

PENGAJIAN PENUKAR PANAS MODEL PIPA KALOR PADA SIMULASI SISTEM PENDINGIN
REAKTOR TRIGA MARK II BANDUNG.

Suryawinata.

Pusat Penelitian Teknik Nuklir

ABSTRAK

Penukar panas merupakan salah satu komponen sangat penting dalam sistem pendingin reaktor. Unjuk kerja alat tersebut menentukan batas maksimum daya reaktor. Dalam upaya turut membantu memecahkan persoalan pemeliharaan penukar panas yang digunakan di Reaktor TRIGA maka dalam makalah ini dicoba mengembangkan penukar panas dengan sistem pipa kalor. Sistem ini dapat bekerja pada suhu tetap dengan daya pompa rendah, lebih berdaya guna dan mudah perawatannya. Struktur pipa kalor terdiri dari suatu tabung tertutup pada kedua ujungnya. Pada permukaan dalam tabung dililitkan sumbu kasa sebagai medium porous. Kedalam tabung tersebut dimasukan zat pendingin secukupnya. Operasi sistem pipa kalor ini mempunyai tiga daerah yaitu, daerah evaporasi daerah adiabatik dan daerah kondensasi. Penukar panas model pipa kalor ini bekerja berdasarkan proses penguapan dan pengembunan. Proses penguapan merupakan proses penyerapan panas terjadi pada daerah evaporator sedangkan proses pengembunan merupakan proses pelepasan panas pada daerah kondenser. Kemampuan transmisi panas disebabkan sirkulasi aliran fluida dalam pipa kalor. Sumbu kasa disini berfungsi sebagai jalan kembalinya fluida kerja dari kondensor ke evaporator. Penukar panas ini didisain untuk bisa menyerap panas masukan 31,80 kW. Efisiensi penukar panas maksimum 95% untuk panas masukan 21,60 kW dan laju alir 0,25 m³ per menit pada sistem primer dan 0,59 m³ per menit pada sistem sekunder dan keluaran maksimum pada bagian kondensor 20,50 kW. Sistem pipa kalor ini mempunyai daerah evaporasi 0,5 m daerah kondensasi 0,50 m, dan daerah adiabatik 0 m. Sistem ini merupakan metoda yang baik untuk mentransmisikan panas dari suatu tempat ke tempat lainnya.

ABSTRACT

Heat exchangers are very important components in reactor cooling system. Its performance indicates the maximum power limit of the reactor. In an attempt striving to solve maintenance problem of heat exchangers used in TRIGA reactor this paper describes the development of vaporization heat pipe system of heat exchangers. This system can operate at constant temperature with lower power pump and it is supposed to be more efficient and its maintenance is easy. Heat pipe system consists of a closed tube at both ends. A porous capillary wicking structure is attached to the internal surface of the tube. Refrigerant is introduced into the tube sufficiently. Operation of heat pipe system has three regions namely evaporation region, adiabatic region and condensation region. The operation of this heat exchangers of heat pipe system is based on evaporation and condensation process. Evaporation process is a process of heat absorption that occurs in the evaporation region whereas condensation process is heat discharge in condensation region. Capability of heat transmission is due to fluid circulation in the heat pipe. The function of the porous wick structure is to direct the working fluid from condenser to evaporator. This heat exchanger was designed to absorb 31.8 kW heat input. It has a maximum efficiency of 95% for 21.60 kW heat input and has a flow rate of 0.25 cubic meter/minute and 0.59 cubic meter/minute respectively for primary and secondary system. The maximum output at condenser region is 20.50 kW. This system has an evaporation region 0.50 m, condensation region 0.50 m and an adiabatic region 0 m. This system represents a good technique to transmission of heat from one place to another.

PENDAHULUAN

Dalam sistem pendingin reaktor nuklir, bahan pendingin harus menyingkirkan panas dari bahan bakar, perisai panas, bejana reaktor dan sebagainya, kemudian memindahkan panas ini ke bahan pendingin sekunder atau ke fluida kerja dalam pesawat penukar panas. Penukar panas merupakan salah satu komponen yang sangat penting dalam sistem pendingin reaktor. Untuk kerja alat tersebut akan menentukan batas maksimum daya reaktor. Penukar panas yang lazim digunakan dalam sistem pendingin reaktor adalah jenis recuperator yang bentuk dan macamnya sangat bervariasi. Kedua fluida dipisahkan dengan suatu sekat atau dinding yang akan dilewati energi yang akan dipindahkan. Disini dicoba mengembangkan suatu penukar panas yang dapat bekerja pada suhu tetap dengan daya pompa lebih rendah, lebih berdaya guna dan mudah perawatannya.

Di PPTN kini telah dibangun instalasi sistem pendingin yang merupakan simulasi sistem pendingin reaktor TRIGA dengan menggunakan penukar panas yang dilengkapi dengan pipa kalor. Penukar panas yang akan diteliti adalah penukar panas model pipa kalor yang prinsipnya berbeda dengan penukar panas jenis recuperator. Model ini dipilih karena metoda ini adalah merupakan metoda baru sekalipun fenomena transport telah dikenal secara umum pada perpindahan panas dan aliran fluida, namun aplikasinya sebagai penukar panas adalah hal yang baru, sehingga penampilannya baik sifat pembawaan panasnya maupun efisiennya perlu diteliti.

