086 (.60) @ .086 (.60) @	260° (500°) 260° (500°) 260° (500°)	Good workability, water absorbent, non-combustible. Check manufacturers' data for specific properties. Low compression resistance.
MINERAL FIBER	Pipe Covering Block Board Blanket	to 649°C (1200°F) to 1035°C (1895°F) to 649°C (1200°F) to 649°C (1200°F)	.072 (.50) @ .082 (.64) @ .101 (.70) @ .101 (.70) @	260° (500°) 260° (500°) 260° (500°) 260° (500°)	Good workability, non-combustible. Low compressive resistance. Water absorbent.
PERLITE (Expanded)	Pipe Covering Block	to 649°C (1200°F)	.106 (.74) @	260° (500°)	Good workability, non-combustible, friable. Check manufacturers' data for specific properties. Poor abrasion resistance. Special packaging required to protect material. Corrosion inhibitor.
CERAMIC FIBER (Refractory Fiber)	Blanket Board	to 1280°C (2330°F) to 1250°C (2300°F)	.086 (.60) @ .080 (.56) @	260° (500°) 260° (500°)	Temperature range varies with manufacturer, style and type.
CEMENTS Hydraulic Setting Cement High Temperature Mineral Wool Finishing Cement (Mineral Fiber or Vermiculite)	Type I Type II Type III	38-848°C (100-1500°F) 38-870°C (100-1600°F) 38-900°C (100-1600°F)	.180 (1.05) @ .190 (1.12) @ .150 (1.26) @	250° (482°) 250° (482°) 250° (482°)	One coat application – insulating and finishing. Slow drying, rough texture – Pointing and insulating and filling. Used over basic insulation – Smooth finish usually 1/8" or 1/4" thick application.

4. Teknik Insulasi

A. Aksesoris Pendukung

Faktor utama kegagalan insulasi disebabkan akibat desain yang tidak tepat atauantisipasi pengamanan yang kurang. Untuk mengurangi potensi terjadi kegagalan insulasi termal, maka ditambahkan aksesoris pendukung ke dalam sistem insulasi. Aksesoris pendukung adalah alat yang digunakan dalam instalasi sebagai pendukung kestabilan sistem insulasi. Secara khusus aksesoris pendukung memiliki fungsi-fungsi berikut:

a. Pengaman tambahan (*securement*) terhadap insulasi

Kebanyakan bahan insulasi bukan termasuk bahan dengan kekuatan struktur yang baik, sehingga harus didukung, merekat, terpancang atau terikat di tempat yang memiliki kekuatan yang lebih baik. *Securement* yang digunakan harus sesuai dengan bentuk insulasi dan bahan selubung.

Pilihan dari *securement* yang umum digunakan:

- *studs* dan pin



- Staples, pengencang bergerigi (*serrated fasteners*), paku keling dan baut



- Klip

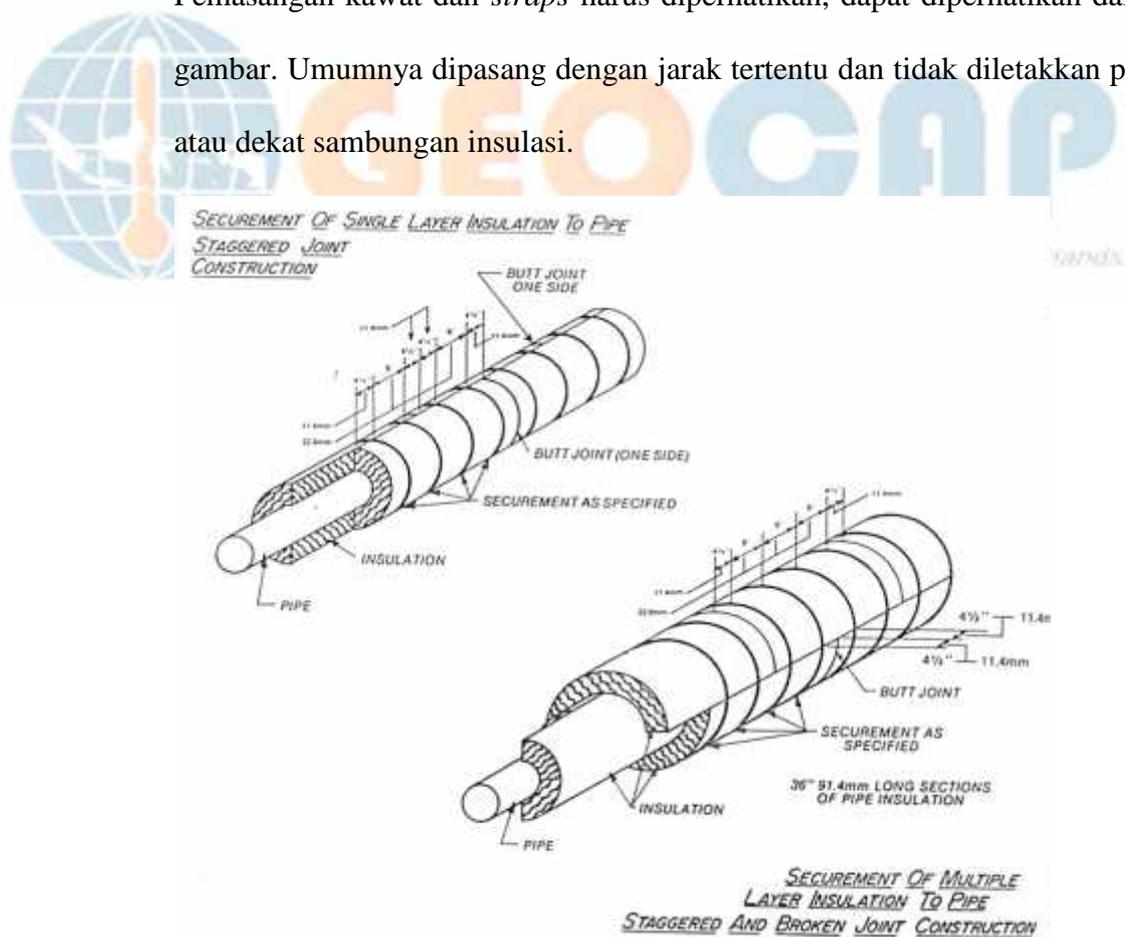


- Kawat atau *straps*

Jenis ini mungkin tidak dapat digunakan untuk jenis insulasi foam, karena saat akan dikencangkan akan merusak bahan insulasi



Pemasangan kawat dan *straps* harus diperhatikan, dapat diperhatikan dalam gambar. Umumnya dipasang dengan jarak tertentu dan tidak diletakkan pada atau dekat sambungan insulasi.



Gambar 11. Contoh lokasi pemasangan starps

- *Self-adhering laps*



- *Tape**



- Adhesif*
- Mastik*



Catatan:

* Suhu ambient, kondisi kelembaban dan kebersihan permukaan mempengaruhi efisiensi perekat dan mastik pada instalasi. Periksa sifat bahan perekat/adhesiv berdasarkan batasan temperatur, permeabilitas uap air saat memilih. Untuk aplikasi sedapat mungkin, tambahkan *securements* mekanik.

b. Penguat insulasi semen atau mastik

Mastik dan semen harus diperkuat untuk menyediakan kekuatan mekanik.

Bahan-bahan berikut dapat digunakan:

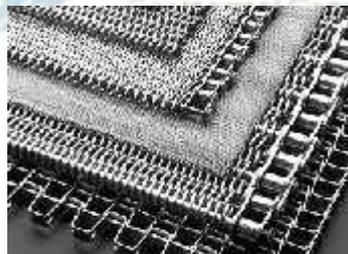
- kain serat (fibre)



- *Expanded metal lath*



- *Metal meshes*



- *Wire netting*



Yang perlu diperhatikan adalah ketahanan bahan terhadap korosi.

- c. Penguat struktur sistem akibat dari penambahan berat total setelah instalasi insulasi

Metal lath dan *wire netting* dapat diaplikasikan pada permukaan dengan suhu tinggi sebelum insulasi dipasang.

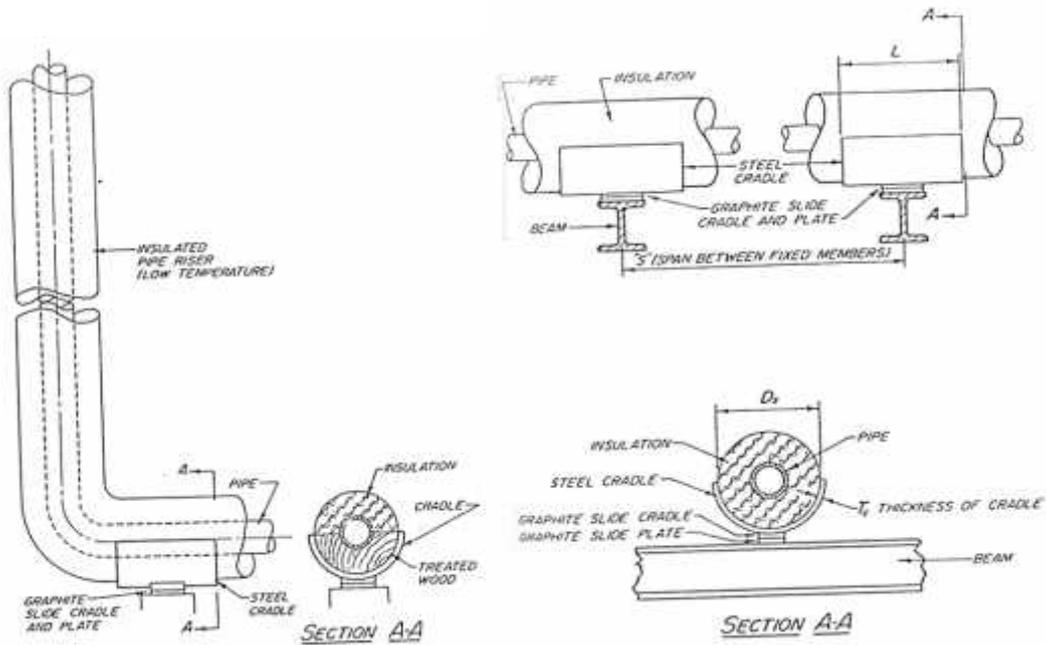
- d. Sebagai *support* (pipa, bejana atau insulasi)

Bertujuan untuk mendukung kestabilan pipa, bejana dan insulasi. Dapat diberikan sebagian atau seluruhnya tergantung desain kontraktor. *Support* yang baik untuk insulasi pada bahan logam sangat penting, karena akan terjadi ekspansi dan kontraksi saat perubahan temperatur. Bahan *support* yang dapat digunakan, untuk temperatur tinggi adalah jenis grafit dan untuk temperatur rendah

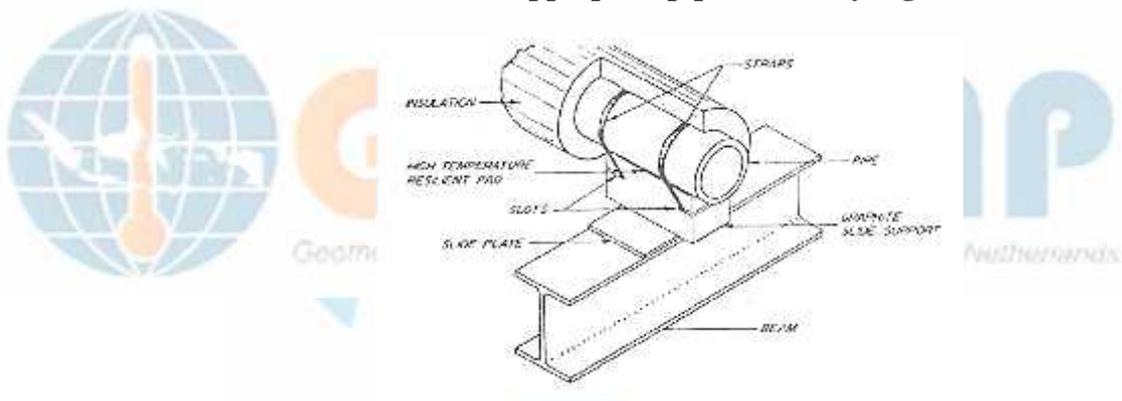
Support dapat dipasang pada titik-titik tertentu, yaitu:

- Terdapat insulasi dengan densitas tinggi

Densitas insulator yang tinggi menyebabkan berat total keseluruhan sistem bertambah, apabila berat tersebut melebihi beban maksimum yang dapat ditanggung pipa, maka besar kemungkinan pipa akan putus atau rusak. Oleh karena itu diperlukan penumpu beban untuk menahan beban sistem. Bahan yang digunakan dapat terbuat dari baja untuk pipa temperatur tinggi, sedangkan untuk temperatur rendah diberi tambahan bahan kayu olahan. Yang perlu diperhatikan adalah penumpu yang diberikan harus terikat kuat dengan pipa utama dan umumnya diberi ruang untuk pergeseran. Hal tersebut dilakukan untuk mengantisipasi terjadi ekspansi dan kontraksi pada pipa. Selain itu pada bagian bawah penumpu diberi bantalan grafit, yaitu di bagian yang kontak langsung dengan dasar lantai. Tujuannya adalah apabila terjadi perubahan suhu pada penumpu, tidak menyebar ke lantai karena grafit memiliki konduktivitas termal yang buruk.



Gambar 12. Lokasi support pada pipa vertikal yang berbelok

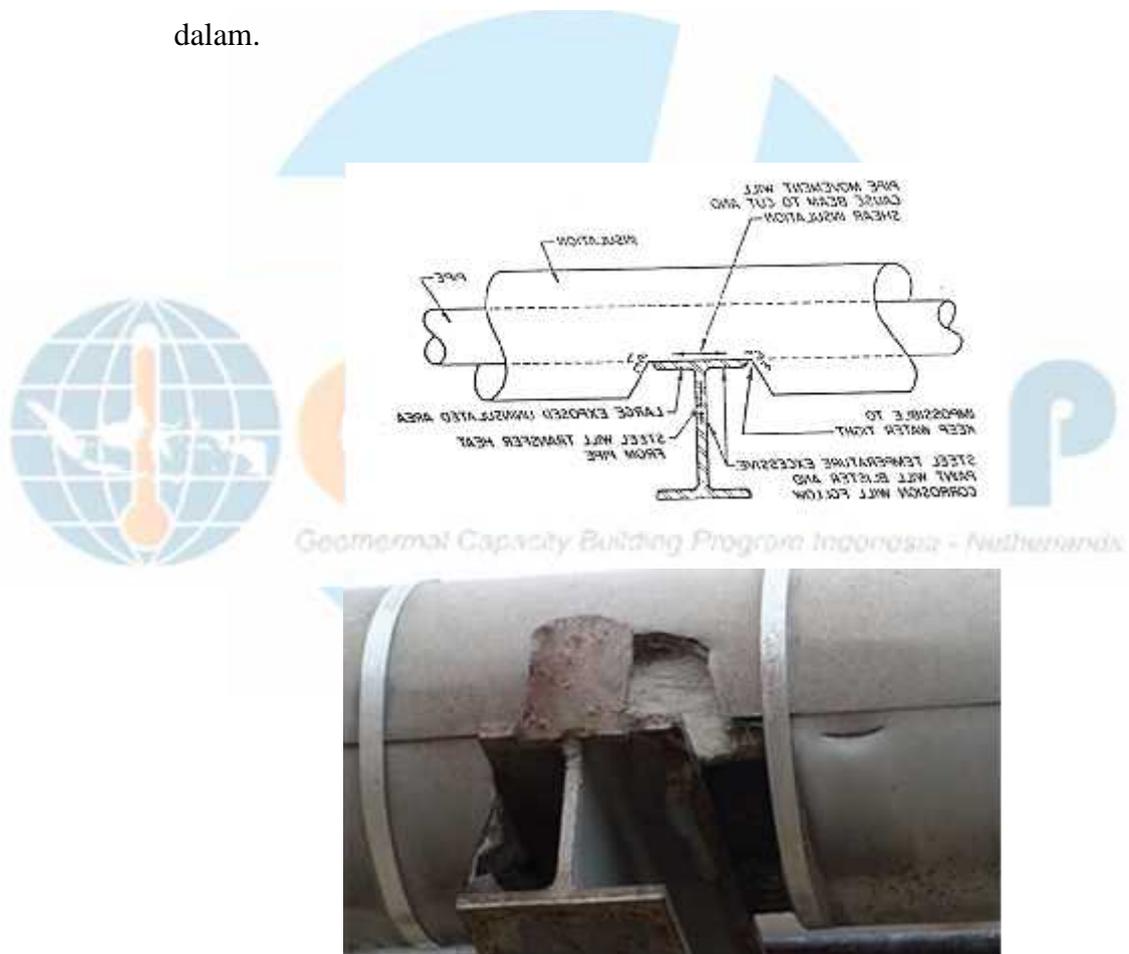


Gambar 13. Lokasi straps pada pipa dan penumpu

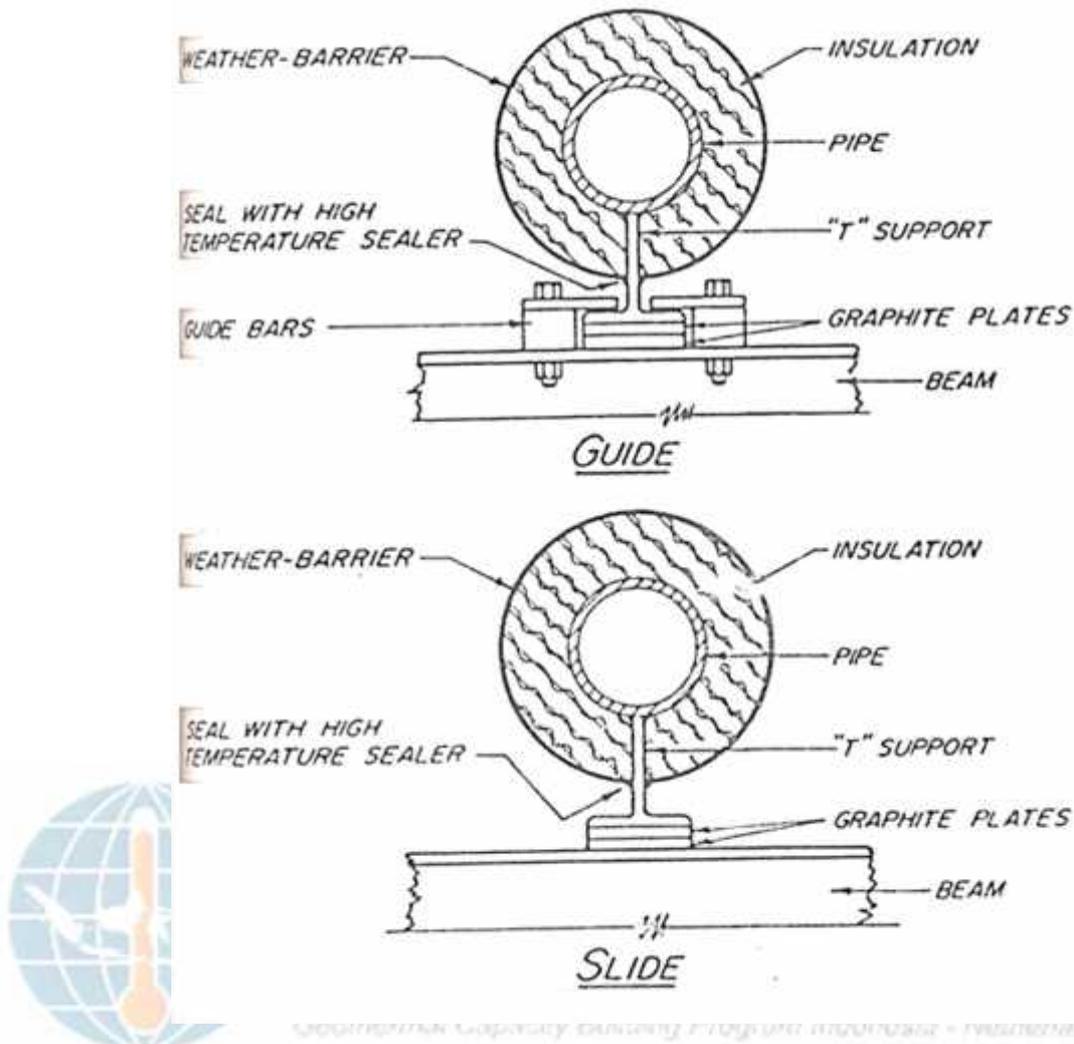
- Terdapat *support* pipa

Dalam industri umumnya *support* pipa terbuat dari bahan baja atau campuran baja. Baja merupakan konduktor panas yang baik karena nilai konduktivitasnya tinggi. Seperti dalam gambar dibawah, *support* pipa berfungsi untuk menahan beban pipa. *Support* yang dipasang seperti dalam gambar merupakan jembatan perpindahan panas yang baik antara pipa dan lantai. Dampaknya adalah panas akan cepat menyebar dari pipa ke lantai atau sebaliknya. Gambar dibawah menunjukkan instalasi insulasi yang salah dan

benar pada *support* pipa. Pada instalasi yang salah *support* sama sekali tidak diinsulasi, sedangkan pada gambar yang benar *support* diinsulasi sebagian. Tujuan *support* diinsulasi sebagian adalah untuk mengurangi luas area perpindahan panas dari pipa ke lingkungan atau sebaliknya. Untuk mengurangi laju perpindahan panas dari pipa ke lantai maka ditambahkan bantalan grafit. Selain itu sambungan antara insulasi dan *support* diberikan tambahan lapisan *sealer* untuk mencegah air atau uap air masuk ke lapisan dalam.



Gambar 14. Aplikasi insulasi yang salah

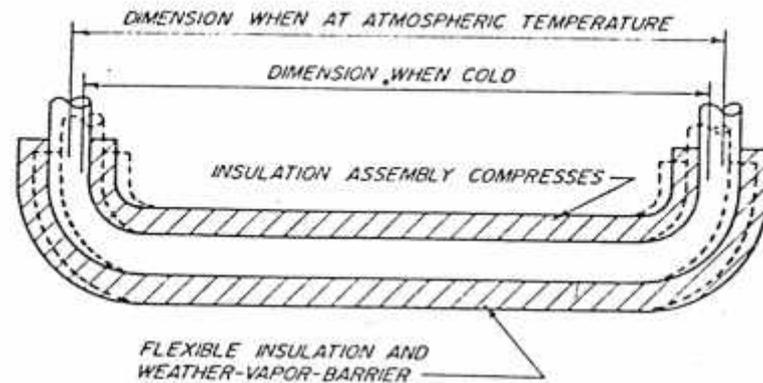


Gambar 15. Aplikasi insulasi yang benar

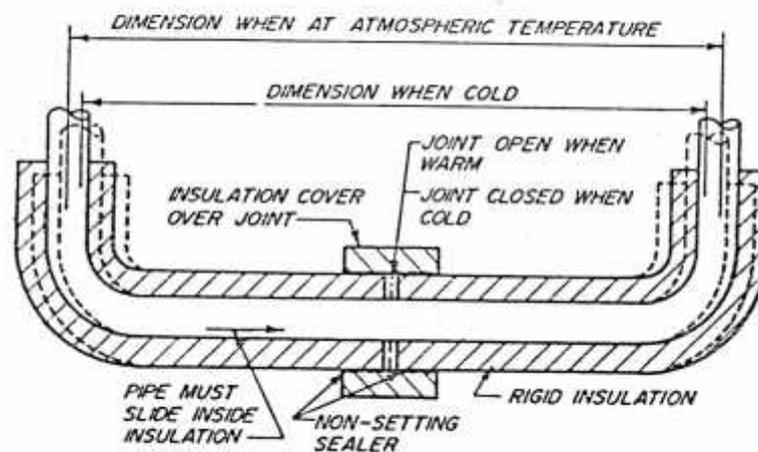
- Terdapat sambungan insulasi

Seperti sudah dijelaskan sebelumnya bahwa bahan insulasi bukan material yang memiliki kekuatan struktur baik. Antar titik sambungan insulasi umumnya akan ditambahkan *sealer* dari resin atau mastik. Bahan *sealer* yang digunakan cukup fleksibel dan akan menutup celah yang ada. Celah yang ada akan lebih rentan terhadap kerusakan, karena sifat fisik yang berbeda antara bahan insulasi dan *sealer*. Kerusakan bisa terjadi karena banyak faktor antara lain mekanis, usia, ekspansi atau kontraksi, dll. Maka untuk mengantisipasi hal tersebut kadang celah yang rentan rusak akan

diberi pelapis insulasi tambahan untuk mempertahankan efisiensi sistem insulasi secara keseluruhan.



