

ANALISA BAHAN ISOLASI PIPA SALURAN UAP PANAS PADA BOILER UNTUK MEMINIMALISASI HEAT LOSS

Muntolib**) dan Rusdiyantoro*)

Abstrak

Uap panas merupakan sumber utama dalam mengolah produksi, aliran pipa uap panas selalu dipengaruhi udara bebas, karena itu harus dilakukan pemilihan bahan isolasi jenis mineral wool, calcium silicate dan ceramic fiber blanket dengan membuat model simulasi untuk menentukan bahan yang paling tepat dalam mengurangi kehilangan panas. Analisa dilakukan dengan menghitung jumlah kehilangan panas tanpa menggunakan bahan isolasi dan menggunakan isolasi dengan ketebalan bervariasi. Proses analisa dilakukan pada suhu 150 °C dengan hasil isolasi mineral wool tebal 25 mm sebesar 5.714 watt, tebal 50 mm sebesar 3.489 watt dan tebal 75 mm sebesar 2.633 watt. Sedangkan hasil isolasi calcium silicate tebal 25 mm sebesar 7.774 watt, tebal 50 mm sebesar 4.913 watt dan tebal 75 mm sebesar 3.756 watt. Sedangkan hasil isolasi ceramic fiber blanket tebal 25 mm sebesar 6.756 watt, tebal 50 mm sebesar 4.197 watt dan tebal 75 mm sebesar 3.188 watt. Bahan isolasi mineral wool memiliki hasil terbaik dibandingkan calcium silicate dan ceramic fiber blanket. Kesimpulan pemilihan bahan isolasi dipengaruhi nilai termal konduktivitas dan tebal bahan.

Kata kunci : perpindahan panas , kehilangan panas, heat loss, isolasi, boiler

PENDAHULUAN.

Uap panas merupakan sumber utama dalam mengolah produksi, aliran uap panas yang melalui pipa selalu dipengaruhi udara bebas. Selama ini banyak industri yang melindungi pipa tersebut dengan isolasi namun mengabaikan perhitungan kehilangan panas yang terjadi dalam aliran pipa uap tersebut, akibatnya perusahaan tidak mengetahui berapa banyak uap yang terbuang ke udara selama mengalir pada saluran pipa uap dan tentunya pemanfaatan uap tersebut untuk produksi kurang maksimal.

Oleh karena itu perlu dilakukan pemilihan bahan isolasi diantaranya jenis *mineral wool*, *calcium silicate* dan *ceramic fiber blanket* yang sering banyak digunakan, dengan cara membuat model simulasi dalam keadaan *steady* untuk menentukan bahan yang paling tepat dalam mengurangi kehilangan panas. Diharapkan analisa simulasi ini dapat dipakai pihak industri agar mampu memilih jenis material isolasi dan mengetahui jumlah panas yang bisa diselamatkan selama ini, sehingga proses produksi meningkat dan mampu menjaga lingkungan kerja dari suhu panas.

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat model simulasi untuk menganalisa dan menentukan jenis – jenis isolasi yang tepat untuk mengurangi panas yang hilang. Serta mengetahui cara penghitungan jumlah panas yang hilang selama menuju proses

produksi. Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah memberi masukan terhadap pihak perusahaan agar mampu memilih jenis material isolasi, sehingga proses produksi meningkat., mampu menjaga lingkungan kerja dari suhu panas yang diakibatkan dari panasnya pipa uap serta mampu menekan seminimal mungkin terhadap operasional boiler sehingga dapat menambah masa pemakaian boiler.

METODE PENELITIAN.

Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang dilakukan adalah dengan metode observasi yang meliputi luas permukaan pipa, jenis dan ketebalan isolasi, suhu operasional, suhu permukaan isolasi dan suhu lingkungan. Serta juga menggunakan metode literature untuk mencari nilai thermal konduktivitas bahan isolasi, aluminium dan thermal konveksi rata-rata.

