

**EVALUASI UNJUK KERJA
SISTEM PENDINGIN DARURAT KOLAM REAKTOR
JNA 10/20/30**

Djunaidi

ABSTRAK

EVALUASI UNJUK KERJA SISTEM PENDINGIN DARURAT KOLAM REAKTOR JNA 10/20/30. Pada saat reaktor beroperasi normal dengan daya 15 MW menjelang *shut down* telah dilakukan uji kemampuan tiga unit sistem pendingin darurat kolam reaktor pada waktu yang berbeda. Sistem ini berfungsi untuk mendinginkan sisa panas kolam setelah reaktor padam pada kondisi darurat dan juga pada operasi normal. Sistem ini beroperasi secara independen terhadap sistem reaktor maupun diantara sistem pendingin darurat yang lainnya. Ketiga sistem pendingin darurat kolam reaktor harus memiliki kemampuan pengambilan sisa panas rata-rata diatas kemampuan yang dipersyaratkan. Pada makalah ini akan dipaparkan perbandingan antara kemampuan pengambilan panas yang tersisa pada saat komisioning dan pada saat pengujian untuk mengetahui penurunan unjuk kerja. Kemampuan pengambilan panas pada saat pengujian satu sistem berbeda dengan sistem lainnya dan telah mengalami penurunan dibandingkan dengan kemampuan pada saat komisioning. Penurunan kemampuan selama ini dipengaruhi oleh proses alami dan bukan disebabkan karena faktor pembebanan. Perangkat keselamatan ini jarang dioperasikan, sehingga besarnya penurunan kemampuan rata-rata 36,5% namun masih dalam batas aman. Dengan menurunnya kemampuan perangkat keselamatan ini tidak mengurangi kesiagaan dalam mengoperasikan reaktor.

ABSTRACT

THE PERFORMANCE EVALUATION OF EMERGENCY POOL COOLING SYSTEM JNA 10/20/30. At normal operation of 15 MW prior to shut down , the capability test of 3 unit emergency pool cooling system have been carried out at different time. The system is used to cool the decay heat after reactor shut down at normal operation as well as emergency condition. The systems are operated independently toward the reactor operation and other emergency system. Three cooler systems of reactor pool emergency have capability aboverequires capability. This paper describes comparison between capability of intake of heat which remain at the commissioning phase and at examination to know the degradation of performance. Capability of intake of heat at the examination, one line system is different from other the system and have degradation compared to capability at the

commissioning. Degradation capability is caused by natural process and not caused by encumbering factor. The equipment seldom operated, so the level of degradation is 36,5% still become safety limit. The degradation equipment does not affect alertness in

PENDAHULUAN

Sistem pendingin darurat kolam reaktor merupakan suatu perangkat keselamatan (*safety*) kelas satu yang digunakan pada saat sistem pendingin primer tidak dapat beroperasi (*emergency*), dan juga dapat bekerja pada saat reaktor telah di *shut down* pada kondisi normal. Sistem ini mengambil sisa panas setelah reaktor *shut down* dan dapat dioperasikan kapan saja karena sistem ini bekerja secara terpisah dengan sistem reaktor dengan lama operasi tidak terbatas. Di dalam kolam reaktor RSG-GAS telah terpasang 3 buah sistem pendingin kolam dengan kapasitas sebesar 63 kW/ unit¹⁾. Sistem ini selama perjalanan operasi 18 tahun telah mengalami penurunan kemampuan sehingga ketiga tabung penyeimbang tekanan statis dari tiga sistem ini telah diganti dengan yang baru karena bocor dimakan karat. Karet seal yang sudah kering mengkerut telah diganti semuanya. Penurunan kemampuan ini disebabkan karena proses alami (umur) dan bukan karena faktor pembebanan selama ini karena perangkat ini jarang dioperasikan. Pada unit *cooler* yang bertempat di atas *roof* bangunan reaktor juga mengalami penurunan kemampuannya, beda suhu masuk dan keluar air pendingin pada saat komisioning 4,5° sampai dengan 3,5° C sedangkan saat pengujian mengalami penurunan beda suhu 2° sampai dengan 3°C. Hal ini karena umur dan tempat *cooler* berada di atas bangunan terkena hujan, panas, angin dan perubahan kelembaban dalam tempo lama, namun demikian unit *cooler* ini belum diganti dengan yang baru. Pasca perbaikan ke tiga sistem pendingin kolam ini telah dilakukan uji kemampuan pada kondisi normal operasi pada waktu yang berlainan dengan hasil rata-rata masih diatas kemampuan yang dipersyaratkan (>63 kW/Unit). Cara pengujian sistem pengambilan sisa panas kolam reaktor, pada saat akhir

