

Studi Pemanfaatan *Condensate Outlet Steam Trap* Sebagai Air Umpan Boiler di Pabrik Amoniak Pusri-IB

Alfa Widyawan* dan Ferlyn Fachlevie
PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang
Jl. Mayor Zen, Palembang 30118

Abstract

As ammonia and urea producer, PT. Pusri consumes a lot of steam, which is used as raw material in ammonia plant, as well as heating medium and turbine driving agent. Steam pressure used in the P-IB Ammonia plant varies from 3.5 to 123 kg/cm² gauge. Distribution system of steam piping to the equipments causes heat loss to the environment. This leads to the production of steam condensate flowing along the pipe. The steam condensate from the pipe (through the steam trap) is directly discharged into the sewer. The present study aimed to determine the rate of steam condensation and to elaborate an economic feasibility to utilize the condensate as boiler feed water in the Ammonia plant P-IB.

Calculation of heat transfer in the pipes was based on the principles of conduction, convection and radiation. The rate of steam condensation was calculated with steam pressure variation from 3.5 to 123 kg/cm² gauge, pipe diameter from 4 to 20-inch and insulation thickness of 1 to 4 inches. The rate of condensation was expressed in a mathematical equation and was a function of insulation thickness and diameter of pipe.

The results showed that the rate of steam condensation rised as steam pressure and pipe diameter increased and insulation thickness decreased. Operating cost reduced if the steam condensate was used as boiler feed water replacing demineralized water. This also caused reduction of fuel consumption and therefore resulted in simple payback period of 0.9 years.

Keywords: steam condensate, heat loss, steam condensation rate, cost reduction

Abstrak

Sebagai produsen amoniak dan urea, PT. Pusri memerlukan *steam* dalam jumlah yang relatif besar. *Steam* di pabrik amoniak digunakan sebagai bahan baku pabrik amoniak, sebagai pemanas dan penggerak turbin. Tekanan *steam* yang digunakan di pabrik Amoniak P-IB bervariasi, dari 3,5 kg/cm² gauge sampai 123 kg/cm² gauge. Distribusi *steam* yang dialirkan melalui pipa menuju peralatan mengakibatkan kehilangan panas ke lingkungan. Hal ini menyebabkan terbentuknya *steam condensate* di sepanjang aliran pipa. Selama ini *steam condensate* yang keluar dari pipa melalui *steam trap* langsung dibuang ke *sewer*. Studi ini dimaksudkan untuk menghitung laju kondensasi steam dan kelayakan ekonomi untuk memanfaatkan *steam condensate* tersebut sebagai air umpan boiler di pabrik Amoniak P-IB.

Perpindahan panas di pipa dihitung menggunakan prinsip perpindahan panas konduksi, konveksi dan radiasi. Perhitungan laju kondensasi *steam* dilakukan dengan variasi tekanan steam 123, 42 dan 3,5 kg/cm² gauge, variasi tebal pipa 4 hingga 20 inci serta variasi tebal isolasi 1 sampai 4 inch. Laju kondensasi *steam* dinyatakan dalam suatu persamaan matematis yang merupakan fungsi dari tebal isolasi dan diameter pipa.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa laju kondensasi *steam* membesar bila tekanan steam naik, tebal isolasi turun, dan diameter pipa membesar. Penghematan yang didapat apabila *steam condensate* dimanfaatkan sebagai air umpan boiler berasal dari penghematan produksi air demin dan penghematan bahan bakar akibat perbedaan suhu antara *steam condensate* dan air demin dengan *simple payback period* selama 0,9 tahun.

Kata kunci: *steam condensate*, kehilangan panas, laju kondensasi steam, penghematan

Pendahuluan

PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang (Pusri) merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang petrokimia yang memproduksi amoniak dan pupuk urea. *Steam* merupakan salah satu bahan baku yang digunakan untuk memproduksi amoniak. Selain itu, *steam*

digunakan untuk menggerakkan turbin dan pemanas. *Steam* yang digunakan di pabrik amoniak PT. Pusri secara umum terbagi menjadi steam bertekanan 3,5, 42 dan 105 kg/cm² gauge (PT Pusri, 1975). Khusus untuk Pabrik Amoniak Pusri-IB menggunakan *steam* bertekanan 3,5, 42 dan 123 kg/cm² gauge.

Steam yang dihasilkan dalam unit pembangkit *steam* (boiler), selanjutnya dialirkan melalui pipa dan didistribusikan menuju peralatan proses.