Metode Analisa Data

Tahap pertama dengan menganalisa kehilangan panas tanpa menggunakan bahan isolasi, dengan menggunakan rumus dikemukakan oleh Frank Kreith (1997; 12)

**) Mahasiswa Teknik Industri

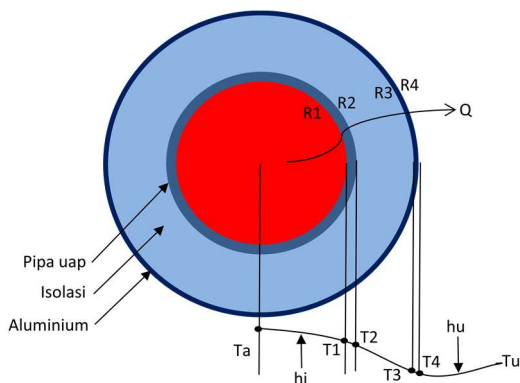
*) Dosen Teknik Industri

Universitas PGRI Adi Buana Surabaya

Konveksi menyatakan laju perpindahan panas dengan cara konveksi antara suatu permukaan dan suatu fluida dapat dihitung dengan hubungan :

$$Q = \bar{h} A \Delta T$$

Tahap kedua dengan menganalisa kerugian panas yang hilang menggunakan bahan isolasi berupa *mineral wool*, *calcium silicate* dan *ceramic fiber blanket*.



Gambar 1. Potongan saluran pipa yang di isolasi

Analisa hanya difokuskan pada bahan isolasi, sehingga analisa ini mengabaikan perpindahan panas pada dinding pipa saluran uap.

a) Perpindahan panas di dalam isolasi setiap satuan panjang :

$$q = \frac{2 \pi k_{iso} l}{\ln(r_3/r_2)} (T_2 - T_3) = \frac{T_2 - T_3}{R_3}$$

b) Perpindahan panas di dalam aluminium sheet diperoleh,

$$q = \frac{2 \pi k_{alm} l}{\ln(r_4/r_3)} (T_3 - T_4) = \frac{T_3 - T_4}{R_4}$$

c) Perpindahan panas dari permukaan aluminium ke udara secara konveksi :

$$q = 2 \pi r_4 l \bar{h}_u (T_4 - T_u) = \frac{T_4 - T_u}{R_5}$$

Nilai Q didapatkan dengan menjumlahkan ke - 3 persamaan suhu di atas, sehingga diperoleh :

$$Q = \frac{(T_a - T_u)}{\sum R} \text{ dengan R total tahanan}$$

$$\sum R = \frac{\ln \frac{R_3}{R_2}}{2 \pi k_{iso}} + \frac{\ln \frac{R_4}{R_3}}{2 \pi k_{alm}} + \frac{1}{h_u (2 \pi R_4)}$$

HASIL PENELITIAN.

Penyajian Data Parameter

1. Penentuan luas permukaan pipa saluran, suhu operasional, suhu permukaan dan suhu lingkungan.

Dalam analisa ini penulis menggunakan data dari beberapa proyek yang sudah pernah dikerjakan di beberapa perusahaan sesuai tabel 1.

Tabel 1. Data hasil penelitian dengan bahan isolasi *mineral wool*, *calcium silicate* dan *ceramic fiber blanket*

No	Nama proyek	Pipa		<i>Mineral wool</i>		<i>Calcium silicate</i>		<i>Ceramic fiber blanket</i>	
		Ø (inch)	L (m)	Ta (°C)	Ts (°C)	Ta (°C)	Ts (°C)	Ta (°C)	Ts (°C)
1.	Isolasi pipa panas di PT. Sura Pratista Utama, Sidoarjo	2	45	105	38	105	39.5	105	40
2.	Isolasi pipa panas di CV. Subur Jaya, Tulungagung	4	95	155	44	155	42	155	43.5
3.	Isolasi pipa panas di CV. Subur Jaya, Tulungagung	6	74	155	44	155	42	155	43.5
4.	Isolasi pipa panas di CV. Subur Jaya, Tulungagung	10	11	155	44	155	42	155	43.5

5.	Isolasi pipa uap panas di PG. Pangka, Tegal	6	78	165	48	165	43	165	44
6.	Isolasi pipa uap panas di PG. Pangka, Tegal	8	105	165	48	165	43	165	44
7.	Isolasi pipa panas di PT.Bina Karya Prima, Gresik	4	50	176	52	176	44.6	176	43.5
8.	Isolasi pipa panas di PT.Matahari Sakti, Surabaya	8	8	110	39	110	40.4	110	41
9.	Isolasi pipa panas di PT.Perta Daya Gas, Semarang	6	22	174	52	174	44	174	46
10.	Isolasi pipa panas di PT.PJB Paiton	6	12	140	44	140	41.5	140	42
Jumlah Rata - rata		6	50	150	45,3	150	42,2	150	43,1