EFFECT OF CONTRACTION OF FLEXIBLE INSULATION



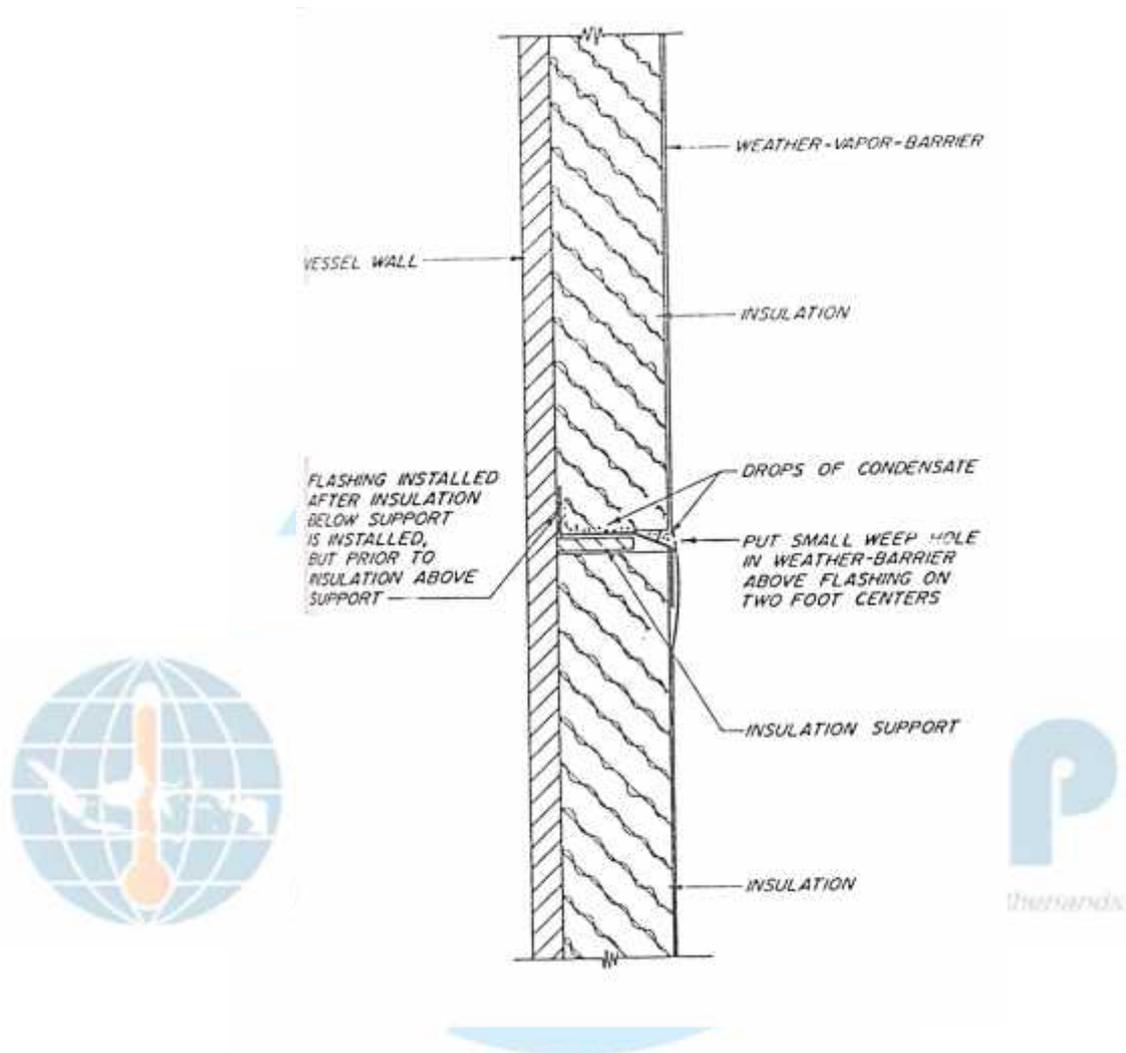
EFFECT OF CONTRACTION OF RIGID INSULATION WHERE PIPE CONTRACTS MORE THAN INSULATION

Gambar 16. Efek kontraksi terhadap sambungan insulasi

e. *Water flashing* (jalur air)

Water flashing umumnya terdapat di insulasi temperatur rendah, karena ada potensi proses kondensasi. Bahan yang digunakan untuk mengarahkan aliran cairan dari isolasi supaya dapat terbuang. Cairan dapat mengurangi efisiensi insulasi. Saat insulator kering, maka kinerjanya akan baik. Tetapi saat material menjadi basah efisiensi insulasi akan turun akibat dari nilai konduktivitas bahan

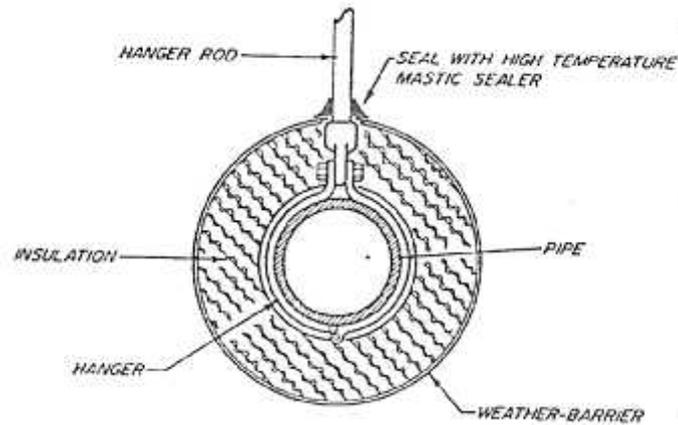
akan naik menjadi 16 -20 kali dari nilai semula. Bahan water flashing dapat terbuat dari logam, plastik atau mastik.



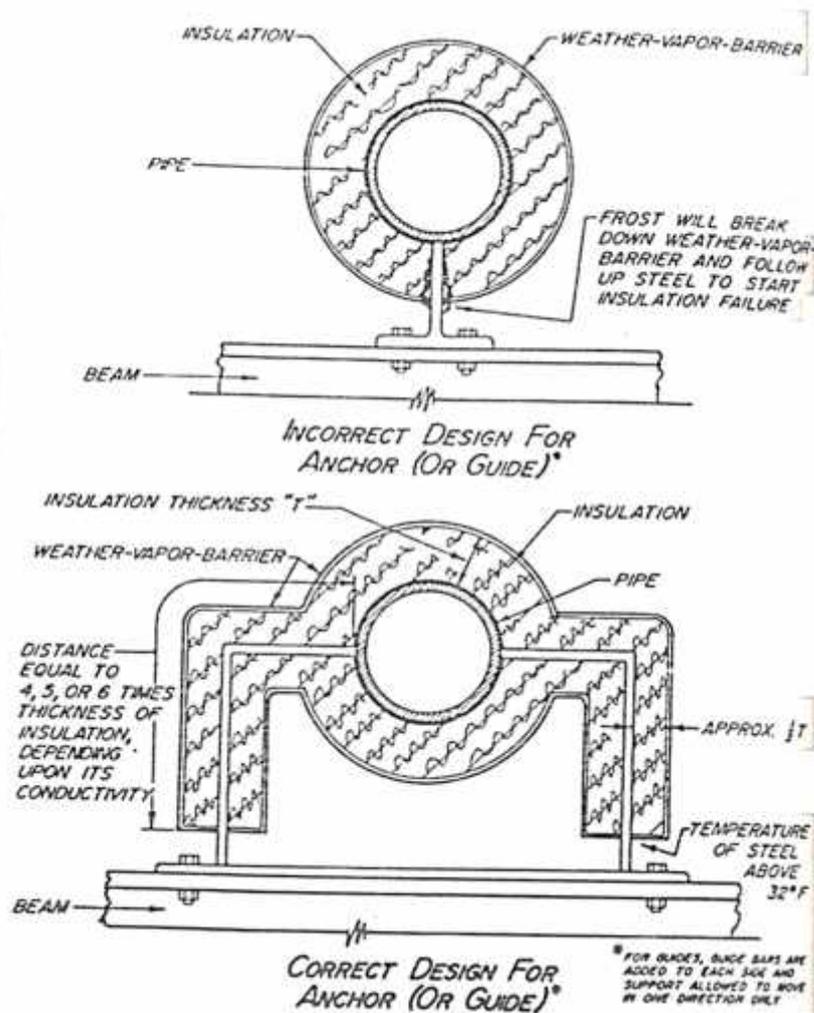
Gambar 17. Sistem water flashing pada bejana

f. Penutup celah (*sealing*)

Berfungsi untuk menutup celah, untuk mencegah air atau uap air masuk. Celah yang ada dapat terdapat di sambungan insulasi, siku atau, lekukan, dll. *Sealer* diproduksi dalam berbagai macam batasan suhu dan permeabilitas uap. Beberapa dirancang khusus untuk digunakan hanya dengan satu jenis isolasi. Untuk insulasi temperatur yang sangat rendah, keberadaannya menjadi sangat penting karena ada potensi terjadi proses kondensasi yang dilanjutkan pembekuan.



Gambar 18. Lokasi sealer pada instalasi pipa dengan hanger



Gambar 19. Instalasi insulasi yang benar untuk temperatur yang sangat rendah

g. Kompensasi saat ekspansi/kontraksi pipa atau bejana

Aksesoris yang digunakan untuk mengurangi laju perpindahan panas di celah yang timbul akibat ekspansi atau kontraksi material pipa dan bejana akibat perubahan temperatur. Celah yang ada akan ditutup menggunakan sealer dan ditambahkan insulator keras dan kaku untuk menjaga sealer. Ilustrasi penutupan celah pada pipa dan bejana dapat dilihat dalam gambar. Celah tersebut timbul akibat :

- Material yang tumpang tindih dan *slip joint*
- Fleksibel *sealer*
- Sambungan las
- Lekukan dan sudut
- dll

Sebagai panduan besar ekspansi dan kontraksi untuk beberapa material logam dapat dilihat dari tabel dibawah.

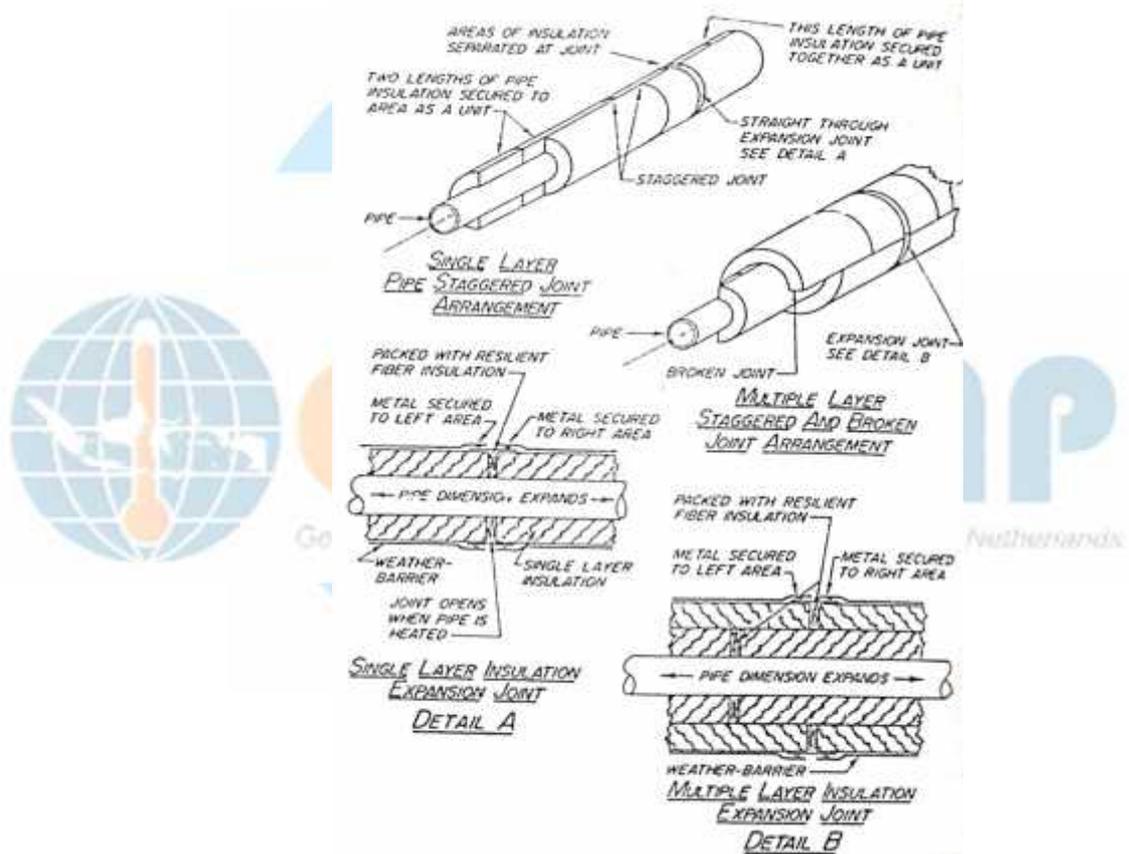
Thermal expansion of metals (mm/10 metres, based on 20°C ambient)

Metric Units

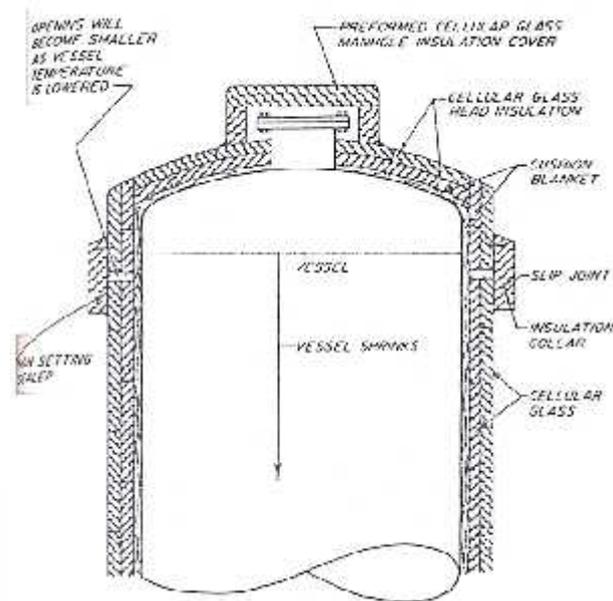
Material	Operating Temperature °C					
	100	150	200	300	400	500
Steel	8.51	14.33	16.94	33.87	48.60	63.94
Stainless Steel	12.54	20.56	23.83	45.94	63.83	82.60
Aluminum	17.18	28.63	33.80	66.48		
Copper	12.98	21.19	24.39	47.12		

Thermal contraction of metals (mm/10 metres, based on 20° ambient)

Material	Metric Units				
	Operating Temperature °C				
	0	-20	-40	-80	-100
Steel	2.24	3.98	5.78	9.18	12.31
Stainless Steel	3.48	6.13	9.06	14.43	19.07
Aluminum	4.49	7.88	11.57	18.85	26.30
Copper	3.25	5.81	8.64	13.94	18.55
Nickel	2.32	4.22	6.20	10.33	14.06
Monel	2.63	4.37	6.69	10.74	14.21



Gambar 20. Aksesoris penutup celah pada pipa



Gambar 21. Aksesoris penutup celah pada bejana

B. Sebelum Insulasi

Sebelum instalasi insulator, seluruh permukaan yang akan diinsulasi harus dibersihkan dari kotoran, minyak, cairan, karat atau benda asing lainnya. Selain ada beberapa aktivitas yang umum dilakukan sebelum instalasi, diantaranya:

a. Pegujian tekanan dan kebocoran

Dalam banyak kasus kegagalan insulasi pipa atau bejana lain berasal dari kebocoran fluida di lapisan dalam yang akan diinsulasi. Seperti sudah dijelaskan sebelumnya insulator yang basah, nilai konduktivitasnya akan naik. Maka perlu diuji kebocoran dan tekanan operasi maksimum dari sistem yang akan diinsulasi.

b. Pengujian temperatur permukaan dan ambient

Ketebalan dan jenis bahan insulator yang tepat merupakan faktor kunci keberhasilan insulasi termal. Maka perlu diketahui temperatur permukaan yang akan diinsulasi, temperatur yang diijinkan di permukaan insulator paling luar, temperatur ambient. Selain itu perlu juga diketahui kelembapan dan kecepatan angin lingkungan sekitar

c. Perlindungan korosi

Untuk insulasi temperatur rendah, keberadaan air akibat kondensasi dapat mempercepat terjadinya korosi untuk material logam seperti besi. Begitu juga untuk insulasi temperatur tinggi, keberadaan oksigen, uap air dan klorida dapat menyebabkan korosi. Korosi dapat menyebabkan terjadi kebocoran. Maka perlu diberikan lapisan perlindungan korosi pada permukaan yang diinsulasi

d. Pengecekan *support* pipa

Pastikan *support* pipa sudah terpasang dengan benar sebelum instalasi insulator. Karena setelah insulasi terpasang tidak dianjurkan untuk adanya proses pengelasan. Jika setelah insulasi diperlukan penambahan *support* pipa, maka dapat menggunakan aksesoris yang sebelumnya sudah dijelaskan.

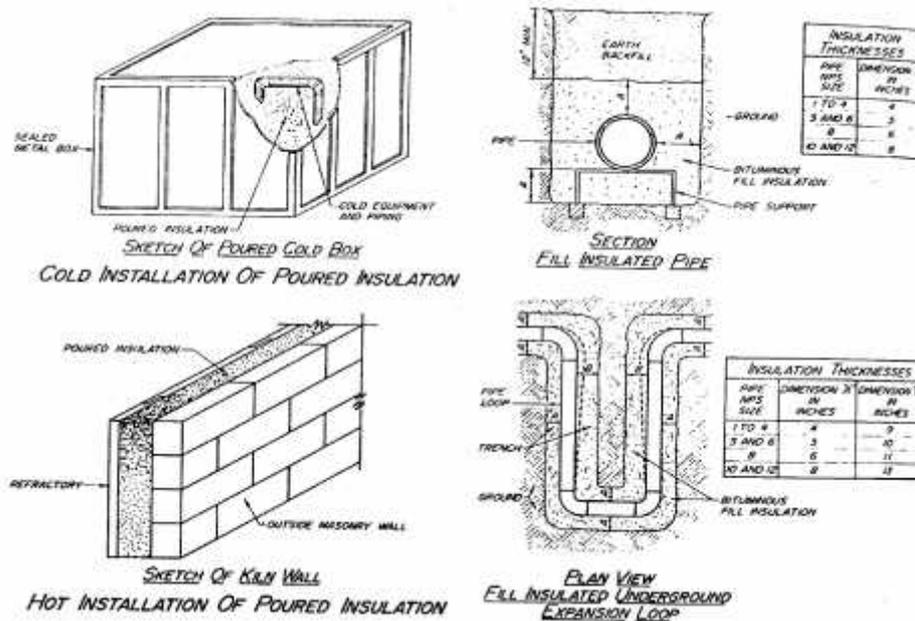
C. Sistem Insulasi

Jenis bahan dan klasifikasi insulator cukup banyak dijelaskan sebelumnya. Teknik insulasi dalam industri juga cukup bervariasi, bahkan ada yang menggunakan sistem hampa untuk insulasi temperatur rendah. Secara umum sistem insulasi dalam industri dapat dibedakan menjadi 4 macam, yang akan dijelaskan dalam subbab berikut.

Sistem insulasi tuang dalam wadah

Sistem insulasi ini tidak bisa diterapkan bagian per bagian, umumnya menjadi satu kesatuan dengan seluruh sistem. Insulasi akan dibatasi oleh sebuah ruang, kotak atau wadah, dimana wadah tersebut akan diisi oleh bahan insulasi. Untuk insulasi temperatur rendah, wadah akan dilengkapi dengan nitrogen kering. Nitrogen kering berfungsi untuk menghilangkan uap air dalam wadah dan untuk mencegah terbakarnya bahan insulasi. Sedangkan untuk insulasi temperatur tinggi, bahan insulasi yang dapat digunakan adalah bitumen atau material tahan panas lainnya dalam bentuk bulir. Dan untuk menghindari keberadaan uap air yang terjebak dalam wadah, bahan insulasi akan dipanaskan setelah ditempatkan dalam

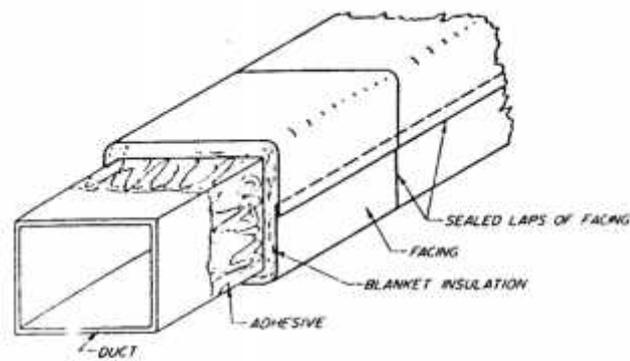
wadah. Uap air dihilangkan untuk mengurangi potensi korosi pada bahan logam. Aplikasi sistem ini dapat digunakan untuk sistem pipa pendingin, tembok ruang bakar, sistem pipa bawah tanah, dll. Jika digunakan dalam sistem insulasi pipa panas, maka ruang yang disediakan harus memperhitungkan ruang gerak pipa akibat pemuaian.



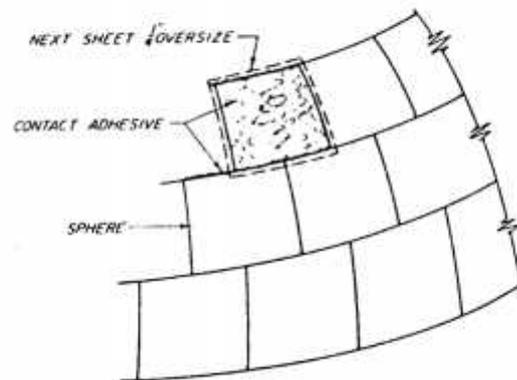
Gambar 22. Sistem insulasi tuang

Sistem insulasi selimut

Sistem ini banyak digunakan untuk insulasi sistem pembuangan udara panas (*ducting*). Bahan insulasi yang umum digunakan adalah fiber atau busa plastik (*plastic foam*). Bahan insulasi akan direkatkan menggunakan bahan adhesif ke struktur utama, kemudian akan dilapis kembali menggunakan *weather retarder* tahan api dan material pelindung lainnya.



FIBROUS BLANKET INSULATION ON EXTERIOR OF DUCT



FLEXIBLE PLASTIC FOAM SHEETS ON SPHERE

Gambar 23. Sistem insulasi selimut

Sistem insulasi semprot

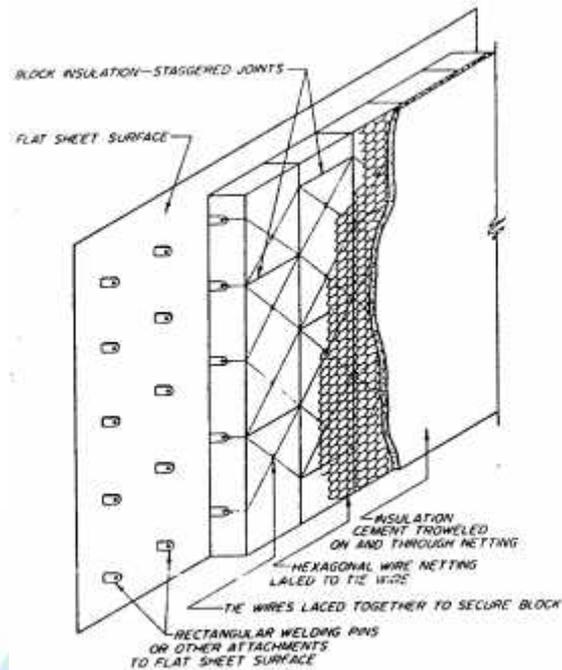
Terdapat 2 tipe bahan insulasi untuk sistem insulasi semprot. Yang pertama adalah bahan serat anorganik dan yang kedua bahan uretena organik. Alat semprot yang digunakan merupakan alat semprot khusus dengan tekanan yang tinggi. Untuk bahan insulasi anorganik, menggunakan campuran antara serat mineral wool dan zat pengikat anorganik. Saat campuran tersebut mengering dapat menahan temperatur sampai dengan 371 – 816 °C, tergantung dari serat yang digunakan. Dalam aplikasinya diperlukan penggunaan materi pelindung dan aksesoris untuk memperkuat serta melindungi insulasi. Untuk bahan isolasi kedua yaitu menggunakan busa uretena organik. Isolasi tersebut dapat menahan temperatur dengan rentang 10 – 82 °C.

Dalam tahap penyemprotan, beberapa hal harus diperhatikan antara lain;

- Kebersihan permukaan dari debu, minyak, dan pengotor lainnya
- Penggunaan bahan pelarut yang tepat dan disesuaikan dengan jenis permukaan semprot
- Pastikan peralatan lain disekitar permukaan yang akan disemprot sudah tertutup rapat untuk menghindari ikut tersempot
- Untuk hasil terbaik perhatikan kondisi lingkungan saat penyemprotan seperti kelembapan, temperatur dan kecepatan udara sekitar.
- Untuk mendapatkan ketebalan yang merata, pastikan penyemprotan dilakukan tenaga yang ahli. Umumnya penyemprotan dilakukan berulang-ulang dengan lapisan yang tipis sebanyak ± 30 kali. Ketebalan insulasi yang dianjurkan 9.55 mm, dan jika ketebalan melebihi nilai tersebut sebaiknya gunakan sistem insulasi lainnya.
- Aksesoris mungkin diperlukan untuk aplikasi di ruang terbuka. Untuk bahan uretena adalah jenis bahan yang mudah terbakar, sehingga diperlukan material pelindung tahan api

Sistem insulasi kaku

Yang termasuk kedalam sistem insulasi kaku adalah insulasi yang menggunakan semen. Insulasi semen dapat diterapkan untuk insulasi baru atau untuk perbaikan insulasi yang rusak. Dalam aplikasi insulasi semen yang perlu diperhatikan adalah jenis campuran zat adhesif yang ditambahkan dalam semen, penggunaan weather retarder untuk penggunaan ruang terbuka, dan pemilihan penggunaan aksesoris penguat struktur seperti jaring kawat.



Gambar 24. Insulasi semen

Jenis insulasi kaku yang lain sering diaplikasikan ke bejana bertekanan seperti pipa, tabung, dll. Untuk insulasi peralatan ini umumnya bentuk insulasi sudah dalam bentuk cetakan atau potongan yang dapat disatukan mengikuti bentuk peralatan. Standar insulasi yang dapat digunakan untuk pipa yaitu ATSM C-585, untuk fitting dan vessel yaitu ASTM C-450. Hal yang harus diperhatikan dalam aplikasi sistem ini adalah koefisien ekspansi dan kontraksi insulator akibat perubahan temperatur.