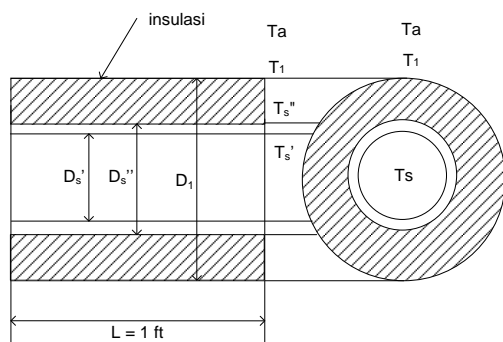
*Alamat korespondensi: alfa@pusri.co.id

Dalam proses distribusinya menuju peralatan proses, terjadi perpindahan panas dari pipa menuju lingkungan. Untuk meminimalkan hilangnya panas ke lingkungan, pipa dilapisi dengan isolator. Namun tetap terjadi perpindahan panas yang menyebabkan terjadinya kondensasi sebagian kecil steam dalam pipa. *Steam condensate* yang terbentuk harus dikeluarkan dari pipa untuk mencegah *hammering* yang dapat merusak peralatan. Peralatan yang digunakan untuk memisahkan embunan dari *steam* adalah *steam trap*.

Selama ini embunan yang keluar dari *steam trap* dibuang ke lingkungan. Selain itu, kondisi sebagian *steam trap* di pabrik Amoniak P-IB tidak terlalu baik, sehingga embunan yang keluar *steam trap* tidak hanya berasal dari kondensasi steam akibat kehilangan panas secara alami, namun juga karena kualitas *steam trap* yang kurang baik. Kualitas embunan, ditinjau dari komposisi dan nilai panas masih sangat layak sebagai air umpan boiler. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian tentang pemanfaatan embunan keluaran *steam trap* sebagai air umpan boiler di PT. Pusri. Diharapkan dari kajian ini dapat diketahui laju kondensasi steam di sepanjang pipa dan kelayakan ekonomi pemanfaatan *steam condensate* tersebut. Dalam kajian ini, asumsi yang digunakan adalah *steam trap* dalam kondisi baik.

Metode Penelitian

Proses kehilangan panas aliran *steam* dalam pipa dapat dilihat pada gambar 1. Asumsi yang digunakan dalam studi ini adalah *steam* mengalir dalam kondisi *steady state*. Pada gambar 1, pipa yang dilapisi dengan isolator dialiri *steam* dengan suhu T_s dan terjadi terjadi proses perpindahan panas dari bagian dalam pipa steam ke lingkungan (T_a).



Gambar 1. Skema pipa dengan isolasi

Proses perpindahan panas yang terjadi melalui beberapa tahap (Kern, 1983) :

1. Perpindahan panas dari steam ke bagian dalam pipa (T_s ke $T_{s'}$)

$$q_p = \pi h_s D_s' (T_s - T_{s'}) \quad (1)$$

2. Perpindahan panas dari bagian dalam pipa ke bagian luar pipa ($T_{s'}$ ke $T_{s''}$)

$$q_p = \frac{2\pi k_c}{2,3 \log \left(\frac{D_{s''}}{D_{s'}} \right)} (T_{s'} - T_{s''}) \quad (2)$$

3. Perpindahan panas dari bagian luar pipa ke luar isolasi ($T_{s''}$ ke T_1)

$$q_p = \frac{2\pi k_b}{2,3 \log \left(\frac{D_s''}{D_{s''}} \right)} (T_{s''} - T_1) \quad (3)$$

4. Perpindahan panas dari bagian luar isolasi ke lingkungan (T_1 ke T_a)

$$q_p = \pi h_a D_1 (T_1 - T_a) \quad (4)$$

Bila persamaan (1), (2) dan (3) digabungkan menjadi persamaan (5).

$$T_s - T_a = q_p \left[\frac{1}{\pi h_s D_s'} + \frac{2,3}{2\pi k_b} \log \frac{D_s''}{D_{s''}} + \frac{2,3}{2\pi k_c} \log \frac{D_{s''}}{D_1} + \frac{1}{\pi h_a D_1} \right] \quad (5)$$

Bila tahap 1 dan 2 diabaikan karena perbedaan suhu antara T_s , $T_{s'}$ dan $T_{s''}$ sangat kecil, kehilangan panas yang timbul dari pipa ke lingkungan dapat dinyatakan dalam persamaan (6).

$$q_p = \frac{\pi(T_s - T_a)}{\frac{2,3}{2k_c} \log \frac{D_1}{D_s} + \frac{1}{h_a D_1}} \quad (6)$$

Nilai h_a dapat diperoleh dari grafik *Heat Transfer by convection dan radiation from horizontal pipes at temperature T_1 (surface of pipe) to air* (Kern, 1983).

