

SISTEM PENGATURAN HUMIDITAS DALAM TABUNG PENGARAH DETEKTOR NEUTRON

Sentot Alibasya Harahap

ABSTRAK

SISTEM PENGATURAN HUMIDITAS DALAM TABUNG PENGARAH DETEKTOR NEUTRON. Kebolehjadian kerusakan detektor neutron di akibatkan harga resistivitas turun dan terminal kabel listrik mengalami korosi, sehingga terjadi kegagalan yang menyebabkan hilangnya tegangan dan mengalirnya arus dalam bahan isolasi. Untuk mencegah terjadinya kegagalan listrik pada detektor diperlukan pengaturan humiditas dengan memasukkan udara kering kedalam tabung dengan tekanan 2 kg/cm² dan laju alir 7 l/menit, secara terus menerus sehingga terjadi suatu proses pengeringan pada sistem tersebut. Pada kondisi reaktor padam laju kondensasi secara difusi sebesar 0,476 cm³/tahun dan saat reaktor beroperasi sebesar 6,46 cm³/tahun.

ABSTRACT

HUMIDITY CONTROL SYSTEM IN THE NEUTRON DETECTOR OF GUIDE TUBE. The probable symptom neutron detector damage as cause decrease resistivity and corrosion in the electrical terminal, further more occasion to voltage failure and leak current in the isolation. The prevent of voltage failure in detector a needed humidity controller's with dry air supply to guide tube with 2 kg/cm² air pressure and 7 l/min. air flow as soon as continuity dryer process in the guide tube. Reactor shutdown and operation condition of diffusion rate is 0,476 cm³/year and 6,46 cm³/year.

PENDAHULUAN

Terjadinya kondensasi di dalam tabung detektor karena adanya proses difusi sehingga gas dan uap air terperangkap di dalam tabung, akibatnya ada kecenderungan kelembaban relatif (humidity) di dalam tabung akan naik dan suhu bola basah cenderung akan turun, kecenderungan seperti ini dapat di dekati melalui teori difusi. Proses difusi terjadi karena : 1. Penguapan air kolam reaktor ; 2. Difusi dalam zat cair dengan zat padat.

Proses penguapan pada permukaan kolam reaktor terjadi karena ada beda suhu muka air dengan suhu sekeliling dan kontribusi aliran udara yang terus menerus mengalir di muka air kolam serta melewati tabung detektor. Aliran udara ini berasal dari resirkulasi sistem ventilasi pada muka kolam (KLA 60 AN 001).

Pada difusi dalam zat cair dan zat padat sangat rumit untuk menentukan besar koefisien difusi zat cair dan zat padat, karena terdapat pengaruh medan gaya molekul yang sangat kuat dalam proses ini, akibatnya fluks massa difusi ini hanya dapat ditentukan secara percobaan.⁽¹⁾

Proses difusi yang berlangsung terus menerus pada tabung detektor neutron,

sedangkan tabung sendiri tidak mampu untuk mengimbangnya, sehingga terdapat gradien konsentrasi dari salah satu atau beberapa konstituen dalam sistem tersebut. Laju difusi yang terjadi tergantung pada suhu, karena suhu menunjukkan kecepatan rata-rata molekul.

Kondensasi di dalam tabung detektor akan berdampak terhadap kegagalan listrik, yang menyebabkan hilangnya tegangan dan mengalirnya arus dalam bahan isolasi. Kehilangan tegangan disebabkan konsentrasi muatan pada ujung pelepasan dalam keadaan tertentu melebihi kekuatan intrinsiknya, sehingga detektor tidak berfungsi sebagaimana mestinya atau rusak.

TEORI

Kondensasi pada tabung detektor neutron dapat diprakirakan dengan menggunakan laju difusi dalam gas berupa uap air dan laju difusi dalam zat cair dan zat padat, tetapi untuk prakiraan laju difusi yang kedua ini tidak dapat disajikan, karena hanya dapat didekati dengan eksperimental. Kesulitannya terletak pada penentuan koefisien difusi untuk zat padat, sebab pada zat padat terdapat pengaruh medan gaya molekul yang

sangat kuat dalam proses ini. Fakta atas adanya kondensasi pada proses ini dapat ditunjukkan oleh endapan air di dalam tabung kosong tidak bertekanan, yang tertutup rapat dan diberi perlakuan suhu dan tekanan yang berubah – ubah atas tabung tersebut.