Penukar panas model pipa kalor ini beroperasi pada siklus tertutup, yang bekerja berdasarkan proses penguapan dan pengembunan. Proses penguapan yang merupakan proses penyerapan panas terjadi pada daerah evaporator sedangkan proses pengembunan yang merupakan proses pelepasan panas, terjadi pada daerah kondensor. Struktur pipa kalor terdiri dari tabung tertutup dimana pada permukaan dalam tabung dililitkan sumbu kasa. Transmisi panas terjadi karena sirkulasi fluida kerja di dalam tabung. Sebagai fluida kerja dalam penelitian ini dipilih amonia sedangkan sumbu kasa yang digunakan adalah baja tahan karat.

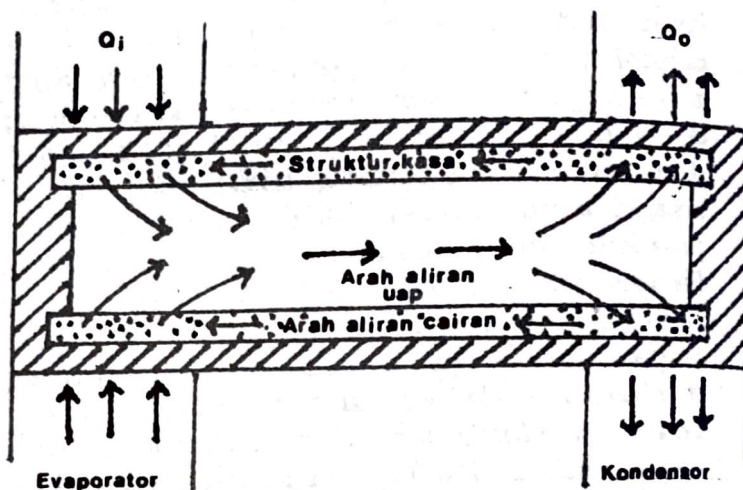
Pada bab selanjutnya akan dibahas masalah yang menyangkut struktur pipa kalor, sifat fisik serta masalah yang menyangkut material sistem pipa kalor, proses-proses yang terjadi pada pipa kalor beserta teori yang mendukung proses tersebut, perencanaan dan instalasi serta pengujian.

TEORI dan PERENCANAAN

1. Komponen Pipa Kalor

Sistem pipa kalor terdiri dari suatu tabung tertutup serta di dalamnya dilengkapi dengan medium porous yang mempunyai sifat kapiler dan rongga uap.

Skema dari sistem pipa kalor dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Skema sistem pipa kalor

Medium berpori yang terdapat pada sistem pipa kalor gunanya untuk proses perpindahan cairan secara alamiah. Proses ini berlangsung dari kondensor ke daerah evaporator. Proses tersebut disebabkan karena adanya panas masukan pada daerah evaporator, mengakibatkan berkurangnya fasa cair pada evaporator. Dengan berkurangnya jumlah fasa cair di daerah tersebut maka tekanan kapiler di daerah tersebut akan membesar maka akan timbul perembesan cairan dari kondensor ke daerah evaporator. Pada rongga uap akan terjadi proses aliran uap dari evaporator menuju daerah kondensor. Proses ini terjadi akibat terjadinya proses penguapan cairan pada evaporator dan uap tersebut akan mengembun di daerah kondensor secara alamiah. Jadi fluida kerja dari sistem pipa kalor berada pada keadaan jenuh. Disini medium berpori merupakan suatu jalan bagi cairan untuk kembali dari kondensor ke evaporator.

Dengan melihat hal tersebut diatas maka jenis dari sistem pipa kalor, akan ditentukan oleh bentuk struktur medium berpori yang dipakai. Dalam makalah ini yang digunakan ialah sistem sumbu kasa. Sistem ini dapat beroperasi pada daerah suhu sedang dan rendah.

2. Bahan-bahan

Material sistem pipa kalor terdiri dari bahan pipa dan struktur kasa sebagai medium berpori. Oleh karena setiap material mempunyai sifat fisik dan kimia yang berbeda-beda maka untuk menentukan material yang akan dipakai perlu melakukan saringan atas dasar kebutuhan, efisiensi, pertimbangan sifat fisik dan kimia serta biaya. Selain itu diperhatikan pula kesanggupan material untuk beroperasi dengan fluida kerja. Sifat ini dapat mempengaruhi terjadinya proses korosi dan lain-lain. Bahan yang dapat dipergunakan untuk pipa kalor diantaranya, Fe, Ni, Ti, Baja Tahan karat dan Cu. Penelitian yang cukup luas sudah banyak dilakukan menyangkut penyajian kesanggupan beroperasi dari suatu material dengan fluida kerja.

Disamping sifat-sifat diatas, masih ada masalah yang harus diteliti yaitu :

- sifat terhadap temperatur
- sifat terhadap tekanan
- sifat-sifat fisis lainnya, seperti konduktivitas panas, serta dimensi.

Dalam penggunaannya perlu mengetahui temperatur maksimum yang mampu diterima oleh material sistem, agar tidak terjadi perubahan struktur material. Untuk analisa ini perlu mengetahui temperatur kristalisasi kembali dari material yang akan dipakai pada sistem kalor tersebut.

