

EVALUASI KINERJA SISTEM PENDINGIN DI INSTALASI PENYIMPANAN SEMENTARA BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS

Dyah Sulistyani Rahayu, Marhaeni Joko P

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, Kawasan Puspiptek Serpong

yayuk@batan.go.id

ABSTRAK

EVALUASI KINERJA SISTEM PENDINGIN DI INSTALASI PENYIMPANAN SEMENTARA BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS. Sistem pendingin dan pemurnian air kolam berfungsi untuk memindahkan panas yang dibangkitkan dari perangkat bahan bakar bekas dan mempertahankan sifat-sifat kimia, kejernihan dan kandungan zat radioaktif yang terlarut dalam air pada batas yang diijinkan. Suhu air kolam dijaga $< 35^{\circ}\text{C}$ dengan cara mensirkulasikan air kolam melalui unit penukar panas (primer dan sekunder). Faktor-faktor yang mempengaruhi pengukuran suhu antara lain kinerja sistem *chiller*, sistem penukar panas dan suhu air PUSPIPTEK sebagai pendingin primer. Hasil pengukuran suhu rata-rata T suhu kolam (*in*) = $26,9^{\circ}\text{C}$, T HE sekunder = $15,1^{\circ}\text{C}$, T air *chiller* = $13,2^{\circ}\text{C}$, dan T out sistem primer = $23,62^{\circ}\text{C}$. Pada selisih (ΔT) temperatur air kolam masuk ke sistem pendingin dan temperatur air kolam keluar dari sistem pendingin (ΔT *in* dan *out* $^{\circ}\text{C}$) sekitar $2,3^{\circ}\text{C}$ – $4,3^{\circ}\text{C}$ disebabkan karena suhu air *chiller* sebagai pendingin sekunder yang mendinginkan suhu air primer masih cukup tinggi (10°C - 14°C). Hal ini disebabkan kinerja dari *chiller* yang kurang optimal, meskipun masih dalam batas kondisi operasi yang diijinkan. Sehingga diperlukan untuk merevitalisasi sistem *chiller* agar kinerja sistem pendingin lebih optimal.

Kata kunci: sistem pendingin, instalasi penyimpanan sementara bahan bakar nuklir bekas, unit penukar panas.

ABSTRACT

PERFORMANCE OF COOLING SYSTEM IN NUCLEAR SPENT FUEL STORAGE INSTALLATION. The cooling and purifying system of the pond water serves to remove heat generated from the spent fuel device and retain chemical properties, clarity and content of radioactive substances dissolved in water at the permissible limit. The water temperature of the pond is maintained $< 30^{\circ}\text{C}$ by circulating the pond water through the heat exchanger units (primary and secondary). Factors that affect the temperature measurement include *chiller* system performance, heat exchanger system and PUSPIPTEK water temperature as primary coolant. Result of measurement of average temperature of the pool $T(\text{in}) = 26,9^{\circ}\text{C}$, T HE secondary = $15,1^{\circ}\text{C}$, T water *chiller* = $13,2^{\circ}\text{C}$, and T out primary system = $23,62^{\circ}\text{C}$. On the difference (ΔT) the temperature of the pond water enters the cooling system and the temperature of the pond water out of the cooling system (ΔT *in* and *out* $^{\circ}\text{C}$) is about 2.3°C - 4.3°C due to the water temperature as a secondary cooling *chiller* that cools the primary water temperature is still quite high (10°C - 14°C). This is due to the performance of the *chiller* is less than optimal, but still within the permissible operating conditions. So it is necessary to revitalize the *chiller* system for optimum system performance.

Keywords: cooling system, spent nuclear fuel storage installation, heat exchanger unit

PENDAHULUAN

Fasilitas Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Nuklir Bekas Serpong dirancang untuk mampu menyimpan BBNB dan 1 *core unload* yang akan ditimbulkan untuk 25 tahun operasi RSG-GAS. Berdasarkan desain, pada operasi normal RSG-GAS terdapat penggantian 6 BBNB per siklus dan ada 3 siklus per tahun. Kapasitas penyimpanan IPSB3 adalah 1448 elemen BBNB dan saat ini tersimpan 245 elemen yang terdiri dari 208 elemen BBNB dan 37 elemen batang kendali. Aspek keselamatan operasi KH-IPSB3 harus dikaji agar pengoperasiannya dalam jangka panjang tetap terjamin keselamatannya [1]. Total panas terdistribusikan diestimasi sebesar 40 kW, 35 kW dibangkitkan oleh perangkat bahan bakar bekas dan 5 kW berasal dari pemanasan sistem penerangan. Sejumlah kehilangan panas dapat terjadi sebagai akibat dari perpindahan panas melalui tembok beton yaitu sebesar 1-2 kW, dan penguapan air sebanyak 250 l/hari. Temperatur air kolam dijaga pada harga sekitar 25°C dengan cara mensirkulasikan air kolam melalui unit penukar panas (primer dan sekunder)[2]. Bahan bakar nuklir bekas yang keluar dari reaktor mengalami pendinginan selama 100 hari, sebelum ditransfer ke KHIPSB3. Kegiatan ini bertujuan untuk mendapatkan kondisi yang optimum dari parameter sistem pendingin. Lingkup kegiatan meliputi pengukuran suhu kolam input,