Sesuai tabel 1 di hasilkan data :

- Luas permukaan (A) = $\pi \times OD \times L = 3,14 \times 0,1683 \times 50 = 26,423 \text{ m}^2$
- Suhu operasional (Ta) yaitu 150 °C
- Suhu permukaan (Ts), Pada bahan isolasi *mineral wool* 45,3 °C, bahan isolasi *calcium silicate* 42,2 °C dan

bahan isolasi *ceramic fiber blanket* 43,1 °C

- Suhu lingkungan (Tu) yaitu 35 °C.
- Ketebalan bahan isolasi yang di analisa adalah tebal 25 mm, tebal 50 mm dan tebal 75 mm
- Termal konduktivitas bahan isolasi yang di analisa sesuai tabel 2

Tabel 2. Nilai termal konduktivitas bahan isolasi pada suhu operasional 150 °C

No	Jenis bahan	Termal konduktivitas (W/m.k) Pada Suhu 150 °C
1.	<i>Mineral wool</i>	0,049
2.	<i>Calcium silicate</i>	0,07154
3.	<i>Ceramic fiber blanket</i>	0,06 (pada suhu 260 °C)

Sedangkan nilai termal konduktivitas aluminium adalah 237 W/m.k.

- Nilai – nilai properti gas pada tekanan atmosfer
Nilai – nilai properti gas pada tekanan atmosfer (tabel 3) digunakan

untuk menentukan bilangan Nusselt, Grashof, Reyleigh dan Prandtl, untuk mendapatkan nilai konduktivitas termal konveksi rata-rata dari permukaan ke udara lingkungan (h),

Tabel 3. Nilai – nilai properti gas pada tekanan atmosfer

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg·K)	μ (kg/m·s)	ν (m ² /s)	k (W/m·K)	α (m ² /s)	Pr
Udara							
100	3,6010	1,0266 × 10 ³	0,6924 × 10 ⁻⁵	1,923 × 10 ⁻⁶	0,009 246	0,0250 × 10 ⁻⁴	0,768
150	2,3675	1,0099	1,0283	4,343	0,013 735	0,0574	0,756
200	1,7684	1,0061	1,3289	7,490	0,018 09	0,1016	0,739
250	1,4128	1,0053	1,5990	11,310	0,022 27	0,1568	0,722
300	1,1774	1,0057	1,8462	15,690	0,026 24	0,2216	0,708
350	0,9980	1,0090	2,075	20,76	0,030 03	0,2983	0,697
400	0,8826	1,0140	2,286	25,90	0,033 65	0,3760	0,689
450	0,7833	1,0207	2,484	31,71	0,037 07	0,4636	0,683
500	0,7048	1,0295	2,671	37,90	0,040 38	0,5564	0,680
550	0,6423	1,0392	2,848	44,27	0,043 60	0,6532	0,680
600	0,5879	1,0551	3,018	51,34	0,046 59	0,7512	0,682
650	0,5430	1,0635	3,177	58,51	0,049 53	0,8578	0,682
700	0,5030	1,0752	3,332	66,25	0,052 30	1,9672	0,684
750	0,4709	1,0856	3,481	73,91	0,055 09	1,0774	0,686
800	0,4405	1,0978	3,625	82,29	0,057 79	1,1951	0,689

Pembuatan Simulasi Program.

Proses pembuatan simulasi program dengan ketebalan isolasi *mineral wool* = 50 mm berdasarkan data parameter diatas adalah sebagai berikut

1. Menghitung jumlah panas yang hilang secara konveksi pada saluran pipa tanpa menggunakan bahan isolasi :

$$Q = \bar{h} A \Delta T$$

Konduktivitas termal konveksi rata-rata dari permukaan pipa ke lingkungan (\bar{h}), dicari dengan menggunakan rumus-rumus bilangan bilangan Nusselt, Grashof, Reyleigh dan Prandtl,:

