



PERANCANGAN TANGKI SIMULASI REAKTOR UNTAI UJI SISTEM KENDALI REAKTOR RISET, 1 KW

Suardiyono¹, Puji Santosa², M. Awwaludin³

^{1,2,3} Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir, Kawasan PUSPITEK Serpong, Gedung 71, Tangerang Selatan, 15310

ABSTRAK

PERANCANGAN TANGKI SIMULASI REAKTOR UNTAI UJI SISTEM KENDALI REAKTOR RISET, 1KW. Telah dilakukan perancangan tangki simulasi reaktor untai uji sistem kendali reaktor riset untuk daya 1 KW. Basis perhitungan pada perancangan ini adalah laju alir air pendingin 431 liter/jam dengan suhu air pendingin keluar 42 0C dan suhu air masuk 40 0C. Tangki simulasi teras reaktor riset tersebut dibuat menggunakan bahan plat stainless steel 304 tebal 3 mm, ukuran isi volume air pendingin 862 liter, diameter dalam (Di) 950 mm, diameter luar (Do) 956 mm, tinggi tangki (T) 1582 mm dan jari-jari tutup bawah tangki (R) 0,8 D. Bahan isolasi tangki menggunakan silica board tebal 50 mm dengan jaket plat aluminium 0,2 mm. Dari hasil perhitungan bahwa tangki tersebut sangat aman digunakan terhadap kemungkinan putus, terbelah dan pecah karena tebal plat stainless steel 304 (t) 3 mm > tebal plat yang diperlukan agar tidak putus (tp) 0,248 mm, agar tidak terbelah (tb) 0,155 mm dan agar tidak pecah (tu) 0,745 mm. Demikian pula dari hasil perhitungan bahwa bahan isolasi silica board tebal 50 mm dan jaket aluminium tebal 0,2 mm tersebut kerugian panas yang hilang sekitar 0,53 %, maka isolator jenis silica board sangat bagus digunakan untuk isolator panas pada tangki simulasi teras reaktor untai uji sistem kendali reaktor riset.

Kata kunci: Tangki Simulasi Reaktor, Bahan dan Tebal Plat, Bahan dan Tebal Isolasi

ABSTRACT

DESIGN OF REACTOR SIMULATION TANK OF CONTROL SYSTEM STRAND TEST OF 1 KW RESEARCH REACTOR. A design of reactor simulation tank of control system strand test of research reactor to power 1KW has been performed. Calculations on the basis of the design are the cooling water flow rate of 431 liters / h, with cooling exit water temperature of 42 °C and enter water temperature 40 °C. The tank reactor core simulation research is made using AINSI 304 stainless steel plate material thickness of 3 mm, the volume of cooling water 862 liter, inside diameter (in) 950 mm, outer diameter (Do) 956 mm, high tank (T) 1582 mm, and the radius of the tank lid (R) 0.8 D. The tank insulation materials using silica board 50 mm thick with 0.2 mm aluminum plate jacket. From the calculation, the tank is very safe to be used against the possibility of breaking up, split and broken because the thickness of stainless steel plate is 304 (t) in which 3 mm > thickness plate required in order not to break up (tp) 0.248 mm, not to split (tb) 0.155 mm and not to rupture (tu) 0.745 mm. Similarly from the calculation results, silica insulation board is 50 mm thick and 0.2 mm thick aluminum jacket that heat loss is lost around 0.56%, then the insulator types of silica board are very good used for thermal insulation on the tank simulated reactor core strand test research reactor control system.

Keywords Reactor Simulation Tank, Material and Plate Thickness, Material and Isolation Thickness

1. PENDAHULUAN

Dalam perancangan tangki simulasi reaktor pada rancang bangun untai uji sistem kendali reaktor riset ini mengadopsi dari proses sistem pendingin utama reaktor riset serbaguna RSG-GAS dan sistem yang berkaitan, dengan skala diperkecil (*scale-down*) menjadi skala laboratorium



dengan daya 1 KW. Untai uji sistem kendali reaktor riset ini akan dibuat mendekati kondisi sistem pendingin utama reaktor riset RSG - GAS.