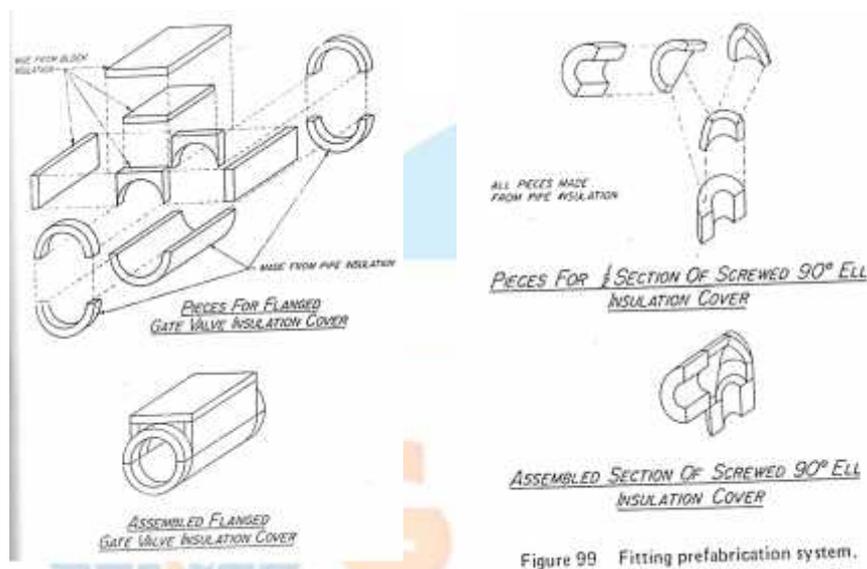
Heat shrinkage of insulations (mm/10 metres, based on 20°C ambient)

Material	Metric Units				
	Temperature °C				
	400	500	600	800	1000
Calcium Silicate	47.91	77.68	128.75		
Cellular Glass (Has no shrinkage—but a coefficient of expansion.)					
Diatomaceous Earth (Rigid)	*	*	*	*	149.0
Expanded Silica	25.21	32.37	35.76	114.0	179.0
Mineral Wool (Rigid)	58.83	70.49	85.83	117.0	

Thermal contraction of cellular insulation (mm/10 metres, based on 20°C ambient)

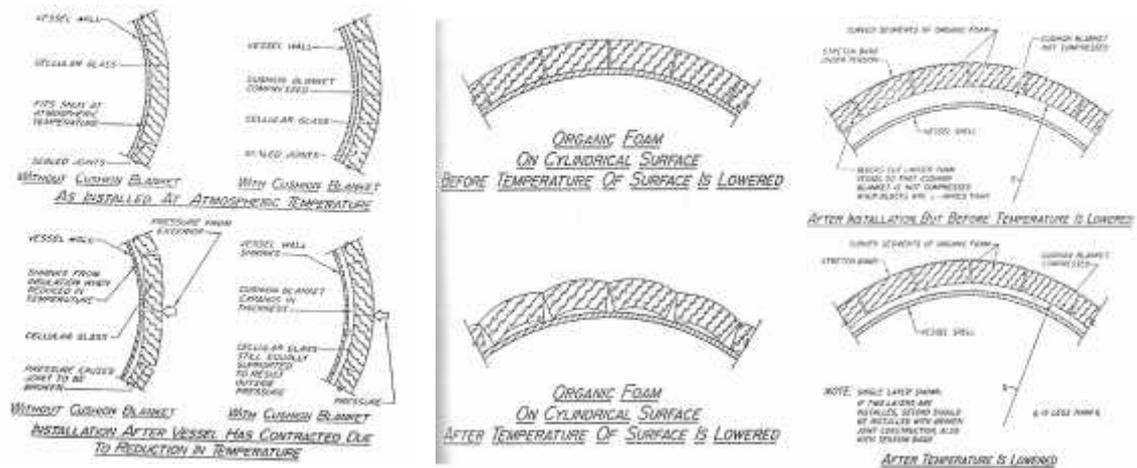
Metric Units

Material	Operating Temperature °C				
	0	-20	-40	-80	-100
Cellular Glass	1.63	2.94	4.72	7.71	9.19
Cellular Styrene	12.38	23.41	38.94	58.45	70.16
Cellular Urethane	17.80	33.44	55.74	83.45	100.18



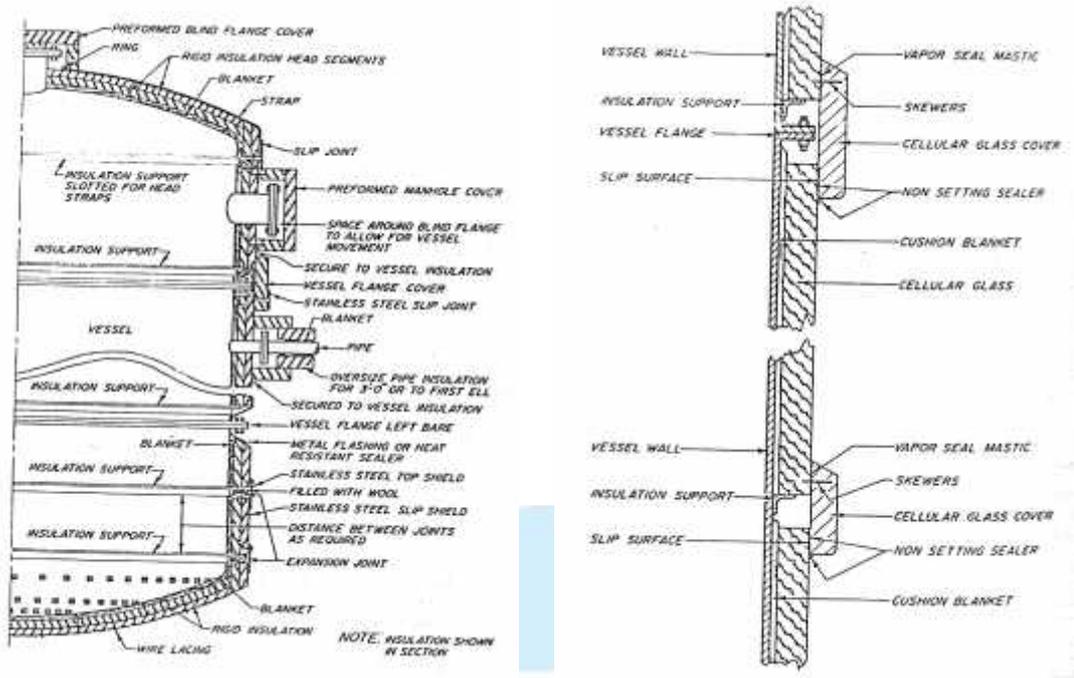
Gambar 25. Contoh bentuk insulasi standar untuk flange dan elbow pipa

Kofisien perlu diperhatikan untuk menghindari kerusakan sistem insulasi. Contoh kegagalan insulasi dapat dilihat dari gambar dibawah. Untuk menghindari kegagalan dalam insulasi temperatur rendah, insulator utama akan dipotong dan dibentuk lebih besar dari dimensi bejana. Kemudian saat proses instalasi, lapisan sebelum insulator utama akan diberi bahan yang memiliki fleksibilitas tinggi, sehingga saat terjadi kontraksi tidak akan merusak lapisan insulasi utama.



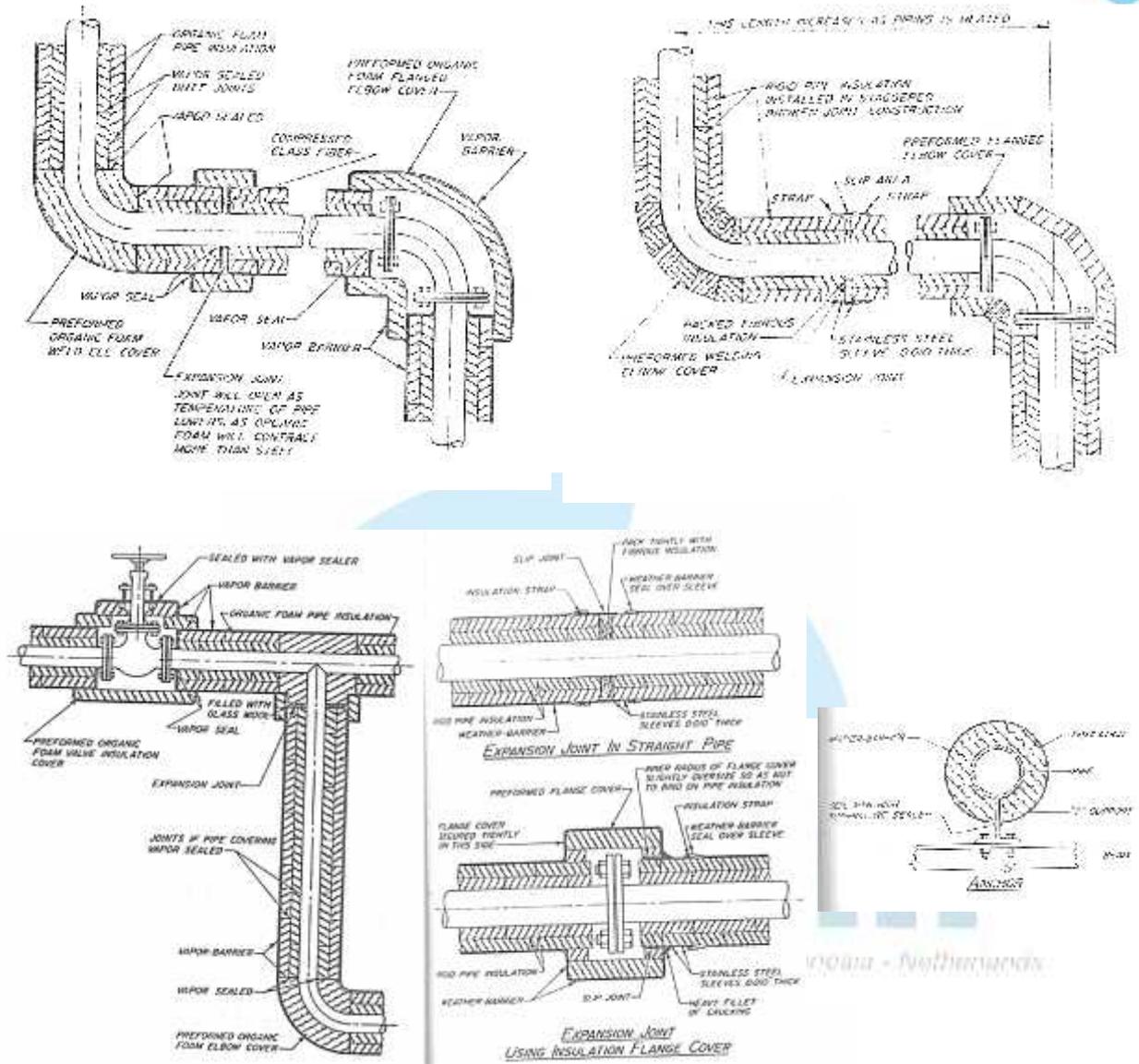
Gambar 26. Efek perubahan temperatur pada cellular glass dan organic foam

Untuk instalasi di bejana harus dibedakan pemasangan pada dinding bejana dan pada bagian lain seperti flange, man hole entrance, dan valve. Untuk pemasangan di bagian dinding, insulator dapat direkatkan langsung ke dinding dengan diperkuat lagi dengan *strap*. Selain itu harus disediakan ruang kosong (*slip joint*) untukantisipasi ekspansi dan kontraksi. Sedangkan di bagian bagian *man hole*, *flange* dan *valve*, dimensi insulasi dibuat lebih besar dan peletakkannya bertumpu pada insulasi dibawahnya. Hal ini bertujuan untuk mempermudah tahap pemeliharaan bejana dan pipa.



Gambar 27. Insulasi pada bejana tekan

Untuk instalasi di pipa, prinsipnya sama yaitu merekat didinding pipa dengan diberi ruang ekspansi dan kontraksi. Dan untuk pemasangan di *fitting* atau *flange*, dimensi insulasi dibentuk lebih besar dari dimensi peralatan sebenarnya. Hal tersebut untuk mempermudah aktivitas pemeliharaan jaringan pipa. Sedangkan untuk *valve* dan *support*, teknik insulasi sedikit berbeda karena hanya diinsulasi sebagian. Untuk detail gambar dapat dilihat dibawah ini.



Gambar 28. Insulasi pada pipa, valve, fitting dan support

5. Desain Insulasi

Dalam penentuan desain sistem insulasi adn banyak parameter yang perlu diperhatikan. Hal tersebut dapat dilihat dari bab sebelumnya. Berikut ini langkah-langkah yang dapat diikuti dalam mendesain sistem insulasi termal adalah:

1. Tentukan kriteria sistem insulasi yang harus dipenuhi

Langkah awal yang perlu dilakukan adalah menentukan kriteria yang harus dipenuhi oleh sistem insulasi. Kriteria berhubungan dengan tujuan-tujuan penggunaan insulator. Tujuan utama adalah konservasi energi kalor/panas. Untuk mencapai tujuan-tujuan tersebut diperlukan data yang harus dikumpulkan diantaranya dapat dilihat dari tabel dibawah ini.

Kriteria Utama	Data
1 Temperatur operasi	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatur operasi max, min, rata-rata • Laju perubahan temperatur operasi
2 Temperatur ambient	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatur max, min & rata-rata • Laju perubahan temperatur per hari, bulan, tahun
3 Lokasi insulasi sistem	Lokasi insulasi outdoor/indoor/underground
4 Karakteristik material sistem	Panas spesifik, densitas, konduktivitas, dll
5 Kondisi cuaca/lingkungan	Kecepatan udara, curah hujan, kelembapan, kandungan udara, salju
6 Komponen biaya	<ul style="list-style-type: none"> • Biaya operasi sistem • Biaya insulator • Biaya instalasi • Biaya pemeliharaan dan perawatan

- Amortisasi sistem beserta insulasinya
- 7 Karakteristik material insulator Panas spesifik, densitas, konduktivitas, difusivitas, emittance, dll
- 8 Dimensi sistem yang akan diberi insulasi Luas permukaan, volume, panjang&diameter pipa, dimensi dan jumlah fitting&valve, dll
- 9 Rencana pengembangan sistem Desain pengembangan, *support* sistem dan insulasi
- 10 Potensi bahaya
- Potensi kerusakan insulator
 - Temperatur tinggi yang dapat melukai pekerja
 - Bahaya kebakaran
 - Kestabilan sistem
 - Proses operasi sistem
 - Jenis material yang akan diberi insulasi
 - Jenis fluida yang ada di dalam sistem
 - Sistem pengaman sistem
- 11 Sistem
- 12 dll

2. Tentukan sifat yang harus dimiliki dari insulator

Setelah data-data terkumpul langkah selanjutnya adalah menentukan sifat dari insulator yang akan diaplikasikan. Sifat utama adalah sifat termal yang menyangkut; rentang temperatur yang dapat diamankan oleh insulator, panas spesifik bahan, emittance, dll

3. Pemilihan bahan insulator dan aksesoris yang digunakan

Langkah berikutnya adalah pemilihan bahan insulator yang memenuhi semua kriteria yang diharapkan. Dalam tahap ini juga ditentukan sistem insulasi yang cocok digunakan

apakah sistem tuang, sistem semprot, sistem selimut atau sistem kaku. Pemilihan tersebut lebih banyak berdasarkan sifat fisik material insulator seperti kekerasan, beban tarik, koefisien ekspansi/kontraksi, beban tekan, beban rusak, resistansi api, resistansi getaran, fleksibilitas, daya serap air, dll

4. Tentukan tebal insulator

Penentuan tebal dan lapisan insulator berdasarkan perhitungan laju perpindahan panas yang diijinkan dalam operasi, serta berdasarkan nilai yang ekonomis

5. Tentukan kebutuhan aksesoris

Tahap ini adalah tahap terakhir, berdasarkan langkah ke 4 maka tentukan jenis dan jumlah aksesoris yang akan dibutuhkan oleh sistem insulasi. Aksesoris yang akan digunakan bertujuan untuk mendukung kinerja dari insulasi dan mengurangi potensi bahaya yang mungkin terjadi.

6. Inspeksi dan Perawatan

Tahap inspeksi dan perawatan merupakan tahap yang dilakukan setelah instalasi insulasi. Tujuannya untuk menjaga kinerja insulasi supaya tetap baik.

Inspeksi

Fungsi dari inspeksi adalah untuk memastikan kondisi dari insulasi. Kegagalan fungsi insulasi akan menyebabkan sistem tidak bekerja dengan baik. Saat sistem tidak bekerja baik maka akan ada potensi kehilangan yang dapat disetarakan dengan nilai uang. Tahapan yang dilakukan dalam tahap inspeksi adalah

1. Perencanaan kerja

Sebelum melakukan inspeksi pihak pengelola akan membuat langkah-langkah pekerjaan inspeksi. Rencana kerja yang akan dibuat mencakup.

Cakupan Umum	Cakupan Khusus
1 Parameter inspeksi	<ul style="list-style-type: none"> • Parameter output kinerja sistem • Kondisi fisik insulasi • Fungsi dari valve • <i>Weather barrier, aksesoris, sealer</i>
2 Penentuan alat yang digunakan	<ul style="list-style-type: none"> • Kamera infrared • Alat komunikasi • Diagram proses sistem
3 Lokasi inspeksi	<ul style="list-style-type: none"> • Lokasi yang aman dan lokasi yang butuh perhatian khusus • Prioritas lokasi inspeksi
4 Tenaga inspeksi	<ul style="list-style-type: none"> • Jumlah tenaga yang melakukan inspeksi • Tenaga yang bertanggung jawab
5 Izin inspeksi	<ul style="list-style-type: none"> • Izin-izin yang diperlukan dalam melakukan inspeksi
2. Periode inspeksi	
<p>Setelah rencana kerja terbentuk, berikutnya adalah menentukan prosedur dan periode inspeksi. Periode inspeksi umumnya akan ditentukan oleh pengelola sistem. Yang perlu diperhatikan dalam penentuan periode adalah:</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Apakah inspeksi yang dilakukan dapat mengganggu proses kerja sistem, jika mengganggu maka inspeksi tidak akan dilakukan sesering mungkin • Jika suatu lokasi dianggap memiliki potensi terjadinya kerusakan insulator maka inspeksi di lokasi tersebut harus dilakukan berulang dalam periode waktu yang tidak terlalu jauh • Biaya yang harus dikeluarkan untuk inspeksi 	

3. Inspeksi final

Dalam tahap ini pekerja akan melakukan pekerjaan inspeksi sesuai dengan rencana dan periode pekerjaan inspeksi. Untuk memudahkan pekerjaan inspeksi, pekerja dapat membawa kamera inframerah. Kamera tersebut dapat merekam gambar anomali temperatur yang terjadi secara langsung.



Gambar 29. Kamera infrared

Perawatan

Perawatan dilakukan untuk memperbaiki insulator yang rusak. Kerusakan insulator dideteksi saat proses inspeksi. Kerusakan pada insulator dapat bermacam-macam, diantaranya:

1. Kerusakan *weather barrier* dan insulator

Weather barrier dan insulator dapat rusak karena berbagai macam hal, seperti benturan/beban mekanis, usia, benda tajam. Kerusakan *weather barrier* dapat mempercepat proses korosi pipa utama, karena air dan udara luar kontak langsung dengan pipa. Kerusakan insulator ditandai dengan ketebalan yang berkurang, robek, terkoyak. Jika kerusakan yang terjadi belum terlalu parah, perbaikan dapat dilakukan dengan mengaplikasikan insulasi semen. Tetapi apabila kerusakan sudah parah dan mengganggu kinerja operasi sistem maka perbaikan yang dilakukan adalah dengan penggantian. Penggantian harus dilakukan dengan bahan insulator dan ketebalan yang sama. Insulator yang

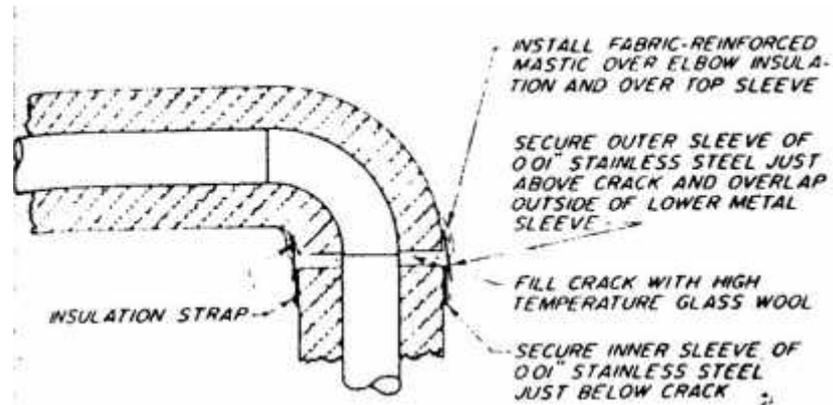
yang rusak akan dibuang dengan cara dipotong dan digantikan dengan yang baru.



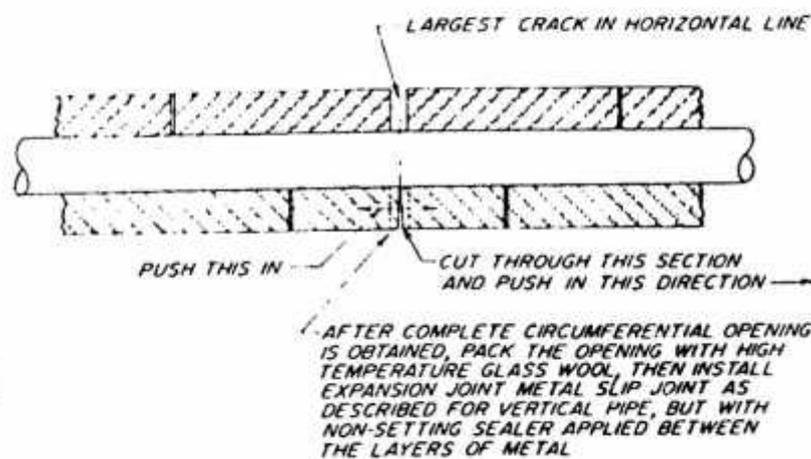
Gambar 30. Perbaikan kerusakan insulator

2. Retakan pada insulator

Pada insulasi pipa panas, retakan di insulator dapat muncul akibat proses ekspansi. Retakan yang terbentuk dapat menyebabkan air masuk kedalam. Proses perbaikan dilakukan dengan mengisi celah dengan material insulasi seperti wool serat kaca. Kemudian di bagian luarnya ditutup dengan *metal slip joint* dan mastik. Untuk memberikan kekuatan perekatan dapat diikat menggunakan *strap*



CORRECTION OF EXPANSION CRACK
AT TOP OF VERTICAL PIPE RUN

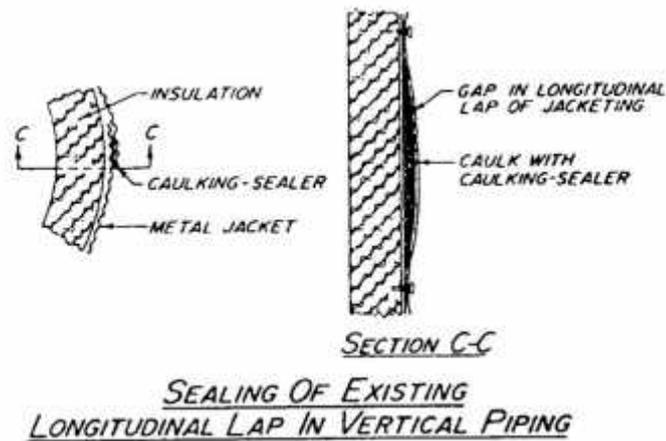
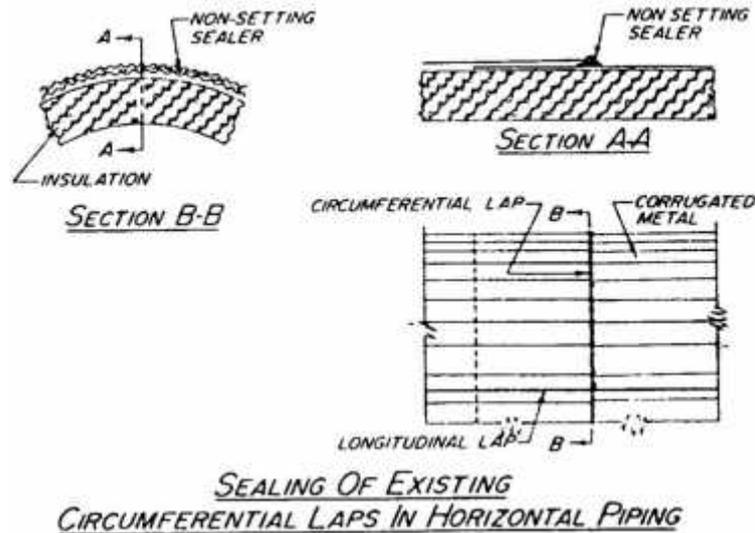


REPAIRING OF PIPE INSULATION CRACK

Gambar 31. Perbaikan insulator yang retak

3. Kerusakan sealing *weather barrier*

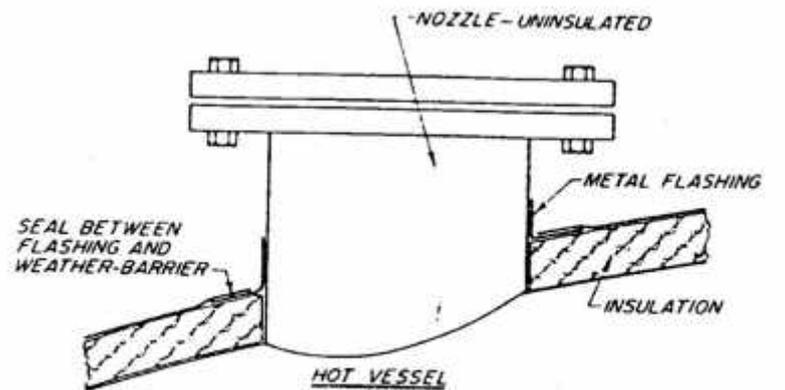
Jenis kerusakan ini banyak terjadi, karena lapisan *weather barrier* kontak langsung dengan udara luar. Untuk jenis kerusakan ini *weather barrier* tidak dibuka seluruhnya, karena proses tersebut dapat merusak bagian *weather barrier* yang lain. Perbaikan dilakukan dengan memaksakan *sealer* baru untuk masuk dan menggantikan *sealer* yang sudah rusak. Gambar posisi *sealer* dapat dilihat dalam gambar



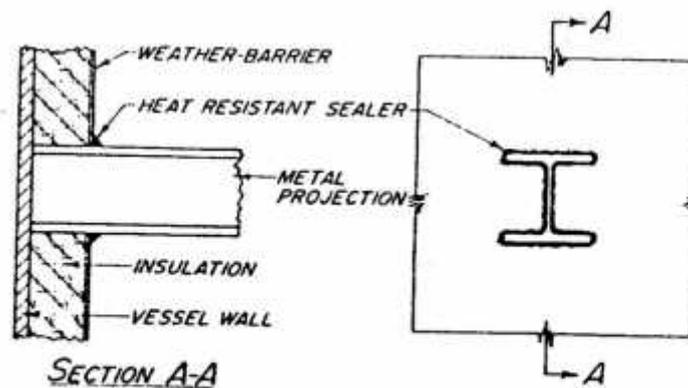
Gambar 32. Perbaikan kerusakan weather barrier sealer

4. Keausan sealer

Sealer berfungsi untuk menutup celah yang ada untuk menghambat air masuk ke dalam. Celah timbul karena banyak hal, seperti prosen ekspansi atau sambungan antar insulator atau sambungan antara insulator dengan permukaan yang tidak diinsulasi seperti dalam gambar dibawah. Proses perbaikannya hampir sama dengan kerusakan sebelumnya, yaitu dengan penggantian *sealer*. Setelah *sealer* diganti, dapat ditambahkan material lain yang kedap air



METAL FLASHING AROUND HOT UNINSULATED NOZZLE



HOT PROJECTION THROUGH INSULATION

Gambar 33. Perbaikan kerusakan sealer

5. Retakan pada *weather barrier* atau *vapour retarder*

Perbaikan pada jenis kerusakan ini serupa dengan kerusakan nomor 2. Selain penggantian material dengan jenis material yang sama, perbaikan dapat dilakukan dengan cara lain. Yaitu dengan mengisi celah dengan bahan serat dan kemudian ditutup dengan bahan kedap air yang diberi mastik. Sedangkan untuk perbaikan terhadap kerusakan *vapour retarder* harus memperhatikan posisi letak tambalan. Lapisan *vapour retarder* umumnya terletak di bawah *weather barrier*, sehingga posisi tambalan bahan *vapour retarder* harus merekat dengan jenis bahan yang sama. Tidak bisa tambalan *vapour retarder*

direkatkan dengan bahan *weather barrier* atau menumpang bahan lain. Hak tersebut dikarenakan propertis permeabilitas uap yang berbeda antara bahan vapour retarder dengan bahan lain.