Laju difusi dalam proses udara kering yang dimasukan kedalam tabung adalah :

$$m_w = \frac{D.P.Mw.A}{R_0.T.\Delta x} \ln \left(\frac{P-Pw_2}{P-Pw_1} \right) \text{ kg/s} \dots\dots(1)$$

dimana :

- A = Luas penampang penguapan pada tabung, m²
- D = Koefisien Difusi, m²/s
- Mw = Volume Atom
- P = Tekanan Udara kering, N/m²
- Pw₁ = Tekanan uap jenuh, N/m²
- Pw₂ = Tekanan uap air, N/m²
- R₀ = Konstanta Gas Universal, J/Kg. Mol. K
- T = Suhu Udara Kering, K
- Δx = Panjang Tabung, m

Udara kering yang disemburkan ke dalam tabung akan mengalami difusi dan udara akan bergerak ke atas. Pada keadaan steady, gerakan udara keatas seimbang dengan gerakan ke bawah, sehingga perbandingan konsentrasi setiap tingkat keadaan adalah tetap, tetapi pada bagian permukaan air tidak mungkin terdapat gerakan udara kebawah, akibatnya harus ada gerakan massa “bulk” ke atas dengan kecepatan udara kering yang relatif tinggi untuk mengimbangi difusi udara ke bawah. Gerakan massa “bulk” ini akan mengakibatkan terjadi fluks masa uap air tambahan ke atas.

Proses difusi ini berlangsung secara terus menerus sehingga diharapkan kondensasi pada dasar tabung tidak akan terjadi, jika jangkauan semburan dan kemampuan naik udara kering melebihi dari jarak yang telah ditetapkan.

Kemampuan jangkauan semburan udara kering ⁽²⁾, adalah :

$$L = \frac{K_1}{V_x} \frac{Q_1}{\sqrt{Ac.Cd.Rf}} [m] \dots\dots(2)$$

dimana :

- Ac = Luas penampang nominal dari lobang keluar, m²
- Cd = Koefisien Pengeluaran dari lobang keluar
- Cd = 0,6 - 0,9
- K1 = Konstanta proposional dari lobang keluar
- K1 = 0,75 - 1,85

- Q1 = laju alir udara keluar, m³/s
- Rf = perbandingan luas penampang bebas terhadap penampang nominal.
- Vx = kecepatan udara masuk ke dalam tabung, m/s

Kemampuan udara naik diperoleh secara empiris ⁽²⁾, yaitu :

$$Y = 0,42 \frac{\beta . g . \Delta t . L^3}{K_1 . Vo^2 . d} [m] \dots(3)$$

dimana :

- β = Koefisien ekspansi udara, K⁻¹
- β = $\frac{1}{273 + t_1} [K^{-1}]$
- d = Diameter sisi keluar, m
- g = Gaya gravitasi, m/s²
- K1 = Konstanta proposional dari lubang masuk
- K1 = 3 - 4
- L = Panjang pipa, m
- Δt = Selisih antara suhu udara masuk dengan suhu udara dalam tabung, °K
- Δt = (t₁ - t₂) °K
- Vo = Kecepatan nominal udara keluar, m/s
- Vo = $\sqrt{\frac{2.g}{\rho} (pt - ps)}$ [m/s]
- ρ = Massa jenis udara, kg/m³
- pt = Tekanan total udara masuk, kg/m²
- ps = Tekanan uap jenuh, kg/m²
- m_w = Laju difusi dalam proses udara kering dalam tabung, kg/s (diperoleh dari persamaan 1)
- Ac = Luas penampang sisi keluar, m²
- Ac = π/4 . d² [m²]

TATA KERJA

Udara kering yang berasal dari distribusi sistem udara bertekanan (SCA 001 – BR 12) dialirkan ke tabung detektor neutron. Rangkaian distribusi udara kering dilengkapi pengatur tekanan, indikator laju alir, katup searah dan konektor. Bahan distribusi udara kering bervariasi, yaitu dari terminal SCA 001 BR 12 ke katup tabung detektor neutron menggunakan bahan baja anti karat (SS – 316). (Lihat Lampiran).

