

PERANCANGAN TANGKI SIMULASI REAKTOR UNTUK UNTAI UJI SISTEM KENDALI REAKTOR RISET

Suwardiyono, Puji Santosa, M. Awwaluddin
Pusat Perekayasa Perangkat Nuklir (PRPN), BATAN
E-mail : swardy@batan.go.id

ABSTRAK

PERANCANGAN TANGKI SIMULASI REAKTOR UNTUK UNTAI UJI SISTEM KENDALI REAKTOR RISET. Telah dilakukan perancangan tangki simulasi reaktor untai uji sistem kendali reaktor riset. Basis perhitungan pada perancangan ini adalah laju alir air pendingin 431 liter/jam dengan suhu air pendingin keluar 42°C dan suhu air masuk 40°C . Tangki simulasi teras reaktor riset tersebut dibuat menggunakan bahan plat stainless steel 304 dengan tebal 3 mm, ukuran isi volume air pendingin 862 liter, diameter dalam (D_i) 950 mm, diameter luar (D_o) 956 mm, tinggi tangki (T) 1.582 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 dapat disimpulkan bahwa tangki tersebut sangat aman digunakan karena tahan terhadap kemungkinan putus, terbelah dan pecah. Hal ini diperoleh dari tebal plat stainless steel 303 (t) 3 mm > tebal plat yang diperlukan agar tidak putus (t_p) 0,248 mm, agar tidak terbelah (t_b) 0,155 mm dan agar tidak pecah (t_u) 0,745 mm. Demikian pula dari hasil perhitungan bahwa bahan isolasi silica board dengan tebal 50 mm dan jaket aluminium tebal 0,2 mm tersebut panas yang hilang hanya 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

A DESIGN OF REACTOR SIMULATION TANK FOR CONTROL SYSTEM STRAND TEST OF RESEARCH REACTOR. A design of reactor simulation tank for control strand test of research reactor has been performed. Basic calculations of this design are to have the cooling water flow rate of 431 liters / hour with water outlet temperature 42°C and water inlet temperature 40°C . The reactor core tank in the simulation is made of 304 stainless steel plate with 3 mm thickness. Its cooling water volume is 862 liter in which its inside (D_i) and outside (D_o) diameter are 950 mm and 956 mm respectively. The tank height (T) is 1582 mm, and its bottom lid radius (R) is 0.8 D . The tank insulation materials are made of silica board sheet with 50 mm thickness using 0.2 mm aluminum plate jacket. From the calculation can be concluded that the tank is very safe against the possibility of cutting-down, breaking-up, and splitting-up because the thickness of stainless steel 303 calculated in the design (t) is 3 mm which is greater than its limit thickness required for cutting-down (t_p) 0.248 mm, breaking-up (t_b) 0.155 mm, and splitting-up (t_u) 0.745 mm. The 50 mm thickness of silica board sheet using 0.2 mm aluminum jacket will give the heat loss around 0.53% so that the silica board can be used for the thermal insulation of the reactor simulation tank for control system test of research reactor.

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

1. PENDAHULUAN

Perancangan tangki simulasi reaktor pada rancang bangun untai uji sistem kendali reaktor riset dilakukan dengan mengadopsi proses sistem pendingin utama reaktor riset serbaguna RSG-GAS, dimana diskala kecil (*scale-down*) menjadi skala laboratorium dengan daya 1KW. Oleh karena itu untai uji sistem kendali reaktor riset ini akan dibuat mendekati kondisi sistem dan operasi dari sistem pendingin utama reaktor riset RSG - GAS.

Sistem utama rancang bangun untai uji sistem kendali reaktor riset terdiri dari komponen utama seperti tangkisimulasi 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.

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 (*heat 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*).

2. METODOLOGI

Di dalam perancangan tangki simulasi reaktor riset ini harus dipertimbangkan dari berbagai aspek, karena tanki simulasi reaktor riset ini akan dioperasikan menyerupai tangki reaktor riset yang sebenarnya, Oleh karena itu harus diperhitungkan terhadap beberapa kemungkinan yang akan terjadi diantaranya adalah sebagai berikut^[1,2] :

a. Spesifikasi tangki simulasi

1. Tangki dibuat dari bahan yang tidak mudah korosif
2. Tangki dapat menahan panas sehingga diusahakan agar panas yang terbuang keluar melalui dinding sekecil mungkin
3. Tanki dirancang diperhitungkan terhadap kemungkinan putus akibat tekanan kerja
4. Tangki dirancang diperhitungkan terhadap kemungkinan belah akibat tekanan kerja
5. Tangki dirancang diperhitungkan terhadap kemungkinan pecah akibat tekanan kerja
6. Prosedur pembuatan tangki harus mengacu pada standar ASME Code Section VIII Div 1 Tema Class 8 presure vessel.