Sifat terhadap tekanan dapat ditinjau dari diagram daerah kerja suatu material dengan menggunakan Hk, Hooke. Hal tersebut penting sekali dalam perencanaan karena diinginkan struktur pipa kalor tidak akan berubah.

Faktor konduktivitas bahan menentukan penurunan temperatur yang akan terjadi pada proses perpindahan panas melalui material pipa kalor.

3. Fluida Kerja

Fluida kerja dalam sistem transmisi panas pada pipa kalor ini, merupakan faktor penting yang dapat menentukan daerah kerja dari sistem tersebut. Setiap fluida kerja mempunyai sifat-sifat fisis yang berbeda-beda, misalnya titik didih dan titik embun yang berbeda-beda. Hal ini mengakibatkan panas laten dari fluida tersebut akan berbeda-beda pula, oleh karena itu sifat fluida kerja akan menentukan klasifikasi pipa kalor tersebut, apakah sistem pipa kalor akan beroperasi pada daerah suhu sedang, suhu rendah atau tinggi. Dari fluida kerja ini banyak hal yang perlu dikaji sesuai dengan kaitannya terhadap transmisi panas yaitu konduktivitas

panas, temperatur, tekanan dan kekentalan serta faktor gesekan.

Seperti telah dibahas dimuka bahwa pada sistem pipa kalor ini menggunakan cairan dan uap pada keadaan jenuh. Cairan fluida kerja akan terdistribusi pada struktur kasa dan pada rongga uap akan mengalir uap dengan kecepatan cukup tinggi. Aliran uap dan cairan mengalir dalam arah yang berbeda dan mempunyai beda kecepatan yang tinggi mengakibatkan pada tapal batas uap dan cairan akan terjadi efek gesekan yang dapat mempengaruhi sistem secara keseluruhan.

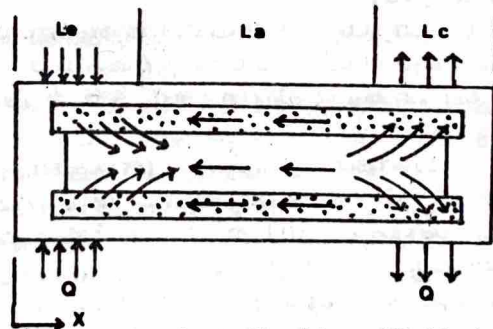
Mengingat sistem pipa kalor akan beroperasi pada masing-masing keadaan, maka perlu mengetahui sifat-sifat fisis dari fluida kerja untuk beberapa keadaan. Daerah embun dan daerah didih akan menentukan daerah kerja pipa kalor.

Aliran fluida kerja dipengaruhi oleh viskositas dan koefisien gesekan fluida. Dalam transmisi panas faktor konduktivitas fluida kerja perlu diketahui.

Keadaan beberapa fluida kerja yang berhubungan dengan sistem pipa kalor dalam bentuk grafis dapat dilihat dari

4. Cara Kerja Sistem Pipa Kalor

Untuk menganalisa sifat pembawaan panas pada pipa kalor, perhatikan skematik aliran fluida kerja pada gambar 2.



Gambar 2. Skematik aliran fluida kerja.

Pada gambar 2. dapat dilihat bahwa ada 3 bagian daerah pada sistem pipa kalor, yaitu evaporator, daerah adiabatik dan daerah kondensor.

Pada daerah evaporator diberikan masukan panas dari luar. Pemberian panas ini akan menyebabkan terjadinya perubahan fasa cairan yang terdapat pada struktur sumbu kasa menjadi fasa uap. Proses ini berlangsung sangat merata, dimana masukan panas tersebut akan menimbulkan gradien temperatur pada bagian evaporator. Akibat panas ini, maka secara bertahap akan terjadi proses penguapan dimana panas yang diserap merupakan panas laten penguapan. Dengan terjadinya perubahan fasa cairan, maka cairan pada struktur kasa di daerah tersebut,

berkurang jika dibandingkan dengan daerah lainnya. Sesuai dengan sifat Kapiler pada medium berpori, mengakibatkan membesarnya tekanan kapiler pada daerah tersebut. Tekanan kapiler ini akan mengisap cairan yang berada pada daerah lainnya untuk bergerak kearah evaporator, maka akan berlangsung proses aliran cairan dari kondensor kearah evaporator.

Sebaliknya uap yang timbul pada bagian evaporator tadi akan bergerak kearah kondensor disebabkan oleh tekanan pada evaporator lebih besar dari pada daerah kondensor.

Pada kondensor ini fasa uap akan berubah secara alamiah menjadi fasa cairan, karena kondisi uap mencapai keadaan jenuh. Proses pengembunan ini akan menyebabkan terjadinya pembebasan panas. Proses transmisi panas tersebut diatas akan berlangsung terus, selama proses aliran cairan dari kondensor ke evaporator berjalan secara kontinu serta harga limit panas tidak dilewati.