Rancang bangun untai uji sistem kendali reaktor riset terdiri dari komponen utama seperti tangki simulasi reaktor, sistem pendingin primer dan sistem pendingin sekunder. Fungsi sistem pendingin primer dan pendingin sekunder adalah untuk menjamin suhu di dalam reaktor atau tangki simulasi reaktor sesuai batas operasi yang diijinkan selama reaktor atau tangki simulasi reaktor beroperasi normal sampai daya termal yang didisain. Sistem pendingin kolam digunakan untuk membuang panas peluruhan setelah reaktor dipadamkan secara normal (*shut-down*) dan selama catu daya listrik utama (PLN) mengalami gangguan/kegagalan^[1].

Tangki simulasi reaktor riset dan sistem yang terhubung diisi pendingin dengan menggunakan air bebas mineral (*demineralized water*). Tangki simulasi teras reaktor dilengkapi dengan pemanas listrik (*heater electric*) 1000 Watt (1KW), sebagai pengganti bahan bakar nuklir untuk membangkitkan panas, Selama beroperasi panas dalam teras dan sekitar *heater*/simulasi teras reaktor diambil oleh sistem pendingin primer yang mengalir ke bawah melewati teras dan *reflektor*. Sistem pendingin primer didinginkan di dalam alat penukar panas (*head exchanger*) tipe *shell & tube* dimana panas dipindahkan ke rangkaian sistem pendingin sekunder kemudian dibuang ke atmosfer melalui menara pendingin (*cooling tower*) beraliran udara paksa (*induce draft fan*)^[1].

2. TEORI

Perancangan tangki simulasi reaktor riset ini telah dipertimbangkan dari berbagai aspek, karena tanki simulasi reaktor riset ini akan dioperasikan menyerupai tangki reaktor riset yang sebenarnya. Oleh karena itu, tangki simulasi reaktor riset harus memenuhi beberapa persyaratan sebagai berikut^[2]:

2.1. Spesifikasi tangki simulasi

1. Tangki dibuat dari bahan yang tidak mudah korosif
2. Ukuran volume tangki dirancang agar air pendingin tidak tumpah keluar
3. Tangki harus dapat menahan panas, sehingga diperlukan bahan isolasi agar panas yang terbuang keluar melalui dinding tangki simulasi reaktor sekecil mungkin.
4. Persyaratan dalam pemilihan jenis bahan isolasi adalah sebagai berikut:
 - Suhu operasi dari bahan isolasi
 - Ketahanan bahan isolasi terhadap panas
 - Konduktivitas panas bahan isolasi
 - Pengaruh bahan isolasi terhadap lingkungan
 - Biaya/harga bahan isolasi
5. Tangki dirancang harus memenuhi persyaratan tidak putus akibat tekanan kerja
6. Tangki dirancang harus memenuhi persyaratan tidak belah akibat tekanan kerja
7. Tangki dirancang harus memenuhi persyaratan tidak pecah akibat tekanan kerja
8. Isolasi tangki dirancang harus mampu menahan panas, agar panas yang terbuang keluar melalui dinding tangki simulasi reaktor sekecil mungkin.

2.2. Persyaratan pengerjaan tangki dan pengujian

1. Prosedur pembuatan tangki harus mengacu pada standar ASME Code Section VIII Div 1 Tema Class 8.
2. Pemotongan dan pengerolan plat dilakukan secara dingin
3. Pengerjaan pengelasan tangki menggunakan las argon
4. Pemasangan jaket isolasi dengan menggunakan roll dan ripet
5. Pengujian sambungan las pada tangki menggunakan dye-penetrant



3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. BASIS PERANCANGAN TANGKI

Laju alir air pendingin primer 431 liter/jam, teperatur air pendingin keluar tangki simulasi reaktor riset 42 0C dan temperatur air pendingin masuk 40 0C. Air pendingin primer menggunakan air bebas mineral (demineralized water).