- a) Menentukan nilai Tf (suhu rata-rata) yang didapatkan dari rata-rata suhu operasional dan suhu lingkungan.
Tf = (423,15+308,15) / 2 = 365,65 °K
- b) Berdasarkan nilai Tf diatas maka didapatkan nilai β (koefisien jumlah ekspansi)
 $\beta = 1/Tf = 1/365,65 = 0.002734856$
- c) Berdasarkan nilai Tf diatas maka didapatkan nilai k, Pr dan ν dengan cara melihat tabel 3.
k = 0,031163 W/m.k
Pr = 0,694496
 $\nu = 0,0000224 \text{ m}^2/\text{s}$
- d) Dari nilai – nilai diatas maka dapat dihitung nilai Ra, Nu dan \bar{h} sebagai berikut :

$$Ra = \frac{g \beta (T_1 - T_2)L^3}{\nu^2} \cdot Pr$$

$$= \frac{9.8 \times 0,002734856 (423,15 - 308,15) 0,1683^3}{0,0000224^2} \cdot 0,694496$$

$$= 20.393.618,25$$

$$\bar{Nu} = \left\{ 0,60 + \frac{0,387 Ra^{1/6}}{[1 + (0.559/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$

$$= \left\{ 0,60 + \frac{0,387 \times 20.393.618,25^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{0,694496} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

$$= 33,62$$

$$\bar{h} = \frac{Nu \cdot k}{L}$$

$$= \frac{33,62 \times 0,031163}{0,1683}$$

$$= 6,23 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{°K})^2$$

Sehingga analisa nilai jumlah kehilangan panas secara konveksi adalah

$$Q = \bar{h} A \Delta T$$

$$= 6,23 \times 26,423 \times (423,15 - 308,15)$$

$$= 18.819 \text{ W}$$

2. Menghitung jumlah panas yang hilang apabila menggunakan bahan isolasi berupa *mineral wool*, *calcium silicate* dan *ceramic fiber blanket*. berikut tahapan proses perhitungan kerugian panas dengan menggunakan *mineral wool* ketebalan isolasi 50 mm :

a) Resistansi termal konduksi di dalam isolasi dengan ketebalan isolasi 50 mm adalah :

$$R(\text{isolasi}) = \frac{\ln \frac{R_3}{R_2}}{2 \pi k_{\text{iso}} L_{\text{pipa}}}$$

$$= \frac{\ln 1,594}{2 \times 3,14 \times 0,049 \times 50}$$

$$= \frac{0,46624}{15,386}$$

$$= 0,03030 \text{ } ^\circ\text{K/W}$$

b) Resistansi termal konduksi di dalam aluminium dengan ketebalan aluminium 0,5 mm adalah :

$$R(\text{aluminium}) = \frac{\ln \frac{R_4}{R_3}}{2 \pi k_{\text{alm}} L_{\text{pipa}}}$$

$$= \frac{\ln 1,037}{2 \times 3,14 \times 237 \times 50}$$

$$= \frac{0,03633}{74.418}$$

$$= 0,000000488188 \text{ } ^\circ\text{K/W}$$

c) Resistansi termal konveksi dari permukaan aluminium ke udara adalah :

$$R(\text{konveksi}) = \frac{1}{h \cdot (2 \pi R_4 L_{\text{pipa}})}$$

Konduktivitas termal konveksi rata-rata dicari dengan menggunakan rumus bilangan bilangan Nusselt, Grashof, Reyleigh dan Prandtl. diperoleh nilai \bar{h} : 10,48 W/(m.°K)². Sehingga analisa nilai jumlah panas yang hilang secara konveksi adalah

$$R(\text{konveksi}) = \frac{1}{h \cdot (2 \pi R_4 L_{\text{pipa}})}$$

$$= \frac{1}{10,48(2 \times 3,14 \times 0,11415 \times 50)}$$

$$= 0,00266215 \text{ } ^\circ\text{K/W}$$

Sehingga jumlah resistansi termalnya adalah $\Sigma R = R_1 + R_2 + R_3$, maka nilai Q dapat dihitung :

$$Q = \frac{(T_a - T_u)}{\Sigma R}$$

$$= \frac{(423,15 - 308,15)}{0,03030 + 0,000000488188 + 0,00266215}$$

$$= 3.489 \text{ Watt}$$

Untuk analisa kehilangan panas ketebalan isolasi 25 mm dan 75 mm dapat dihitung dengan cara yang sama.

Berdasarkan langkah-langkah diatas maka dapat dibuat program simulasi kerugian panas dengan menggunakan *software* Microsoft Excell, berikut ini adalah tampilan programnya sesuai gambar 2.