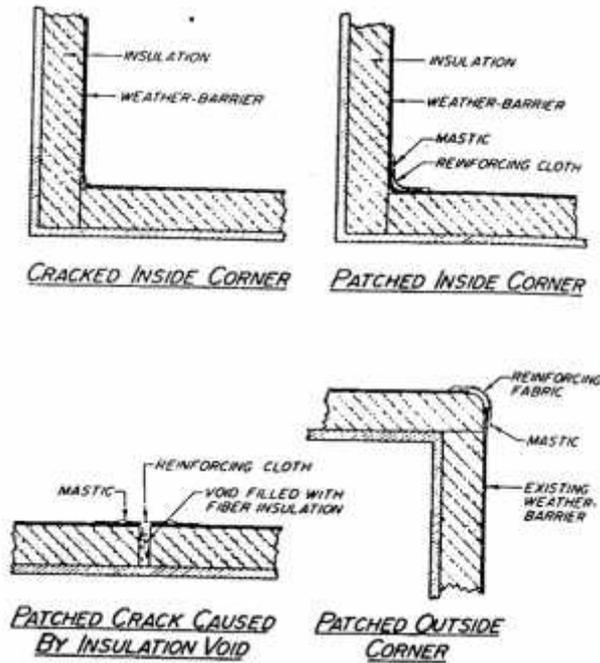
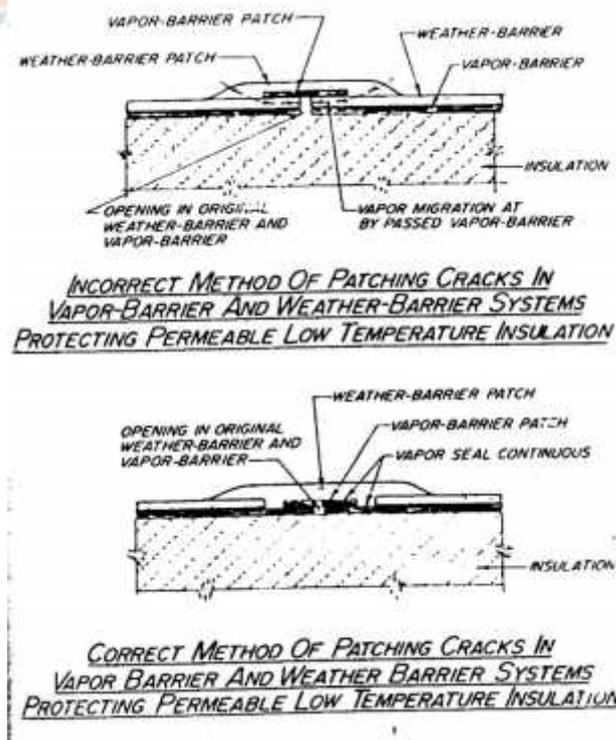


Figure 0-1 Perbaikan kerusakan weather barrier



Gambar 34. Perbaikan kerusakan vapour retarder

7. Spesifikasi Insulator

216 THERMAL INSULATION HANDBOOK

Table 39 Rigid and Semi-Rigid Insulation

Material Identification Number			1	2	3
Composition			Alumina-Silica fiber & binder-Block	Alumina-silica fiber & binder-Block	Alumina-silica cermaic fiber & binders-Board
Abrasion Resistance % of Weight Loss	1st Run		30		
	2nd Run		60		
Alkalinity pH					
Capillarity			Will Wick	Will Wick	Will Wick
Coefficient of Expansion	English		Will Shrink	Will Shrink	Will Shrink
	Metric		Will Shrink	Will Shrink	Will Shrink
Combustibility			Non-combustible	Non-combustible	Non-combustible
Combustibility II	Flash Point Temp.	^o F	"	"	"
		^o C	"	"	"
	Flame Point Temp.	^o F	"	"	"
		^o C	"	"	"
	Heat Release	Btu/lb	"	"	"
		J/kg	"	"	"
	Self Internal Heating		"	"	"
	Smoldering - Afterglow		"	"	"
Corrosion - Rusting					
Corrosion - Stress					
Density	lb/ft ³		15 to 17	18 to 22	10 to 16
	kg/m ³		240 to 272	298 to 352	160 to 256
Hardness - mm penetration					
Hygroscopicity % Volume			High	High	High
Resistance to Acids			Good, except HF & H ₃ PO ₄	Good, except HF & H ₃ PO ₄	Good, except HF & H ₃ PO ₄
Resistance to Caustics			Fair to Poor	Fair to Poor	Fair to Poor
Resistance to Solvents			Excellent	Excellent	Excellent
Shrinkage %	Linear		2.5 at 1800 ^o F (982 ^o C)	2 to 5 at 2300 ^o F (1260 ^o C)	3.0 at 1800 ^o F (982 ^o C)
	Volumetric				
Specific Gravity	Real		160 to 200	190 to 210	195 to 210
	Apparent		0.25	0.32	0.24
Specific Heat	Btu/lb		0.27	0.27	0.27
	w/kg		0.15	0.15	0.15
Strength	Compressive	psi			
		kPa			
	Flexural	psi/m			
		kPa			
	Modulus of Rupture	psi		125 after 24 hrs 2300 ^o F	31 after 24hrs. 1500 ^o F
		kPa		858 after 24hrs 1260 ^o C	213 after 24hrs. 816 ^o C
Tensile	psi				
	kPa				
Temperature Limits, Service	Short Time	^o F	2300	2300	2300
		^o C	1260	1260	1260
	Continuous	^o F	2300	2300	2300
		^o C	1260	1260	1260
Melting Temperature	^o F	3200	3200	3200	
	^o C	1980	1980	1980	
Thermal Diffusivity	ft ² /hr				
	m ² /hr				
Thermal Shock Resistance			Excellent	Excellent	Excellent
Vibration Resistance			Good	Good	Good
Water Absorption % by Volume			91	90	90 to 92
Water Vapor Transmission	perm-inch		Very High	Very High	Very High
	perm-cm		Very High	Very High	Very High

Table 39 Rigid and Semi-Rigid Insulation

Material Identification Number			4	5	6	
Composition			Alumina-silica ceramic fiber & binder-board	Calcium Silicate-Type 1: bulk & Pipe Covering	Calcium Silicate-Type 2: Block & Pipe Cover	
Abrasion Resistance: % of Weight Loss	1st Run			(max.) 30	(max.) 20	
	2nd Run			(Max.) 50	(max.) 45	
Alkalinity pH				8 to 10.5	8 to 10.5	
Capillarity			Will Wick	Will Wick	Will Wick	
Coefficient of Expansion	English		Will Shrink	0	0	
	Metric		Will Shrink	0	0	
Combustibility			Non-combustible	Non-combustible	Non-combustible	
Combustibility II	Flash Point Temp.	°F	"	"	"	
		°C	"	"	"	
	Flame Point Temp.	°F	"	"	"	
		°C	"	"	"	
	Heat Release	Btu/lb	"	"	"	
		J/kg	"	"	"	
Self Internal Heating		"	"	"		
Smoldering - Afterglow		"	"	"		
Corrosion - Rusting				Will not contribute	Will not contribute	
Corrosion - Stress				Will contribute	Will contribute	
Density	lb/ft ³		21 to 90	(max.) 14.5	(max.) 15	
	kg/m ³		336 to 640	(max.) 230	(max.) 240	
Hardness - mm penetration				40	60	
Hygroscopicity % Volume			High	10 to 15	10 to 14	
Resistance to Acids			Good, except HF & H ₂ PO ₄			
Resistance to Caustics			Fair to Poor			
Resistance to Solvents			Excellent			
Shrinkage %	Linear			2.0 at 1200° F (650° C)	2.5 at 1500° F (982° F)	
	Volumetric					
Specific Gravity	Real		200 to 210	4.4	4.16	
	Apparent		0.48	0.22	0.24	
Specific Heat	Btu/lb		0.27	0.28	0.28	
	w/kg		0.15	0.16	0.16	
Strength	Compressive	psi		60 to 100 at 5% defor	60 to 250 at 5% defor	
		kPa		414 to 600 at 5% defor	412 to 1725 at 5% defor	
	Flexural	psi/in			35 to 50	38
		kPa			241 to 300	262
	Modulus of Rupture	psi		125 after 24hrs, 2300° F		
		kPa		858 after 24hrs, 1260° C		
Tensile	psi					
	kPa					
Temperature Limits, Service	Short Time	°F	2300	1200	1500	
		°C	1260	649	816	
	Continuous	°F	2300	1200	1500	
		°C	1260	649	816	
	Melting Temperature	°F	3200			
		°C	1980			
Thermal Diffusivity	ft ² /hr			0.016	0.016	
	m ² /hr			4.12 x 10 ⁻⁷	4.12 x 10 ⁻⁷	
Thermal Shock Resistance			Excellent	Excellent	Excellent	
Vibration Resistance			Good	Fair	Fair	
Water Absorption % by Volume			64	90	90	
Water Vapor Transmission	perm-inch		Very High	Very High	Very High	
	perm-cm		Very High	Very High	Very High	

218 THERMAL INSULATION HANDBOOK

Table 39 Rigid and Semi-Rigid Insulation

Material Identification Number		7	8	9	
Composition		Diatomaceous-Silica Type 1: Block & Pipe Covering	Diatomaceous-Silica Type 2: Block & Pipe Covering	Cork Vegetable Board	
Abrasion Resistance % of Weight Loss	1st Run	(max.) 55	(max.) 55		
	2nd Run	(max.) 80	(max.) 80		
Alkalinity pH		7 to 9	7 to 9	7	
Capillarity		Will Wick	Will Wick	0	
Coefficient of Expansion	English	0	0		
	Metric	0	0		
Combustibility		Non-combustible	Non-combustible	Combustible	
Combustible If	Flash Point Temp.	^o F	"	575	
		^o C	"	303	
	Flame Point Temp.	^o F	"	575	
		^o C	"	303	
	Heat Release	Btu/lb	"	8000 to 9000	
		J/kg	"	1.8 to 2.0 x 10 ⁷	
	Self Internal Heating		"	"	
	Smoldering - Afterglow		"	"	
Corrosion - Rusting		Will not contribute	Will not contribute	Steel should be protected	
Corrosion - Stress				Will not contribute	
Density	lb/ft ³	(max.) 24	(max.) 26	6 to 8	
	kg/m ³	(max.) 384	(max.) 416	96 to 128	
Hardness - mm penetration		50 to 60	50 to 60		
Hygroscopicity % Volume		High	High	1	
Resistance to Acids				Poor	
Resistance to Caustics				Good	
Resistance to Solvents				Good	
Shrinkage %	Linear	2.5 at 1600 ^o F (871 ^o C)	2.5 at 1900 ^o F (1038 ^o C)		
	Volumetric	5 to 7 at 1600 ^o F (871 ^o C)	5 to 7 at 1900 ^o C (1038 ^o C)		
Specific Gravity	Real	2.2 to 2.3	2.2 to 2.3		
	Apparent	0.34 to 0.40	0.34 to 0.40	0.096 to 0.128	
Specific Heat	Btu/lb	0.22 to 0.28	0.22 to 0.28	.43	
	w/kg	0.12 to 0.16	0.12 to 0.16	.25	
Strength	Compressive	psi	50 at 5% defor.	5 at 5% defor.	
		kPa	345 at 5% defor.	448 at 5% defor.	
		psi/m	60	65	
		kPa	414	448	
	Flexural	psi		15	
		kPa		103	
	Modulus of Rupture	psi			
		kPa			
Tensile	psi				
	kPa				
Temperature Limits, Service	Short Time	^o F	1600	1900	
		^o C	871	1038	
	Continuous	^o F	1600	1900	
		^o C	871	1038	
Melting Temperature				Combustible	
				"	
Thermal Diffusivity	ft ² /hr	0.008 to 0.01 at 500 ^o F	0.008 to 0.01 at 500 ^o F	0.007 at 70 ^o F	
	m ² /hr	2.06 to 2.58 x 10 at 260 ^o C	2.06 x 2.58 x 10 at 260 ^o C	1.06 x 10 ⁻⁷ at 21 ^o C	
Thermal Shock Resistance		Excellent	Excellent		
Vibration Resistance		Fair	Fair	Good	
Water Absorption % by Volume		85	83	5% (surface only)	
Water Vapor Transmission	perm-inch	Very High	Very High	3 to 7	
	perm-cm	Very High	Very High	5.4 to 12.6	

Table 39 Rigid and Semi-Rigid Insulation

Material Identification Number		10	11	12
Composition		Cork Vegetable Pipe Covering	Cellular glass Block & Pipe Covering	Cellular glass between layers of felt-Board
Abrasion Resistance % of Weight Loss	1st Run		Poor	Poor
	2nd Run		Poor	Poor
Alkalinity pH		7	7 to 8	7 to 8
Capillarity		0	0	0
Coefficient of Expansion	English		46×10^{-7}	46×10^{-7}
	Metric		83×10^{-7}	83×10^{-7}
Combustibility		Combustible	Non-combustible	Felt cov. is combustible
Conductivity k	Flash Point Temp.	$^{\circ}\text{F}$	575	—
		$^{\circ}\text{C}$	303	—
	Flame Point Temp.	$^{\circ}\text{F}$	575	—
		$^{\circ}\text{C}$	303	—
	Heat Release	Btu/lb	8000 to 9000	—
		J/kg	$1.8 \text{ to } 2.0 \times 10^7$	—
Self Internal Heating		—	—	—
Smoldering – Afterglow		—	—	—
Corrosion – Rusting		Steel should be protected	Will not contribute	Will not contribute
Corrosion – Stress		Will not contribute	Will not contribute	Will not contribute
Density	lb/ft ³	7 to 14	7.5 to 9.5	7.5 to 9.5
	kg/m ³	112 to 224	120 to 152	120 to 152
Hardness – mm penetration				
Hygroscopicity % Volume		1	0	0
Resistance to Acids		Poor	Excellent except HF & H ₃ PO ₄	Excellent except HF & H ₃ PO ₄
Resistance to Caustics		Good	Excellent	Excellent
Resistance to Solvents		Good	Excellent	Excellent
Shrinkage %	Linear		0 at 800 $^{\circ}\text{F}$ (427 $^{\circ}\text{C}$)	0 at 800 $^{\circ}\text{F}$ (427 $^{\circ}\text{C}$)
	Volumetric		0 at 800 $^{\circ}\text{F}$ (427 $^{\circ}\text{C}$)	0 at 800 $^{\circ}\text{F}$ (427 $^{\circ}\text{C}$)
Specific Gravity	Real		2.5	2.5
	Apparent	0.096 to 0.128	0.012 to 0.152	0.012 to 0.152
Specific Heat	Btu/lb	.43	0.18	0.18
	w/kg	.25	0.10	0.10
Strength	Compressive	psi	5 at 5% defor.	75 to 100 (max.)
		kPa	34 at 5% defor.	517 to 690 (max.)
	Flexural	psi/m	18 to 21	60 to 80
		kPa	123 to 144	414 to 552
	Modulus of Rupture	psi		
		kPa		
Tensile	psi		84	
	kPa		580	
Temperature Limits, Service	Short Time	$^{\circ}\text{F}$	200	940
		$^{\circ}\text{C}$	93	504
	Continuous	$^{\circ}\text{F}$	180	800
		$^{\circ}\text{C}$	80	427
Melting Temperature		Combustible	1500	(insul.) 1500
		—	816	816
Thermal Diffusivity	ft ² /hr.	0.007 at 70 $^{\circ}\text{F}$	0.018 at 70 $^{\circ}\text{F}$	0.018 at 70 $^{\circ}\text{F}$
	m ² /hr.	1.08×10^{-3} at 21 $^{\circ}\text{C}$	1.08×10^{-3} at 21 $^{\circ}\text{C}$	1.08×10^{-3} at 21 $^{\circ}\text{C}$
Thermal Shock Resistance			Poor	Surface protected by felt
Vibration Resistance		Good	Poor	Surface protected by felt
Water Absorption % by Volume		3% (surface only)	5% (surface only)	2% (surface only)
Water Vapor Transmission	perm-inch	3 to 7	0.002 at 80 $^{\circ}\text{F}$	0.002 at 80 $^{\circ}\text{F}$
	perm-cm	5.4 to 12.6	0.0036 at 27 $^{\circ}\text{C}$	0.0036 at 27 $^{\circ}\text{C}$

Table 39 Rigid and Semi-Rigid Insulation

Material Identification Number		13	14	15	
Composition		Diatomaceous earth-Type 1-Block & pipe Cov.	Diatomaceous earth-Type 2-Block & pipe Cov.	Glass fiber with organic binder-Boards	
Abrasion Resistance % of Weight Loss	1st Run	30 to 37			
	2nd Run				
Alkalinity pH		7 to 9	7 to 9	8 to 10	
Capillarity		Will Wick	Will Wick	Negligible	
Coefficient of Expansion	English	12×10^{-6} on reheat	28×10^{-7} on reheat		
	Metric				
Combustibility		Non-combustible	Non-combustible	Binder is combustible	
Combustible II	Flash Point Temp.	$^{\circ}\text{F}$	"	(Binder) 750 $^{\circ}\text{F}$	
		$^{\circ}\text{C}$	"	(Binder) 399 $^{\circ}\text{C}$	
	Flame Point Temp.	$^{\circ}\text{F}$	"	"	Smolders
		$^{\circ}\text{C}$	"	"	"
	Heat Release	Btu/lb	"	"	Fibers Non-combustible
		J/kg	"	"	"
	Self Internal Heating		"	"	"
Smoldering - Afterglow		"	"	Binder will smolder	
Corrosion - Rusting		Will not contribute	Will not contribute	Will not contribute	
Corrosion - Stress				Will not contribute	
Density	lb/ft 3	17 to 24	26	1.4 to 1.6	
	kg/m 3	217 to 384	416	22 to 26	
Hardness - mm penetration		0.6 to 0.8	0.5 to 0.6		
Hygroscopicity % Volume		2 to 8	2 to 8	2	
Resistance to Acids		Good	Good	Good, except HF & H $_3$ PO $_4$	
Resistance to Caustics		Good	Good	Good from pH 7 to 10	
Resistance to Solvents		Resistant	Resistant	Good	
Shrinkage %	Linear	2% at 1600 $^{\circ}\text{F}$ (870 $^{\circ}\text{C}$)	2% at 1900 $^{\circ}\text{F}$ (1040 $^{\circ}\text{C}$)	0 up to 450 $^{\circ}\text{F}$ (232 $^{\circ}\text{C}$)	
	Volumetric	6 to 18% at 1600 $^{\circ}\text{F}$ (870 $^{\circ}\text{C}$)	5 to 7% at 1900 $^{\circ}\text{F}$ (1040 $^{\circ}\text{C}$)	0 up to 450 $^{\circ}\text{F}$ (232 $^{\circ}\text{C}$)	
Specific Gravity	Real	2.2 to 2.3	2.2 to 2.3	2.5	
	Apparent	0.38	0.41	0.02	
Specific Heat	Btu/lb	.22 to .28	.22 to .28	0.20	
	w/kg	.12 to .16	.12 to .16	0.11	
Strength	Compressive	psi	50 at 5% deform.	65 at 5% deform.	
		kPa	344 at 5% deform.	448 at 5% deform.	
	Flexural	psi/m	60	65	
		kPa	413	448	
	Modulus of Rupture	psi			
		kPa			
Tensile	psi	10 to 20	15 to 20		
	kPa	69 to 137	103 to 137		
Temperature Limits, Service	Short Time	$^{\circ}\text{F}$	1600	1900	
		$^{\circ}\text{C}$	870	1040	
	Continuous	$^{\circ}\text{F}$	1600	1900	
		$^{\circ}\text{C}$	870	1040	
Melting Temperature				1200	
				649	
Thermal Diffusivity	ft 2 /hr	0.008 to 0.01	0.009 to 0.012	0.04 at 75 $^{\circ}\text{F}$	
	m 2 /hr	2.06×10^{-7} to 2.58×10^{-7}	2.32×10^{-7} to 3.1×10^{-7}	1.03×10^{-6} at 24 $^{\circ}\text{C}$	
Thermal Shock Resistance		Excellent	Excellent	Excellent	
Vibration Resistance					
Water Absorption % by Volume		High	High	93	
Water Vapor Transmission	perm-inch	150 to 250	High	Very High	
	perm-cm	270 to 450		Very High	

Table 39 Rigid and Semi-Rigid Insulation

Material Identification Number		16	17	18	
Composition		Glass fiber with organic binder-Boards	Glass fiber with organic binder-Boards	Glass fiber w/organic binder-Duct board foil reinforced	
Abrasion Resistance % of Weight Loss	1st Run		40		
	2nd Run				
Alkalinity pH		8 to 10	8 to 10	8 to 10	
Capillarity		Negligible	Negligible	Negligible	
Coefficient of Expansion	English				
	Metric				
Combustibility		Binder is combustible	Binder is combustible	Binder is combustible	
M Combustible	Flash Point Temp.	^{°F}	(Binder) 750°F	(Binder) 750°F	
		^{°C}	(Binder) 399°C	(Binder) 399°C	
	Flame Point Temp.	^{°F}	Smolders	Smolders	Smolders
		^{°C}	"	"	"
	Heat Release	Btu/lb	Fibers Non-combustible	Fibers Non-combustible	Fibers Non-combustible
		J/kg	"	"	"
Self Internal Heating					
Smoldering – Afterglow		Binder will smolder	Binder will smolder	Binder will smolder	
Corrosion – Rusting		Will not contribute	Will not contribute	Will not contribute	
Corrosion – Stress		Will not contribute	Will not contribute	Will not contribute	
Density	lb/ft ³	2.5 to 3.5	5 to 7	2.5 to 3.5	
	kg/m ³	40 to 56	80 to 112	40 to 56	
Hardness – mm penetration					
Hygroscopicity % Volume		2	2	2	
Resistance to Acids		Good, except HF & H ₃ PO ₄	Good, except HF & H ₃ PO ₄	Good, except HF & H ₃ PO ₄	
Resistance to Caustics		Good from pH 7 to 10	Good from pH 7 to 10	Good from pH 7 to 10	
Resistance to Solvents		Good	Good	Good	
Shrinkage %	Linear	0 up to 450°F (232°C)	0 up to 450°F (232°C)	0 up to 250°F (121°C)	
	Volumetric	0 up to 450°F (232°C)	0 up to 450°F (232°C)	0 up to 250°F (121°C)	
Specific Gravity	Real	2.5	2.5	2.5	
	Apparent	0.5	1.0	0.5	
Specific Heat	Btu/lb	0.20	0.20	0.20	
	w/kg	0.11	0.11	0.11	
Strength	Compressive	psi	0.7 at 10% defor.	2.4 at 10% defor.	
		kPa	4.8 at 10% defor.	16.6 at 10% defor.	
	Flexural	psi/m			
		kPa			
	Modulus of Rupture	psi			
		kPa			
Tensile	psi				
	kPa				
Temperature Limits, Service	Short Time	^{°F}	max. 450	max. 450	max. 250
		^{°C}	max. 232	max. 232	max. 121
	Continuous	^{°F}	max. 450	max. 450	max. 250
		^{°C}	max. 232	max. 232	max. 121
Melting Temperature		^{°F}	1200	1200	1200
		^{°C}	649	649	649
Thermal Diffusivity	ft ² /hr	0.02 at 75°F	0.015 at 75°F	0.015 at 75°F	
	m ² /hr	5.16 × 10 ⁻⁷ at 24°C	3.8 × 10 ⁻⁷ at 24°C	3.87 × 10 ⁻⁷ at 24°C	
Thermal Shock Resistance		Excellent	Excellent	Excellent	
Vibration Resistance					
Water Absorption % by Volume		92	93	93	
Water Vapor Transmission		perm-inch	Very High	Very High	Depends on covering
		perm-cm	Very High ¹	Very High ¹	Depends on covering

Table 39 Rigid and Semi-Rigid Insulation

Material Identification Number		19	20	21	
Composition		Glass fiber-organic binder semi-rigid light weight pipe cov.	Glass fiber with organic binder-heavier density pipe cov.	Mineral fiber (rock slab or glass) Class I block or Board	
Abrasion Resistance	1st Run	50	40		
	2nd Run	95	90		
% of Weight Loss					
Alkalinity pH		8 to 10	8 to 10	7 to 9	
Capillarity		Will Wick	Negligible	Will Wick	
Coefficient of Expansion	English	0 up to 450°F	0 up to 450°F	Will Shrink	
	Metric	0 up to 232°C	0 up to 232°C	Will Shrink	
Combustibility		Binder is combustible	Binder is combustible	Binder is combustible	
Combustible H	Flash Point Temp.	°F	(Binders) 750°F	(Binders) 750°F	
		°C	(Binders) 399°C	(Binders) 399°C	
	Flame Point Temp.	°F	Smolders	Smolders	"
		°C	"	"	"
	Heat Release	Btu/lb	Fibers non-combustible	Fibers non-combustible	
		J/kg	"	"	
Self Internal Heating		Can self heat	Can self heat	Can self heat	
Smoldering - Afterglow		Will smolder	Will smolder	Will smolder	
Corrosion - Rusting		Will not contribute	Will not contribute	Will not contribute	
Corrosion - Stress		Depends on binder	Depends on binder	Depends on binder	
Density	lb/ft ³	3 to 5	5 to 10	9 to 11	
	kg/m ³	54 to 80	80 to 160	144 to 176	
Hardness - mm penetration					
Hygroscopicity % Volume		2	2	2.5	
Resistance to Acids		Good, except HF & H ₃ PO ₄	Good, except HF & H ₃ PO ₄	Good, except HF & H ₃ PO ₄	
Resistance to Caustics		Good, pH 7 to 10	Good, pH 7 to 10	Good, pH 7 to 10	
Resistance to Solvents		Good	Good	Good	
Shrinkage %	Linear	0 up to 450°F (232°C)	0 up to 450°F (232°C)	(max.) 2 up to 400°F (204°C)	
	Volumetric	0 up to 450°F (232°C)	0 up to 450°F (232°C)		
Specific Gravity	Real	2.5	2.5	2.5	
	Apparent	0.08 (max.)	0.16 (max.)	0.14 (max.)	
Specific Heat	Btu/lb	0.20	0.20	0.20	
	w/kg	0.12	0.12	0.12	
Strength	Compressive	psi			
		kPa			
	Flexural	psi/in			
		kPa			
	Modulus of Rupture	psi			
		kPa			
Tensile	psi				
	kPa				
Temperature Limits, Service	Short Time	°F	(max.) 500	(max.) 500 to 650	
		°C	(max.) 260	(max.) 260 to 343	
	Continuous	°F	(max.) 450 to 500	(max.) 450 to 500	
		°C	(max.) 232 to 260	(max.) 232 to 260	
Melting Temperature		°F	1200	1200	
		°C	649	649	
Thermal Diffusivity	ft ² /hr	0.018 at 70°F	0.020 at 70°F	0.030 at 70°F	
	m ² /hr	4.8 x 10 ⁻³ at 21°C	5.16 x 10 ⁻³ at 21°C	7.7 x 10 ⁻³ at 21°C	
Thermal Shock Resistance		Good	Good	Good	
Vibration Resistance		Fair	Fair	Fair	
Water Absorption % by Volume			0.2		
Water Vapor Transmission	perm-inch	Depends on Jacket	Depends on Jacket	Very High	
	perm-cm	Depends on Jacket	Depends on Jacket	Very High	