operasi JNA dioperasikan dan dicatat perubahan suhu CT 001 dan CT 002 sampai air kolam suhunya sama dengan suhu kamar. Untuk mengetahui lebih jauh tentang penurunan kemampuan sistem pendingin kolam selama ini akan dipaparkan hasil uji kemampuan pengambilan panas pasca perbaikan dibandingkan dengan pengambilan panas pada saat komisioning. Masalah yang mungkin terjadi selama ini adalah akan memperpanjang waktu pendinginan air kolam untuk mencapai suhu kamar. Namun dengan menurunnya kemampuan pendinginan sistem pendingin kolam ini tidak mengurangi kesiagaan dalam mengoperasikan reaktor saat ini.

TEORI

A. Deskripsi Sistem Pendingin Darurat Kolam

Sistem pendingin darurat kolam terdiri atas tiga rangkaian yakni pendingin kolam JNA 10/20/30 yang bekerja secara independen dan redundan. Sistem ini dipasang di dalam kolam reaktor untuk memindahkan sejumlah sisa panas setelah reaktor *shutdown* dalam keadaan darurat ataupun dalam kondisi operasi normal¹⁾. Kolam reaktor dapat menyimpan sejumlah panas untuk jangka waktu sekitar sepuluh jam setelah *shutdown* tanpa adanya kenaikan suhu air kolam. Masing-masing rangkaian dirancang sama, dengan tugas mengambil sisa panas dan disediakan power suplai bersama dengan daya listrik dari diesel-generator. Gambar 1 adalah diagram alir sistem pendingin kolam JNA. Di dalam kolam reaktor telah terpasang tiga unit sistem pendingin kolam dengan kapasitas 3 kali 100 %¹⁾. Masing-masing Sistem terdiri dari suatu sirkuit aliran air yang terbenam di dalam kolam dengan suhu lebih dingin dari pada suhu air kolam. Aliran air ini dihubungkan ke suatu air-cooler, *finned-tube* pendingin air dan suatu pompa sirkulasi ditempatkan di atas atap bangunan reaktor. Masing-masing pendingin sirkuit dirancang untuk suatu tugas pemindahan panas sebesar 63 kW pada suatu suhu bola-kering. Masing-masing rangkaian terletak tegak

lurus di dalam kolam reaktor dan terdiri dari 16 tabung dengan *finned* lurus. Air pendingin mengalir naik ke atas melalui tabung dengan konfeksi paksa, sedangkan pemindahan panas kepada air kolam berlangsung di bawah konfeksi alam di atas permukaan tabung. Ukuran masing masing tabung luar adalah 10 m panjang, dengan diameter dalam 30 mm dan luar 35 mm serta mempunyai 6 sirip lurus mengikuti alur tabung¹⁾.

Cara kerja sistem pendingin darurat kolam adalah sebagai berikut : Panas yang diserap dengan konveksi alam oleh pendingin kolam JNA 10/20/30 BC 02, kemudian dipindahkan oleh pompa sirkulasi JNA 10/20/30 AP 01 ke udara pendingin penukar panas JNA 10/20/30 BC 01, dimana panas dibuang ke atmosfer¹⁾.

Berikut ini adalah beberapa kondisi operasi reaktor yang mana panas peluruhan hanya dapat dipindahkan dari dalam kolam reaktor dan ditransfer melalui sistem pendingin kolam :

- a. Kegagalan sistem pendingin reaktor
- b. Kegagalan catu daya pada saat operasi dalam waktu lama
- c. *Coast-down* dari pompa primer
- d. Kegagalan *valve*/ katup pada sirkuit primer
- e. Kehilangan air pada sistem pendingin primer.

B. Perhitungan Daya ²⁾

$$Q = m \times C_p \times \Delta t = (v \times \rho) \times C_p \times \Delta t \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

- Q = Panas yang diambil dalam kW.
 m = massa pendingin dalam kg/detik.
 V = Laju alir pendingin JNA dalam m³/ jam
 ρ_{air} = massa jenis air dalam kg/m³
 $C_{p \text{ air}}$ = Kalor jenis air dalam KW/kg K
 Δt = Beda suhu keluar dan masuk dalam °C
 m = $\rho_{\text{air}} \cdot V$ Kemudian pada suhu pengambilan panas itu harga
 $\rho_{\text{air}} = 992,62 \text{ kg/m}^3$. $C_{p \text{ air}} = 4,1786 \text{ kW/kg K}$. $\Delta t = ^\circ\text{C} = \text{K}$