Proses pengembunan cairan dari daerah kondensor ke evaporator sebenarnya mempunyai beberapa batasan yaitu :

1. Dapat dipertahankannya tekanan kapiler yang cukup pada medium berpori untuk menarik cairan dari daerah kondensor ke daerah evaporator.
2. Terpenuhiya batasan-batasan sifat aliran uap yang cukup, sehingga kondisi aliran denyut tidak terjadi.
3. Tidak terganggunya arah aliran cairan, akibat adanya gaya gesekan antara gerakan uap yang cepat dengan gerak aliran yang sangat lambat pada struktur sumbu.
4. Dapat berlangsungnya proses penguapan pada bagian tapal batas cairan dan uap, karena proses penguapan diluar tapal batas akan menyebabkan timbulnya gelembung uap, yang menghambat kelancaran aliran fluida.

Dengan memperhatikan batasan tersebut diatas, maka diharapkan aliran cairan dari kondensor ke evaporator berlangsung secara kontinu serta proses transmisi panas dapat berjalan dengan baik.

Aliran fluida dalam struktur kasa, aliran uap dan tekanan kapiler dianalisa dengan menggunakan model analitis yakni dengan menganalisa efek-efek yang mempengaruhinya. Efek-efek yang mempengaruhinya yakni efek grafitasi, efek gesekan dan efek variasi tekanan, lihat reference (7).

5. Panas masukan maksimum pada sistem pipa kalor.

Untuk proses transmisi panas yang baik, tekanan kapiler harus dapat mempertahankan berlangsungnya perpindahan cairan dari kondensor ke

evaporator. Karena masukan berupa panas, maka harus dicari hubungan tekanan kapiler dengan panas agar dapat ditentukan panas maksimum yang diperkenankan. Dalam hal ini panas masukan pada evaporator. karena masukan berupa panas, maka harus dicari hubungan tekanan kapiler dengan panas agar dapat ditentukan panas maksimum yang diperkenankan. Dalam hal ini panas masukan pada evaporator diasumsi seragam keseluruh permukaan evaporator.

Panas masukan yang diperbolehkan dapat diturunkan dari hubungan antara tekanan kapiler, pengaruh gaya grafitasi, penurunan tekanan cairan dan penurunan tekanan uap yang diberikan oleh persamaan (7).

$$q_{\max} = \frac{2\sigma(\cos \phi) / (\rho c p) + \rho l (g/g_0)(l_c + l_e + l_a)}{1 / (g_0 h f g) + \frac{V l}{27 k_v \delta_{nk} \phi} + \frac{8 F_m V_v}{\rho (c v)^4} + \frac{l_c l_e}{2} + l_a} \dots \dots \dots \text{(Pers. 1)}$$

dimana :

- a) tanda + berarti diambil + bila kemiringan poros pipa kalor sedemikian rupa sehingga aliran fluida dalam sumbu kasa arah kebawah dari kondensor ke evaporator. Diambil tanda - bila arah aliran keatas.
- b) δ_{nk} = tebal bahan sumbu
- c) ϕ = sudut kontak cairan. Faktor $\cos \phi$ dapat dianggap satu untuk bahan sumbu kasa yang mempunyai kebiasaan sempurna, dimana sudut kontak cairan sama dengan nol.
- d) Faktor F_m adalah faktor yang dapat disesuaikan yang dapat berharga satu untuk penampang rongga uap A cukup besar sehingga komponen momentum penurunan tekanan uap dapat diabaikan / dibandingkan dengan gesekan fluida.
- e) Suku pertama dan kedua pada pembilang persamaan (1) masing-masing menunjukkan tekanan kapiler dan pengaruh gaya berat, sedangkan suku pertama dan kedua pada penyebut persamaan (1) menunjukkan masing-masing penurunan tekanan aliran laminer fluida karena gesekan dan penurunan tekanan uap dalam ruang uap dari ujung evaporator sampai ujung kondensor. Daerah berlakunya persamaan (1) dibatasi oleh struktur dan porositas sumbu dimana struktur sumbu relatif tipis. $\delta_{nk} \leq 0,0003 \text{ ft}$ atau $0,0001 \text{ m}$

dan relatif porous > 70,70.

Dalam batas daerah tersebut diatas maka uap yang dihasilkan didalam sumbu dilepaskan pada rongga uap melalui porositas sumbu dalam arah tegak lurus dinding evaporator. Dengan mengabaikan kontribusi penurunan tekanan cairan, hasilnya sesuai dengan penelitian Corman dan Walmet. Untuk $\sum_{WR} > 0,003$ ft atau porositas lebih rendah maka uap yang mengalir melalui porositas, dapat mengganggu aliran cairan. Akibatnya penurunan tekanan cairan bertambah dan akan mengurangi harga q max dibawah harga yang diberikan oleh persamaan (1).

Dalam sumbu kasa fenomena selimut uap (dry out) dapat terjadi seperti halnya dalam kolom pendidihan. Bila kerapatan fluks panas lokal q" melampaui harga kritis q" crit maka aliran uap menjadi sedemikian besarnya yang akan mencegah jalan masuk cairan dimana gelembung-gelembung uap sedang terbentuk.

Fenomena ini sudah ada yang menyelidiki dengan seksama untuk permukaan halus dengan kolom pendidihan.

Pada proses penguapan dalam suatu sumbu ditemukan bahwa uap yang dibangkitkan dihasilkan bukan pada ruang batas sumbu uap tapi dalam pori-pori sumbu sehingga harus dilepaskan melalui pori-pori pada ruang uap.