Table 39 Rigid and Semi-Rigid Insulation

Material Identification Number		22	23	24	
Composition		Mineral fiber rock slab or glass? Class 2 Block or Board	Mineral fiber Class 3 Block or Board	Mineral fiber Class 4 Block or Board	
Abrasion Resistance % of Weight Loss	1st Run				
	2nd Run				
Alkalinity pH		7 to 9	7 to 9	7 to 9	
Capillarity		Will Wick	Will Wick	Will Wick	
Coefficient of Expansion	English	Will Shrink	Will Shrink	Will Shrink	
	Metric	Will Shrink	Will Shrink	Will Shrink	
Combustibility		Binder is combustible	Some binders will burn	Some binders oxidize	
Combustion H	Flash Point Temp.	^{°F}	Fibers non-combustible	Fibers non-combustible	
		^{°C}	"	"	
	Flame Point Temp.	^{°F}	"	"	"
		^{°C}	"	"	"
	Heat Release	Btu/lb			
		J/kg			
Self Internal Heating		Can self heat	Can self heat	Can self heat	
Smoldering – Afterglow		Will smolder	Can smolder	Can smolder	
Corrosion – Rusting		Will not contribute	Will not contribute	Will not contribute	
Corrosion – Stress		Depends on binder	Depends on binder	Will not contribute	
Density	lb/ft ³	11 to 13	7 to 12	8 to 13	
	kg/m ³	176 to 192	112 to 192	128 to 208	
Hardness – mm penetration					
Hygroscopicity % Volume		2.5	2.5	2.5	
Resistance to Acids		Good, except HF & H ₃ PO ₄	Good, except HF & H ₃ PO ₄	Good, except HF & H ₃ PO ₄	
Resistance to Caustics		Good pH 7 to 10	Good	Good	
Resistance to Solvents		Good	Good	Good	
Shrinkage %	Linear	(max.) 2 up to 400°F (204°C)	2.5% at 350°F (177°C)	2% at 1000°F (549°C)	
	Volumetric				
Specific Gravity	Real	2.5	2.5	2.5	
	Apparent	0.20 (max.)	0.11 to 0.19	0.12 to 0.20	
Specific Heat	Btu/lb	0.20	0.22	0.22	
	w/kg	0.12	0.13	0.13	
Strength	Compressive	psi	25	0.15 to 0.25 at 10% defor.	
		kPa	172	2.4 to 4.4 at 10% defor.	
	Flexural	psi/in			25
		kPa			172
	Modulus of Rupture	psi			
		kPa			
Tensile	psi				
	kPa				
Temperature Limits, Service	Short Time	^{°F}	(max.) 400 to 500	850 to 1000	
		^{°C}	(max.) 204 to 260	454 to 540	
	Continuous	^{°F}	(max.) 400 to 500	850 to 1000	1000 to 649
		^{°C}	(max.) 204 to 260	454 to 590	540 to 649
Melting Temperature		^{°F}	1200		
		^{°C}	649		
Thermal Diffusivity	ft ² /hr	0.035 at 70°F	0.01 to 0.07 at 70°F	0.005 to 0.01 at 70°F	
	m ² /hr	9.03 × 10 ⁻⁷ at 21°C	2.5 to 5.1 × 10 ⁻⁷ at 21°C	1.25 to 2.6 × 10 ⁻⁷ at 21°C	
Thermal Shock Resistance		Good	Good	Good	
Vibration Resistance		Fair			
Water Absorption % by Vol. — s			85 to 93	85 to 93	
Water Vapor Transmission	perm-inch	Very High	Very High	Very High	
	perm-cm	Very High	Very High	Very High	

Table 39 Rigid and Semi-Rigid Insulation

Material Identification Number		25	26	27	
Composition		Mineral fiber Class 5 Board & Block	Mineral fiber Class 1 Pipe Cov.	Mineral fiber Class 2 Pipe Cov.	
Abrasion Resistance % of Weight Lost	1st Run				
	2nd Run				
Alkalinity pH		7 to 9	7 to 9	7 to 9	
Capillarity		Will Wick	Will Wick	Will Wick	
Coefficient of Expansion	English	Will Shrink	Will Shrink	Will Shrink	
	Metric	Will Shrink	Will Shrink	Will Shrink	
Combustibility		Non-combustible	Some binders will burn	Some binders oxidize	
Combustible II	Flash Point Temp.	^o F	"	Fibers non-combustible	
		^o C	"	"	
	Flame Point Temp.	^o F	"	"	"
		^o C	"	"	"
	Heat Release	Btu/lb	"	"	"
		J/kg	"	"	"
	Self Internal Heating		"	Can self heat	Can self heat
Smoldering – Afterglow		"	Can smolder	Can smolder	
Corrosion – Rusting		Will not contribute	Will not contribute	Will not contribute	
Corrosion – Stress		Will not contribute	Depends on binder	Depends on binder	
Density	lb/ft ³	12 to 25	9 to 11	11 to 14	
	kg/m ³	192 to 400	144 to 176	176 to 224	
Hardness – mm penetration					
Hygroscopicity % Volume		2	2	2	
Resistance to Acids		Good, except HF & H ₃ PO ₄	Good, except HF & H ₃ PO ₄	Good, except HF & H ₃ PO ₄	
Resistance to Caustics		Good	Good	Good	
Resistance to Solvents		Good	Good	Good	
Shrinkage %	Linear	5% at 1900 ^o F (1038 ^o C)	2% at 450 ^o F (232 ^o C)	2% at 650 ^o F (345 ^o C)	
	Volumetric				
Specific Gravity	Real	2.5	2.5	2.5	
	Apparent	0.19 to 0.40	0.11 to 0.17	0.17 to 0.22	
Specific Heat	Btu/lb	0.22	0.22	0.22	
	w/kg	0.13	0.13	0.13	
Strength	Compressive	psi	10 to 15 at 10% defor.		
		kPa	69 to 104 at 10% defor.		
	Flexural	psi/m	40		
		kPa	276		
	Modulus of Rupture	psi			
		kPa			
Tensile	psi				
	kPa				
Temperature Limits, Service	Short Time	^o F	1800 to 1900	450	
		^o C	982 to 1038	232	
	Continuous	^o F	1800 to 1900	450	650
		^o C	982 to 1038	232	345
	Melting Temperature		^o F		
			^o C		
Thermal Diffusivity	ft ² /hr	0.004 to 0.005 at 70 ^o F	0.005 to 0.01 at 70 ^o F	0.004 to 0.008 at 70 ^o F	
	m ² /hr	1.03 to 2.06 x 10 ⁻⁷ at 21 ^o C	1.25 to 2.6 x 10 ⁻⁷ at 21 ^o C	1.03 to 2.06 x 10 ⁻⁷ at 21 ^o C	
Thermal Shock Resistance		Good	Good	Good	
Vibration Resistance				Good	
Water Absorption	% by Volume	85 to 90	85 to 90	90	
Water Vapor Transmission	perm-inch	Very High	Very High	Very High	
	perm-cm	Very High	Very High	Very High	

Table 39 Rigid and Semi-Rigid Insulation

Material Identification Number			28	29	30	
Composition			Mineral Fiber Class 3 Pipe Cov.	Mineral Fiber Class 2 Pipe Cov.	Mineral Fiber Class 3 Pipe Cov.	
Abrasion Resistance % of Weight Loss	1st Run			35 to 40	30 to 40	
	2nd Run			60 to 70	60 to 70	
Alkalinity pH			7 to 9	7 to 8	7 to 8	
Capillarity			Will Wick	Negligible	Will Wick	
Coefficient of Expansion	English		Will Shrink	Will Shrink	Will Shrink	
	Metric		Will Shrink	Will Shrink	Will Shrink	
Combustibility			Non-combustible	Non-combustible	Non-combustible	
Compressive Strength	Flash Point Temp.	^o F	"	"	"	
		^o C	"	"	"	
	Flame Point Temp.	^o F	"	"	"	
		^o C	"	"	"	
	Heat Release	Btu/lb	"	"	"	
		J/kg	"	"	"	
	Self Internal Heating		"	"	"	
Smoldering — Afterglow		"	"	"		
Corrosion — Rusting			Will not contribute	Will not contribute	Will not contribute	
Corrosion — Stress			Will not contribute	Will not contribute	Will not contribute	
Density	lb/ft ³		15 to 20	13 to 15	12 to 15	
	kg/m ³		256 to 320	208 to 240	240	
Hardness — mm penetration						
Hygroscopicity % Volume			2	4	16	
Resistance to Acids			Good, except HF & M ₃ PO ₄	Excellent	Excellent	
Resistance to Caustics			Good	Excellent	Excellent	
Resistance to Solvents			Good	Good	Good	
Shrinkage %	Linear		2% at 1200 ^o F (650 ^o C)	2% at 1500 ^o F (816 ^o C)	2% at 1500 ^o F (816 ^o C)	
	Volumetric					
Specific Gravity	Real		2.5	1.8	1.8	
	Apparent		0.25 to 0.32	0.14 to 0.16	0.14 to 0.16	
Specific Heat	Btu/lb		0.22	0.216	0.216	
	w/kg		0.13	0.13	0.13	
Strength	Compressive	psi		60 at 5% deform.	55 at 5% deform.	
		kPa		415 at 5% deform.	379 at 5% deform.	
	Flexural	psi/in		35		
		kPa		241		
	Modulus of Rupture	psi				
		kPa				
Tensile	psi		32			
	kPa		221			
Temperature Limits, Service	Short Time	^o F	1200	1500	1500	
		^o C	650	816	816	
	Continuous	^o F	1200	1500	1500	
		^o C	650	816	816	
	Melting Temperature		^o F			
			^o C			
Thermal Diffusivity	ft ² /hr		0.007 to 0.008 at 70 ^o F	0.014 at 70 ^o F	0.014 at 70 ^o F	
	m ² /hr		1.8 to 2.06 x 10 ⁻⁷ at 21 ^o C	3.6 x 10 ⁻⁷ at 21 ^o C	3.6 x 10 ⁻⁷ at 21 ^o C	
Thermal Shock Resistance			Good	Good	Good	
Vibration Resistance			Good	Fair	Fair	
Water Absorption % by Volume			90	9	180	
Water Vapor Transmission	perm-inch		Very High	18	40	
	perm-cm		Very High	32	72	

Table 39 Rigid and Semi-Rigid Insulation

Material Identification Number		31	32	33	
Composition		Perlite expanded with binders and fibers Roof board	Phenolic foam Board and pipe Cov.	Polystyrene expanded beads molded to shape block, board pipe Cov.	
Abrasion Resistance % of Weight Loss	1st Run	30 to 40			
	2nd Run	65 to 70			
Alkalinity pH		7 to 8	6.5 to 7.5	6.5 to 7.5	
Capillarity		Negligible	Negligible	0.5	
Coefficient of Expansion	English	0.2 to 0.9% at 50% RH	Shrinks	35×10^{-6}	
	Metric	0.2 to 0.9% at 50% RH	Shrinks	63×10^{-6}	
Combustibility		Resists combustion	Slow burning	Combustible	
Combustible H	Flash Point Temp.	^o F	780	645	
		^o C	416	345	
	Flame Point Temp.	^o F	850	756	
		^o C	454	357	
	Heat Release	Btu/lb			16,000
		J/kg			3.71×10^7
Self Internal Heating				Melts and burns	
Smoldering — Afterglow				Melts and burns	
Corrosion — Rusting		Will not contribute	Will not contribute	Does not contribute	
Corrosion — Stress		Will not contribute	Will not contribute	Does not contribute	
Density	lb/ft ³	10	2 to 3	1.0 to 1.5	
	kg/m ³	160	32 to 48	16.01 to 24.01	
Hardness — mm penetration		(Brinell) 60 (X 1000)			
Hygroscopicity % Volume				0.5 to 1.5	
Resistance to Acids		Good	Good	Good to most acids	
Resistance to Caustics		Good	Good	Good to most caustics	
Resistance to Solvents		Good	Fair	Poor to many solvents	
Shrinkage %	Linear			Expands to temp. limits	
	Volumetric			"	
Specific Gravity	Real	2.2	2.3		
	Apparent	.16	0.3 to 0.5	0.016 to 0.024	
Specific Heat	Btu/lb	.25		0.27 at 40 ^o F	
	w/kg	.14		0.15 at 4 ^o C	
Strength	Compressive	psi	35 at 10% defor.	13 to 22 at 10% defor.	
		kPa	240 at 10% defor.	70 to 151 at 10% defor.	
	Flexural	psi/m	40		12 at 10% defor.
		kPa	276×10^3		82 at 10% defor.
	Modulus of Rupture	psi			
		kPa			
Tensile	psi	4			
	kPa	28			
Temperature Limits, Service	Short Time	^o F	200	250	
		^o C	93	121	
	Continuous	^o F	200	250	
		^o C	93	121	
Melting Temperature				200 to 230	
				93 to 110	
Thermal Diffusivity	ft ² /hr			0.063 at 40 ^o F	
	m ² /hr			1.6×10^{-6} at 4 ^o C	
Thermal Shock Resistance					
Vibration Resistance				Excellent	
Water Absorption	% by Volume	1.5 max.	0.4 to 0.8	3.8 to 4.0	
Water Vapor Transmission	perm-inch	25	High	2.0	
	perm-cm	45	High	3.6	

Table 39 Rigid and Semi-Rigid Insulation

Material Identification Number		34	35	36
Composition		Polystyrene expanded foam-cut Shapes Board & Pipe Cov.	Polystyrene expanded foam-molded in shape Board & Pipe Cov.	Polystyrene expanded foam-molded in shape board
Abrasion Resistance % of Weight Loss	1st Run			
	2nd Run			
Alkalinity pH		6.5 to 7.5	6.5 to 7.5	6.5 to 7.5
Capillarity		0	0	0
Coefficient of Expansion	English	35×10^{-6}	35×10^{-6}	35×10^{-6}
	Metric	63×10^{-6}	63×10^{-6}	63×10^{-6}
Combustibility		Combustible	Combustible	Combustible
Compressive Strength	Flash Point Temp.	^o F	730	730
		^o C	388	388
	Flame Point Temp.	^o F	750	750
		^o C	399	399
	Heat Release	Btu/lb	16,000	16,000
		J/kg	3.71×10^7	3.71×10^7
Self Internal Heating		Melts and burns	Melts and burns	Melts and burns
Smoldering — Afterglow		Melts and burns	Melts and burns	Mel.; and burns
Corrosion — Rusting		Does not contribute	Does not contribute	Does not contribute
Corrosion — Stress		Does not contribute	Does not contribute	Does not contribute
Density	lb/ft ³	1.75 to 2.0	2.0 to 2.2	2.25 to 2.5
	kg/m ³	28.02 to 32.2	32.02 to 35.22	36.02 to 40.03
Hardness — mm penetration				
Hygroscopicity % Volume		0.5 to 1.0	0.6 to 1.1	0.6 to 1.0
Resistance to Acids		Good to most acids	Good to most acids	Good to most acids
Resistance to Caustics		Good to most caustics	Good to most caustics	Good to most caustics
Resistance to Solvents		Poor to many solvents	Poor to many solvents	Poor to many solvents
Shrinkage %	Linear	Expands to temp. limit	Expands to temp. limit	Expands to temp. limit
	Volumetric	"	"	"
Specific Gravity	Real			
	Apparent	0.028 to 0.032	0.032 to 0.035	0.036 to 0.04
Specific Heat	Btu/lb	0.27 at 40 ^o F	0.27 at 40 ^o F	0.27 at 40 ^o F
	w/kg	0.15 at 4 ^o C	0.15 at 4 ^o C	0.15 at 4 ^o C
Strength	Compressive	psi	40 at 10% deform.	40 at 10% deform.
		kPa	275 at 10% deform.	275 at 10% deform.
	Flexural	psi/in	40	60
		kPa	275	413
	Modulus of Rupture	psi		
		kPa		
Tensile	psi	70	70	
	kPa	482	482	
Temperature Limits, Service	Short Time	^o F	165	165
		^o C	74	74
	Continuous	^o F	165	165
		^o C	74	74
Melting Temperature		^o F	200 to 230	200 to 230
		^o C	93 to 110	93 to 110
Thermal Diffusivity	ft ² /hr	0.017 at 40 ^o F	0.017 at 40 ^o F	0.017 at 40 ^o F
	m ² /hr	4.4×10^{-7} at 4 ^o C	4.4×10^{-7} at 4 ^o C	4.4×10^{-7} at 4 ^o C
Thermal Shock Resistance				
Vibration Resistance		Excellent	Excellent	Excellent
Water Absorption % by Volume		0.5 to 0.7	0.6 to 0.8	0.5 to 0.7
Water Vapor Transmission	perm-inch	1.0 to 1.4	0.4 to 1.0	0.4 to 0.8
	perm-cm	1.8 to 2.5	0.7 to 1.8	0.7 to 1.4

Table 39 Rigid and Semi-Rigid Insulation

Material Identification Number		37	38	39	
Composition		Polystyrene expanded foam molded to shape roof boards	Polyurethane expanded foam Block Board & Pipe Cov.	Polyurethane expanded foam Block Board & Pipe Cov.	
Abrasion Resistance % of Weight Loss	1st Run		6 to 20	6 to 20	
	2nd Run				
Alkalinity pH		6.5 to 7.5	6.5 to 7.5	6.5 to 7.5	
Capillarity		0	0	0	
Coefficient of Expansion	English	35×10^{-6}	5×10^{-5}	5×10^{-5}	
	Metric	63×10^{-6}	9×10^{-5}	9×10^{-5}	
Combustibility		Combustible	Combustible	Combustible	
Combustible II	Flash Point Temp.	^o F	730	590 to 750	
		^o C	388	310 to 399	
	Flame Point Temp.	^o F	750	600 to 750	
		^o C	399	316 to 399	
	Heat Release	Btu/lb	16,000	16,000 to 17,000	16,000 to 17,000
		J/kg	3.71×10^7	3.71×10^7 to 3.9×10^7	3.71×10^7 to 3.9×10^7
Self Internal Heating		Melts and burns	Will react with some chemicals	Will react with some chemicals	
Smoldering – Afterglow		Melts and burns	Chars	Chars	
Corrosion – Rusting		Will not contribute	Does not contribute	Will contribute	
Corrosion – Stress		Does not contribute	Does not contribute	Does not contribute	
Density	lb/ft ³	2.5 to 2.7	Up to 1.7	1.7 to 2.5	
	kg/m ³	40.0 to 43.2	Up to 27.2	27.2 to 40.0	
Hardness – mm penetration					
Hygroscopicity % Volume		0.6 to 0.7	1.0 to 1.8	0.9 to 1.6	
Resistance to Acids		Good to most acids	Resistant, to most dilute acids	Resistant to dilute acids	
Resistance to Caustics		Good to most caustics	Resistant to most dilute caustics	Resistant to dilute caustics	
Resistance to Solvents		Poor to many solvents	Resistant to most solvents	Resistant to most solvents	
Shrinkage %	Linear	Expands to temp. limit	Expands to temp. limit	Expands to temp. limit	
	Volumetric	Exp	Expands to temp. limit	Expands to temp. limit	
Specific Gravity	Real				
	Apparent	0.04 to 0.043	0.027	0.027 to 0.04	
Specific Heat	Btu/lb	0.27 at 40 ^o F	0.4 at 40 ^o F	0.4 at 40 ^o F	
	w/kg	0.15 at 4 ^o C	0.22 at 4 ^o C	0.22 at 4 ^o C	
Strength	Compressive	psi	60 at 10% deform.	15 at 10% deform.	
		kPa	413 at 10% deform.	103 at 10% deform.	
	Flexural	psi/m	125	15	20
		kPa	707	105	140
	Modulus of Rupture	psi			
		kPa			
Tensile	psi	200	10 to 30	15 to 50	
	kPa	1378	69 to 205	130 to 344	
Temperature Limits, Service	Short Time	^o F	165	230	220
		^o C	74	110	104
	Continuous	^o F	165	200	200
		^o C	74	94	94
Melting Temperature		^o F	200 to 230	Chars	
		^o C	93 to 110	Chars	
Thermal Diffusivity	ft ² /hr	0.017 at 40 ^o F	0.011 to 0.15 at 40 ^o F	0.015 to 0.02 at 40 ^o F	
	m ² /hr	4.4×10^{-7} at 4 ^o C	2.8×10^{-7} to 3.6×10^{-7} at 4 ^o C	3.6×10^{-7} to 5.1×10^{-7} at 4 ^o C	
Thermal Shock Resistance					
Vibration Resistance		Excellent	Excellent	Excellent	
Water Absorption % by Volume		0.5 to 0.7	1.5	1.3	
Water Vapor Transmission	perm-inch	0.5 to 0.8	4 to 6	3 to 5	
	perm-cm	0.9 to 1.4	6.7 to 10	5 to 8.4	

Table 39 Rigid and Semi-Rigid Insulation

Material Identification Number		40	41	42	
Composition		Polyurethane expanded foam Block, Board & Pipe Cov.	Expanded rubber Rigid Board	Expanded silica with binders-Block & Pipe Cov.	
Abrasion Resistance % of Weight Loss	1st Run	6 to 20		35 to 40	
	2nd Run			65 to 70	
Alkalinity pH		6.5 to 7.5		8 to 9.5	
Capillarity		0	10%		
Coefficient of Expansion	English	5×10^{-5}	Shrinks	Shrinks	
	Metric	9×10^{-5}	Shrinks	Shrinks	
Combustibility		Combustible	Combustible	Non-combustible	
Combustibility H	Flash Point Temp.	$^{\circ}$ F	590 to 750	560	
		$^{\circ}$ C	310 to 399	293	
	Flame Point Temp.	$^{\circ}$ F	600 to 750	590	"
		$^{\circ}$ C	316 to 399	310	"
	Heat Release	Btu/lb	16,000 to 17,000	15,000	"
		J/kg	3.71×10^7 to 3.9×10^7	3.485×10^7	"
Self-Internal Heating		Will react with some chemicals		"	
Smoldering - Afterglow		Chars		"	
Corrosion - Rusting		Will contribute	Does not contribute	Does not contribute	
Corrosion - Stress		Does not contribute	Does not contribute	Does not contribute	
Density	lb/ft ³	2.5 to 5.0	4 to 6	13	
	kg/m ³	40 to 80	64 to 96	208	
Hardness - mm penetration					
Hygroscopicity % Volume		0.8 to 1.4		0.5	
Resistance to Acids		Resistant to dilute acid	Good	Excellent	
Resistance to Caustics		Resistant to dilute caustic	Good	Excellent	
Resistance to Solvents		Resistant to most solvents	Poor	Good	
Shrinkage %	Linear	Expands to temp. limit	10% at 200 $^{\circ}$ F	1% at 1500 $^{\circ}$ F	
	Volumetric	Expands to temp. limit			
Specific Gravity	Real			2.2	
	Apparent	0.04 to 0.08	0.07	0.22	
Specific Heat	Btu/lb	0.4 at 40 $^{\circ}$ F	0.20	0.14 to 0.18	
	w/kg	0.22 at 4 $^{\circ}$ C		0.08 to 0.10	
Strength	Compressive	psi	30 at 10% deform.	40 at 10% deform.	
		kPa	207 at 10% deform.	275 at 10% deform.	
	Flexural	psi/in	40		46
		kPa	275		179
	Modulus of Rupture	psi			
kPa					
Tensile	psi	20 to 108	60		
	kPa	137 to 670	413		
Temperature Limits, Service	Short Time	$^{\circ}$ F	220	200	
		$^{\circ}$ C	104	93	
	Continuous	$^{\circ}$ F	200	200	
		$^{\circ}$ C	94	93	
Melting Temperature		$^{\circ}$ F	Chars		
		$^{\circ}$ C	Chars		
Thermal Diffusivity	ft ² /hr	0.02 to 0.03 at 40 $^{\circ}$ F		0.015	
	m ² /hr	5.1×10^{-7} to 7.7×10^{-7} at 4 $^{\circ}$ C		3.8×10^{-7}	
Thermal Shock Resistance				Excellent	
Vibration Resistance		Excellent		Good	
Water Absorption % by Volume		1.1	1		
Water Vapor Transmission perm-inch		2.5 to 5	0.1	High	
Transmission perm-cm		4.2 to 8.4	0.2	High	

Table 39 Rigid and Semi-Rigid Insulation

Material Identification Number		43	44
Composition		Wood fibers with binders-Board	Borosilica closed cell inorganic foam-Block
Abrasion Resistance % of Weight Loss	1st Run		Poor abrasion
	2nd Run		Resistance
Alkalinity pH		4.5 to 6	6 to 7
Capillarity			None
Coefficient of Expansion	English		$1.6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{F}$
	Metric		$2.8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
Combustibility		Combustible	Non-combustible
Combustible II	Flash Point Temp.	$^\circ\text{F}$	500
		$^\circ\text{C}$	260
	Flame Point Temp.	$^\circ\text{F}$	500
		$^\circ\text{C}$	260
	Heat Release	Btu/lb	8,000
		J/kg	1.859×10^7
Self Internal Heating			"
Smoldering - Afterglow			"
Corrosion - Rusting			Does not contribute
Corrosion - Stress			Does not contribute
Density	lb/ft ³	15 to 18	12
	kg/m ³	240 to 288	190
Hardness - mm penetration			
Hygroscopicity % Volume		14	0
Resistance to Acids			Impervious
Resistance to Caustics			Impervious
Resistance to Solvents			Impervious
Shrinkage %	Linear	5.4% at 200 $^\circ\text{F}$	None
	Volumetric		None
Specific Gravity	Real	0.95	2.3
	Apparent	0.24	0.19
Specific Heat	Btu/lb		0.2
	w/kg		0.11
Strength	Compressive	psi	200 to 210
		kPa	1400 to 1970
	Flexural	psi/in	90 to 120
		kPa	580 to 770
	Modulus of Rupture	psi	50
		kPa	344
Tensile	psi		
	kPa		
Temperature Limits, Service	Short Time	$^\circ\text{F}$	200
		$^\circ\text{C}$	93
	Continuous	$^\circ\text{F}$	200
		$^\circ\text{C}$	93
Melting Temperature			3100
			1704
Thermal Diffusivity	ft ² /hr		
	m ² /hr		
Thermal Shock Resistance			Excellent
Vibration Resistance		Fair	Fair
Water Absorption	% by Volume	10	2% (surface only)
Water Vapor Transmission	perm-inch	5	0.00000+
	perm-cm	9	0.00000+