3.2. PEMERIKSAAN HASIL PERANCANGAN :

Spesifikasi tangki simulasi :

3.2.1. Pemilihan Bahan Tangki agar tidak mudah korosi

Bahan tangki dipilih dari bahan baja tahan karat yaitu plat stainless steel 304, tebal 3 mm

3.2.2. Ukuran Volume Tangki Simulasi Reactor

Loop pendinginan diambil 2 jam, maka volume tangki (V) = 431 liter/jam x 2 jam = 862 liter
Agar air tidak tumpah volume tangki diberi toleransi volume 30%, sehingga volume tangki menjadi :
 $V = 130\% \times 862 \text{ liter} = 1120,6 \text{ liter} = 1,1206 \text{ m}^3$
Diameter dalam tangki diambil (Di) = 950 mm = 0,950 m
Tinggi tangki dapat ditentukan dengan rumus :

$$V = \frac{\pi}{4} \times Di^2 \times T \quad (1)$$

Dimana:

- V = Volume tangki, m³
- Di = Diameter dalam tangki, m
- T = Tinggi tangki, m
- π = 3,14

Maka :

$$1,1206 = 0,785 \times 0,950^2 \times T = 0,7084625 T$$
$$T = 1,1206 / 0,7084625 = 1,58173 \text{ m} = 1582 \text{ mm}$$

Jadi ukuran tangki simulasi reaktor riset setelah diperhitungkan ruangan yang terisi air dan ditambah ruangan kosong sebesar 30 % agar air pendingin primer tidak tumpah keluar adalah sebagai berikut:

- Diameter dalam (Di) = 950 mm
- Diameter luar (Do) = 956 mm
- Tinggi tangki (T) = 1582 mm
- Tebal dinding tangki (t) = 3 mm
- Jari-jari bawah tangki (R) = 0,8 D

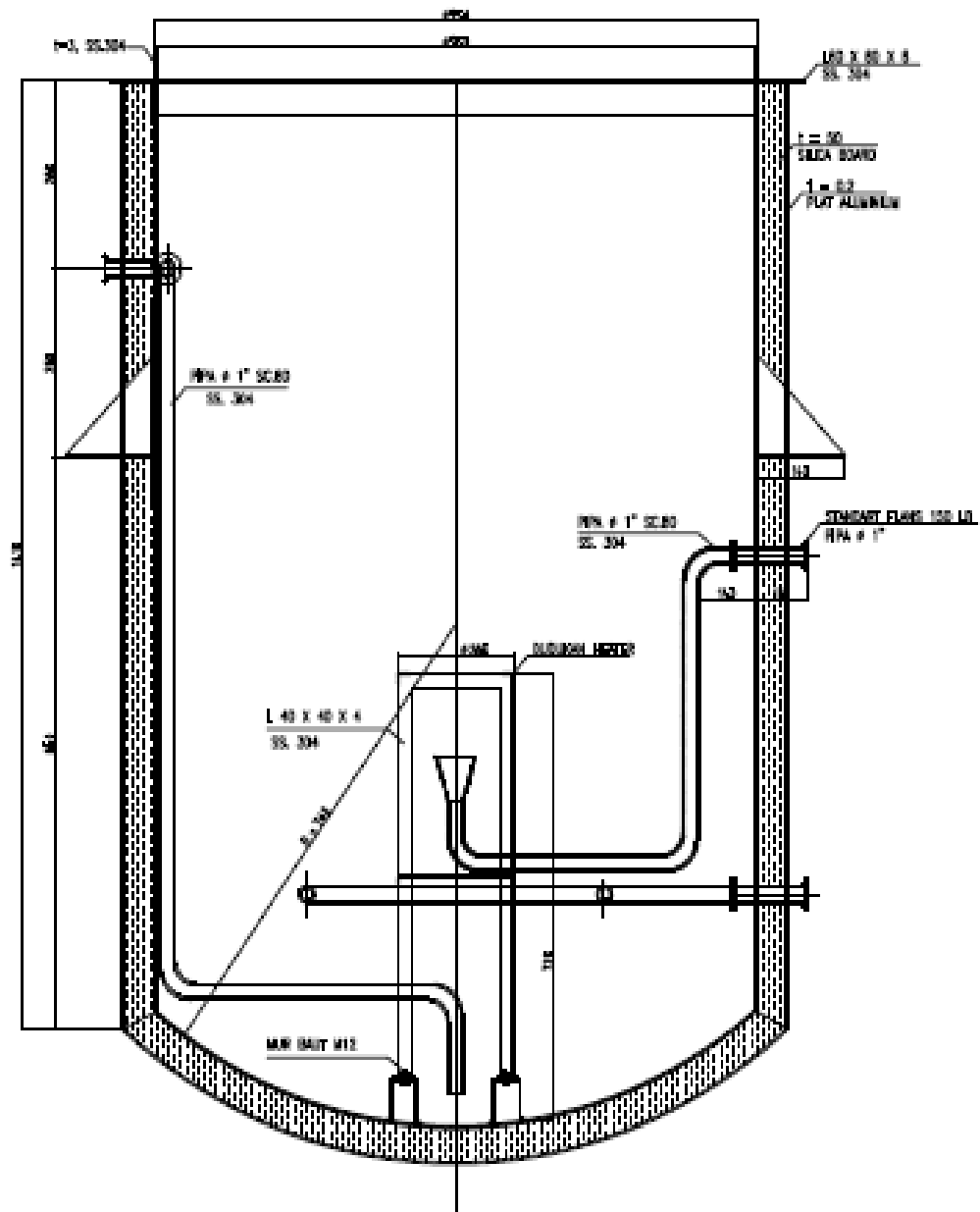
3.2.3. Pemilihan bahan dan ukuran isolasi