Untuk memudahkan pengukuran suhu dan kelembaban relatif selama pengamatan berlangsung, maka pada tutup tabung dipasang sensor suhu dan kelembaban dengan jangkauan ± 2 m, lokasi tabung detektor neutron yang

digunakan untuk pengamatan parameter diatas dilakukan hanya pada detektor kanal kontrol tertutup pengendalian daya secara otomatis (JKT 04 – DX001), dan untuk mendapatkan data pembanding maka pengukuran parameter tetap dilakukan pada masing – masing tabung.

Tekanan udara kering yang keluar dari SCA 01 BR 12 dipertahankan sebesar 2 kg/cm² dengan laju alir sebesar 7 l/menit.

Dalam rancangan sistem pengatur humiditas tabung detektor neutron, adalah sebagai berikut :

- Udara bertekanan dari SCA 01 BR 12 (DN 15) masuk ke pipa plastik (d = 12,5 mm) dan dicabangkan menjadi dua, masing – masing memiliki d = 10 mm, kemudian dicabangkan menjadi dua d = 8 mm dan di distribusikan kedalam tabung dengan menggunakan “tubing” (SS – 316) yang berdiameter d = 6 mm.
- Tekanan udara yang keluar dari SCA 01 BR 12 = 2 kg/cm²
- Tekanan udara yang masuk ke tabung = 1,98 kg/cm²
- Laju alir udara masuk ke tabung = 6,86 l/menit
- Panjang pipa tekan dalam tabung = 6 m
- Diameter pipa tekan = 6 mm
- Panjang pipa isap dalam tabung = 3,4 m
- Diameter pipa isap = 4 mm

Data tabung :

- Diameter luar = 80 mm
- Diameter dalam = 74 mm
- Panjang pipa = 11,536 m
- Tinggi pipa yang tidak terendam air = 0,792 m

$$mw = \frac{(2,56 \times 10^{-4}) \times (2,006 \times 10^5) \times (18,8) \times (2,8274 \times 10^{-5})}{(8315) \times (298,2) \times (11,536)} \ln \left(\frac{2,006 \times 10^5}{1,9746 \times 10^5} \right)$$

$$mw = 1,5056 \times 10^{-11} \text{ kg/s}$$

$$mw_1 = 0,476 \text{ cm}^3/\text{tahun.}$$

Untuk kondisi reaktor beroperasi, adalah :

- T = 41,8 °C = 314,8 °K
- $Pw_1 = 0,3987 \text{ kg/cm}^2 \times 1,013 \times 10^5 \frac{\text{N/m}^2}{\text{kg/cm}^2}$
= 0,4038 x 10⁵ N/m²

$$mw = \frac{(2,56 \times 10^{-4}) \times (2,006 \times 10^5) \times (18,8) \times (2,8274 \times 10^{-5})}{(8315) \times (314,8) \times (11,536)} \ln \left(\frac{2,006 \times 10^5}{1,6022 \times 10^5} \right)$$

$$mw = 2,032 \times 10^{-10} \text{ kg/s}$$

$$mw_2 = 6,46 \text{ cm}^3/\text{tahun}$$

Dari persamaan (1) diatas diperoleh :

- Untuk fluida air
Mw = 18,8 (ref. 1, Daftar 11. 1)
D = 0,256 cm²/s (ref. 1, Daftar A – 8)
D = 2,56 x 10⁻⁴ m²/s
- $P = 1,98 \text{ kg/cm}^2 \times 1,013 \cdot 10^5 \frac{\text{N/m}^2}{\text{kg/cm}^2} = 2,006 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
- Untuk kondisi reaktor padam (shutdown), suhu rerata di dalam tabung, t = 24,54 °C dari tabel uap (ref. 3 Bild 160 a).
- $Pw_1 = 0,031 \text{ kg/cm}^2 \times 1,013 \cdot 10^5 \frac{\text{N/m}^2}{\text{kg/cm}^2} = 0,0314 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
- Pw₂ = 0, karena proses difusi dalam tabung terjadi keudara kering.
- $A = \pi/4 \times (6 \times 10^{-3})^2 \text{ m}^2 = 2,8274 \times 10^{-5} \text{ m}^2$
- Ro = 8315 J/kg. Mol. K
- T = 25,2 °C (suhu rerata udara masuk dalam tabung, lampiran)
= 298,2 K
- Δx = 11,536 m
- P – Pw₂ = 2,006 x 10⁵ N/m²
- P – Pw₁ = 2,006x10⁵ N/m² – 0,0314 x 10⁵ N/m²
= 1,9746 x 10⁵ N/m²