Table 40 Flexible and Faced Insulation

Material Identification Number		45	46
Composition		Elastomeric sheet and pipe covering	Glass fiber, flexible with various facings
Alkalinity pH		Negligible	7 to 8
Capillarity			Will Wick
Combustibility		Combustible	Binder is combustible
Combustibility II	Flash Point Temp.	^{°F}	(Binder) 750
		^{°C}	(Binder) 399
	Flame Point Temp.	^{°F}	Smolders
		^{°C}	Smolders
	Heat Release	Btu/lb	15000
	J/kg	3.486×10^4	
Self Internal Heating Smoldering or Afterglow			Fibers non-combustible Fibers non-combustible
Corrosion – Rusting		Does not contribute	Can Smolder
Corrosion – Stress		Does not contribute	Does not contribute
Density of Insulation (only)	lb/ft ³	4.5 to 8.5	0.6 to 3.0
	kg/m ³	36 to 72	10.4 to 48.0
Hygroscopicity % Weight			
Maximum Temperature Limits	Short	^{°F}	220
		^{°C}	104
	Continuous	^{°F}	220
		^{°C}	104
Resistance to Acids		Resistant to dilute acids	Good from pH 5 to 7 except HF & H ₃ PO ₄
Resistance to Caustics		Resistant to dilute acids	Good from pH 7 to pH 10
Specific Heat	Btu/lb		.20
	w/kg		.11
Strength Compression	psi		902 to 0.09 at 10% deform.
	Pa		
Thermal Diffusivity	ft ² /hr		0.13 to 0.62 at 10% deform.
	m ² /hr		0.06 at 70°F
Water Absorption % Weight		4.6 to 8.4	9.126×10^{-4} at 21°C
Water Vapor Transmission		perm-inches perm-cm	0.15 to 0.30 0.27 to 0.54
			Depends on facing Depends on facing

Material Identification Number		47	48
Composition		Glass fiber flexible with various facings**	Glass fiber, flexible semi-rigid w/ various facings**
Alkalinity pH		7 to 8	7 to 8
Capillarity		Will Wick	Will Wick
Combustibility		Binder is combustible	Binder is combustible
Combustibility II	Flash Point Temp.	^{°F}	(Binder) 750°F
		^{°C}	(Binder) 399
	Flame Point Temp.	^{°F}	Smolders
		^{°C}	Smolders
	Heat Release	Btu/lb	Fibers non-combustible
	J/kg	Fibers non-combustible	
Self Internal Heating Smoldering or Afterglow			Fibers non-combustible Fibers non-combustible
Corrosion – Rusting		Can Smolder	Can Smolder
Corrosion – Stress		Does not contribute	Does not contribute
Density of Insulation (only)		lb/ft ³	4.5 (min.)
	kg/m ³	48 to 72	72 (min.)
Hygroscopicity % Weight			
Maximum Temperature Limits	Short	^{°F}	400
		^{°C}	204
	Continuous	^{°F}	400
		^{°C}	204
Resistance to Acids		Good from pH 5 to 7 except HF & H ₃ PO ₄	Good from pH 5 to 7 except HF & H ₃ PO ₄
Resistance to Caustics		Good from pH 7 to pH 10	Good from pH 7 to pH 10
Specific Heat	Btu/lb	.20	.20
	w/kg	.11	.11
Strength Compression	psi	0.5 at 10% deform.	0.5 to 1.5 at 10% deform.
	Pa	3.45 at 10% deform.	3.45 to 10.35 at 10% deform.
Thermal Diffusivity	ft ² /hr	0.16 at 70°F	0.05 to 0.15 at 70°F
	m ² /hr	4.126×10^{-4} at 21°C	1.25 to 3.75×10^{-4} at 21°C
Water Absorption % Weight			
Water Vapor Transmission		perm-inches perm-cm	Depends on facing Depends on facing
			Depends on facing Depends on facing

**Facings may be woven wire mesh, expanded metal lath, (copper bearing) on one or both sides.

Table 40 Flexible and Faced Insulation

Material Identification Number			49	50
Composition			Kaolin ceramic fiber in ss* metal mesh	
Alkalinity pH			Will Wick	
Capillarity			Will Wick	
Combustibility			Non-combustible	
Combustible II	Flash Point Temp.	^o F	"	"
		^o C	"	"
	Flame Point Temp.	^o F	"	"
		^o C	"	"
	Heat Release	Btu/lb	"	"
		J/kg	"	"
Self Internal Heating		"		
Smoldering or Afterglow		"		
Corrosion – Rusting			Does not contribute	
Corrosion – Stress			Does not contribute	
Density of Insulation (only)	lb/ft ³	3 to 4		6 to 8
	kg/m ³	48 to 64		96 to 128
Hygroscopicity % Weight				
Maximum Temperature Limits	Short	^o F	3000	3000
		^o C	1649	1649
Limits	Continuous	^o F	2300	2300
		^o C	1260	1260
Resistance to Acids			Fair except HF & H ₃ PO ₄	
Resistance to Caustics			Fair to Poor	
Specific Heat	Btu/lb	0.285 at 1800 ^o F		0.285 at 1800 ^o F
	w/kg	0.158 at 982 ^o C		0.158 at 982 ^o C
Strength Compression	psi			
	Pa			
Thermal Diffusivity	ft ² /hr			
	m ² /hr			
Water Absorption % Weight				
Water Vapor Transmission	perm-inches	High		High
	perm-cm	High		High

Material Identification Number			53	54
Composition			Mineral fibers w/metal mesh facing** Class II	
Alkalinity pH			7 to 9	
Capillarity			Will Wick	
Combustibility			Non-combustible	
Combustible II	Flash Point Temp.	^o F	"	590 to 750
		^o C	"	310 to 399
	Flame Point Temp.	^o F	"	600 to 750
		^o C	"	316 to 300
	Heat Release	Btu/lb	"	15,000
		J/kg	"	3.71 x 10 ⁷
Self Internal Heating		"		
Smoldering or Afterglow		"		
Corrosion – Rusting			Will not contribute	
Corrosion – Stress			Will not contribute	
Density of Insulation (only)	lb/ft ³	12 (ave. max.)		Up to 1.5
	kg/m ³	192 (ave. max.)		Up to 24
Hygroscopicity % Weight			1.5	
Maximum Temperature Limits	Short	^o F	1200	210
		^o C	650	99
Limits	Continuous	^o F	650	185
		^o C	650	85
Resistance to Acids			Poor	
Resistance to Caustics			Poor	
Specific Heat	Btu/lb	.22		.25
	w/kg	.12		.14
Strength Compression	psi	25 at 10% deform.		8 at 5% deform.
	Pa	172 at 10% deform.		5.5 at 5% deform.
Thermal Diffusivity	ft ² /hr	0.22 at 70 ^o F		0.011 to 0.027 at 70 ^o F
	m ² /hr	5.67 x 10 ⁻⁶ at 21 ^o C		2.83 x 10 ⁻⁷ to 6.93 x 10 ⁻⁷ at 21 ^o C
Water Absorption % Weight			96	
Water Vapor Transmission	perm-inches	High		5
	perm-cm	High		8.3

* ss = Stainless steel metal mesh.

** Facings may be woven wire mesh, expanded metal lath (copper bearing) on one, or both sides.

Table 40 Flexible and Faced Insulation

Material Identification Number			51	52
Composition			Mineral fibers-spun glass fibers metal mesh **	Mineral fibers w/metal mesh facing-** Class I
Alkalinity pH			7 to 8	7 to 9
Capillarity			Will Wick	Will Wick
Combustibility			Non-combustible	Non-combustible
Combustible II	Flash Point Temp.	^o F	"	"
		^o C	"	"
	Flame Point Temp.	^o F	"	"
		^o C	"	"
	Heat Release	Btu/lb	"	"
	J/kg	"	"	
Self Internal Heating			"	"
Smoldering or Afterglow			"	"
Corrosion - Rusting			Does not contribute	Does not contribute
Corrosion - Stress			Does not contribute	Does not contribute
Density of Insulation (only)	lb/ft ³		10 to 14	6 (ave. max.)
	kg/m ³		160 to 224	96 (ave. max.)
Hygroscopicity % Weight			1.5	2.0
Maximum Temperature Limits	Short	^o F	1200	1000
		^o C	649	540 ^o C
	Continuous	^o F	1200	1000
		^o C	649	540 ^o C
Resistance to Acids			Fair to Poor	Fair to Poor
Resistance to Caustics			Fair to Poor	Fair to Poor
Specific Heat	Btu/lb		.20	.22
	w/kg		.11	.12
Strength Compression	psi			10 at 10% deform.
	Pa			69 at 10% deform.
Thermal Diffusivity	ft ² /hr		0.02 to 0.04 at 70 ^o F	0.02 to 0.04 at 70 ^o F
	m ² /hr		5.16 x 10 ⁻⁷ to 1.03 x 10 ⁻⁶ at 21 ^o C	5.16 x 10 ⁻⁷ to 1.03 x 10 ⁻⁷ at 21 ^o C
Water Absorption % Weight				96
Water Vapor Transmission	perm-inches		High	High
	perm-cm		High	High

Material Identification Number			55	56
Composition			Urethane foam, block, pipe cov.	Alumina silica fiber, blanket and strip
Alkalinity pH			6.5 to 7.5	
Capillarity			Negligible	Will Wick
Combustibility			Combustible	Non-combustible
Combustible II	Flash Point Temp.	^o F	590 to 750	"
		^o C	310 to 750	"
	Flame Point Temp.	^o F	600 to 750	"
		^o C	316 to 399	"
	Heat Release	Btu/lb	16,000	"
	J/kg	3.71 x 10 ⁷	"	
Self Internal Heating			Will react with various liquids and gases	"
Smoldering or Afterglow			Chars	"
Corrosion - Rusting			Will contribute	Does not contribute
Corrosion - Stress			Will contribute	Does not contribute
Density of Insulation (only)	lb/ft ³		Over 1.5	3 to 4
	kg/m ³		Over 24	48 to 64
Hygroscopicity % Weight			210	3
Maximum Temperature Limits	Short	^o F	99	2300
		^o C	185	1260
	Continuous	^o F	85	2300
		^o C	24	1260
Resistance to Acids			Resistant to dilute acids	Good, except HF & H3 PO4
Resistance to Caustics			Resistant to dilute caustics	Good to poor
Specific Heat	Btu/lb		.25	0.25
	w/kg		.14	0.14
Strength Compression	psi		30 at 5% deform.	
	Pa		205 at 5% deform.	
Thermal Diffusivity	ft ² /hr		0.011 to 0.027	
	m ² /hr		2.83 x 10 ⁻⁷ to 6.99 x 10 ⁻⁷	
Water Absorption % Weight			2	Saturates
Water Vapor Transmission	perm-inches		1.5	High
	perm-cm		2.5	High

* 55 = Stainless steel metal mesh.

** Facing may be woven wire mesh, expanded metal lath (copper bearing) on one, or both sides.

Table 40 Flexible and Faced Insulation

Material Identification Number			57	58
Composition			Alumina-silica fiber, blanket and strip	Alumina silica fiber, blanket and strip
Alkalinity pH				
Capillarity			Will Wick	Will Wick
Combustibility			Non-combustible	Non-combustible
Combustible IT	Flash Point Temp.	^{°F}	..	..
		^{°C}	..	..
	Flame Point Temp.	^{°F}	..	..
		^{°C}	..	..
	Heat Release	Btu/lb	..	..
		J/kg	..	..
Self Internal Heating		..	..
Smoldering or Afterglow		..	..
Corrosion - Rusting			Does not contribute	Does not contribute
Corrosion - Stress			Does not contribute	Does not contribute
Density of Insulation (only)	lb/ft ³		6 to 8	12
	kg/m ³		96 to 128	192
Hygroscopicity % Weight			3	3
Maximum Temperature Limits	Short	^{°F}	2300	2300
		^{°C}	1260	1260
Limits	Continuous	^{°F}	2300	2300
		^{°C}	1260	1093
Resistance to Acids			Good, except HF & H ₃ PO ₄	Good, except HF & H ₃ PO ₄
Resistance to Caustics			Fair to poor	Fair to poor
Specific Heat	Btu/lb		0.25	0.25
	w/kg		0.14	0.14
Strength Compression	psi			
	Pa			
Thermal Diffusivity	ft ² /hr			
	m ² /hr			
Water Absorption % Weight			Saturates	Saturates
Water Vapor Transmission	perm-inches		High	High
	perm-cm		High	High

Material Identification Number			61	62
Composition			Glass fine-fiber with binder, Blanket	Glass fiber, with binder
Alkalinity pH			6 to 10	7 to 9
Capillarity			None	Negligible
Combustibility			Non-combustible	Binder-Combustible
Combustible IT	Flash Point Temp.	^{°F}	650 to 700	650 to 700
		^{°C}	343 to 371	343 to 371
	Flame Point Temp.	^{°F}	1100	1100
		^{°C}	593	593
	Heat Release	Btu/lb	Only binder burns	Only binder burns
		J/kg	Only binder burns	Only binder burns
Self Internal Heating				
Smoldering or Afterglow		Smolders: (Binder only)	Smolders: (Binder only)	
Corrosion - Rusting			Will not contribute	Will not contribute
Corrosion - Stress			s.s. should be protected	s.s. should be protected
Density of Insulation (only)	lb/ft ³		1/2 to 2	1 to 2
	kg/m ³		8 to 32	16 to 32
Hygroscopicity % Weight			0.2	0.2
Maximum Temperature Limits	Short	^{°F}	370	400
		^{°C}	188	204
Limits	Continuous	^{°F}	370	400
		^{°C}	188	204
Resistance to Acids			Good, except HF & H ₃ PO ₄	Good, except HF & H ₃ PO ₄
Resistance to Caustics			Good from pH 7 to pH 10	Good from pH 7 to pH 10
Specific Heat	Btu/lb		0.20	0.20
	w/kg		0.11	0.11
Strength Compression	psi		* 0.02 at 10% deform.	4.5 at 10% deform.
	Pa		** 0.13 at 10% deform.	31 at 10% deform.
Thermal Diffusivity	ft ² /hr		0.10 at 100° F (1 lb)	6.10 at 100° F
	m ² /hr		2.58 x 10 ⁻⁶ at 38° C	2.58 x 10 ⁻⁶ at 38° C
Water Absorption % Weight			98	98
Water Vapor Transmission	perm-inches		High	High
	perm-cm		High	High

* 2 pound per cubic foot density.
 ** 32 kg/m³ density.

Table 40 Flexible and Faced Insulation

Material Identification Number		59	60
Composition		Alumina silica fiber, rope, cord, yarn	Glass, fine fiber (no binder) Blanket and Matt
Alkalinity pH			6 to 8
Capillary		Will Wick	None
Combustibility		Non-combustible	Non-combustible
COMBUSTIBILITY	Flash Point Temp.	[°] F	"
		[°] C	"
	Flame Point Temp.	[°] F	"
		[°] C	"
	Heat Release	Btu/lb	"
J/kg		"	
Self Internal Heating Smoldering or Afterglow		"	"
Corrosion - Rusting		Does not contribute	Will not contribute
Corrosion - Stress		Does not contribute	Will not contribute
Density of Insulation (only)	lb/ft ³	25	11 to 12
	kg/m ³	400	176 to 192
Hygroscopicity % Weight		3	5
Maximum Temperature Limits	Short	[°] F	2300
		[°] C	1260
	Continuous	[°] F	2000
		[°] C	1093
Resistance to Acids		Good except HF & H ₃ PO ₄	Excellent except HF & H ₃ PO ₄
Resistance to Caustics		Fair to Poor	Good from pH 7 to pH 10
Specific Heat	Btu/lb	0.25	0.20
	w/kg	0.14	0.11
Strength Compression	psi		20 at 63% deform.
	Pa		137 at 63% deform.
Thermal Diffusivity	ft ² /hr		0.08 at 150 [°] F
	m ² /hr		2.66 x 10 ⁻⁶ at 66 [°] C
Water Absorption % Weight		Saturates	93
Water Vapor Transmission		High	High
		High	High
Material Identification Number		63	64
Composition		Glass fiber with binder	Mineral fiber, Blanket & Batt
Alkalinity pH		7 to 9	7 to 9
Capillary		Negligible	Will Wick
Combustibility		Binder-Combustible	*Non-combustible
COMBUSTIBILITY	Flash Point Temp.	[°] F	650 to 700
		[°] C	343 to 371
	Flame Point Temp.	[°] F	1100
		[°] C	593
	Heat Release	Btu/lb	Only binder burns
J/kg		Only binder burns	
Self Internal Heating Smoldering or Afterglow			*Depends on manufacturer
		Smolders (Binder only)	*Depends on manufacturer
Corrosion - Rusting		Will not contribute	Will not contribute
Corrosion - Stress		s.s. should be protected	Will not contribute
Density of Insulation (only)	lb/ft ³	2.5 to 3.5	8 to 12
	kg/m ³	40 to 56	128 to 192
Hygroscopicity % Weight		0.2	0.5 to 1.0
Maximum Temperature Limits	Short	[°] F	400
		[°] C	204
	Continuous	[°] F	400
		[°] C	204
Resistance to Acids		Good, except HF & H ₃ PO ₄	Poor to fair
Resistance to Caustics		Good from pH 7 to pH 10	Poor to good
Specific Heat	Btu/lb	0.20	0.20 to 0.22
	w/kg	0.11	0.11 to 0.12
Strength Compression	psi	100 at 10% deform.	4 to 6 at 10% deform.
	Pa	689 at 10% deform.	25 to 41 at 10% deform.
Thermal Diffusivity	ft ² /hr	0.35 at 100 [°] F	0.012 at 200 [°] F
	m ² /hr	9.03 x 10 ⁻⁶ at 38 [°] C	3.09 x 10 ⁻⁷ at 93 [°] C
Water Absorption % Weight		96	90
Water Vapor Transmission		High	No resistance
		High	No resistance

Some oil is used to lubricate fibers. Incorrectly used oxidation can cause self internal heating and smoldering.

Table 40 Flexible and Faced Insulation

Material Identification Number			65	66
Composition			Mineral fibers with binders, Blanket	Silica fibers, Blankets & Felts
Alkalinity pH			7 to 9	5 to 7
Capillarity			Will Wick	Will Wick
Combustibility			*Non-combustible	Non-combustible
Combustible II	Flash Point Temp.	^o F	Fibers: non-combustible	"
		^o C	"	"
	Flame Point Temp.	^o F	"	"
		^o C	"	"
	Heat Release	Btu/lb	"	"
J/kg		"	"	
Self Internal Heating			*Depends on binders	"
Smoldering or Afterglow			*Depends on binders	"
Corrosion - Rusting			Will not contribute	"
Corrosion - Stress			Will not contribute	"
Density of Insulation (only)	lb/ft ³		7 to 9	6 to 9.5
	kg/m ³		112 to 144	96 to 152
Hygroscopicity % Weight			2	10
Maximum Temperature Limits	Short	^o F	1000	1800
		^o C	540	982
	Continuous	^o F	1000	1800
		^o C	540	982
Resistance to Acids			Poor to Fair	Good except HF & H ₂ PO ₄
Resistance to Caustics			Poor to Good	Poor
Specific Heat	Btu/lb		0.24	0.19
	w/kg		0.13	0.10
Strength Compression	psi		120 at 10% deform.	10 at 50% deform.
	Pa		703 at 10% deform.	69 at 50% deform.
Thermal Diffusivity	ft ² /hr		0.01 to 0.026 at 200 ^o F	0.039 to 0.054 at 1000 ^o F
	m ² /hr		2.6 x 10 ⁻⁷ to 6.7 x 10 ⁻⁷ at 93 ^o C	1.0 x 10 ⁻⁶ to 1.39 x 10 ⁻⁶ at 540 ^o C
Water Absorption % Weight			93	High
Water Vapor Transmission	perm-inches		No resistance	No resistance
	perm-cm		No resistance	No resistance

* Some oil is used to lubricate fibers. Incorrectly used oxidation can cause self internal heating and smoldering.

Table 41 Insulating and Finishing Cements

Material Identification Number		67	68	69	
Composition		Alumina-silica semi-refractory hydraulic setting	Alumina-silica ceramic fiber, air setting mold mix cement	Alumina-silica ceramic-spray mix cement	
Abrasion Resistance % of Weight Loss	1st Run				
	2nd Run				
Alkalinity pH		9 to 10	9.7	9 to 10	
Capillarity		Will Wick	Will Wick	Will Wick	
Coefficient of Expansion	English	Shrinks 2% at 1800°F	Shrinks 2.1% at 1800°F	Shrinks 1.4% at 1800°F	
	Metric	Shrinks 2% at 987°C	Shrinks 2.1% at 987°C	Shrinks 1.4% at 982°C	
Combustibility		Non-combustible	Non-combustible	Non-combustible	
Combustible II	Flash Point Temp.	°F	"	"	
		°C	"	"	
	Flame Point Temp.	°F	"	"	"
		°C	"	"	"
	Heat Release %	Btu/lb	"	"	"
		w/kg	"	"	"
Self Internal Heating		"	"	"	
Smoldering - Afterglow		"	"	"	
Corrosion - Rusting					
Corrosion - Stress					
Coverage Dried or Set	board ft/100 lbs	15 to 25		7 to 8	
	m ² cm/100 kgs	7.8 to 12		6.2 to 6.8	
Density Dried or Set	lbs/ft ³	48 to 70	75	12 to 13	
	kgs/m ³	708 to 1120	1200	192 to 208	
Hardness - mm penetration					
Hygroscopicity % Weight					
Maximum Temperature Limits	Short	°F	2000	2300	
		°C	1093	1257	
	Continuout	°F	2000	2300	
		°C	1093	1257	
Shrinkage Wet to Dry	Volumetric				
	Real				
Specific Gravity	Apparent	.77 to 1.12	1.2	0.21	
Specific Heat	Btu/lb	.27	.27	.27	
	w/kg	.15	.15	.15	
Strength	Compressive	psi	6500	0.6 at 5% deform.	
		kPa	451,500	4.1 at 5% deform.	
		psi			
	Shear	psi			
		kPa			
	Tensile	psi			
kPa					
Thermal Diffusivity	ft ² /hr				
	m ² /hr				
Thermal Shock Resistance		Excellent	Excellent	Excellent	
Vibration Resistance					
Water Absorption % Weight		High	High	High	
Water Vapor Transmission	perm-inch	High	High	High	
	perm-cm	High	High	High	

Table 41 Insulating and Finishing Cements

Material Identification Number		70	71	72	
Composition		Diatomaceous silica & binders air setting cement	Kaowool ceramic fiber & inorganic binders-spray cement	Kaowool and mineral fiber blend-spray cement	
Abrasion Resistance	1st Run	10			
	2nd Run	20			
% of Weight Lost					
Alkalinity pH		9			
Capillarity		Will Wick			
Coefficient of Expansion	English	Shrinks 5% at 1900°F	Shrinks 1.5% at 2000°F		
	Metric	Shrinks 5% at 1040°C	Shrinks 1.5% at 1093°C		
Combustibility		Non-combustible	Non-combustible	Non-combustible	
Combustible if	Flash Point Temp.	°F	"	"	
		°C	"	"	
	Flame Point Temp.	°F	"	"	"
		°C	"	"	"
	Heat Release	Btu/lb	"	"	"
		w/kg	"	"	"
	Self Internal Heating		"	"	"
Smoldering - Afterglow		"	"	"	
Corrosion - Rusting					
Corrosion - Stress		s.s. should be protected			
Coverage	board ft/100 lbs	35	100	170 to 180	
	m ² cm/100 kgs	18			
Dried or Set	lbs/ft ³	23 to 32	12 to 13	7 to 15	
	kgs/m ³	368 to 512	192 to 206	112 to 288	
Density					
Hardness - mm penetration		0.95 to 1.20			
Hygroscopicity % Weight					
Maximum Temperature Limits	Short	°F	1900	2000	
		°C	1040	1093	
	Continuous	°F	1900	1000	
		°C	1040	982	
Shrinkage Wet to Dry		Volumetric	30%		
Specific Gravity	Real	2.3			
	Apparent	0.37 to 51			
Specific Heat	Btu/lb	0.22 to 0.28			
	w/kg	0.12 to 0.16			
Strength	Compressive	psi	25	0.6 at 5% deform.	
		kPa	173	2630 at 5% deform.	
	Shear	psi			
		kPa			
	Tensile	psi			
		kPa			
Thermal Diffusivity		ft ² /hr	0.01		
		m ² /hr	2.58 x 10 ⁻⁷		
Thermal Shock Resistance		Excellent	Excellent	Excellent	
Vibration Resistance		Poor			
Water Absorption % Weight		40 to 50			
Water Vapor Transmission	perm-inch	High	High	High	
	perm-cm	High	High	High	