b. Pertimbangan dalam pemilihan jenis bahan isolasi :

1. Suhu operasi bahan isolasi
2. Ketahanan bahan isolasi terhadap panas
3. Konduktivitas panas bahan isolasi
4. Pengaruh bahan isolasi terhadap lingkungan
5. Biaya/harga bahan isolator

c. Pengerjaan tangki dan pengujian

1. Pemotongan dan pengerolan plat dilakukan secara dingin
2. Pengelasan tangki menggunakan las argon
3. Pemasangan jaket isolasi dengan menggunakan roll dan ripet
4. Pengujian sambungan las pada tangki menggunakan *penetrant*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

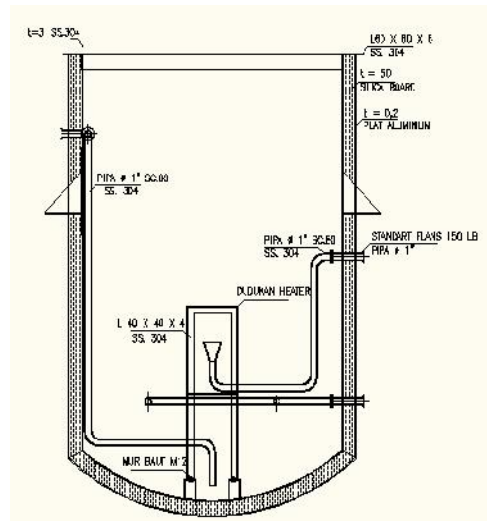
3.1. Basis perancangan:

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

Dari data teknis untuk uji untai sistem kendali reaktor riset ini telah dirancang dan ditentukan bahwa kapasitas tampung/volume isi air tangki adalah sebesar (V) = 862 liter = 0,862 m³. Bahan tangki dipilih baja tahan karat yaitu plat stainless steel 304 tebal 3 mm, diameter dalam tangki (ID) = 950 mm, tinggi tangki (T) 1582 mm. Konstruksi tangki dilengkapi dengan pemanas listrik 1 KW (*submersible heater*).

Ukuran tangki simulasi reaktor riset setelah diperhitungkan ruangan yang terisi air dan ditambah ruangan kosong agar air pendingin primer tidak tumpah keluar adalah sebagai berikut:

Diameter dalam (Di) = 950 mm
Diameter luar (Do) = 956 mm
Tinggi tangki (T) = 1.582 mm
Tebal dinding tangki (t) = 3mm
Jari-jari bawah tangki (R) = 0,8D



Gambar 1. Tangki Simulasi Reaktor

Jenis bahan isolasi dipilih dari bahan kalsium silikat (*silica board*) dengan pertimbangan bahwa *silica board* memiliki kelebihan sebagai isolator sebagai berikut :

1. *Silica board* bisa digunakan pada suhu 650 °C s/d 1000 °C
2. Ringan akan tetapi memiliki struktur yang baik
3. Konduktivitas termalnya rendah
4. Tahan terhadap api
5. Tahan terhadap air dan uap air
6. Tidak korosif
7. Ramah terhadap lingkungan karena bebas dari bahan asbes
8. Mudah dibentuk dan mudah pemasangannya

Isolator tangki simulasi teras reaktor ini akan dipasang isolator *silica board* dengan tebal (t) = 50 mm, dan bagian paling luar akan di bungkus dengan jaket menggunakan plat aluminium dengan tebal (t) = 0,2 mm.

3.1. Pemeriksaan hasil perancangan :

Untuk melakukan pemeriksaan ukuran dan tebal plat tangki apakah aman untuk digunakan dapat dihitung dengan rumus-rumus sebagai berikut :

3.2.1. Kemungkinan terputus :

Agar tangki tidak putus pada waktu digunakan maka tebal plat tangki (t_p) minimal adalah^[3] :

$$t_p = \frac{p \cdot D}{4 \cdot \sigma_t} \quad (mm) \dots \dots \dots (1)$$

dimana :

- t_p = 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
- σ_t = Tegangan tarik plat stainless steel
304 = 14.050 psi (pada suhu -20⁰F s/d 300 ⁰F)
- 4 = Angka keamanan