Maka laju difusi dalam tabung dengan kondisi “reaktor padam” adalah :

- $P - pw_1 = (2,006 \times 10^5 - 0,4038 \times 10^5) \text{ N/m}^2 = 1,6022 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

Maka laju difusi dalam tabung dengan kondisi “reaktor beroperasi” adalah :

Dari data – data diatas diperoleh besaran untuk menentukan jangkauan semburan, yaitu :

- $A_c = \pi/4 \times (6 \times 10^{-3})^2 \text{ m}^2 = 2,8274 \times 10^{-5} \text{ m}^2$
- $C_d = 0,6$
- $K_1 = 0,85$
- $Q_1 = 7 \text{ l/menit} = 1,1666 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$
- $A_t = \pi/4 \times (0,074)^2 \text{ m}^2 = 4,3 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

$$\bullet R_f = \frac{A_c}{A_t} = \frac{2,827 \times 10^{-5}}{4,3 \times 10^{-3}} = 6,5744 \times 10^{-3}$$

$$\bullet V_x = \left[1 - \left(\frac{A_c}{A_t} \right)^2 \right] \times \frac{Q_1}{A_t} = 2,6774 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

Maka jangkauan semburan adalah :

$$L = \frac{(0,85) \times (1,1666 \times 10^{-4})}{(2,6774 \times 10^{-2}) \sqrt{(2,827 \times 10^{-5}) \times (0,6) \times (6,5744 \times 10^{-3})}}$$

$$L = 11,09 \text{ m.}$$

Dari data – data diatas diperoleh untuk reaktor padam,

$$\beta = \frac{1}{(273 + 24,54)} = 3,36 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$\Delta t = (25,2 - 24,54) + 273 \text{ }^\circ\text{K} = 273,66 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$L = 11,536 \text{ m}$$

$$K_1 = 3$$

$$V_o = \sqrt{\frac{2 \times 9,8}{1,2} (1,98 \times 10^4 - 0,031 \times 10^4)} \text{ [m/s]}$$

$$V_o = 564,2 \text{ m/s}$$

$$d = 4 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Maka kemampuan udara naik saat reaktor padam, adalah :

$$Y = 0,42 \times \frac{(3,36 \times 10^{-3}) \times (9,8) \times (0,66) \times (11,536)^3}{(3) \times (564,2)^2 \times (4 \times 10^{-3})}$$

$$Y_2 = 0,42 \times \frac{(3,1766 \times 10^{-3}) \times (9,8) \times (289,6) \times (11,536)^3}{(3) \times (508,2)^2 \times (4 \times 10^{-3})}$$

$$Y_2 = 1,876 \text{ m} = 1876 \text{ mm}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem pengaturan humiditas dalam tabung pengarah detektor neutron merupakan salah satu bagian untuk mencegah terjadinya kegagalan listrik pada detektor. Pengaturan humiditas dengan menyemburkan udara kering pada tekanan pada 2 kg/cm² dan laju alir 7 l/menit, serta suhu 25,2 °C akan menghasilkan kelembaban relatif sebesar 50,25 % saat reaktor padam dan 40,60 % saat reaktor beroperasi.

$$Y = 1,521 \text{ m.} = 1521 \text{ mm}$$

Data untuk kondisi reaktor beroperasi, adalah :

$$\beta = \frac{1}{(273 + 41,8)} = 3,1766 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$\Delta t = (41,8 - 25,2) + 273 = 289,6 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$t = 41,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_s = 0,3987 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Ref. 3 Bild 160 a)}$$

$$p_s = 0,3987 \times 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$V_o = \sqrt{\frac{2 \times 9,8}{1,2} (1,98 \times 10^4 - 0,3987 \times 10^4)}$$

$$V_o = 508,2 \text{ m/s}$$

Maka kemampuan udara naik saat reaktor beroperasi, adalah :

Sistem pengaturan humiditas saja belum dapat memastikan jumlah laju kondensasi yang terjadi di dalam tabung detektor neutron maka secara teori difusi dapat di prakirakan laju kondensasi yang terjadi.