Untuk kelas struktur sumbu, taksiran konservatif fluks panas kritis bisa diperoleh dari korelasi untuk permukaan halus dengan kolom pendidihan dengan menggunakan persamaan (7) :

$$(q''_{crit}) = Kh \left(\frac{p}{fg} \right)^{0,5} \left[\sqrt{\frac{g}{g_0}} \left(\frac{p}{p_0} - \frac{p}{p_1} \right) \right]^{0,25}$$

..... persamaan (2)

dimana :

k = konstanta yang terletak antara 0,10 - 0,19.

h

fg = panas laten penguapan

ρ_v = kerapatan uap.

ρ_l = kerapatan cairan

σ = tegangan permukaan cairan

g_0 = kecepatan gravitasi standard

Untuk aplikasi pipa kalor umumnya menggunakan batas fluks panas yang diberikan oleh pers.(1) karena lebih kecil daripada batas selimut uap.

Beberapa parameter yang perlu diketahui dalam persamaan (1) yaitu parameter sumbu kasa $r \cos/\cos$ dan K_p , sifat fluida (hfg , G, ρ_c, V_e, V_v) masing-masing dapat dilihat pada tabel, buku aliran, lihat reference (7).

6. PERENCANAAN.

Gambaran Umum

Bentuk penukar kalor sistem pipa kalor dapat dilihat pada gambar 3. Sebanyak 21 buah pipa kalor dari bahan SS disusun melingkar ditopang oleh 3 lempeng plat SS dikedua ujungnya dan dibagian tengahnya. Lempeng bagian tengah bertindak sebagai penyekat air pendingin dari sistem pendingin sekunder dengan air dari pendingin primer. Bagian untuk sistem pendingin sekunder disebut bagian kondensor sedangkan bagian untuk sistem sekunder disebut evaporator. Permukaan bagian dalam pipa kalor dilapisi kawat kasa sebagai medium berpori.

PEMILIHAN FLUIDA KERJA

Pipa kalor yang direncanakan mempunyai suhu kerja 50 derajat maka dengan melihat titik didih dan titik kritis dari berbagai macam fluida kerja yang dipilih adalah amonia, dengan pertimbangan sebagai berikut :

- Amonia (NH3) mempunyai titik didih dan kritis disekitar suhu kerja pipa kalor.
- Amonia banyak tersedia di pasaran
- Sifat-sifat Amonia sudah banyak data-datanya dibandingkan dengan fluida kerja lainnya yang mempunyai titik didih dan titik kritis disekitar suhu kerja.

BAHAN KONSTRUKSI PENUKAR KALOR

Material yang digunakan untuk penukar kalor dibuat dari bahan SS yang mana dapat beroperasi dengan fluida kerja amonia.

Penentuan diameter pipa kalor diperoleh dari persamaan :

$$S_o = p.d / 2 t \dots \dots \dots \text{pers. (22)}$$

dimana S_o = tegangan nominal bahan

p = tekanan

t = tebal dinding pipa kalor

d = diameter pipa kalor :

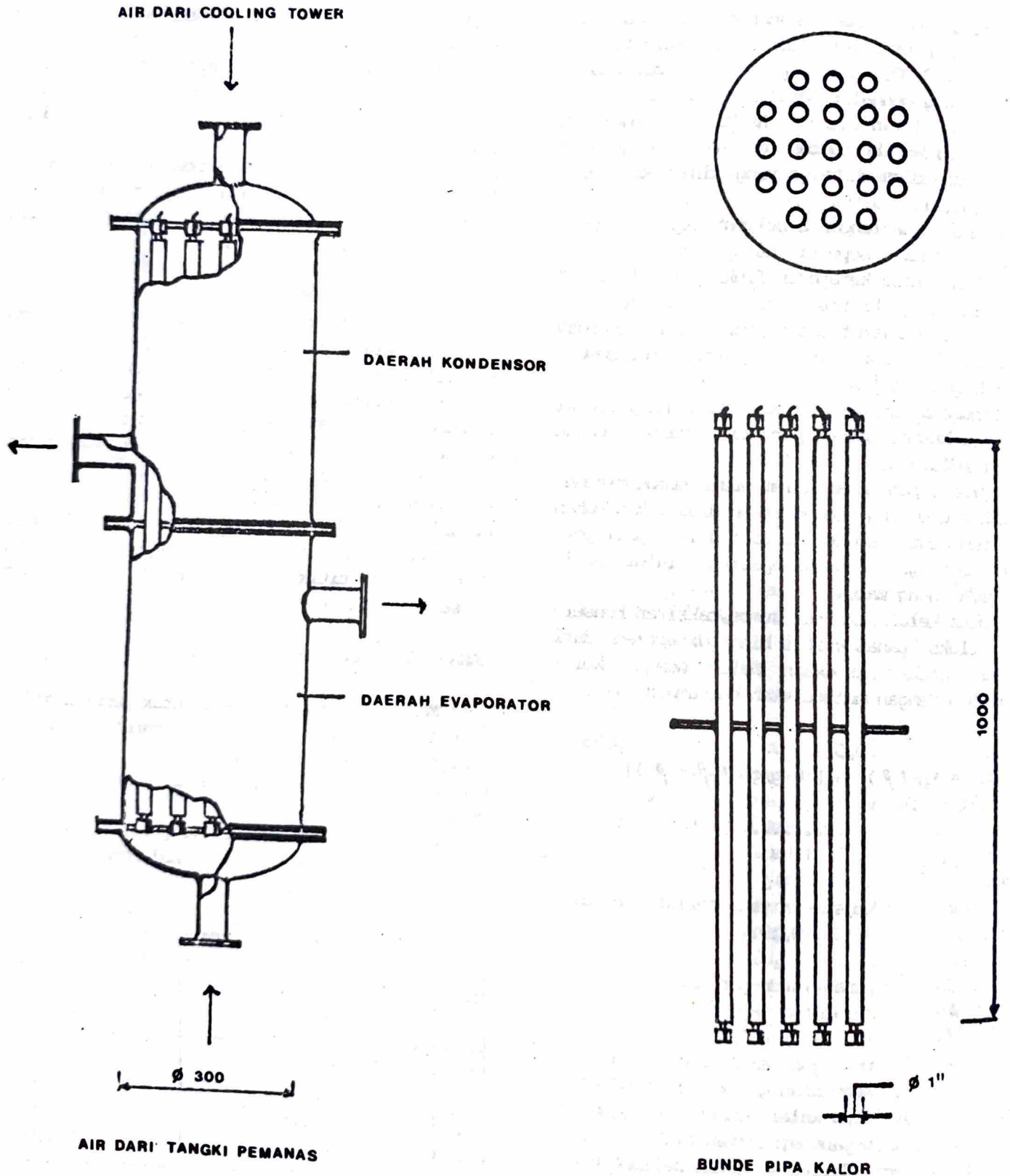
No.	d _i (mm)	d _o (mm)
1.	22,75	25,5
2.	23,00	27,00
3.	32,25	38,00
4.	45,00	50,00