$$Q = (v/3600 \times 992,62) \times 4,1786 \times \Delta t \text{ kW.}$$

TATA KERJA

Untuk mengetahui sejauh mana penurunan kemampuan pendinginan sistem pendingin kolam (JNA) dengan cara membandingkan hasil perhitungan pada saat komisioning dengan hasil perhitungan pada saat uji kemampuan pasca perbaikan dengan Gambar 2 dan 3. Hasil uji kemampuan sistem pendingin kolam (JNA 10 / 20 / 30) diperoleh dengan pengumpulan data, sedangkan prosedur uji kemampuan pendinginan disesuaikan dengan prosedur pengoperasian JNA. Sesuai dengan prosedur pengoperasian dilakukan sebelum reaktor di *shut down* seperti prosedur terinci berikut:

Prosedur Terinci ²⁾

- 1) Reaktor dalam keadaan operasi normal 15 MW
- 2) Sistem pendingin utama beroperasi normal
- 3) Sistem purifikasi berjalan normal , WWL dalam posisi “ON”
- 4) *Floating Gate* terpasang
- 5) JNA “ON”
- 6) Dicatat perubahan suhu air kolam JNA CT 001 dan CT 002 setiap jam sampai suhu kolam sama dengan suhu kamar
- 7) Reaktor shut down WWL “OF” dan Pompa primer JE 01AP 0 1 dan JE 01AP02 “OFF”
- 8) JNA “OFF”

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada saat komisioning awal tahun 1986 telah dilakukan uji kemampuan sistem pendingin darurat kolam JNA non nuklir dengan cara simulasi yaitu mengoperasikan dua pompa primer RSG-GAS untuk mensirkulasikan air pendingin. Dengan sirkulasi tersebut akan terjadi friksi antara air dengan komponen sistem pendingin dan juga dengan air itu sendiri, akibatnya suhu air kolam akan naik terus tanpa adanya pembuangan panas. Setelah lebih

dari 10 jam dioperasikan suhu air kolam telah sama dengan suhu air kolam pada operasi reaktor pada daya 30 MW yakni sebesar 58°C untuk tes non nuklir, setelah itu pompa dimatikan. Sesuai dengan prosedur komisioning setelah sepuluh jam pompa dimatikan salah satu sistem pendingin darurat kolam dioperasikan dan dari unjuk kerja tersebut diperoleh grafik power dari teras dan power dari JNA pada Gambar 2.

Dari hasil pengamatan dan pengumpulan data yang dilakukan menjelang *shutdown* di ruang kendali utama menunjukkan bahwa uji kemampuan sistem pendingin kolam reaktor pada kondisi normal telah dilakukan dengan baik, untuk JNA 30 pada tanggal 11-11-2003, JNA 10 pada tanggal 3-2-2004 dan JNA 20 pada tanggal 20-4-2004³⁾. Kemampuan rata-rata untuk mendinginkan kolam masing-masing adalah JNA 30 sebesar 72,077 kW, untuk JNA 10 sebesar 76 kW dan untuk JNA 20 sebesar 80,65 kW³⁾, sedangkan menurut buku *Safety analysis report* (SAR RSG-GAS kemampuan mendinginkan kolam rata-rata sebesar 63 kW setiap unitnya sehingga dalam uji kemampuan saat ini kemampuannya diatas kemampuan yang dipersyaratkan. Kemudian sebagai catatan dari evaluasi gangguan sistem pendingin kolam ini bahwa JNA 30³⁾ paling sedikit mengalami gangguan setiap tahunnya sehingga setiap operasi reaktor dilakukan, JNA 30 selalu siap untuk dioperasikan, ini juga dapat dilihat pada panel diruang kendali utama setiap saat. Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3 adalah hasil pengukuran pada saat uji kemampuan sistem pendingin kolam reaktor pada kondisi normal dengan daya 15 MW. Apabila hasil terbesar dari uji kemampuan JNA tahun 2004 yaitu JNA 20 sebesar 80,65 kW, jika unjuk kerja JNA 20 di plot seperti gambar 2 maka akan mengalami degradasi waktu cukup lama.