Berdasarkan persamaan (6), setelah didapat nilai q dengan melakukan *trial and error* nilai T_s maka langkah selanjutnya adalah menghitung nilai panas *steam* yang hilang saat terjadi kondensasi, sesuai persamaan (7).

$$q_s = H_g - H_f \quad (7)$$

Sehingga laju kondensasi *steam* akibat kehilangan panas sepanjang aliran di pipa dapat dihitung dengan persamaan (8).

$$q_c = \frac{q_p}{q_s} \quad (8)$$

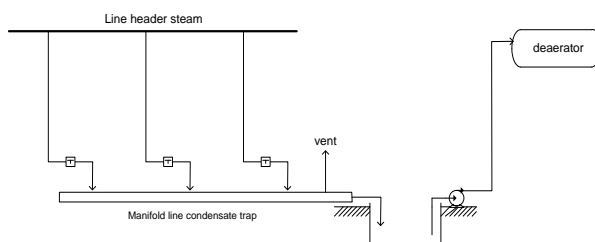
Parameter yang divariasikan pada kajian ini adalah diameter pipa dan tebal isolasi untuk tekanan *steam* sebesar 123, 42 dan 3,5 kg/cm^2 gauge. Panjang pipa untuk masing-masing

diameter didapatkan dari data *isometric flow* Pabrik Amoniak P-IB (PT. Pusri, 1992).

Nilai penghematan akibat pengembalian *steam condensate* sebagai air umpan boiler diestimasi berdasarkan penghematan biaya produksi air demin dan penghematan bahan bakar karena adanya perbedaan nilai kalor antara *steam condensate* dan air umpan boiler. Penambahan nilai kalor dihitung dengan menggunakan persamaan (9).

$$Q_{sc} = mC_p(T_{sc} - T_f) \quad (9)$$

Sketsa modifikasi pemanfaatan *steam condensate* sebagai air umpan boiler dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Sketsa modifikasi pemanfaatan *steam condensate*

Hasil dan Pembahasan

Kajian ini bertujuan untuk memanfaatkan embunan keluaran *steam trap* sebagai air umpan boiler di PT. Pusri. Berdasarkan model matematis yang disusun, dapat ditentukan laju kondensasi steam bertekanan 123, 42 dan 3,5 kg/cm² gauge pada pipa yang ditampilkan pada Tabel 1, 2 dan 3.

Tabel 1. Perhitungan laju kondensasi steam bertekanan 123 kg/cm² gauge

Tekanan steam (kg/cm ² -g)	123			
Temperatur steam (°C)	510			
Nominal pipe size (inch)	18	14	12	10
Tebal isolasi (inch)	laju kondensasi steam (kg/hr-m)			
1	3,250	2,597	2,255	1,912
1,5	2,353	1,883	1,642	1,400
2	1,867	1,500	1,313	1,125
2,5	1,561	1,259	1,106	0,952
3	1,350	1,093	0,963	0,832
3,5	1,195	0,971	0,858	0,745
4	1,076	0,878	0,778	0,678

Berdasarkan Tabel 1 sampai dengan Tabel 3, terlihat bahwa bila diameter pipa semakin besar maka laju kondensasi *steam* per satuan panjang akan semakin besar. Selain itu, bila tebal isolasi semakin besar maka laju kondensasi *steam* per satuan panjang akan semakin kecil. Hal ini sesuai dengan teori yaitu bila diameter pipa semakin

besar, maka luas permukaan pipa per satuan panjang pipa juga semakin besar, sehingga panas hilang ke lingkungan juga semakin banyak. Demikian juga dengan tebal isolasi; semakin tebal isolasi maka panas hilang ke lingkungan semakin sedikit, sehingga *steam condensate* yang terjadi juga semakin sedikit.