d = diameter dalam

i

d = diameter luar.

o



Gambar 3 : Penukar panas sistem pipa kalor.

JUMLAH PIPA 21 BUAH Ø 1"
1/3 BAGIAN DI ISI AMONIAK

Spesifikasi Pipa Kalor

Bahan	: baja tahan karat SS 304
Diameter dalam	: 22,75 mm
Diameter luar	: 25,5 mm
Panjang total pipa	: 100 cm
Panjang total eva- porasi	: 50 cm
Panjang kondensor	: 50 cm
Banyaknya pipa	: 21 buah
Diameter "shell"	: 30 cm

- Medium berpori Yang Digunakan

Bagian dalam pipa kalor dilapisi kawat kasa dari bahan SS 304 sebanyak 2 lilitan, ukuran kawat kasa 100 jala-jala per inchi, tebal 0,125 mm.

PERHITUNGAN MASUKAN PANAS MAKSIMUM PADA EVAPO-
RATOR

Penukar panas sistem pipa kalor ini direncanakan dapat beroperasi pada temperatur sekitar 50 derajat Celsius atau 122 derajat Fahrenheit. Data-data sistem adalah sebagai berikut :

Jenis	Yang dipilih
Daerah kerja	Daerah suhu sedang
Jenis sumbu beroperasi	Sumbu tirai kasa
Fluida kerja	Amonia
Bahan pipa	SS 304
Temperatur operasi	120 F
Dimensi pipa	d = 22,75 mm i d = 25,5 mm o
Dimensi pori	N = 100 mesh -4 d = 4,1 . 10 ft L = 3,28 ft = 1 mm t
Jumlah pipa	21 buah

data-data fisis fluida kerja dan bahan sistem sebagai berikut :

Jenis	Simbol	Data
Tegangan permukaan	σ	0,001 lb/ft
Viskositas kinematik cairan	ν_e	2 0,0054 ft /hr
Viskositas kinematik uap	ν_v	2 0,028 ft /hr
Panas penguapan latent	h fg	455 Btu/lb

Rapat masa cairan	ρ	35,2 lb/ft ³
Percepatan gravitasi	g	32,174 ft /lb ² hr ²
Jari-jari kapiler/Cos	$r_p / \cos(\phi)$	3,8 . 10 ⁻⁴ ft
Sudut kemiringan	Sin θ	1
Jari-jari rongga uap	r	0,037 ft
Parameter sumbu	Kp	158.810 ft
Faktor Penyesuaian	F m	1
Tebal sumbu	Swk	3,28 . 10 ⁻⁴ ft
Panjang evaporator	Le	1,64 ft
Panjang kondensor	Lc	1,64 ft
Panjang adiabatik	La	0 ft

Masukan panas maksimum pada evaporator dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (9) dengan memasukkan data-data tersebut diatas diperoleh hasil 1,51 Kw/pipa kalor, karena ada 21 pipa maka panas masukan total menjadi 31,80 kw.

INSTALASI & PENGUJIAN

Seperti telah dikemukakan di muka bahwa sistem pendingin model pipa kalor ini, merupakan simulasi dari sistem pendingin reaktor TRIGA MARK II. Rangkaian instalasi sistem pendingin dapat dilihat pada gambar 4.