Setelah dilakukan kajian melalui berbagai referensi, maka isolator tangki simulasi reaktor riset dipilih jenis bahan isolasi kalsium silikat (silica board) dengan ketebalan 50 mm dan bagian paling luar akan dibungkus dengan jaket menggunakan plat aluminium dengan tebal (t) = 0,2 mm. Bahan isolasi ini dipilih karena memiliki beberapa kelebihan sebagai isolator diantaranya adalah sebagai berikut:

- Silica board bisa digunakan pada suhu 650 0C s/d 1000 0C
- Ringan akan tetapi memiliki struktur yang baik
- Konduktivitas termalnya rendah
- Tahan terhadap api
- Tahan terhadap air dan uap air



- Tidak korosif
- Ramah terhadap lingkungan karena bebas dari bahan asbes
- Mudah dibentuk dan mudah pemasangannya



Gambar 1. Tangki Simulasi Reaktor Untai Uji sistem Kendali Reaktor Riset

3.2.4. Persyaratan agar tangki tidak putus akibat tekanan kerja

Agar tangki tidak putus akibat tekanan kerja pada waktu dipergunakan, maka tebal plat tangki (tp) dapat dihitung dengan menggunakan rumus^[2]:



$$tp = \frac{p \cdot D}{4 \cdot \sigma t} \quad (mm) \quad (2)$$

Dimana ;

- tp = tebal tangki agar tidak putus, (mm)
- p = tekanan kerja di dalam tangki pada tekanan normal = 1 atm
= 1 kg/cm² = 14,696 kgf/in²
- D = Diameter dalam tangki (Di) = 950 mm = 37,4 inchi
- σt = Tegangan tarik plat stainless steel 304
= 14.050 psi (pada suhu -20⁰Fs/d 300⁰F)
- 4 = Angka keamanan

Maka :

$$tp = \frac{p \cdot D}{4 \cdot \sigma t} = \frac{14,696 \cdot 37,4}{4 \cdot 14,050} = 0,00978 \text{ inchi} = 0,248 \text{ mm}$$

Jadi dapat diketahui bahwa hasil rancangan tebal plat stainless steel 304 (t) = 3 mm > tebal plat yang diperlukan (tp) = 0,248 mm, maka aman untuk dipergunakan terhadap kemungkinan putus akibat dari tekanan kerja.

3.2.5. Persyaratan agar tangki tidak belah akibat tekanan kerja:

Agar tangki tidak belah akibat tekanan kerja pada waktu dipergunakan, maka tebal plat tangki (tb) dapat dihitung dengan menggunakan rumus^[2]:

$$tb = \frac{p \cdot D}{4 \cdot \sigma t \cdot \left(1 + \frac{D}{T}\right)} \quad (mm)$$

Dimana :

- Tb = tebal tangki agar tidak putus, mm
- P = tekanan kerja di dalam tangki = tekanan normal = 1 atm
= 1 kg/cm² = 14,696 kgf/in²
- D = Diameter dalam tangki (mm) = 950 mm = 37,4 inchi
- T = Tinggi tangki = 1582 mm = 62,283 inchi
- σt = Tegangan tarik plat stainless steel 304 = 14.050 psi (pada suhu 20⁰F s/d 300⁰F)
- 4 = Angka keamanan