Tabel 2. Perhitungan laju kondensasi steam bertekanan 42 kg/cm² gauge

Tekanan steam (kg/cm ² -g)	42					
Temperatur steam (°C)	400					
Nominal pipe size (inch)	20	12	10	8	6	4
Tebal isolasi (inch)	laju kondensasi steam (kg/hr-m)					
1	2,457	1,629	1,395	1,137	0,913	0,661
1,5	1,781	1,190	1,024	0,838	0,682	0,503
2	1,414	0,951	0,822	0,677	0,556	0,416
2,5	1,180	0,801	0,695	0,576	0,476	0,370
3	1,019	0,697	0,608	0,506	0,421	0,322
3,5	0,900	0,621	0,543	0,455	0,380	0,294
4	0,811	0,563	0,493	0,415	0,349	0,272

Tabel 3. Perhitungan laju kondensasi steam bertekanan 3,5 kg/cm² gauge

Tekanan steam (kg/cm ² -g)	3,5					
Temperatur steam (°C)	150					
Nominal pipe size (inch)	14	12	10	8	6	4
Tebal isolasi (inch)	laju kondensasi steam (kg/hr-m)					
1	0,557	0,500	0,428	0,340	0,281	0,204
1,5	0,410	0,370	0,318	0,256	0,212	0,157
2	0,329	0,298	0,257	0,209	0,174	0,131
2,5	0,277	0,251	0,218	0,179	0,150	0,114
3	0,241	0,219	0,191	0,158	0,133	0,102
3,5	0,215	0,196	0,171	0,142	0,120	0,093
4	0,194	0,177	0,155	0,130	0,110	0,086

Tekanan steam yang digunakan juga berpengaruh terhadap laju kondensasi. Semakin tinggi tekanan *steam* maka laju kondensasi semakin besar. Kenaikan laju kondensasi ini dapat dijelaskan berdasarkan suhu *steam*. Semakin tinggi tekanan *steam* yang digunakan maka suhu *steam* juga semakin tinggi, sehingga panas yang hilang ke lingkungan juga semakin besar. Hal ini dikarenakan beda suhu *steam* dengan suhu lingkungan yang semakin besar.

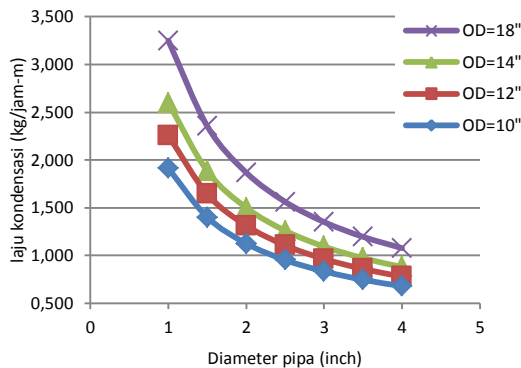
Berdasarkan data pada Tabel 1 sampai dengan Tabel 3 dapat dibuat grafik hubungan antara laju kondensasi *steam* terhadap variasi tekanan *steam* dan diameter pipa seperti ditunjukkan pada Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5.

Hubungan antara tebal isolasi dan diameter pipa dengan laju kondensasi *steam* pada berbagai tekanan *steam* berdasarkan grafik pada Gambar 3 sampai dengan 5 dapat dinyatakan dalam suatu persamaan tiga variabel. Persamaan matematis hubungan tebal isolasi, diameter pipa dan laju kondensasi *steam* dengan menggunakan metode

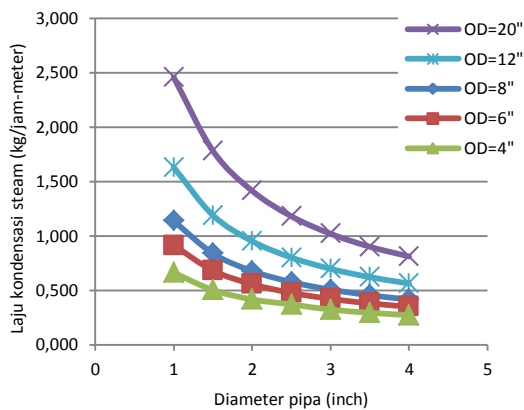
interpolasi dan dinyatakan seperti persamaan (10).

$$q_c = A \cdot x^B \tag{10}$$

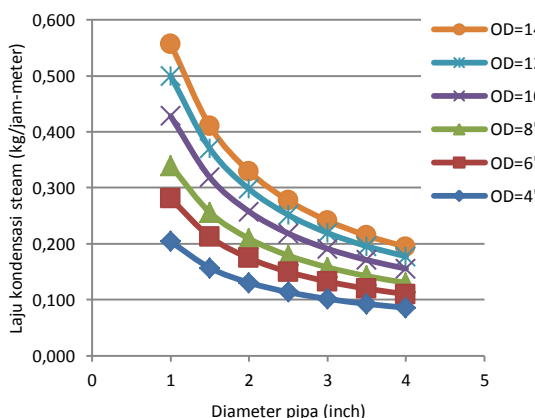
dengan A dan B merupakan fungsi diameter pipa serta x adalah tebal isolasi (dalam satuan inch).