suhu keluar dari *heat exchanger* (HE), suhu *chiller* dan suhu keluar dari HE primer. Suhu keluar dari HE primer merupakan suhu out put dari sistem pendingin.

Landasan Teori

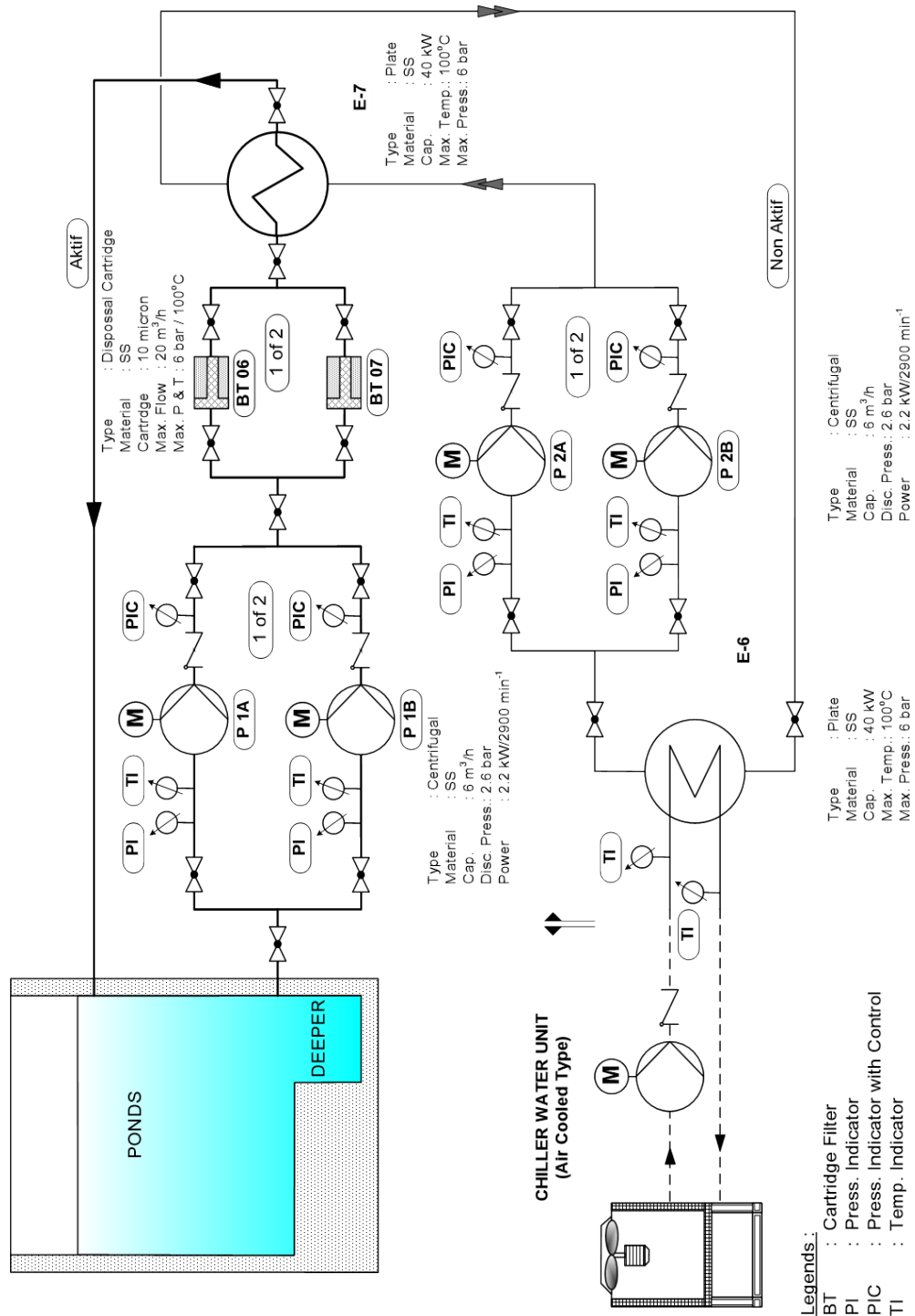
Sistem pendingin dan pemurnian air kolam berfungsi memindahkan panas yang dibangkitkan dari perangkat bahan bakar bekas dan mempertahankan sifat-sifat kimia, kejernihan dan kandungan zat radioaktif yang terlarut dalam air pada batas yang diijinkan. Temperatur kolam dipertahankan pada suhu nominal $< 35^{\circ}\text{C}$ dengan *chilled water*. *Chilled water* diisolasikan dari air primer dengan menggunakan penukar panas tertutup sekunder. Sistem pemindah panas antar sirkuit dicapai dengan menggunakan alat penukar panas. Sistem pendingin kolam memiliki *coarse* filter yang bertujuan untuk melindungi pompa dari partikel dengan ukuran besar. Diagram alir sistem pendingin ditunjukkan pada Gambar 1.