Pada tabel 4 terlihat bahwa penurunan kemampuan rata-rata dari ketiga sistem pendingin kolam sebesar 43,791 kW atau 36,5%, ini menunjukkan bahwa perangkat keselamatan juga mengalami degradasi seiring dengan perjalanan waktu walaupun perangkat keselamatan itu tidak akan dimanfaatkan kecuali dalam keadaan terpaksa. Yang kedua adalah

perubahan suhu pada cooler, untuk semua sistem pendingin kolam JNA 10/20/30 perubahan suhu masuk dan keluar cooler sekitar 2 sampai 3 derajat. Hal ini karena umur cooler sudah cukup lama sekalipun sistem ini jarang dioperasikan sehingga pengambilan panas tidak bisa maksimum. Pada saat komisioning perubahan suhu pada cooler dari 3,5 sampai dengan 4,5°C (lihat Gambar 3). Sekali waktu laju alir sistem ini dirubah (diturunkan) namun penurunan suhu pada cooler tidak lebih dari 3°, kebolehan putaran blowernya sudah mulai menurun dan kemungkinan lain alat pengukur / meter-meter yang tersedia di RKU untuk sistem ini adalah analog bukan digital sehingga keakuratannya kurang karena perubahannya kecil tidak terlihat. Dengan menurunnya harga Δt , maka menurut rumus perpindahan panas pada persamaan 1 dan kemampuan pengambilan panas juga menurun banyak. Dengan demikian Δt sangat berpengaruh terhadap unjuk kerja sistem pendingin kolam reaktor kemudian dengan menurunnya pembuangan panas ke atmosfer maka sebagai saran sebaiknya ketiga cooler dan pompanya diganti dengan yang baru.

KESIMPULAN

Dari hasil evaluasi dan pembahasan diatas menunjukkan bahwa sejak komisioning sampai dengan tahun 2004 sistem pendingin darurat kolam JNA 10/20/30 telah mengalami penurunan kemampuan untuk mendinginkan kolam reaktor terutama waktu untuk mendinginkan semakin panjang, namun demikian kemampuan pendinginan tersebut masih berada diatas persyaratan yang berlaku.

DAFTAR PUSTAKA

1. *Safety Analysis Report RSG-GAS*, Volume 8, Badan Tenaga Nuklir Nasional.

2. Acceptance Test-Program, Heat Balance Of Pool Cooling Sistem, INTERATOM, 1987
3. Djunaidi, dkk.,. *UJI KEMAMPUAN SISTEM PENDINGIN DARURAT KOLAM RSG-GAS PADA OPERASI NORMAL*. Proseding Seminar Nasional, Penelitian Pengelolaan Perangkat Nuklir (P3N), ISSN No. 1410 –8178, Yogyakarta 30 Nopember 2004.

TABEL 1. UJI KEMAMPUAN JNA 30

DATA HASIL PENGUKURAN PADA SAAT OPERASI NORMAL
Pengukuran tgl . 11-11-2003.

| No. | Jam | JNA 30 CF001, m ³ /jam | JNA 30 CT001, °C | JNA 30 CT002, °C | D T (°C) | Keterangan | Daya KW |
|-----|-------------------|---|---------------------|---------------------|-------------|-------------------------------|------------|
| 1. | 10. ⁰⁰ | 0 | 40 | 36 | 4 | JNA 30 off | 0 |
| 2. | 10. ¹⁰ | 34 | 40 | 38 | 2 | JNA 30 On | 78,7 |
| 3. | 11. ⁰⁰ | 33 | 38 | 36 | 2 | | 76 |
| 4. | 12. ⁰⁰ | 33 | 38,5 | 37 | 1,5 | Siang hari | 57,30 |
| 5. | 13. ⁰⁰ | 33 | 38 | 36,5 | 1,5 | | 57,30 |
| 6. | 14. ⁰⁰ | 33 | 38 | 36,2 | 1,8 | | 68,75 |
| 7. | 15. ⁰⁰ | 33 | 38 | 35 | 3 | | 114,5 |
| 8. | 16. ⁰⁰ | 33 | 38 | 36 | 2 | | 76 |
| 9. | 17. ⁰⁰ | 33 | 38 | 36 | 2 | | 76 |
| 10. | 18. ⁰⁰ | 33 | 38 | 35 | 3 | Perubahan siang | 114,5 |
| 11. | 19. ⁰⁰ | 33 | 37 | 34 | 3 | Ke malam | 114,5 |
| 13. | 20. ⁰⁰ | 33 | 37 | 34 | 3 | Reaktor shut down | 114,5 |
| 14. | 20. ³⁰ | 33 | 34 | 32 | 2 | WWL off. 20. ¹³ | 76 |
| 15. | 20. ⁴⁵ | 33 | 33 | 31 | 2 | Perubahan unjuk | 76 |
| 16. | 21. ⁰⁰ | 33 | 32 | 30 | 2 | Kerja setelah | 76 |
| 17. | 21. ³⁰ | 33 | 31 | 29 | 2 | WWL off | 76 |
| 18. | 22. ⁰⁰ | 33 | 30 | 28 | 2 | | 76 |
| 19. | 22. ³⁰ | 33 | 29 | 27 | 2 | | 76 |
| 20. | 22. ³⁹ | 33 | 29 | 27 | 2 | AP001, AP003 off | 76 |
| 21. | 22. ⁴² | 33 | 29 | 27 | 2 | JNA 30 off | 76 |