Sistem pendingin primer terdiri dari komponen-komponen tangki pemanas, pompa, rangkaian by pass, flow meter dan bagian evaporator penukar panas. Di dalam tangki pemanas dipasang heater untuk memanaskan air. Air disirkulasikan dengan

bantuan pompa air dengan daya 4 kW, sedangkan laju alirnya dapat diatur dengan menggunakan katup pengatur pada rangkaian by pass dimana laju alirnya dapat dibaca pada flow meter. Untuk mengukur temperatur masukan dan keluaran pada bagian evaporator dipasang termometer air raksa pada pipa alir.

Rangkaian pendingin sekunder terdiri dari menara pendingin pass, flow meter dan bagian

kondensor penukar panas pipa kalor. Seperti halnya pada pendingin primer maka laju alir dapat diatur dengan mengatur bukaan katup pada rangkaian by pass. Untuk mengetahui temperatur masukan dan keluaran pada bagian kondensor dipasang termometer air raksa pada pipa alir.

Perpindahan panas yang terjadi dari medium yang lebih panas ke medium lebih dingin berlangsung secara konveksi. Jadi dengan bervariasi laju alir/kecepatan fluida dapat dicari koefisien yang optimum maupun penurunan temperatur yang diinginkan.

2. Pengujian

- Maksud Percobaan.

Menentukan sifat pembawaan panas dan efisiensi penukar panas.

Alat yang digunakan :

- Instalasi sistem pendingin model pipa kalor.
- 1 buah "cooling tower" Reaktor Triga.
- "Stop watch".
- "Flow Meter"
- Thermometer.

Cara Melakukan Percobaan

Mula-mula heater dinyalakan untuk memanaskan air dalam tangki pemanas, sampai temperatur air mencapai temperatur yang diinginkan. Selama pemanasan sekali kali pompa primer dijalankan agar air dalam tangki bercampur dengan baik. Setelah temperatur air yang diinginkan tercapai pompa primer dan sekunder dijalankan. Dengan mengatur katup pengatur pada masing-masing rangkaian "by pass" laju alir dapat dihitung dengan melihat hasil pembacaan pada flow meter dan stop watch, dan ini dilakukan sampai 3 kali, kemudian dirata-ratakan. Untuk setiap kondisi percobaan, temperatur masukan dan keluaran pada penukar kalor dicatat dan diulang selang 10 menit selama 1 jam. Dengan bervariasi laju alir maka akan diperoleh hasil yang optimum.

Cara Menghitung Panas Masukan dan Keluaran.

Panas masukan pada bagian evaporator dan panas keluaran pada bagian kondensor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$q = i \cdot c \cdot \Delta T \dots\dots\dots (a)$$

dimana :

q = laju perpindahan panas

c = panas jenis fluida

ΔT = kenaikan/penurunan temperatur bulk fluida

i = laju aliran massa fluida

= masa jenis fluida x laju alir

Perpindahan panas secara konveksi diberikan oleh persamaan :

$$q_c = h_c A_s (T_s - T) \dots\dots\dots (b)$$

dimana :

q_c = laju aliran panas perpindahan panas

h_c = koefisien perpindahan rata-rata

T_s = temperatur permukaan saluran

T = temperatur bulk rata-rata fluida

$$T = \frac{T_{in} + T_{out}}{2}$$

h_c dapat dihitung dari persamaan :

$$N_u = h L / k \dots\dots\dots (c)$$

dimana :

N_u = bilangan Nuselt

L = panjang bagian evaporator

k = koefisien konduktifitas

Untuk aliran turbulenta, Johnson dan Rubesin memberikan persamaan :

$$N_u = 0,036 (N_{Re})^{0,8} (N_{Pr})^{0,333} \dots\dots\dots (d)$$

dimana :

N_{Re} = bilangan Renold

$$N_{Pr} = \frac{\rho v L}{\mu}$$

v = kecepatan fluida didalam evaporator

μ = viskositas absolut fluida

Dari persamaan (c) dan (d) maka h dapat dihitung. Dengan mempersamakan persamaan (a) dan (b) dapat dihitung temperatur permukaan evaporator. Hal yang sama berlaku pula untuk menghitung bagian kondensor.

Efisiensi Penukar Ion

Efisiensi penukar panas adalah perbandingan panas masukan pada evaporator dengan panas keluaran pada kondensor.

$$\eta = \frac{q_{out}}{q_{in}} \times 100\%$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Percobaan ini baru merupakan uji coba awal berhubung baru selesai diinstalasi, masih dalam tarap penyempurnaan, sehingga belum sempat diperoleh data yang banyak karena variasi kondisi percobaan belum lengkap.

Dari data percobaan untuk berbagai variasi laju alir fluida dan temperatur masukan pada bagian evaporator dan kondensor dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

TABEL

Evaporator					Kondensor					Efisiensi %
T _{in}	T _{out}	T	Flow	q	T _{in}	T _{out}	T	Flow	q	
°C	°C	°C	m ³ /men	KW	°C	°C	°C	m ³ /men	KW	%
41	40	1	0,40	27,87	26	26,5	0,5	0,59	20,50	74
41,50	40	1,50	0,31	32,15	26	26,5	0,50	0,59	20,50	64
42	40,50	1,50	0,27	28	26	26,5	0,5	0,59	20,50	73
42	40,75	1,25	0,26	22,50	26	26,5	0,5	0,59	20,50	91
42	40,75	1,25	0,25	21,60	26	26,5	0,5	0,59	20,50	95
44	43	1	0,42	29,02	26	26,5	0,5	0,58	20,15	71
46	44	2	0,33	35,96	30	30,5	0,5	0,58	20,15	44
44	41,5	2,5	0,33	57,52	32	32,5	0,5	0,58	20,15	35
47	44	3	0,33	68,93	31	31,5	0,5	0,58	20,15	29
45	44	1	0,42	29,02	27	27,5	0,5	0,36	12,50	43
45	44	1	0,42	29,02	28	28,5	0,5	0,23	7,99	28