Table 41 Insulating and Finishing Cements

Material Identification Number		73	74	75	
Composition		Mineral fiber water mix insulating cement	Mineral fiber binders hydraulic setting cement	Vermiculite expanded with binders water mix-air setting	
Abrasion Resistance % of Weight Loss	1st Run	25 to 45	15 to 35	35	
	2nd Run	50 to 75	25 to 65	60	
Alkalinity pH		8.5 to 11	8% to 12%	6.9	
Capillarity		High	High	High	
Coefficient of Expansion	English	Shrinks 1% to 1800° F	Shrinks 2% to 1200° F	Shrinks 3% at 1800° F	
	Metric	Shrinks 3% to 980° C	Shrinks 2% to 689° C	Shrinks 3% at 982° C	
Combustibility		Non-combustible	Non-combustible	Non-combustible	
Combustibility II	Flash Point Temp.	° F	"	"	
		° C	"	"	
	Flame Point Temp.	° F	"	"	"
		° C	"	"	"
	Heat Release	Btu/lb	"	"	"
		w/kg	"	"	"
Self Internal Heating		"	"	"	
Smoldering - Afterglow		"	"	"	
Corrosion - Rusting		Holds Water	Holds Water	Holds Water	
Corrosion - Stress		s.s. must be protected	s.s. must be protected		
Coverage	board ft/100 lbs	40	30	65	
	m ² cm/100 kgs	21	15.3	34	
Density Dried or Set	lb/ft ³	22 to 30	27 to 44	18 to 19	
	kg/m ³	352 to 512	432 to 704	288 to 304	
Hardness - mm penetration		1 to 2.5			
Hygroscopicity % Weight		2.5 to 5	0.8 to 2.0		
Maximum Temperature Limits	Short	° F	1800	1800	
		° C	980	980	
	Continuous	° F	1800	1200	1800
		° C	980	650	980
Shrinkage Wet to Dry	Volumetric	25%	10%	20%	
Specific Gravity	Real	2.3	2.5	2.4	
	Apparent	0.35 to .48	0.43 to 0.70	0.28 to 0.30	
Specific Heat	Btu/lb	0.22 to 0.23	0.22 to 0.23	0.22	
	w/kg	0.12 to 0.13	0.12 to 0.13	0.12	
Strength	Compressive	psi	10 at 5% deform.	15 at 5% deform.	
		kPa	69 at 5% deform.	689 at 5% deform.	
	Shear	psi			
		kPa			
	Tensile	psi			
		kPa			
Thermal Diffusivity	ft ² /hr	0.006 to 0.01 at 200° F	0.007 at 200° F	0.015 at 200° F	
	m ² /hr	1.54 x 10 ⁻⁷ to 2.58 x 10 ⁻⁷ at 93° C	1.6 x 10 ⁻⁷ at 93° C	3.87 x 10 ⁻⁷ at 93° C	
Thermal Shock Resistance		Good	Good	Good	
Vibration Resistance					
Water Absorption % Weight		High	High	High	
Water Vapor Transmission	perm-inch	High	High	High	
	perm-cm	High	High	High	

Table 42 Foamed or Sprayed Insulations

Material Identification Number		76	77	78	
Composition		Polyurethane – 2 part mix foamed air-sprayed in place	Urea-formaldehyde foamed in place	Poly Vinyl-acetate cork filled mastic sprayed or trowelled	
Abrasion Resistance % of Weight Loss	1st Run				
	2nd Run				
Alkalinity pH		6.5 to 7.5		7 to 7.5	
Capillarity					
Coefficient of Expansion	English	Expands	1.8% to 3% at 70° F		
	Metric	Expands	1.8% to 3% at 21° C		
Combustibility		Combustible	Slow burning	Slow burning	
Combustible II	Flash Point Temp.	°F	590		
		°C	310		
	Flame Point Temp.	°F	630	1200° F	
		°C	332	654	
	Heat Release	Btu/lb	16,000		
		w/kg	3.71×10^3		
Self Internal Heating		Will react with some chemicals		Will not self internal heat	
Smoldering – Afterglow		Will smolder	Will char	Will char	
Corrosion – Rusting		Will contribute	Will contribute	Pre coat steel	
Corrosion – Stress		Must be protected		Must be pre-coated	
Coverage Dried or Set	board ft/100 lbs	20 to 30		$\frac{1}{2}$ " thk. 100 ft ² – 24 gal.	
	m ³ cm/100 kgs	11 to 16		6.35 mm thk. 10 m ² – 100 litre	
Density Dried or Set	lbs/ft ³	1.6 to 3.0	0.6 to 1.0	53	
	kgs/m ³	25 to 48	9.6 to 16	848	
Hardness – mm penetration					
Hygroscopicity % Weight		0.8 to 1.4	2		
Maximum Temperature Limits	Short	°F	220	212	
		°C	104	100	
	Continuous	°F	200	180	
		°C	94	82	
Shrinkage Wet to Dry	Volumetric		3	30	
Specific Gravity	Real				
	Apparent		0.009 to 0.016	25 to 35	
Specific Heat		Btu/lb	.4 at 40° F		
		w/kg	0.22 at 4° C		
Strength	Compressive	psi	15 at yield		
		kPa	103 at yield		
	Shear	psi			
		kPa			
	Tensile	psi			
		kPa			
Thermal Diffusivity	ft ² /hr	0.02 to 0.03 at 40° F			
	m ² /hr	5.1×10^{-3} to 7.7×10^{-3} at 4° C			
Thermal Shock Resistance				Excellent	
Vibration Resistance		Excellent		Excellent	
Water Absorption % Weight					
Water Vapor Transmission	perm-inch	2.5 to 5.0	15 to 38		
	perm cm	4.2 to 8.4	24 to 61		

Table 43 Loose and Fill Insulations

Material Identification Number			79	80	81	82
Composition			Alumina-silica fibers-Bulk	Alumina-silica fibers-Chopped and milled	Alumina-silica fibers-long fibers-bulk	Cork, vegetable Granulated
Alkalinity pH						6.5 to 7.5
Combustibility			Non-combustible	Non-combustible	Non-combustible	Combustible
Combustibility	Flash Point Temp.	^o F	"	"	"	570
		^o C	"	"	"	299
	Flame Point Temp.	^o F	"	"	"	620
		^o C	"	"	"	327
	Heat Release	Btu/lb	"	"	"	8000
		w/kg	"	"	"	1.85 x 10 ⁷
Self Internal Heating			"	"	"	"
Smoldering or Afterglow			"	"	"	"
Density As Received	lb/ft ³		3 to 4	7.5	3	8 to 12
	kg/m ³		48 to 64	120	48	128 to 192
Packed	lb/ft ³		6	7.5	6	12 to 14
	kg/m ³		* 96	120	96	192 to 224
Hydroscopicity % Weight						
Maximum Temperature Limits	Short Time	^o F	2300	2300	2300	200
		^o C	1256	1256	1256	93
	Continuous	^o F	2300	2300	2300	200
		^o C	1256	1256	1256	93
Specific Heat	Btu/lb		0.20	0.20	0.20	0.27
	w/kg		0.11	0.11	0.11	0.15
Thermal Diffusivity	ft ² /hr					
	m ² /hr					
Water Absorption % Weight			High	High	High	Low

Material Identification Number			83	84	85	86
Composition			Cellulose fiber Loose Fill	Diatomaceous silica fine powder	Diatomaceous silica-Calcined powder	Diatomaceous silica-Coarse powder
Alkalinity pH			4.5 to 6.0	5 to 7	6 to 7	5 to 7
Combustibility			Combustible	Non-combustible	Non-combustible	Non-combustible
Combustibility	Flash Point Temp.	^o F	500	"	"	"
		^o C	260	"	"	"
	Flame Point Temp.	^o F	500	"	"	"
		^o C	260	"	"	"
	Heat Release	Btu/lb	8000	"	"	"
		w/kg	1.859 x 10 ⁷	"	"	"
Self Internal Heating				"	"	"
Smoldering or Afterglow			Can smolder	"	"	"
Density As Received	lb/ft ³			10 to 12	22	25 to 27
	kg/m ³			160 to 192	352	400 to 432
Packed	lb/ft ³		10 to 15	13 to 17	32	25 to 31
	kg/m ³		160 to 240	208 to 272	496	400 to 496
Hydroscopicity % Weight						
Maximum Temperature Limits	Short Time	^o F	200	1600	2000	1600
		^o C	93	871	1093	871
	Continuous	^o F	200	1600	2000	1600
		^o C	93	871	1093	871
Specific Heat	Btu/lb		0.25	0.25	0.25	
	w/kg		0.14	0.14	0.14	
Thermal Diffusivity	ft ² /hr		0.01	0.01	0.009	
	m ² /hr		2.58 x 10 ⁻⁷	2.58 x 10 ⁻⁷	2.32 x 10 ⁻⁷	
Water Absorption % Weight			High	High	High	High

Table 43 Loose and Fill Insulations

Material Identification Number			87	88	89	90
Composition			Gilsonite granules, for packing around underground pipe	Glass fiber, unbonded no binders loose fibers	Glass fibers Loose & Blowing Wool	Gypsum pellets Bulk
Alkalinity pH			7	8 to 10	8 to 10	
Combustibility			Combustible	Non-combustible	Fiber coating or lubi. maybe combustible	Non-combustible
Combustible II	Flash Point Temp.	^o F	600	"	Fibers non-combustible	"
		^o C	316	"	"	"
	Flame Point Temp.	^o F	600	"	"	"
		^o C	316	"	"	"
	Heat Release	Btu/lb	17000	"	"	"
		w/kg	3.95×10^7	"	"	"
	Self Internal Heating			"	"	"
Smoldering or Afterglow		Will smolder	"	May smolder	"	
Density As Received	lb/ft ³	40	2 to 12		12 to 20	
	kg/m ³	640	32 to 192			
Packed	lb/ft ³	44 to 50	2 to 12	2 to 6	20 to 30	
	kg/m ³	704 to 800	32 to 192	32 to 96	320 to 480	
Hydroscopicity % Weight			Very Low	0	0	
Maximum Temperature Limits	Short Time	^o F	300 to 460	1000	350	800
		^o C	149 to 238	538	177	427
	Continuous	^o F	300 to 460	1000	350	800
		^o C	149 to 238	538	177	427
Specific Heat	Btu/lb	0.5 at 200 ^o F	0.2 at 200 ^o F	0.2 at 100 ^o F		
	w/kg	0.27 at 93 ^o C	0.11 at 93 ^o C	0.11 at 38 ^o C		
Thermal Diffusivity	ft ² /hr	0.0023 at 200 ^o F	0.0167 at 100 ^o F			
	m ² /hr	5.93×10^{-8} at 93 ^o C	4.3×10^{-7} at 38 ^o C			
Water Absorption % Weight			Low	800	1000	High

Material Identification Number			91	92	93	94
Composition			Mineral fiber with small amounts of oil, Loose	Mineral fiber, oil free, Loose	Mineral fiber granulated	Perlite, expanded Loose powder
Alkalinity pH			7 to 9	7 to 9	7 to 9	
Combustibility			Lub. oil is combustible	Non-combustible	Non-combustible	Non-combustible
Combustible II	Flash Point Temp.	^o F	Fibers are non-combus.	"	"	"
		^o C	"	"	"	"
	Flame Point Temp.	^o F	"	"	"	"
		^o C	"	"	"	"
	Heat Release	Btu/lb	"	"	"	"
		w/kg	"	"	"	"
	Self Internal Heating		Can develop self internal heating	"	"	"
Smoldering or Afterglow		Will smolder	"	"	"	
Density As Received	lb/ft ³	4 to 11	4 to 11	7 to 10		
	kg/m ³	64 to 176	64 to 176	112 to 160		
Packed	lb/ft ³	4 to 12	10 to 15	6 to 12	5 to 8	
	kg/m ³	64 to 192	160 to 240	96 to 192	80 to 128	
Hydroscopicity % Weight						
Maximum Temperature Limits	Short Time	^o F	1000	1200	1000 to 1200	1800
		^o C	538	649	538 to 649	982
	Continuous	^o F	1000	1200	1000 to 1200	1800
		^o C	538	649	.22	982
Specific Heat	Btu/lb	.22	.22	.12		
	w/kg	.12	.12			
Thermal Diffusivity	ft ² /hr					
	m ² /hr					
Water Absorption % Weight			High	High	High	High
Capillarity			Negligible	Negligible	Negligible	Negligible

Table 43 Loose and Fill Insulations

Material Identification Number		95	96	97	98	
Composition		Quartz fibers Loose	Silica fibers Loose	Silica aerogel granules	Vermiculite Flakes	
Alkalinity pH		5 to 7	5 to 7	3.5 to 4.0	6 to 10	
Combustibility		Non-combustible	Non-combustible	Non-combustible	Non-combustible	
COMBUSTIBILITY*	Flash Point Temp.	°F	"	"	"	
		°C	"	"	"	
	Flame Point Temp.	°F	"	"	"	
		°C	"	"	"	
	Heat Release	Btu/lb	"	"	"	
		w/kg	"	"	"	
	Self Internal Heating		"	"	"	"
	Smoldering or Afterglow		"	"	"	"
	Density As Received	lb/ft ³		6 to 12	3.5 to 5.5	4 to 10
		kg/m ³		96 to 192	56 to 88	64 to 160
Packed	lb/ft ³	5 to 12		4 to 5.5	4 to 10	
	kg/m ³	96 to 192		64 to 88	64 to 160	
Hydroscopicity % Weight			2 to 10	10 to 15	7	
Maximum Temperature Limits	Short Time	°F	2500	1800	1300	
		°C	1371	982	704	
	Continuous	°F	2500	1800	1300	
		°C	1371	982	704	
Specific Heat	Btu/lb		0.19 at 300°F	0.2 at 150°F	0.24 at 300°F	
	w/kg		0.11 at 149°F	0.11 at 66°C	0.13 at 149°C	
Thermal Diffusivity	ft ² /hr		0.054 at 1000°F*	0.02 at 150°F	0.025 at 150°F	
	m ² /hr		1.39 x 10 ⁻⁶ at 538°C**	5.16 x 10 ⁻⁷ at 66°C	6.45 x 10 ⁻⁷ at 66°C	
Water Absorption % Weight		High	High	100	300	
Capillarity		Will Wick	Will Wick	Will Wick	Will Wick	

*At 6 lb/ft³ density**At 96 kg/m³ density

244 THERMAL INSULATION HANDBOOK

Table 44 Reflective Insulation — foils and sheets

Material Identification Number			99	100
Composition			Aluminum sheet- Sheet	Aluminum foil, various thickness
Form			Any thickness sheet	Rolls
Capilarity			Negligible	Negligible
Combustibility			Non-combustible	Non-combustible
Combustible II	Flash Point Temp.	^{°F}	"	"
		^{°C}	"	"
	Flame Point Temp.	^{°F}	"	"
		^{°C}	"	"
	Heat Release	Btu/lb	"	"
w/kg		"	"	
Self Internal Heating		"	"	
Melting Temp.		^{°F}	1200	1200
		^{°C}	650	650
Corrosion — Rusting			Will not contribute to	Will not contribute to
Corrosion — Stress			Will not contribute to	Will not contribute to
Emissivity — Heat			0.05	0.05
Maximum Temperature Limits	Short Time	^{°F}	1000	600
		^{°C}	538	316
	Continuous	^{°F}	1000	600
		^{°C}	538	316
Resistance to Acids			Resistant to acids	Resistant to Acids
Resistance to Caustics			Not resistant	Not resistant to Caustics
Resistance to Solvents			Resistant	Resistant
Reflectance — Heat			0.95	0.95
Thermal Shock Resistance			Excellent	Excellent
Vibration Resistance			Excellent	Excellent
Water Absorption % Weight			0	0
Construction			Installed to form air spaces which are enclosed and/or separated by sheets of aluminum or aluminum surfaced paper	

Material Identification Number			101	102
Composition			Aluminum foil or membrane paper or other reinforcement	Aluminum-kraft paper—Accordion formed
Form			Foil attached to kraft paper or scrim	Reflective sheet separated to form spaces
Capilarity			Negligible	Negligible
Combustibility			Paper-combustible	Paper is combustible
Combustible II	Flash Point Temp.	^{°F}	500	500
		^{°C}	260	260
	Flame Point Temp.	^{°F}	500	500
		^{°C}	260	260
	Heat Release	Btu/lb	Paper — 8000	Paper — 8000
w/kg		Paper — 1,854 x 10 ⁷	Paper — 1,854 x 10 ⁷	
Self Internal Heating		Not self heating	Not self heating	
Melting Temp.		^{°F}	Aluminum — 1200	Aluminum — 1200
		^{°C}	Aluminum — 650	Aluminum — 650
Corrosion — Rusting			Will not contribute to	Will not contribute to
Corrosion — Stress			Will not contribute to	Will not contribute to
Emissivity — Heat			0.05	0.05
Maximum Temperature Limits	Short Time	^{°F}	200	200
		^{°C}	93	93
	Continuous	^{°F}	200	200
		^{°C}	93	93
Resistance to Acids			Paper-not resistant	Paper-not resistant
Resistance to Caustics			Paper-not resistant	Paper-not resistant
Resistance to Solvents			Resistant to	Resistant to
Reflectance — Heat			0.95	0.95
Thermal Shock Resistance			Excellent	Excellent
Vibration Resistance			Excellent	Excellent
Water Absorption % Weight			0	0
Construction			Installed to form air spaces which are enclosed and/or separated by sheets of aluminum or aluminum surfaced paper	To be installed into cavities to form spaces separated by sheets

Table 45 Reflective Insulation – Preformed to Fit Pipe or Equipment

Material Identification Number			103	104	105
Composition			Aluminum casing & aluminum reflective sheets	Stainless steel casing & aluminum reflective sheets	Stainless steel casing & as reflective sheets
Form			Factory fabricated to fit equipment and pipe	Factory fabricated to fit equipment and pipe	Factory fabricated to fit equipment and pipe
Capillarity % by Weight			Negligible	Negligible	Negligible
Coefficient of Expansion	English		0.142×10^4	Casing 0.961×10^5 Sheets 0.142×10^4	0.961×10^5
	Metric		0.257×10^4	Casing 1.72×10^5 Sheets 0.257×10^4	1.72×10^5
Combustibility			Non-combustible	Non-combustible	Non-combustible
Combustible II	Flash Point Temp.	^o F	--	--	--
		^o C	--	--	--
	Flame Point Temp.	^o F	--	--	--
		^o C	--	--	--
	Heat Release	Btu/lb	--	--	--
w/kg		--	--	--	
Self Internal Heating			--	--	--
Melting Temp.	^o F	1200	Casing 2600 Sheets 1200	2600	
	^o C	649	Casing 1423 Sheets 649	1423	
Corrosion – Rusting			Will not contribute	Will not contribute	Will not contribute to
Corrosion – Stress			Will not contribute	Will not contribute	Will not contribute to
Density – Apparent			5 to 7 lbs/ft ³ , 80 to 112 kgs/m ³	6 to 8 lbs/ft ³ , 96 to 123 kgs/m ³	8 to 10 lbs/ft ³ , 128 to 160 kgs/m ³
Hygroscopicity % Weight			0	0	0
Maximum temperature Limits	Short Time	^o F	1000	1000	1500
		^o C	538	538	816
	Continuous	^o F	1000	1000	1500
		^o C	538	538	816
Resistance to Acids			Excellent	Excellent	Excellent
Resistance to Caustics			Poor	Fair	Excellent
Resistance to Solvents			Excellent	Excellent	Excellent
Specific Gravity	Real		2.7	3.0 to 5.2	5.76
	Apparent		.17	.16	.12
Shrinkage			No shrinkage	No shrinkage	No shrinkage
Thermal Shock Resistance			Excellent	Excellent	Excellent
Vibration Resistance			Excellent	Excellent	Excellent
Water Absorption % Weight			0	0	0

Table 46 Reflective Cryogenic Insulation – Partial Vacuum

Material Identification Number		106			107	
Composition		Aluminum foil, glass matt			Aluminum foil, glass paper	
Construction		Fluffy glass matts separating aluminum foil sheets			Glass paper separating aluminum foil sheets	
Number of Layers		10 to 20	15 to 30	35 to 70	50 to 100	75 to 150
Density	lbs/ft ³	2.5	3.0	4.7	5.5	7.5
	kgs/m ³	40	48	75	88	120
Recommended Vacuum – Absolute Pressure in Microns of Hg		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Table 47 Cryogenic Insulation, Powder, in Partial Vacuum

Material Identification Number		108	109	110	111	112
Composition		Carbon-silica powder mixture	Perlite powder	Santocel® powder	Santocel® and aluminum powder-opacified	Santocel® and copper powder-opacified
Density	lbs/ft ³	8.0	8.0	6.0	10.0	11.0
	kgs/m ³	128	128	96	160	176
Recommended Vacuum – Absolute Pressure in Microns of Hg		2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

Table 48 Mass Cryogenic Insulation – Atmosphere Pressure

Material Identification Number		113
Rigid Bulk and Pipe Covering		Cellular Glass
Properties as listed under identification number 11.		

Table 49 Thermal Conductivities of Insulations —

English Units

Btu, in./ft., hr., °F

Mean Temp.	Identification No.				
	1	2	3	4	5
	Generic Type: Alumina-silica fiber and binder Form: Block	Generic Type: Alumina-silica fiber and binder Form: Block	Generic Type: Alumina-silica fiber and binder Form: Box d	Generic Type: Alumina-silica fiber and binder Form: Board	Generic Type: Calcium Silicate Type 2 Form: Block and Pipe Cov.
°R	Density lbs/ft. ³ 15 to 17	Density lbs/ft. ³ 18 to 22	Density lbs/ft. ³ 10 to 16	Density lbs/ft. ³ 21 to 40	Density lbs/ft. ³ 14 (max.)
260	0.45	0.55	0.40	0.65	0.55
360	0.50	0.60	0.46	0.70	0.60
460	0.56	0.65	0.52	0.75	0.66
560	0.62	0.70	0.58	0.80	0.72
660	0.68	0.75	0.64	0.85	0.77
760	0.74	0.80	0.70	0.90	0.80
860	0.81	0.85	0.76	0.95	0.88
960	0.87	0.91	0.83	1.00	0.94
1060	0.93	0.97	0.89	1.05	1.00
1160	0.99	1.03	0.95	1.10	1.06
1260	1.05	1.09	1.01	1.15	1.10
1360	1.11	1.15	1.07	1.20	1.15
1460	1.17	1.21	1.13	1.25	1.20
1560	1.23	1.27	1.19	1.30	1.25
1660	1.29	1.33	1.25	1.35	1.30

Metric Units

w/mK

°K	Density kg/m ³				
	240 to 272	288 to 352	160 to 256	336 to 640	224 (max.)
173	0.085	0.079	0.058	0.085	0.085
223	0.073	0.085	0.066	0.106	0.100
273	0.081	0.091	0.074	0.114	0.103
323	0.089	0.098	0.082	0.120	0.106
373	0.097	0.105	0.090	0.126	0.109
423	0.107	0.112	0.098	0.132	0.112
473	0.116	0.119	0.108	0.138	0.115
523	0.126	0.128	0.114	0.144	0.118
573	0.137	0.133	0.122	0.151	0.122
623	0.138	0.140	0.130	0.151	0.126

Table 49 Thermal Conductivities of Insulations –

		English Units					Btu, in./ft., hr., °F	
		Identification No. 15	Identification No. 16	Identification No. 17	Identification No. 18	Identification No. 19	Identification No. 20	Identification No. 21
- Mean Temp.	°R	Generic Type: Glass fiber with organic binder Form: Board	Generic Type: Glass fiber with organic binder Form: Board	Generic Type: Glass fiber with organic binder foil reinforced Form: Duct Board	Generic Type: Glass fiber with organic binder Form: Pipe Cov.	Generic Type: Glass fiber with organic binder Form: Pipe Cov.	Generic Type: Glass fiber with organic binder Form: Pipe Cov.	Generic Type: Mineral fiber (rock, slag, or glass) Form: Block or Board
		Density lbs./ft. ³ 1.4 to 1.6	Density lbs./ft. ³ 2.5 to 3.5	Density lbs./ft. ³ 5 to 7	Density lbs./ft. ³ 2.5 to 3.5	Density lbs./ft. ³ 3 to 5	Density lbs./ft. ³ 5 to 10	Density lbs./ft. ³ 9 to 11
	260							
	380							
	460	0						
	560	0.29	0.28	0.27	0.30	0.26	0.28	0.28
	660	0.36	0.32	0.30	0.34	0.32	0.32	0.35
	760	0.47	0.39	0.35		0.38	0.42	0.43
	860	0.52	0.50	0.46		0.48	0.50	0.54
	960							
	1060							
	1160							
	1260							
	1360							
	1460							
	1560							
	1660							
	1200							

Metric Units

		w/mK					Density kg/m ³	
		Density kg/m ³ 22 to 26	Density kg/m ³ 40 to 56	Density kg/m ³ 80 to 112	Density kg/m ³ 40 to 56	Density kg/m ³ 54 to 80	Density kg/m ³ 80 to 160	Density kg/m ³ 144 to 178
°K	°C	Density kg/m ³		Density kg/m ³		Density kg/m ³		Density kg/m ³
		22 to 26	40 to 56	80 to 112	40 to 56	54 to 80	80 to 160	144 to 178
173	-100							
223	-50							
273	0	0.033			0.030			
323	50	0.040	0.039	0.038	0.043	0.040	0.040	0.040
373	100	0.053	0.047	0.045		0.047	0.047	0.052
423	150	0.068	0.056	0.051		0.056	0.056	0.062
473	200	0.089	0.072	0.066		0.069	0.071	0.078
523	250							
573	300							
623	350							
673	400							
723	450							
773	500							
823	550							
873	600							
923	650							

Table 49 Thermal Conductivities of Insulations -

Mean Temp.		English Units													
		Identification No. 22		Identification No. 23		Identification No. 24		Identification No. 25		Identification No. 26		Identification No. 27		Identification No. 28	
*R	*F	Generic Type: Mineral fiber (rock, slag or glass) Form: Block or Board		Generic Type: Mineral fiber Class 3 Form: Block and Board		Generic Type: Mineral fiber Class 4 Form: Block and Board		Generic Type: Mineral fiber Class 5 Form: Block and Board		Generic Type: Mineral fiber Class 1 Form: Pipe Cov.		Generic Type: Mineral fiber Class 2 Form: Pipe Cov.		Generic Type: Mineral fiber Class 3 Form: Pipe Cov.	
		Density lb/ft. ³		Density lb/ft. ³		Density lb/ft. ³		Density lb/ft. ³		Density lb/ft. ³		Density lb/ft. ³		Density lb/ft. ³	
250	-200	11 to 13		7 to 12		8 to 13		12 to 25		9 to 11		11 to 14		18 to 20	
300	-100														
400	0														
560	100	0.28		0.30		0.38				0.24					
660	200	0.35		0.36		0.42		0.40		0.27		0.33		0.38	
780	300	0.43		0.42		0.50		0.48		0.33		0.39		0.42	
860	400	0.54		0.49		0.57		0.51		0.42		0.46		0.49	
960	500					0.64		0.57				0.53		0.56	
1050	600							0.62						0.64	
1160	700							0.68							
1260	800							0.75							
1360	900							0.82							
1460	1000							0.90							
1560	1100							0.98							
1660	1200							1.07							