Maka :

$$tb = \frac{p \cdot D}{4 \cdot \sigma t \cdot \left(1 + \frac{D}{T}\right)} = \frac{14,696 \cdot 37,4}{4 \cdot 14,050 \cdot \left(1 + \frac{37,4}{62,283}\right)} = 0,00611 \text{ inchi} = 0,155 \text{ mm}$$

Jadi dapat diketahui bahwa hasil rancangan tebal plat stainless steel 304 (t) = 3 mm > tebal plat yang diperlukan (tb) = 0,155 mm, maka aman untuk dipergunakan terhadap kemungkinan belah akibat dari tekanan kerja.

3.2.6. Persyaratan agar tangki tidak pecah akibat tekanan kerja

Agar tangki tidak pecah akibat tekanan kerja pada waktu dipergunakan, maka tebal plat tangki (tu) dapat dihitung dengan menggunakan rumus^[2]:

$$Tu = \frac{p \cdot D \cdot k \cdot \beta}{4 \cdot \sigma t} \quad (mm)$$

Dimana:

- tu = tebal tangki tutup tangki bawah agar tidak putus (mm)
- P = tekanan kerja di dalam tangki = tekanan normal = 1 atm
= 1 kg/cm² = 14,696 kgf/in²
- D = Diameter dalam tangki (mm) = 950 mm = 37,4 inchi
- T = Tinggi tangki = 1.582 mm = 62,283
- σt = Tegangan tarik plat stainless steel 304 = 14.050 psi (pada suhu 20⁰F s/d 300⁰F)



4 = Angka keamanan
k = 1,5 untuk baja biasa / stainless steel 304
 $\beta = 2,0$ bila R = 0,8D atau $\beta = 2,9$ bila R = D

maka :

$$tu = \frac{p \cdot D \cdot k \cdot \beta}{4 \cdot \sigma t} = \frac{14.696 \cdot 374 \cdot 1,5 \cdot 2}{4 \cdot 14.050} = 0,0293 \text{ inchi} = 0,745 \text{ mm}$$

Jadi dapat diketahui bahwa hasil rancangan tebal plat stainless steel 304 (t) = 3 mm > tebal plat yang diperlukan (t_b) = 0,745 mm, maka aman untuk dipergunakan terhadap kemungkinan pecah akibat dari tekanan kerja.

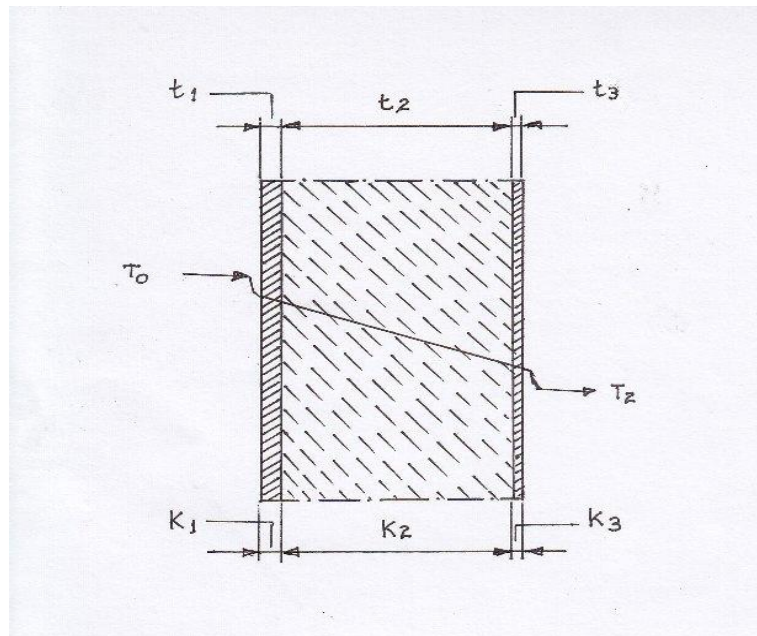
3.2.7. Kerugian Panas pada Isolasi

Analisa kerugian panas melalui dinding isolator tangki seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1. Tangki simulasi reaktor riset dan Gambar 2. Distribusi panas pada isolasi dinding tangki simulasi teras reaktor yang diasumsikan sebagai planar composite wall. Kerugian panas tersebut dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut^[4,5,6,7]:

$$Q_{\text{loss}} = U \cdot A \cdot \Delta t \text{ (Btu/jam)}$$

Dimana :