Kondisi Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Nuklir Bekas - Instalasi penyimpanan didisain ^[3]:

- Mampu menerima panas menerima panas total sebesar 40 kW.
- Bahan bakar nuklir bekas dipindahkan ke rak kolam IPSB3 tidak secara berkelompok tetapi persatuan.
- Sistem pemurnian air disediakan untuk mempertahankan kualitas air sesuai dengan syarat keselamatan yang telah ditetapkan.
- Suhu air kolam dijaga sekitar 30°C dengan cara mensirkulasikan air kolam melalui unit penukar panas (primer dan sekunder).
- Suhu abnormal tidak boleh melebihi 67°C agar kelongsong BBNB tidak rusak.
- Sistem ventilasi dipasang untuk memperkuat kungkungan kemungkinan lepasnya material radioaktif berupa gas ke lingkungan

Perpindahan panas yang terjadi di KH-IPSB3 adalah ^[4]:

1. Perpindahan Panas Secara Konduksi
Proses konduksi adalah proses dimana panas mengalir dari daerah suhu yang lebih tinggi ke yang lebih rendah di dalam satu medium padat atau antara medium medium yang bersinggungan secara langsung.
2. Perpindahan Panas Secara Konveksi
Proses konveksi terjadi pada penyimpangan energi antara permukaan benda padat dengan cair maupun gas.
3. Perpindahan Panas Secara Radiasi
Proses radiasi adalah proses perpindahan panas melalui udara atau ruang hampa dengan cara sinaran atau pancaran dari suatu benda yang menghasilkan panas.



Gambar 1. Diagram Air Sistem Pendingin KH-IPSB3

Kondisi Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Nuklir Bekas didesain mampu menerima panas total sebesar 40 kW, sistem pemurnian air disediakan untuk mempertahankan kualitas air sesuai dengan syarat keselamatan yang telah ditetapkan, suhu air kolam dijaga sekitar $< 35^{\circ}\text{C}$ dengan cara mensirkulasikan air kolam melalui unit penukar panas (primer dan sekunder), suhu abnormal tidak boleh melebihi 67 agar kelongsong BBNB tidak rusak dan sistem ventilasi dipasang untuk memperkuat kungkungan kemungkinan lepasnya material radioaktif berupa gas ke lingkungan [5]. Kondisi batas untuk operasi yang aman instalasi penyimpanan ditunjukkan pada Tabel 1 [2].

No	Parameter	Batasan	Keterangan
1.	Paparan gamma di seluruh instalasi	$< 10 \mu\text{Sv/jam}$	PERKA BAPETEN No. 4 Tahun 2013
2.	Kontaminasi udara di daerah kerja.	$< 5,3 \cdot 10^2 \text{ Bq/m}^3$	PERKA BAPETEN No. 7 Tahun 2013
3.	Lepasan I-131	$< 1,3 \cdot 10^5 \text{ Bq/jam}$	PERKA BAPETEN No. 7 Tahun 2013
4.	Temperatur air kolam dan kanal	$< 35^{\circ}\text{C}$	Dokumen preliminary design TC - ISFSF AEA
5.	pH air kolam dan kanal	5,5 – 7,5	Dokumen preliminary design TC - ISFSF AEA
6.	Konduktivitas air kolam dan kanal	$< 15 \mu\text{S/cm}$	Dokumen preliminary design TC - ISFSF AEA
7.	Ketinggian air kolam dari permukaan BBNB	$> 2,5 \text{ m}$	Dokumen preliminary design TC - ISFSF AEA
8.	Tekanan udara negatif	$100 \text{ Pa} \pm 2 \text{ Pa}$	Saat ada kegiatan
9.	Temperatur udara	$< 28^{\circ}\text{C}$	Saat ada kegiatan