Mean Temp.		Metric Units													
		Identification No. 22		Identification No. 23		Identification No. 24		Identification No. 25		Identification No. 26		Identification No. 27		Identification No. 28	
*K	*C	Density kg/m ³		Density kg/m^{3}		Density kg/m^{3}		Density kg/m^{3}		Density kg/m^{3}		Density kg/m^{3}		Density kg/m^{3}	
173	-100	176 to 208		112 to 192		128 to 208		192 to 400		144 to 176		176 to 224		256 to 320	
223	-50														
273	0														
323	50	0.040		0.046		0.054				0.036		0.046			
373	100	0.052		0.053		0.062		0.066		0.049		0.056		0.061	
423	150	0.062		0.060		0.072		0.073		0.060		0.068		0.071	
473	200	0.078		0.072		0.082		0.082		0.076		0.076		0.081	
523	250					0.091		0.082				0.081		0.088	
573	300							0.087							
623	350							0.095							
673	400							0.105							
723	450							0.111							
773	500							0.121							
823	550							0.132							
873	600							0.140							
923	650							0.164							

Table 4B Thermal Conductivities of Insulations — English Units

Mean Temp.	English Units				
	Identification No. 29	Identification No. 30	Identification No. 31	Identification No. 32	Identification No. 33
*R	Generic Type: Perlite expanded and water repellent binder Form: Block and Pipe Cov. Density lbs/ft. ³ 13 to 15	Generic Type: Perlite expanded with binders Form: Block and Pipe Cov. Density lbs/ft. ³ 13 to 15	Generic Type: Perlite expanded with binder and fibers Form: Floor Board Density lbs/ft. ³ 10	Generic Type: Expanded Phenolic foam Form: Block and Pipe Cov. Density lbs/ft. ³ 2 to 3	Generic Type: Polystyrene expanded beads, molded to shape Form: Block, Board and Pipe Cov. Density lbs/ft. ³ 1.0 to 1.5
*F	Generic Type: Polystyrene expanded foam-molded shapes Form: Board and Pipe Cov. Density lbs/ft. ³ 2.0 to 2.2	Generic Type: Polystyrene expanded foam-molded shapes Form: Board and Pipe Cov. Density lbs/ft. ³ 2.0 to 2.2	Generic Type: Polystyrene expanded foam-molded shapes Form: Board and Pipe Cov. Density lbs/ft. ³ 2.0 to 2.2	Generic Type: Polystyrene expanded foam-molded shapes Form: Board and Pipe Cov. Density lbs/ft. ³ 2.0 to 2.2	Generic Type: Polystyrene expanded foam-molded shapes Form: Board and Pipe Cov. Density lbs/ft. ³ 2.0 to 2.2
260	0.40	0.40	0.36	0.22	0.24
360	0.45	0.45	0.40	0.26	0.28
460	0.50	0.50			
560	0.55	0.55			
660	0.60	0.60			
760	0.65	0.65			
860	0.71	0.71			
960	0.77	0.77			
1060	0.83	0.83			
1160	0.90	0.90			
1260					
1360					
1460					
1560					
1660					

Metric Units

*K	Metric Units				
	Identification No. 29	Identification No. 30	Identification No. 31	Identification No. 32	Identification No. 33
*C	Generic Type: Perlite expanded and water repellent binder Form: Block and Pipe Cov. Density kg/m ³ 208 to 240	Generic Type: Perlite expanded with binders Form: Block and Pipe Cov. Density kg/m ³ 208 to 240	Generic Type: Perlite expanded with binder and fibers Form: Floor Board Density kg/m ³ 160	Generic Type: Expanded Phenolic foam Form: Block and Pipe Cov. Density kg/m ³ 32 to 48	Generic Type: Polystyrene expanded beads, molded to shape Form: Block, Board and Pipe Cov. Density kg/m ³ 16.01 to 24.01
*F	Generic Type: Polystyrene expanded foam-molded shapes Form: Board and Pipe Cov. Density kg/m ³ 32.02 to 35.22	Generic Type: Polystyrene expanded foam-molded shapes Form: Board and Pipe Cov. Density kg/m ³ 32.02 to 35.22	Generic Type: Polystyrene expanded foam-molded shapes Form: Board and Pipe Cov. Density kg/m ³ 32.02 to 35.22	Generic Type: Polystyrene expanded foam-molded shapes Form: Board and Pipe Cov. Density kg/m ³ 32.02 to 35.22	Generic Type: Polystyrene expanded foam-molded shapes Form: Board and Pipe Cov. Density kg/m ³ 32.02 to 35.22
173	0.068	0.068	0.053	0.032	0.035
223	0.072	0.072	0.057	0.032	0.035
273	0.078	0.078			
323	0.085	0.085			
373	0.091	0.091			
423	0.098	0.098			
473	0.105	0.105			
523	0.112	0.112			
573					
623					
673					
723					
773					
823					
873					
923					

Table 49 Thermal Conductivities of Insulations – English Units

Mean Temp.	Btu, in./ft., hr., °F					
	Identification No. 36	Identification No. 37	Identification No. 38	Identification No. 39	Identification No. 40	Identification No. 41
°R	2.25 to 3.5	2.5 to 2.7	Up to 1.7	1.7 to 2.5	2.5 to 5.0	4 to 6
°F	-200					
	360					
	460	0.20	0.23	0.22	0.20	.26
	560	0.24	0.27	0.26	0.24	.28
	660					
	760					
	860					
	960					
	1060					
	1160					
	1260					
	1360					
	1460					
	1560					
	1660					

°K	w/mK					
	Identification No. 36	Identification No. 37	Identification No. 38	Identification No. 39	Identification No. 40	Identification No. 41
°C	36.02 to 40.03	80.03 to 43.22'	27.3	27.2 to 40.0	40 to 80	64 to 96
-100						
-50						
0	0.026	0.026	0.033	0.032	0.028	0.037
50	0.032	0.032	0.039	0.038	0.034	0.041
100						
150						
200						
250						
300						
350						
400						
450						
500						
550						
600						
650						

Table 49 Thermal Conductivities of Insulations — English Units

Main Temp.	Btu, in./ft., hr., °F				
	Identification No. 50	Identification No. 51	Identification No. 52	Identification No. 53	Identification No. 54
*R	Generic Type: Kaolin ceramic fiber in stainless steel metal mesh Form: Strips & Shaped Density lbs/ft. ³ 6 to 8	Generic Type: Mineral wool-spon glass-stainless steel metal mesh Form: Various Shapes Density lbs/ft. ³ 10 to 14	Generic Type: Mineral fibers with metal mesh facing** Class I Form: Sheets Density lbs/ft. ³ 6 (max. ave.)	Generic Type: Mineral fibers with metal mesh facing** Class II Form: Sheets Density lbs/ft. ³ 12 (low max.)	Generic Type: Urethane foam Form: Block, Pipe Cov. Density lbs/ft. ³ Up to 1.5
*F	Generic Type: Alumina fibers Form: Blanket and Pelt Density lbs/ft. ³ 3 to 4				Generic Type: Urethane foam Form: Block, Pipe Cov. Density lbs/ft. ³ Over 1.5
260					
350					
460					
560		0.26		0.31	0.27
660		0.30	0.29	0.37	0.29
760		0.34			
860		0.40	0.36	0.44	
960		0.47	0.46	0.51	
1060		0.55	0.56	0.59	
1160		0.62	0.67		
1260		0.76	0.67		
1360		0.87			
1460		0.98			
1560		1.10			
1660		1.07			
1760		1.20			

Main Temp.	Metric Units				
	Density kg/m ³ 96 to 128	Density kg/m ³ 160 to 224	Density kg/m ³ 96 (max. ave.)	Density kg/m ³ 96 (ave. max.)	Density kg/m ³ Over 24
*K					
*C					
173					
223					
273					
323		0.039		0.039	0.040
373		0.044	0.036	0.039	0.043
423		0.050	0.044	0.046	
473		0.057	0.057	0.054	
523		0.067	0.069	0.063	
573		0.078	0.069	0.063	
623		0.088	0.082	0.072	
673		0.103			
723		0.118			
773		0.132			
823		0.150			
873		0.142			
923		0.157			
		0.173			

** Facing may be woven wire mesh, expanded metal lam (copper bearing) on one or both sides.

Table 49 Thermal Conductivities of Insulations —

Mean Temp.		English Units					Metric Units	
		Identification No. 57	Identification No. 58	Identification No. 59	Identification No. 60	Identification No. 61	Identification No. 62	Identification No. 63
*R	*F	Generic Type: Alumina fibers Form: Blanket and Felts Density lbs/ft. ³ 6 to 8	Generic Type: Alumina fibers Form: Blanket and Felts Density lbs/ft. ³ 12	Generic Type: Alumina fibers Form: Rope, cord, yarn Density lbs/ft. ³ 25	Generic Type: Glass fiber, fine fiber (no binder) Form: Blanket and Batt Density lbs/ft. ³ 11 to 12	Generic Type: Glass fiber, fine fiber with binder Form: Blanket Density lbs/ft. ³ 3 to 2	Generic Type: Glass fiber, with binder Form: Blanket Density lbs/ft. ³ 1 to 2	Generic Type: Glass fiber, with binder Form: Blanket Density lbs/ft. ³ 2.5 to 3.5
260	-200							
360	-100							
460	0				0.26	0.23		
560	100				0.30	0.24	0.38	0.35
660	200				0.34	0.30	0.54	0.48
760	300				0.40	0.38		
860	400	0.33	0.30	0.40	0.47			
960	500	0.38	0.36	0.49	0.55			
1060	600	0.44	0.42	0.60	0.62			
1160	700	0.53	0.49	0.74	0.76			
1260	800	0.62	0.57	0.90	0.87			
1360	900	0.72	0.65	1.05	0.98			
1460	1000	0.83	0.72	1.25	1.10			
1560	1100	0.94	0.82	1.42				
1660	1200	1.06	0.92	1.65				

*K		w/mK	
		Density kg/m ³ 96 to 128	Density kg/m ³ 176 to 192
173	-100		
223	-50		
273	0		0.039
323	50		0.044
373	100		0.050
423	150		0.057
473	200	0.047	0.067
523	250	0.053	0.078
573	300	0.061	0.088
623	350	0.072	0.097
673	400	0.083	0.103
723	450	0.095	0.118
773	500	0.104	0.132
823	550	0.123	0.140
873	600	0.140	0.163
923	650	0.153	0.187
			0.209
			0.238

Table 49 Thermal Conductivities of Insulations -

Mean Temp.		English Units							Btu, in./ft., hr., °F	
		Identification No. 64	Identification No. 65	Identification No. 66	Identification No. 67	Identification No. 68	Identification No. 69	Identification No. 70		
		Generic Type: Mineral Fibers Form: Blanket and Batt	Generic Type: Mineral Fibers with Binders Form: Blankets	Generic Type: Silica fibers Form: Blanket, Felt	Generic Type: Aluminasilica, semi-refractory hydraulic setting Form: Cement	Generic Type: Alumina fiber ceramic setting Form: Ready-mix	Generic Type: Alumina fiber ceramic Form: Spray mix cement	Generic Type: Diatomaceous silica and binder Form: Water mix cement		
°R	°F	Density lbs/ft. ³ 8 to 12	Density lbs/ft. ³ 7 to 9	Density lbs/ft. ³ 5 to 9.5	Density lbs/ft. ³ 48 to 70	Density lbs/ft. ³ 115 to 122	Density lbs/ft. ³ 12 to 13	Density lbs/ft. ³ 23 to 32		
260	-200									
360	-100									
460	0									
560	100		0.30							
660	200		0.34							
760	300	0.49	0.38							
860	400	0.57	0.44							
860	500	0.68	0.52	0.47						
1060	600	0.82		0.50	1.42		0.40		0.75	
1160	700			0.56	1.47		0.45		0.80	
1260	800			0.67	1.52		0.52		0.90	
1360	900			0.77	1.58		0.58		0.95	
1460	1000			0.90	1.64	3.5	0.71		1.00	
1560	1100			1.02	1.70	4.2	0.78		1.06	
1660	1200			1.20	1.76	5.0	0.86		1.12	
							0.94		1.19	

Metric Units

Mean Temp.		Metric Units							w/mK	
		Density kg/m ³ 128 to 192	Density kg/m ³ 112 to 140	Density kg/m ³ 96 to 152	Density kg/m ³ 768 to 1120	Density kg/m ³ 1840 to 1962	Density kg/m ³ 192 to 208	Density kg/m ³ 368 to 512		
°K	°C									
173	-100									
223	-50									
273	0									
323	50		0.045							
373	100		0.051							
423	150	0.071	0.055							
473	200	0.082	0.063							
523	250	0.097	0.076	0.067			0.088			
573	300	0.121		0.071	0.203		0.094		0.109	
623	350			0.078	0.210		0.073		0.115	
673	400			0.086	0.216		0.081		0.123	
723	450			0.102	0.223		0.088		0.129	
773	500			0.120	0.231		0.097		0.135	
823	550			0.133	0.239	0.505	0.107		0.140	
873	600			0.152	0.248	0.610	0.115		0.146	
923	650			0.173	0.254	0.721	0.125		0.153	
							0.136		0.174	

Table 49 Thermal Conductivities of Insulations - English Units

Mean Temp.	English Units				
	Identification No. 71	Identification No. 72	Identification No. 73	Identification No. 74	Identification No. 75
^{°R}	Generic Type: Kwool ceramic fiber and inorganic binders Form: Spray cement Density lbs/ft. ³ : 12 to 13	Generic Type: Kwool fiber and mineral fiber blend Form: Spray cement Density lbs/ft. ³ : 7 to 15	Generic Type: Mineral fiber, binder and hydraulic setting cement Form: Cement Density lbs/ft. ³ : 22 to 30	Generic Type: Mineral fiber Form: Cement Density lbs/ft. ³ : 27 to 44	Generic Type: Vermiculite expands, with binders Form: Water mix, air setting Density lbs/ft. ³ : 18 to 19
^{°F}					
260					
360					
460					
560					
660					
760		0.48	0.93	0.73	0.98
860		0.52	0.98	0.78	1.03
960		0.57	1.03	0.84	1.08
1060		0.65	1.08	0.90	1.15
1160	0.61	0.70	1.10	0.95	1.22
1260	0.67	0.76		1.02	
1360	0.73	0.83			
1460	0.80	0.91			
1560	0.85				
1660	0.93				
1760	0.99				

Metric Units

Mean Temp.	Metric Units				
	Identification No. 71	Identification No. 72	Identification No. 73	Identification No. 74	Identification No. 75
^{°K}	Generic Type: Kwool ceramic fiber and inorganic binders Form: Spray cement Density kg/m ³ : 192 to 208	Generic Type: Kwool fiber and mineral fiber blend Form: Spray cement Density kg/m ³ : 112 to 240	Generic Type: Mineral fiber, binder and hydraulic setting cement Form: Cement Density kg/m ³ : 352 to 512	Generic Type: Mineral fiber Form: Cement Density kg/m ³ : 482 to 704	Generic Type: Vermiculite expands, with binders Form: Water mix, air setting Density kg/m ³ : 288 to 304
^{°C}					
173					
223					
273					
323					
373					
423		0.071	0.134	0.103	0.140
473		0.075	0.139	0.109	0.147
523		0.082	0.144	0.115	0.154
573		0.092	0.148	0.123	0.162
623	0.086	0.099	0.150	0.129	0.170
673	0.094	0.108	0.156	0.136	0.182
723	0.101	0.115			
773	0.109	0.124			
823	0.118	0.134			
873	0.125				
923	0.136				
973	0.143				

English Units
Btu, in./ft., hr., °F

Table 49 Thermal Conductivities of Insulations —

Mean Temp.	Identification No. 85		Identification No. 86		Identification No. 87		Identification No. 88		Identification No. 89		Identification No. 90		Identification No. 91		
	*R	*F	Generic Type: Diatomaceous silica calcined Form: Powder	Density lbs/ft. ³ 32 (max.)	Generic Type: Diatomaceous silica Form: Coarse Powder	Density lbs/ft. ³ 25 to 31	Generic Type: Gypsum granules for packing around underground pipe Form:	Density lbs/ft. ³ 44 to 50	Generic Type: Glass fiber, unbonded Form: Loose fibers	Density lbs/ft. ³ 6 (ave.)	Generic Type: Glass fibers and Blowing Wools Form:	Density lbs/ft. ³ 2 to 3	Generic Type: Gypsum pellets Form: Bulk	Density lbs/ft. ³ 20 to 30	Generic Type: Mineral fiber, with small amounts of oil Form: Loose	Density lbs/ft.^{3} 4 to 12
260	-200														
360	-100														
460	0								0.25						
560	100						0.75		0.26	0.35				0.30	
660	200						0.85		0.31					0.35	
760	300						1.00		0.36					0.44	
860	400								0.45					0.54	
960	500													0.65	
1060	600													0.75	
1160	700													0.86	
1260	800													0.97	
1360	900														
1460	1000														
1560	1100														
1660	1200														

Metric Units
w/mK

*K	*C	Identification No. 85		Identification No. 86		Identification No. 87		Identification No. 88		Identification No. 89		Identification No. 90		Identification No. 91	
		Density kg/m ³ 512 (max.)	Density kg/m ³ 400 to 496	Density kg/m ³ 704 to 800	Density kg/m ³ 86 (ave.)	Density kg/m ³ 32 to 43	Density kg/m ³ 320 to 460	Density kg/m ³ 64 to 192							
173	-100														
223	-50														
273	0														
323	50					0.111	0.039	0.052						0.045	
373	100	0.134	0.092	0.124	0.045	0.124	0.045						0.052		
423	150	0.140	0.098	0.144	0.052	0.144	0.052						0.063		
473	200	0.148	0.111		0.064								0.078		
523	250	0.155	0.120										0.092		
573	300	0.162	0.131										0.105		
623	350	0.169	0.141										0.120		
673	400	0.177	0.150										0.134		
723	450	0.184	0.158												
773	500	0.192	0.168												
823	550	0.200	0.183												
873	600	0.207	0.193												
923	650	0.215	0.204												

English Units

BTU, in./ft., hr., °F

Main Temp.	English Units				
	Identification No. 92	Identification No. 93	Identification No. 94	Identification No. 95	Identification No. 96
°R	Generic Type: Mineral fiber, oil free, Form: Loose Density lbs./ft. ³ 10 to 15	Generic Type: Mineral fiber, granulated, Form: Loose Density lbs./ft. ³ 6 to 12	Generic Type: Perlite expanded, Form: Loose powder Density lbs./ft. ³ 5 to 8	Generic Type: Quartz fibers, Form: Loose Density lbs./ft. ³ 6 to 12	Generic Type: Silica aerogel granulars, Form: Loose Density lbs./ft. ³ 4 to 5.5
°F	Generic Type: Mineral fiber, oil free, Form: Loose Density lbs./ft. ³ 10 to 15	Generic Type: Mineral fiber, granulated, Form: Loose Density lbs./ft. ³ 6 to 12	Generic Type: Perlite expanded, Form: Loose powder Density lbs./ft. ³ 5 to 8	Generic Type: Quartz fibers, Form: Loose Density lbs./ft. ³ 6 to 12	Generic Type: Silica aerogel granulars, Form: Loose Density lbs./ft. ³ 4 to 5.5
200					
360					
460					
560		0.30	0.29		0.21
660	0.53	0.35	0.35	0.35	0.23
760	0.58	0.44	0.41	0.41	0.24
860	0.64	0.54	0.47	0.47	0.74
960	0.70	0.65	0.53	0.53	0.84
1060	0.76	0.75	0.59	0.59	0.94
1160	0.83	0.86	0.66	0.66	1.05
1260	0.91	0.97	0.73	0.60	1.15
1360			0.80	0.71	1.25
1460			0.87	0.81	1.36
1560			0.95	0.92	
1660			1.04	1.02	

Metric Units

w/mK

°K	Metric Units				
	Density kg/m ³ 160 to 240	Density kg/m ³ 95 to 192	Density kg/m ³ 80 to 120	Density kg/m ³ 96 to 192	Density kg/m ³ 64 to 88
173					
223					
273					
323		0.045	0.042		0.032
373	0.078	0.052	0.049	0.049	0.034
423	0.084	0.063	0.059	0.059	0.036
473	0.092	0.078	0.073	0.067	0.051
523	0.099	0.09	0.083	0.073	0.066
573	0.108	0.105	0.093	0.083	0.063
623	0.117	0.120	0.093	0.093	0.072
673	0.131	0.134	0.103	0.103	0.082
723			0.113	0.113	0.094
773			0.123	0.123	0.106
823			0.133	0.133	0.119
873			0.142	0.142	0.133
923			0.150	0.150	0.148

Density lbs./ft.³
8 to 10

Density lbs./ft.³
9

Density lbs./ft.³
96 to 160

Table 50 Thermal Conductances of Reflective Insulations –

Material Identification number			Generic type and class or description of insulating material			Form			English Units																																																																																																				
									Conductance in $\text{ft}^2/\text{ft}^2 \text{ hr } ^\circ\text{F}$ 75° Mean Temperature Air spaces 3/4" $\epsilon = 0.05$ (Aluminum) Air spaces enclosed* and separated by reflective shield																																																																																																				
Number of spaces																																																																																																													
1											2											3											4											5											6											7											8											9											10										
99	Aluminum Sheet	Various Thicknesses	Vertical	Across	0.35	0.18	0.12	0.09	0.07	0.06	0.05	0.045	0.04	0.035	Horizontal	Upward	0.48	0.25	0.17	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06	0.055	0.05	Horizontal	Downward	0.35	0.18	0.12	0.09	0.08	0.07	0.055	0.055	0.04	0.035																																																																							
					100	Aluminum Foil	Various Thicknesses	Vertical	Across	0.35	0.18	0.12	0.09	0.07			0.06	0.05	0.045	0.04	0.035	Horizontal	Upward	0.48	0.25	0.17			0.12	0.10	0.08	0.07	0.06	0.055	0.05	Horizontal	Downward	0.35	0.18	0.12	0.09	0.08	0.07	0.055	0.055	0.04	0.035																																																														
										101	Aluminum foil, both sides, or membrane paper or other reinforcement	Laminate	Vertical	Across			0.35	0.18	0.12	0.09	0.07			0.06	0.05	0.045			0.04	0.035	Horizontal	Upward	0.48	0.25	0.17			0.12	0.10	0.08	0.07	0.06	0.055	0.05	Horizontal	Downward	0.35	0.18	0.12	0.09	0.08	0.07	0.055	0.055	0.04	0.035																																																					
102	Aluminum foil accordion formed roll insulation-Opened in place	Expandable roll for cavities	Vertical	Across	1.987	1.022	0.681	0.511	0.397						0.341	0.284	0.256	0.227	0.159	Horizontal	Upward	2.725	1.419	0.905	0.681	0.568	0.454	0.397	0.341	0.312			0.284	Horizontal	Downward	1.997	1.022	0.681	0.511	0.454	0.397	0.312	0.256	0.277			0.189																																																														

*All spaces constructed to prevent air movement from one space to another.
Note: Heat transfer is given in conductance not conductivity.

Table 51 Thermal Conductivities of Preformed Reflective Insulations

		English Units		
		8tu, in/ft, hr, °F		
Mean Temp.		Identification Number 103	Identification Number 104	Identification Number 105
		Generic Type: Aluminum casing & aluminum reflective sheets Form: Factory formed for equipment & pipe	Generic Type: Stainless steel casing & aluminum reflective sheets Form: Factory formed for equipment & pipe	Generic Type: Stainless steel casing & reflective sheets Form: Factory formed for equipment & pipe
°ft	°F	Density Lbs/ft ³ 5 to 7	Density Lbs/ft ³ 6 to 8	Density Lbs/ft ³ 8 to 10
260	-200			
360	-100			
460	0			
560	100	0.250	0.265	Varied to suit
660	200	0.307	0.328	need
760	300	0.378	0.400	
860	400	0.444	0.466	
960	500	0.507	0.537	
1060	600	0.570	0.600	
1160	700			
1260	800			
1360	900			
1460	1000			
1560	1100			
1660	1200			

		Metric Units		
		w/mK		
°K	°C	Density kgs/m ³	Density kgs/m ³	Density kgs/m ³
173	-100			
223	-50			
273	0			
323	50	0.037	0.040	
373	100	0.046	0.049	Varied to suit
423	150	0.055	0.058	need
473	200	0.064	0.067	
523	250	0.073	0.076	
573	300	0.082	0.085	
623	350	0.091	0.094	
673	400			
723	450			
773	500			
823	550			
873	600			
923	650			

Based on spacing of one reflective sheet per 1/2" or 1.27 cm enclosed space.

Table 52 Thermal Conductance of Reflective Insulation in Partial Vacuum – Cryogenic Temperatures

Identification Number	106			107	
	Aluminum foil glass matts	Aluminum foil and glass matts	Aluminum foil and glass matts	Aluminum foil and glass paper	Aluminum foil and glass paper
Composition					
Number of Layers	10 to 12	15 to 30	35 to 70	50 to 100	75 to 150
Conductance *Btu/ft ² , hr °F	0.00108	0.00076	0.00024	0.00022	0.00012
Conductance **w/m ² K	6.13×10^{-3}	4.429×10^{-3}	1.363×10^{-3}	1.249×10^{-3}	6.814×10^{-4}

*Based on -200°F **Based on -129°C, 144 K mean temperature.
The thermal conductance noted is for the number of reflective layers per one foot thickness under 1 micron pressure.

Table 53 Thermal Conductivities of Powder – in Partial vacuum – in Cryogenic Temperatures

Identification Number		108	109	110	111	112
Composition		Carbon Silica Powder	Perlite Powder	Santocel® Powder	Santocel® & Aluminum Powder	Santocel® & Aluminum Powder
Density	lbs/ft ³	8.0	8.0	6.0	10.0	11.0
	kgs/m ³	128	128	96	160	176
Conductivity *Btu, in/ft ² , hr, °F		0.0048	0.0087	0.0115	0.0027	0.0028
Conductivity **w/mK		69.21×10^{-6}	1.254×10^{-3}	1.658×10^{-3}	3.893×10^{-4}	4.038×10^{-4}

*Based on mean temperature of -200°F, under partial vacuum.
**Based on mean temperature of -129°C, 144 K, under partial vacuum (50 microns or less).

Table 54 Thermal Conductivity of Rigid Mass Cryogenic Insulation

Identification Number	11 and 113						
Composition	Cellular Glass						
Conductivity	Temperature °F						
English Units	0	-40	-50	-120	-160	-200	-240
Btu, in/ft ² , hr, °F	0.35	0.32	0.29	0.27	0.25	0.22	0.19
Metric Units	Temperature °C						
	-17.8	-40	-62.2	-84.4	-106.7	-128.9	-151.1
	Temperature °K						
w/mK	0.050	0.046	0.047	0.039	0.036	0.032	0.027

Daftar Pustaka

Thermal Insulation Association of Canada, *Tiac Mechanical Insulation Best Practices Guide*, Canada

The Thermal Insulation Association Of Southern Africa, 2001, *Thermal Insulation Handbook*, The AAAMSA Studio, Lyttelton Manor, South Africa

William C. Turner & John F. Malloy, 1981, *Thermal Insulation Handbook*, McGraw-Hill Book Company, New York, USA