Maka dari persamaan 1 diperoleh,

$$\begin{aligned} t_p &= \frac{p \cdot D}{4 \cdot \sigma_t} \quad (mm) \\ &= \frac{14,696 \cdot 37,4}{4 \cdot 14.050} = 0,00978 \text{ inchi} \\ &= 0,248 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi tebal plat stainless steel 304 (t) = 3 mm > tebal plat yang diperlukan (t_p) = 0,248 mm

3.2.2. Kemungkinan terbelah :

Agar tangki tidak terbelah pada waktu digunakan maka tebal plat tangki (t_b) minimal adalah^[3] :

$$t_b = \frac{p \cdot D}{4 \cdot \sigma_t \cdot (1 + \frac{D}{T})} \quad (mm) \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

- T_b = 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 =1.582 mm = 62,283inchi
- σ_t = Tegangan tarik plat stainless steel
304 = 14.050 psi (pada suhu 20⁰F s/d 300 ⁰F)
- 4 = Angka keamanan

Maka diperoleh ,

$$\begin{aligned} t_b &= \frac{p \cdot D}{4 \cdot \sigma_t \cdot (1 + \frac{D}{T})} = \frac{14,696 \cdot 37,4}{4 \cdot 14,050 \cdot (1 + \frac{37,4}{62,283})} \\ &= 0,00611 \text{ inchi} = 0,155 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi tebal plat stainless steel 304 (t) = 3 mm > tebal plat yang diperlukan (t_b) = 0,155 mm

3.2.3. Kemungkinan pecah :

Agar bagian bawah tutup tangki (*bottom tank*) tidak pecah pada waktu digunakan maka tebal plat tangki (t_u) minimal adalah^[3] :

$$t_u = \frac{p \cdot D \cdot k \cdot \beta}{4 \cdot \sigma_t} \quad (\text{mm}) \dots \dots \dots (3)$$

dimana :

- t_u = 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 inchi
- σ_t = Tegangan tarik plat stainless steel
- 304 = 14.050 psi (pada suhu 20⁰F s/d 300 ⁰F)
- 4 = Angka keamanan
- k = 1,5 untuk baja biasa
- β = 2,0 bila $R = 0,8D$ atau $\beta = 2,9$ bila $R = D$

maka diperoleh nilai t_u ,

$$t_u = \frac{p \cdot D \cdot k \cdot \beta}{4 \cdot \sigma_t} = \frac{14,696 \cdot 37,4 \cdot 1,5 \cdot 2}{4 \cdot 14.050}$$

$$= 0,0293 \text{ inchi} = 0,745 \text{ mm}$$

Jadi tebal plat stainless steel 304 (t) = 3 mm > tebal plat yang diperlukan (t_u) = 0,745 mm.

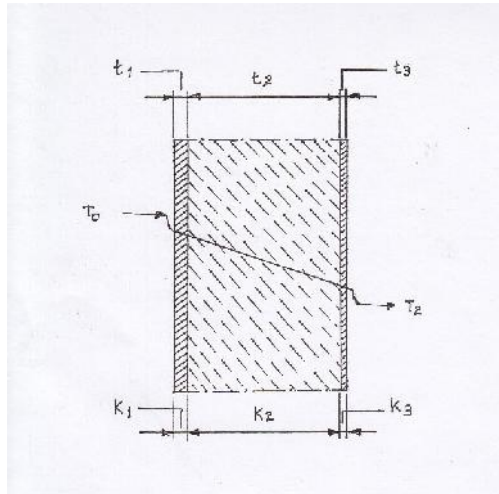
3.3. Kerugian panas pada isolasi :

Analisa kerugian panas melalui isolator tangki ini diasumsikan sebagai *planar composite wall*. Kerugian panas tersebut dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut^[1,2,4,5] :

$$Q_{\text{loss}} = U \cdot A \cdot \Delta t \quad (\text{Btu/jam}) \dots \dots \dots (4)$$

Dimana :

- Q_{loss} = Kerugian panas melalui dinding isolasi, (Btu/jam)
- U = Konduktivitaspanasmenyeluruh/kombinasi, (Btu/hr.ft².⁰F)
- A = Luas permukaan yang diisolasi, (ft²)
- Δt = Selisih temperature awal dan akhir, (⁰F)



Gambar 2. Transfer panas pada isolasi dinding tangki simulasi teras reaktor

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

1. Dinding tangki stainless steel 304, tebal (t_1) = 3 mm = 0,118 in = 0,00984 ft
2. Konduktivitas panas stainless steel 304 (k_1) = 26 Btu/hr.ft². °F
3. Bahan isolasi *silica board*, tebal (t_2) = 50 mm = 1,98 in = 0,164 ft
4. Konduktivitas panas *silica board* (k_2) = 0,093 Btu/hr.ft². °F
5. Jaket isolasi plat aluminium, tebal (t_3) = 0,2 mm = 0,00787 in = 0,000656 ft
6. Konduktivitas panas aluminium (k_3) = 117 Btu/hr.ft². °F