Gambar 3. Hubungan antara tebal isolasi, diameter pipa dengan laju kondensasi pada tekanan steam 123 kg/cm² dan suhu steam 510°C



Gambar 4. Hubungan antara tebal isolasi, diameter pipa dengan laju kondensasi pada tekanan steam 42 kg/cm² dan suhu steam 400°C



Gambar 5. Hubungan antara tebal isolasi, diameter pipa dengan laju kondensasi pada tekanan steam 3,5 kg/cm² dan suhu steam 150°C

Untuk *steam* bertekanan 123 kg/cm² gauge dan suhu 510°C, nilai A dan B masing-masing dapat dinyatakan dalam persamaan (11) dan (12).

$$A = 0,168y + 0,22 \tag{11}$$

$$B = 0,0006y^2 - 0,0223y - 0,5837 \tag{12}$$

dengan y adalah diameter pipa nominal (dalam satuan inch). Sehingga persamaan laju kondensasi untuk *steam* bertekanan 123 kg/cm² gauge dan suhu 510°C dapat ditulis seperti persamaan (13).

$$q_c = (0,168y + 0,22)x^{(0,0006y^2 - 0,0223y - 0,5837)} \tag{13}$$

Nilai A dan B untuk *steam* bertekanan 42 kg/cm² gauge dan suhu 400°C masing-masing dapat dinyatakan seperti persamaan (14) dan (15).

$$A = 0,121y + 0,171 \tag{14}$$

$$B = 0,0015y^2 - 0,0394y - 0,5071 \tag{15}$$

dengan y adalah diameter pipa nominal (dalam satuan inch). Persamaan laju kondensasi untuk *steam* bertekanan 42 kg/cm² gauge dan suhu 400°C adalah seperti pada persamaan (16).

$$q_c = (0,121y + 0,171)x^{(0,0015y^2 - 0,0394y - 0,5071)} \tag{16}$$

Nilai A dan B untuk *steam* bertekanan 3,5 kg/cm² gauge dan suhu 150°C masing-masing dapat dinyatakan dalam persamaan (17) dan (18).

$$A = 0,036y + 0,058 \tag{17}$$

$$B = 0,008y^2 - 0,288y - 0,5207 \tag{18}$$

dengan y adalah diameter pipa nominal (dalam satuan inch). Sehingga persamaan laju kondensasi untuk *steam* bertekanan 3,5 kg/cm² gauge dan suhu 150°C dapat dinyatakan dalam persamaan (19).

$$q_c = (0,036y + 0,058)x^{(0,008y^2 - 0,288y - 0,5207)} \tag{19}$$

Persamaan-persamaan ini dibatasi pada tekanan dan suhu *steam* di pabrik Amoniak P-IB serta kondisi iklim yang terjadi di Indonesia.

Usaha optimalisasi dapat dilakukan dengan menghitung rasio antara laju kondensasi terhadap panjang pipa. Dari data *isometric drawing* Pusri IB diperoleh hasil perhitungan rasio laju kondensasi terhadap panjang pipa seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Rasio laju kondensasi terhadap panjang pipa

Jenis Steam	Laju kondensasi per panjang pipa (kg/jam-m)	Rata-rata tebal isolasi (in)
3.5 kg/cm ²	0.311489823	1.78
42 kg/cm ²	0.873315631	1.86
123 kg/cm ²	0.987839144	4.00

Tabel 5. Nilai penghematan pemanfaatan *steam condensate* sebagai air umpan boiler setiap tahun.

1. Pengolahan air demin	= 6344 ton x USD 2,46/ton	= USD 15.606
2. Penghematan bahan bakar		
ΔT embunan dengan air demin	= 40 °C	
Nilai panas embunan	= 1007 MMBTU	
Efisiensi boiler	= 85 %	
Penghematan bahan bakar	= 1185 MMBTU	
Harga gas alam (per MMBTU) Tahun 2013	= USD 5,524	
Nilai penghematan bahan bakar		= USD 6.545
Total penghematan biaya (1 dan 2) sebesar		= USD 22.151
atau = Rp 214.864.700,- per tahun (kurs Rp 9.700/USD)		
Perkiraan biaya investasi meliputi pembelian dan instalasi pompa, pipa dan tangki penampung sebesar Rp 194.317.000,-. (referensi Departemen RBP PT. Pusri).		
<i>Simple Payback Period</i>	= $\frac{\text{Rp } 194,317,000}{\text{Rp } 214,864.700/\text{tahun}}$	= 0,90 tahun