ADI BUANA SURABAYA		SIMULASI			
Analisa Kehilangan Panas Pada Saluran Pipa Uap					
Data awal :					
Diameter pipa (Ø)	= 0.1683 m	K _{isolasi} mineral wool pada suhu Ta	= 0.049 W/m.k		
Panjang pipa (L)	= 50.00 m	K _{aluminium} (lampiran 3)	= 237.00 W/m.k		
Suhu operasional (Ta)	= 423.15 °K	Suhu permukaan luar (Ts)	= 318.45 °K		
Suhu lingkungan (Tu)	= 308.15 °K				
Analisa kerugian panas tanpa menggunakan bahan isolasi :					
Tf : 365.65 °K (lihat tabel IV-3) =>	k = 0.031163 W/m.k	v = 0.0000224 m ² /s			
	Pr = 0.694496	B = 0.002734856 K ⁻¹			
maka nilai h : 6.23	sehingga Q = 18.918 W				
Analisa kerugian panas menggunakan bahan isolasi :					
Tf : 313.3 °K (lihat tabel IV-3) =>	k = 0.027248 W/m.k	v = 0.0000170 m ² /s			
	Pr = 0.705074	B = 0.003191829 K ⁻¹			
a Isolasi 25 mm =>	In r3/r2 1.297 = 0.26	Nilai h => 8.64 W/(m ² K) ²			
	In r4/r3 1.046 = 0.04497	Total R 0.020 °K/W	Q = 5,714 W =>	30%	
b Isolasi 50 mm =>	In r3/r2 1.594 = 0.46624	Nilai h => 10.48 W/(m ² K) ²			
	In r4/r3 1.037 = 0.03633	Total R 0.033 °K/W	Q = 3,489 W =>	18%	
c Isolasi 75 mm =>	In r3/r2 1.891 = 0.6371	Nilai h => 12.31 W/(m ² K) ²			
	In r4/r3 1.031 = 0.0305	Total R 0.044 °K/W	Q = 2,633 W =>	14%	

Gambar 2. Tampilan program simulasi kehilangan panas

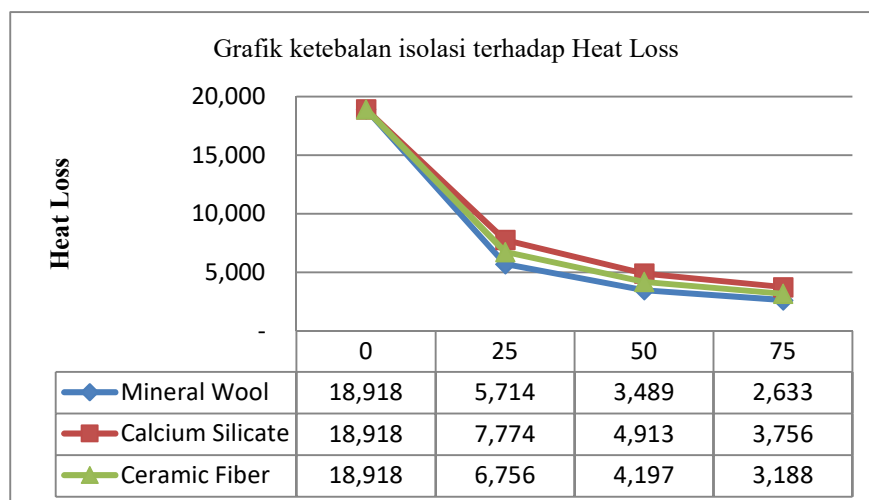
Beberapa Hasil Simulasi.

Ringkasan hasil simulasi dari penelitian yang sudah dilakukan dijabarkan dalam tabel 4 dan

digambarkan dengan grafik hubungan antara ketebalan isolasi terhadap heat loss sesuai gambar 3.

Tabel 4. Ringkasan hasil simulasi analisa kerugian panas pada diameter pipa saluran 168,3 mm (6 inch) beberapa jenis bahan isolasi dengan suhu operasional 150 °C

No	Jenis bahan	Jenis simulasi dengan ketebalan	Hasil simulasi		
			Nilai (watt)	%	
1.	Mineral wool	Heat loss tanpa bahan isolasi	18.918	100	
		Heat loss dengan bahan isolasi	25 mm	5.714	30
			50 mm	3.489	18
			75 mm	2.633	14
2.	Calcium silicate	Heat loss tanpa bahan isolasi	18.918	100	
		Heat loss dengan bahan isolasi	25 mm	7.774	41
			50 mm	4.913	26
			75 mm	3.756	20
3.	Ceramic fiber blanket	Heat loss tanpa bahan isolasi	18.918	100	
		Heat loss dengan bahan isolasi	25 mm	6.756	36
			50 mm	4.197	22
			75 mm	3.188	17



Gambar 3. Grafik ketebalan isolasi terhadap nilai heat loss

PEMBAHASAN.