Q_{loss} = Kerugian panas melalui dinding isolasi, (Btu/jam)
U = Konduktivitas panas menyeluruh/kombinasi, (Btu/hr.ft².°F)
A = Luas permukaan yang diisolasi, (ft²)
 Δt = Selisih temperature awal dan akhir, (°F)



Gambar 2. Distribusi Panas pada Dinding Isolasi Tangki Simulasi Reaktor

Keterangan gambar transfer panas pada isolasi dinding tangki simulasi teras reaktor adalah sebagai berikut :

- Dinding tangki stainless steel 304, tebal (t_1) = 3 mm = 0,118 in = 0,00984 ft
- Konduktivitas panas stainless steel 304 (k_1) = 26 Btu/hr.ft². °F
- Bahan isolasi silica board, tebal (t_2) = 50 mm = 1,98 in = 0,164 ft
- Koduktiviras panas silica board (k_2) = 0,093 Btu/hr.ft². °F
- Jaket isolasi plat aluminium, tebal (t_3) = 0,2 mm = 0,00787 in = 0,000656 ft



- Konduktivitas panas aluminium (k_3) = 117 Btu/hr.ft². °F

Dalam perhitungan ini telah ditentukan atau diambil bahwa:

- a. Konduktifitas film udara (h_a) dihitung dengan rumus^[7]

$$h_a = 2,1 + 0,5 V$$

- b. Kecepatan angin dimana tangki simulasi teras reaktor diinstalasi diperkirakan (V) adalah^[7]:

$$V = 50 \text{ fpm} = 0,568 \text{ mil/jam}$$

Maka:

$$h_a = 2,1 + 0,5 \times 0,568 = 2,4 \text{ Btu/hr. ft}^2 \cdot \text{°F}$$

Konduktivitas panas kombinasi atau menyeluruh adalah^[6]:

$$U = \frac{1}{t_1/k_1 + t_2/k_2 + t_3/k_3 + 1/h_a}$$

$$U = \frac{1}{0,00984/26 + 0,164/0,093 + 0,000656/118 + 1/2,4}$$

$$U = \frac{1}{0,003784 + 1,7834 + 0,000056 + 0,4116}$$

$$= 0,456 \text{ Btu/ft}^2 \text{ hr } \text{°F}$$

Luas permukaan yang dibungkus isolasi adalah :

A = Luas permukaan luar isolasi tangki + Luas tutup luar bagian bawah isolasi tangki

$$\begin{aligned} A &= (D_o + 2t_{\text{isolasi}})T + [60/360 \times 4 (r_{\text{isolasi}})^2] \\ &= (3,136 + 2 \times 0,33)5,19 + [0,166 \times 4 \times 1,733^2] \\ &= 61,862 + 1,99 = 63,856 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Perbedaan temperatur di dalam tangki dan di luar tangki adalah :

$$\Delta t = T_o - T_2$$

Dimana :

$$T_o = \text{teperatur operasi} = 42 \text{ °C} = 107 \text{ °F}$$

$$T_2 = \text{temperature udara di luar tangki}$$

$$= 28 \text{ °C} = 82,4 \text{ °F}$$

Maka kerugian kalori/panas yang lolos melalui isolator adalah^[5,6,7] :

$$Q_{\text{loss}} = U \cdot A \cdot \Delta t = U \cdot A \cdot (T_o - T_2)$$

$$Q_{\text{loss}} = 0,4586 \times 63,856 \times (107 \text{ °F} - 82,4 \text{ °F})$$

$$= 720,395 \text{ Btu/jam}$$

Panas yang disimpan di dalam tangki simulasi teras reaktor riset adalah^[4,5]

$$Q_{\text{save}} = \rho \cdot V \cdot C_p \cdot \Delta t$$

Dimana :

$$\rho = \text{Berat jenis air} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$= 62,4 \text{ lb/ft}^3$$

$$V = \text{Volume/isi air di dalam tangki}$$

$$= 0,862 \text{ m}^3 = 30,4372 \text{ ft}^3$$

$$C_p = \text{konduktivitas panas air} = 2,0934$$



$$\Delta t = (T_o - T_1) = (107,6 \text{ } ^\circ\text{F} - 75,2 \text{ } ^\circ\text{F})$$