Optimasi yang dapat dilakukan berdasarkan pada Tabel 4 adalah dengan menambah isolasi pada pipa dengan tekanan 42 kg/cm² gauge. Alasannya adalah laju kondensasi per panjang pipa yang cukup besar pada tekanan 42 kg/cm² gauge. Selain itu penambahan isolasi pipa masih memungkinkan karena pipa berisolasi rata-rata memiliki ketebalan di bawah 2 inch sehingga dapat menekan laju kondensasi *steam*.

Dengan memperhatikan kondisi aktual saat ini tanpa adanya optimasi pada penambahan ketebalan isolasi, dapat dihitung perkiraan penghematan akibat pemanfaatan embunan dari *steam trap*. Estimasi jumlah *steam condensate* yang terbentuk di pabrik Amoniak P-IB (memperhitungkan pipa *steam* bertekanan 123, 42 dan 3,5 kg/cm² gauge) sebesar 1001,27 kg/jam atau setara 7930 ton/tahun (*on stream days* : 330 hari). Jumlah *steam condensate* yang terbentuk berdasarkan asumsi bahwa *steam trap* dalam kondisi baik sehingga ada potensi penambahan jumlah embunan dengan mempertimbangkan kondisi *steam trap* saat ini.

Asumsi jumlah *steam condensate* yang dimanfaatkan sebagai air umpan boiler sebesar 80 persen dari jumlah *steam condensate* yang terbentuk atau sebesar 801,01 kg/jam, yang setara 6344 ton/tahun (*on stream days* : 330 hari), sehingga nilai penghematan pemanfaatan *steam condensate* sebagai air umpan boiler setiap tahun dapat dihitung seperti dalam Tabel 5.

Pemanfaatan *steam condensate* berdasarkan perhitungan ekonomi (*payback period*) cukup menjanjikan. Permasalahan muncul pada kualitas air umpan boiler apabila ditambahkan umpan embunan dari *steam trap*. Kualitas air umpan boiler dapat mengalami perubahan dengan bertambahnya jumlah Fe. Analisa kandungan Fe dalam embunan kurang dari 10 ppm. Debit embunan dari *outlet steam trap* sebagai umpan air boiler sangat kecil dibandingkan kebutuhan

air umpan boiler sekitar 250 ton/jam sehingga kandungan Fe dalam umpan boiler masih dalam batasan yang diijinkan (maksimum 0,5 ppm).

Kesimpulan

Laju kondensasi *steam* merupakan fungsi tebal isolasi dan diameter pipa. Dari hasil perhitungan laju kondensasi *steam* dan nilai investasi pemanfaatan embunan dari *outlet steam trap* di Pabrik Amoniak P-IB sebagai air umpan boiler, maka hasil kajian ini layak untuk dapat diterapkan.

Daftar Notasi

q_c	= laju kondensasi <i>steam</i> [kg/hr-m]
q_p	= nilai panas yang hilang karena aliran fluida [kJ/hr-m]
q_s	= nilai panas <i>steam</i> yang hilang akibat kondensasi [kJ/kg]
T_s	= suhu <i>steam</i> [K]
T_{sc}	= suhu <i>steam condensate</i> [K]
T_f	= suhu air umpan boiler [K]
T_a	= suhu lingkungan [K]
k_c	= <i>thermal conductivity</i> isolasi [kJ/(hr)(m ²)(K/m)]
h_a	= <i>surface coefficient of heat transfer</i> [kJ/(hr)(m ²)(K)]
D_1	= diameter pipa berisolasi [m]
D_s''	= outside diameter pipa <i>steam</i> [m]
H_g	= enthalpi <i>superheated steam</i> [kJ/kg]
H_f	= enthalpi <i>saturated steam</i> [kJ/kg]
m	= massa embunan yang terbentuk [kg]
C_p	= kapasitas panas air [kJ/kg-K]
x	= tebal isolasi [inch]
y	= nominal diameter pipa [inch]

Daftar Pustaka

- Kern, DQ, 1983. Process Heat Transfer, McGraw-Hill Book Company, Japan
- PT. Pusri, 1992. Isometric Diagram Ammonia Plant P-IB
- PT. Pusri, 1975. Final Job Specifications For Expansion Urea Facilities