Pada analisa dengan suhu operasional 150 °C pada tabel 4 dan gambar 3, kerugian panas dengan menggunakan bahan isolasi tebal 25 mm yang memiliki nilai terkecil adalah isolasi *mineral wool* dengan hasil 5.714 watt (30%), lalu *ceramic fiber blanket* dengan hasil 6.756 watt (36%) dan *calcium silicate* dengan hasil 7.774 watt (41%). Analisa kerugian panas menggunakan bahan isolasi tebal 50 mm yang memiliki nilai terkecil adalah isolasi *mineral wool* dengan hasil 3.489 watt (18%), lalu *ceramic fiber blanket* dengan hasil 4.197 watt (22%) dan *calcium silicate* dengan hasil 4.913 watt (26%). Sedangkan analisa kerugian panas menggunakan bahan isolasi tebal 75 mm yang memiliki nilai terkecil adalah isolasi *mineral wool* dengan hasil 2.633 watt (14%), lalu *ceramic fiber blanket* dengan hasil 3.188 watt (17%) dan *calcium silicate* dengan hasil 3.756 watt (20%).

Ketiga bahan isolasi tersebut mampu meminimalisasi kehilangan panas (*heat loss*) dengan hasil yang bervariasi, namun hasil yang terbaik adalah pada bahan isolasi *mineral wool* yang secara data spesifikasi memiliki termal konduktivitas yang kecil dibandingkan lainnya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan mengenai analisa

pemilihan bahan isolasi yang tepat untuk meminimalisasikan kehilangan panas menunjukkan bahwa nilai *heat loss* yang dihasilkan dari ketiga bahan isolasi berbeda-beda. Nilai perbedaan tersebut sangat dipengaruhi oleh sifat karakteristik bahan dan termal konduktivitas bahan isolasi tersebut. Nilai yang dihasilkan menggambarkan pentingnya bahan tersebut digunakan sebagai pelindung saluran pipa uap panas dan sangat mempengaruhi seberapa besar uap yang dapat diselamatkan untuk produksi. Penggunaan bahan aluminium tidak terlalu mempengaruhi hasil nilai kehilangan panas, namun sangat direkomendasikan agar menjaga ketahanan bahan isolasi yang dipasang. Dari nilai - nilai kehilangan panas yang diperoleh tersebut diharapkan perusahaan dapat memilih diantara ketiga bahan tersebut yang paling tepat digunakan dalam industrinya. Penelitian ini hanya menganalisa tiga jenis bahan isolasi dari sisi nilai kehilangan panas (*heat loss*), sedangkan sangat banyak sekali jenis bahan isolasi yang ada dipasaran dan juga selanjutnya agar bisa dihitung analisa biaya yang ditimbulkan dari kehilangan panas tersebut untuk mendapatkan penghematan yang maksimal baik dari sisi bahan bakar, jam operasional dan pemeliharaan umur mesin.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous, *Insulation and Refractories*, Bureau of Energy Efficiency <http://www.enercon.gov.pk/images/pdf/2ch5.pdf>
(tanggal mengunduh : 7 Desember 2013)
- Distantina Sperisa, *Critical Insulation Thicknes*, <http://distantina.staff.uns.ac.id/files/2009/09/critical-insulation-thickness1.pdf>
(tanggal mengunduh : 23 Desember 2013)
- Donald R.Pitts and Leighton E.Sissom, 2008. *Perpindahan Kalor*, edisi 2, Erlangga, Jakarta.
- Frank Kreith, 1997. *Prinsip Perpindahan Panas*, edisi 3, Erlangga, Jakarta.
- J.P. Holman, 1995. *Perpindahan Kalor*, edisi 6, Erlangga, Jakarta.
- Jokosetyadjo, M.J, 2006. *Ketel Uap*, cetakan ke 4, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Raswari, 2010. *Teknologi dan Perencanaan Sistem Perpipa*, Universitas Indonesia, Jakarta
- Santoso,Gempur, 2012. *Metodologi Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif*. Prestasi Pustaka Publisher. Jakarta