Maka ;

$$Q = 62,4 \cdot 30,4372 \cdot 2,0934 \cdot (107,6 - 75,2) = 128.820,956 \text{ Btu/jam}$$

$$\text{Prosentase kerugian panas} = (Q_{\text{loss}} - Q_{\text{save}} / Q_{\text{save}}) \times 100 \%$$

$$\begin{aligned} &= \frac{720,395}{128.820,956} \times 100\% = 0,559\% \\ &= 0,56\% \end{aligned}$$

Jadi bahan isolasi silica board sangat baik, karena panas yang hilang melalui dinding isolator sangat kecil yaitu sebesar 0,56 %.

4. KESIMPULAN

Basis perhitungan pada perancangan tangki simulasi reaktor riset ini laju alir air pendingin primer 431 liter/jam dengan temperatur keluar 42 0C dan temperatur air pendingin masuk 40 0C.

Tangki simulasi teras reaktor riset dibuat menggunakan bahan plat stainless stell 304 dengan tebal 3 mm, ukuran isi volume air (V) 862 liter, diameter dalam (Di) 950 mm, diameter luar (Do) 956 mm, tinggi tangki (T) 1582 mm dan jari-jari bawah tangki (R) 0,8 D. Bahan isolasi tangki menggunakan silica board tebal 50 mm dengan jaket plat aluminium tebal 0,2 mm

Dari hasil perhitungan bahwa tangki tersebut sangat aman digunakan terhadap kemungkinan putus, belah dan pecah karena tebal plat stainless steel 304 (t) 3 mm > tebal plat yang diperlukan agar tidak putus (tp) 0,248 mm, agar tidak belah (tb) 0,155 mm dan agar tidak pecah (tu) 0,745 mm. Demikian pula dari hasil perhitungan bahwa bahan isolasi silica board tebal 50 mm dan jaket aluminium tebal 0,2 mm tersebut kerugian panas yang hilang sekitar 0,56 %, maka isolator jenis silica board sangat baik digunakan untuk isolator panas pada tangki simulasi teras reaktor untai uji sistem kendali reaktor riset.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Dokumen LAK RSG - GAS., Serpong, tahun 1990
2. Ir. M. J. Djokosetyardjo, Ketel Uap, PT. Pradnya Paramita, Cetakan Pertama, Jakarta, tahun 1987
3. Donald Q. Kern, Process Heat Transfer, McGraw-Hill Book Company, International Edition, 1965
4. Perry R.H. and Green D., "Perry's Chemical Engineers' Hand Book", Mc Graw Hill International Book Company, New York (1985).
5. B.K. Hodge, Analysis and design of Energy System, Mechanical and Nuclear Engineering Department Mississippi State University, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1985
6. J.P. Holman, Heat Transfer, Mechanical Engineering series, McGraw-Hill, 7th edition, in SI units, UK., 1992
7. Babcock & Wilcox, Steam/its Generation and Use, The Babcock & Wilcox Company, 161 East 42nd Street, New York. N.Y. 10017, Copyright, 1972



PERTANYAAN :

1. Kenapa air harus dipompa secara paksa lewat pemanas?(UTAJA)
2. Kalau pendingin mati, berapa lama suhu air naik sampai 50 derajat Celsius)? (UTAJA)
3. Bagaimana meningkatkan efisiensi tangki, perhitungan analisis tangki (GUNARWAN)

JAWABAN :

1. Karena posisi Heat Exchanger lebih tinggi dari tangki simulasi reactor.
2. Kalau air pendingin mati, otomatis heater listrik mati (interlock) sehingga suhu air tidak akan sampai naik 50 derajat Celsius..
3. Efisiensi tangki tidak ada hitungan, kalau yang dimaksud efisiensi kehilangan panas atau tebal, dan ukuran tangki sudah kami tampilkan secara detail. Kalau yang dimaksud kehilangan panas tinggal menambah ketebalan isolasi.