Dari hasil percobaan menunjukkan bahwa panas keluaran mempunyai harga masimum 20,50 kw pada laju alir sistem sekunder penuh yaitu 0,59 m³/menit. Pada laju alir 0,58 m³/menit (90%) panas keluaran 20,15 kw dan harganya tetap

walaupun panas masukan pada bagian evaporator membesar.

Makin kecil laju alir pada bagian kondensor panas keluaran makin mengecil. Pada laju alir sistem sekunder penuh panas keluaran tetap yaitu 20,5 kw walaupun panas masukan bervariasi bahwa pada bagian kondensor penguapan sudah jenuh dimana uap yang masuk ke daerah kondensor sudah mencapai harga maksimum. Panas masukan lebih lanjut efisiensi makin kecil. Efisiensi maksimal 95% terjadi pada kondisi percobaan, panas masukan 21,60 kw laju alir pada bagian evaporator 0,25 m³/menit dan laju alir pada kondensor 0,59 m³/menit. Pada panas masukan 32,15 kw efisiensinya 64%. Dari perhitungan desain panas masukan maksimum adalah 31,80 kw atau bila dihitung effisiensinya 20,50/31,80 = 64,5%. Jadi jelas disini bahwa untuk panas masukan lebih besar dari 31,80 kw efisiensinya menurun, tidak ekonomis lagi. Hal ini disebabkan terjadi fenomena selimut uap menyebabkan aliran uap menjadi sedemikian besarnya yang akan menceyah jalan masuk cairan pada titik mana gelembung-gelembung uap sedang bentuk. Dengan adanya selimut uap maka laju perpindahan panas pada kondensor menjadi terhambat/jelek. Disamping itu adanya gas yang susah mengembun di dalam rongga uap akan mengganggu proses pelepasan panas pada daerah kondensor. Akibat dari keadaan ini maka daerah kondensor akan terbagi menjadi dua bagian yaitu daerah kondensor aktif yang dapat melakukan proses penguapan dan daerah non aktif tidak dapat melakukan proses penguapan.

KESIMPULAN

Setelah membahas hasil penelitian yang dilakukan terhadap sistem transmisi panas pada pipa kalor maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Sistem pipa kalor merupakan metoda yang baik untuk menstransmisikan panas dari suatu tempat ke tempat lainnya.
2. Sirkulasi fluida kerja merupakan faktor yang sangat menentukan kelancaran transmisi panas, untuk itu perlu memperhatikan syarat-syarat atau batasan pemberian panas.
3. Penelitian perlu dikembangkan lebih lanjut agar memperoleh hasil yang berdaya guna dan berhasil guna untuk dapat digunakan sebagai penukar panas pada reaktor dikemudian hari.
4. Perlu mempelajari sistem kontrol, agar efek gas yang sulit mengembun, efek pengaduan cair an serta efek aliran uap dapat ditanggulangi, sehingga tidak mengurangi efisiensi transmisi panas.

DAFTAR ACUAN

1. Chi S.W. "Heat Pipe", Theory and Practice", Mc. Graw Hill, Book, Washington.
2. Rusdi, "Pipa kalor pada temperatur rendah", Tugas akhir pada Departemen Fisika Teknik IITB-Bandung.
3. Chuman A.J. "Heat Transfer", The Macmillan Company, New York.
4. Mc. Adam W.M., "Heat transmission" Mc.Graw Hill book Company, Inc. New York and London, 1942.
5. De Wiest R.J. "Flow Through Porous Media" Academic Press, New York, 1969.
6. BIRD., "Transport Phenomena", John Willey and Son, New York, 1960.
7. Vaporazation Heat Transfer Division Section 507.5, General Electric, Feb., 1973.

	T	ρ	μ	ν	β	α
0.0	0.000	1.293	1.81e-4	1.40e-4	0.00366	0.188
10.0	0.010	1.292	1.81e-4	1.40e-4	0.00366	0.188
20.0	0.020	1.291	1.81e-4	1.40e-4	0.00366	0.188
30.0	0.030	1.290	1.81e-4	1.40e-4	0.00366	0.188
40.0	0.040	1.289	1.81e-4	1.40e-4	0.00366	0.188
50.0	0.050	1.288	1.81e-4	1.40e-4	0.00366	0.188
60.0	0.060	1.287	1.81e-4	1.40e-4	0.00366	0.188
70.0	0.070	1.286	1.81e-4	1.40e-4	0.00366	0.188
80.0	0.080	1.285	1.81e-4	1.40e-4	0.00366	0.188
90.0	0.090	1.284	1.81e-4	1.40e-4	0.00366	0.188
100.0	0.100	1.283	1.81e-4	1.40e-4	0.00366	0.188