Dalam perhitungan ini telah ditentukan atau diambil bahwa^[6]:

- a. Konduktivitas udara (h_a) dihitung dengan rumus
 $h_a = 2,1 + 0,5 V$
- b. Kecepatan angin dimana tangki simulasi teras reaktor diinstalasi diperkirakan (V) adalah:
 $V = 50 \text{ fpm} = 0,568 \text{ mil/jam}$
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] :

$$U = \frac{1}{t_1 / k_1 + t_2 / k_2 + t_3 / k_3 + 1 / h_a} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

$$t_1/k_1 = 0,00984/26 = 0,003784$$

$$t_2/k_2 = 0,164/0,093 = 1,7834$$

$$t_3/k_3 = 0,000656/117 = 0,000056$$

$$1/h_a = 1/2,4 = 0,4116$$

Maka,

$$U = \frac{1}{0,003784 + 1,7834 + 0,000056 + 0,4116} U = 0,456 \text{ Btu/ft}^2 \text{ hr } \text{°F}$$

Luas permukaan yang dibungkus isolasi adalah :

$$A = \pi(D_o + 2t_{\text{isolasi}})T + [60/360 \times 4 (r_{\text{isolasi}})^2]$$

$$= \pi(3,136 + 2 \times 0,33)5,19 + [0,166 \times 4 \times 1,733^2]$$

$$= 61,862 + 1,99 = 63,856 \text{ ft}^2$$

Perbedaan temperatur di dalam tangki dan di luar tangki adalah :

$$\Delta t = T_o - T_2 \dots\dots\dots (6)$$

Dimana :

To = temperatur operasi = 42°C = 107°F

T2 = temperature udara di luar tangki = 28 °C = 82,4 °F

Maka kerugian kalori/panas yang lolos melalui isolator adalah^[4,6],

$$\begin{aligned} Q_{\text{loss}} &= U \cdot A \cdot \Delta t = U \cdot A \cdot (T_o - T_2) \dots\dots\dots (7) \\ Q_{\text{loss}} &= 0,4586 \times 63,856 \times (107^\circ\text{F} - 82,4^\circ\text{F}) \\ &= 720,395 \text{ Btu/jam} \end{aligned}$$

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

$$Q = \rho \cdot V \cdot C_p \cdot \Delta t \dots\dots\dots (8)$$

Dimana :

ρ = Berat jenis air = 1000 kg/m³ = 62,4 lb/ft³

V = Volume/isi air di dalam tangki = 0,862 m³ = 30,4372 ft³

Cp = konduktivitas panas air = 2,0934 Btu/lb °F

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

Maka,

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

Prosentase kerugian panas yang hilang adalah :

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

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

4. KESIMPULAN

Basis perhitungan pada perancangan tangki simulasi reaktor riset ini adalah laju air pendinginan 431 liter/jam dengan temperatur keluar 42 °C dan temperatur air pendingin masuk 40 °C. Tangki simulasi teras reaktor riset dibuat menggunakan bahan plat stainless steel 304 tebal (t) 3 mm, ukuran isi volume air 862 liter, diameter dalam (Di) 950 mm, diameter luar (Do) 956 mm, tinggi tangki (T) 1.582 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 dapat disimpulkan bahwa tangki tersebut sangat aman digunakan terhadap kemungkinan putus, terbelah dan pecah karena tebal plat stainless steel 303 (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 panas yang hilang hanya sekitar 0,56 %, maka isolator jenis *silica board* sangat bagus digunakan untuk isolator panas pada tangki simulasi teras reaktor untuk untaian uji sistem kendali reaktor riset.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Donald Q. Kern, Process Heat Transfer, McGraw-Hill Book Company, International Edition, 1965.
- [2]. Perry R.H. and Green D., Perry's Chemical Engineers Hand Book, Mc Graw Hill International Book Company, New York. 1985.
- [3]. Ir. M. J. Djokosetyarjdo, Ketel Uap, PT. Pradnya Paramita, Cetakan Pertama, Jakarta, 1987.
- [4]. 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.
- [5]. J.P. Holman, Heat Transfer, Mechanical Engineering series, McGraw-Hill, 7th edition, in SI units, UK, 1992.
- [6]. Babcock & Wilcox, Steam/its Generation and Use, The Babcock & Wilcox Company, 161 East 42nd Street, New York. N.Y. 10017, Copyright, 1972.