Dari data pengukuran, kondisi tabung dan teori diperoleh laju kondensasi sebesar 0,476 cm³/tahun saat reaktor padam dan 6,46 cm³/tahun saat reaktor beroperasi. Besaran laju kondensasi yang terjadi relatif kecil (volume detektor ± 3150 cm³), tetapi secara teori kegagalan listrik tidak dapat hanya ditentukan oleh besar kecilnya jumlah

kondensasi. Faktor yang dominan adalah mencegah terjadinya kondensasi seminim mungkin dan tidak terjadi pada terminal tegangan ("joint point"). Keboleh jadian ini dapat dieliminasi dengan adanya proses pemasukan udara kedalam tabung detektor secara terus menerus.

Keberhasilan proses pengaturan humiditas ini, tergantung kepada kemampuan semburan udara kering yang masuk ke dalam tabung dari data pengukuran, kondisi tabung dan teori diperoleh kemampuan semburan kebawah sebesar 11,09 m (lebih kecil $L_{izin} = 6$ m), sehingga semburan udara ke bawah melebihi jangkauan yang tersedia di harapkan dari proses pemasukan udara kering yang terus menerus maka tidak akan terjadi kondensasi di terminal listrik.

Hasil proses pengaturan humiditas di dalam tabung masih memerlukan kemampuan pengeluaran udara keluar, agar tidak terjadi pemampatan udara yang mengakibatkan kenaikan di dalam tabung. Dari data pengukuran kondisi tabung dan teori diperoleh kemampuan udara naik sebesar : 1521 mm saat reaktor padam, dan 1876 mm saat reaktor beroperasi. Kemampuan udara naik lebih kecil dari tinggi tabung yang tersedia ($Y_{izin} = 8000$ mm). Adanya kekurang mampuan udara naik masih dapat dikompensasi oleh kemampuan isap dari sistem udara buang (KLA 70; 550 m³/jam), sehingga diharapkan tidak akan terjadi kenaikan tekanan di dalam tabung reaktor, dan proses pengaturan humiditas dapat berlangsung secara berkesinambungan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Perpindahan Kalor, J.P. HOLMAN, Penerjemah IR. E. TASJFI, Edisi Kelima, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1984.
2. Penyegaran Udara, WIRANTO ARISMUNANDAR, HEIZO SAITO, Cetakan Kelima, Pradnya Paramita, Jakarta, 1995.
3. *Technische Warmelehre* By FRIEDRICH WILHELM WINTER, 9 Auflage 1975, Germany.

DISKUSI

Pertanyaan : (Anthony Simanjuntak)

Apakah target humidity yang layak sudah tercapai dalam kegiatan ini ?

Jawaban : (Sentot Alibasya Harahap)

Sudah dicapai, tetapi selama ada "proses" pada tabung "proses" ada udara kering yang "masuk" dan ada yang "keluar" dari tabung kemudian masuk ke distribusi (ducting) KLA70, 550 m³/jam

KESIMPULAN

Adanya sistem pengaturan humiditas dalam tabung pengarah detektor neutron merupakan salah satu tindakan pencegahan pemercepat kerusakan detektor neutron akibat adanya kondensasi di dalam tabung.

Pemasangan sistem pengaturan ini masih jauh dari keandalan yang sempurna, sebab derajat keadaan suatu sistem diukur dari kemampuan untuk menanggulangi segala keboleh jadian atas kegagalan yang mungkin terjadi. Adanya peningkatan laju kondensasi saat reaktor beroperasi (6,46 cm³/tahun) di bandingkan reaktor padam (0,476 cm³/tahun) disebabkan karena adanya peningkatan suhu dari kolam reaktor yang mengakibatkan konsentrasi massa yang berdifusi lebih besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Perangkai tulisan ini menghaturkan terima kasih kepada : 1. Bp. Bambang Riyanto; 2. Bp. Ir. Bambang Murjati; 3. Bp. Bambang Connie Irawan; 4. Bp. Santosa Pujiarto; 5. Bp. Amril; 6. Bp. Dede Solehuddin; 7. Bp. Makmuri; 8. Bp. Taufik "Arsyad"; 9. Bp. M. Yahya; 10. Bp. Yuyut Suryanianto; 11. Bp. Aep Saepudin Catur; 12. Bp. Syafrul BME; 13. Bp. Riyadi; 14. Bp. Royadi; 15. Bp. Sigit Purwanto; 16. Bp. Yayan Andrianto; 17. Bp. Kiswanto. Atas bantuannya sehingga tulisan ini dapat terangkai.