Rata-rata sebesar 72,077 KW

TABEL 2. UJI KEMAMPUAN JNA 10

DATA HASIL PENGUKURAN PADA SAAT OPERASI NORMAL
OPERASI DAYA 15 MW SELAMA 4 HARI
DAN CUACA DILUAR HUJAN

Pengukuran tgl . 3-2.-2004.

| No. | Jam | JNA 30 CF001, m ³ /jam | JNA 30 CT001, °C | JNA 30 CT002, °C | D T (°C) | Keterangan | Daya KW |
|-----|-------------------|---|---------------------|---------------------|-------------|--|------------|
| 1. | 14.00 | 0 | 40 | 36 | 4 | JNA 10 off | 0 |
| 2. | 14. ²⁶ | 33 | 36 | 34 | 2 | JNA 10 On | 76 |
| 3. | 15.00 | 33 | 34 | 32 | 2 | | 76 |
| 4. | 16.00 | 33 | 32 | 30 | 2 | Reaktor Shut down | 76 |
| 5. | 17.00 | 33 | 29 | 27 | 2 | W.W.L..Off .16.06 | 76 |
| 6. | 17. ⁴⁰ | 33 | 28 | 26 | 2 | Pompa primer AP01 dan AP02 Off 17.32 | 76 |
| 7. | 18.00 | 33 | 28 | 26 | 2 | JNA 10 Off 18.00 | 76 |
| 8. | 19.00 | 0 | 28 | 26 | 2 | | 0 |

Rata-rata sebesar 76 KW.

TABEL 3. UJI KEMAMPUAN JNA 20

DATA HASIL PENGUKURAN PADA SAAT OPERASI NORMAL
Pengukuran tgl . 20-4-2004.

| No. | Jam | JNA 20 CF001, m ³ /jam | JNA 20 CT001, °C | JNA 20 CT002, °C | D T (°C) | Keterangan | Daya KW |
|-----|------------------|--------------------------------------|---------------------|---------------------|-------------|---------------------------|------------|
| 1. | 10 ²⁹ | 0 | 40 | 36 | 4 | JNA 20 off | 0 |
| 2. | 10 ³⁰ | 35 | 38 | 36 | 2 | JNA 20 On | 80.65 |
| 3. | 11 ⁰⁰ | 35 | 38 | 36 | 2 | | 80.65 |
| 4. | 11 ³⁰ | 35 | 38 | 36 | 2 | | 80.65 |
| 5. | 12 ⁰⁰ | 35 | 38 | 36 | 2 | | 80.65 |
| 6. | 12 ³⁰ | 35 | 38 | 36 | 2 | | 80.65 |
| 7. | 13 ⁰⁰ | 35 | 38 | 36 | 2 | Reaktor shut down | 80.65 |
| 8. | 13 ³⁰ | 35 | 38 | 36 | 2 | | 80.65 |
| 9. | 14 ⁰⁰ | 35 | 35 | 33 | 2 | W.W.L off | 80.65 |
| 10. | 15 ⁰⁰ | 35 | 33 | 31 | 2 | | 80.65 |
| 11. | 16 ⁰⁰ | 35 | 28 | 26 | 2 | Pompa AP02/AP03 off | 80.65 |
| 12. | 17 ⁰⁰ | 0 | 28 | 26 | 2 | JNA 20 off | 0 |

Rata-rata sebesar 80,65 KW

**TABEL 4. PERBANDINGAN DAYA PADA SAAT KOMISIONING
DENGAN PADA SAAT PENGUJIAN**

| No. | KKS | KEMAMPUAN PADA SAAT KOMISIONING RATA-RATA (KW) | KEMAMPUAN PADA SAAT PENGUJIAN RATA-RATA (KW) | PENURUNAN (KW) | BATAS YANG DIJINKAN (KW) |
|-----|--------|---|--|-------------------|-----------------------------------|
| 1. | JNA 10 | 120 | 76 | 44 | 63 |
| 2. | JNA 20 | 120 | 80,65 | 39,35 | 63 |
| 3. | JNA 30 | 120 | 72,077 | 47,923 | 63 |

Jumlah = 131,273 KW

Rata-rata = $131,273 / 3 = 43,791$ KW

Penurunan kemampuan rata-rata = $[(43,791) / (120)] \times 100\% = 36,493\% = 36,5\%$