METODOLOGI

Mengoperasikan sistem pendingin dengan cara menghidupkan suplai listrik ke sistem kontrol dan memastikan konfigurasi *valve* kondisi *standby*. Kemudian pompa P1 A atau P1 B dihidupkan dengan menekan tombol ON, memastikan motor dalam kondisi ON, amati tekanan air yang ditunjukkan oleh *pressure gauge*. Selanjutnya menghidupkan pompa P2A atau P2B dengan menekan tombol ON, pastikan motor dalam kondisi ON, amati tekanan air yang ditunjukkan oleh *pressure gauge*.

Suhu air kolam dicatat sebagai inputan sistem pendingin, suhu *chiller*, suhu HE sekunder dan suhu primer yang selanjutnya disebut sebagai suhu keluar dari sistem pendingin. Semua pengoperasian ditandai dengan lampu indikator berwarna hijau dan pengoperasian P1 A / P1 B dan P2 A / P2 B dioperasikan secara bergantian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

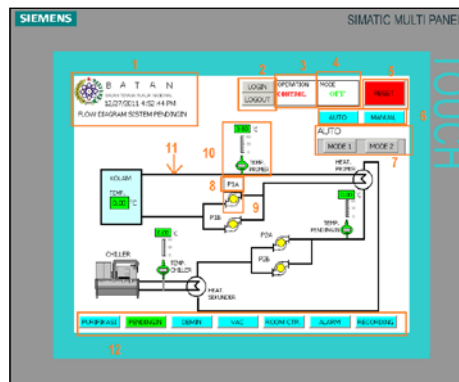
Sistem Pendingin di KH-IPSB3

Sumber air pendingin yang digunakan air kolam berasal dari *sistem chiller water unit (CWU)*, dimana air dingin yang berasal dari CWU digunakan untuk mendinginkan air pendingin sistem sekunder dan sistem pendingin sekunder mendinginkan air pendingin sistem primer. Sistem pendingin primer yang langsung berinteraksi dengan air kolam dan kanal hubung. Interaksi antara

sistem pendingin sekunder dengan sistem pendingin primer, serta dengan air kolam menggunakan alat penukar panas jenis *shell and tube*.

Sistem pendingin di KHIPSB3 terdiri dari 2 (dua) penukar panas sitem pendingin yaitu pendingin primer dan pendingin sekunder. Untuk mendinginkan kolam secara efektif air disirkulasikan dari permukaan kolam yang terletak berdekatan dengan *water treatment plant room* dan dikembalikan ke kolam di bagian ujung menjauhi daerah penyimpanan. Kecepatan sirkulasi air 6,0 m³/jam disesuaikan dengan bentuk penukar panas. Penukar panas (HE) primer akan memompa air dari kolam melalui filter 10 µm menuju ke penukar panas primer. Unit ini dilengkapi dengan 2 buah pompa sirkulasi, 1 beroperasi dan yang lain sebagai cadangan. Penukar panas (HE) sekunder akan memompa air yang berasal dari PUSPIPTEK dalam sistem yang tertutup. Dari penukar panas sekunder air pendingin mengalir ke penukar panas primer dan kembali ke penukar panas sekunder. Pendingin air sekunder dilaksanakan oleh *chilled water* sehingga ada dua rintangan antara air kolam dan *chilled water* [2]. Bila air sekunder dan *chilled water* tidak terkontaminasi oleh air kolam, perawatan pompa sekunder tidak diaktifkan. Pada kondisi normal, sistem *Ventillation Air Conditioner* (VAC) berjalan, air kolam dipertahankan pada suhu konstan < 30 °C melalui pendinginan, air dengan suhu tersebut disirkulasikan dengan kecepatan alir 6 m³/jam ke sistem pendingin sehingga suhu menjadi 25 °C - 28 °C (sesuai dengan Batas Kondisi Operasi) dan kemudian dikembalikan ke kolam. Sebagai pendingin digunakan air dengan suhu awal 17 °C dan suhu akhir 23 °C, air pendingin ini didinginkan oleh air dingin dari *Chiller*. Skema dari sistem pendingin tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 [2].

Dari pengoperasian sistem pendingin diambil data rerata setiap 1 bulan sekali. Hasil pengukuran dicatat pada Tabel 2 . Diagram *Programmable Logic Control* (PLC) sistem pendingin pada Gambar 3.

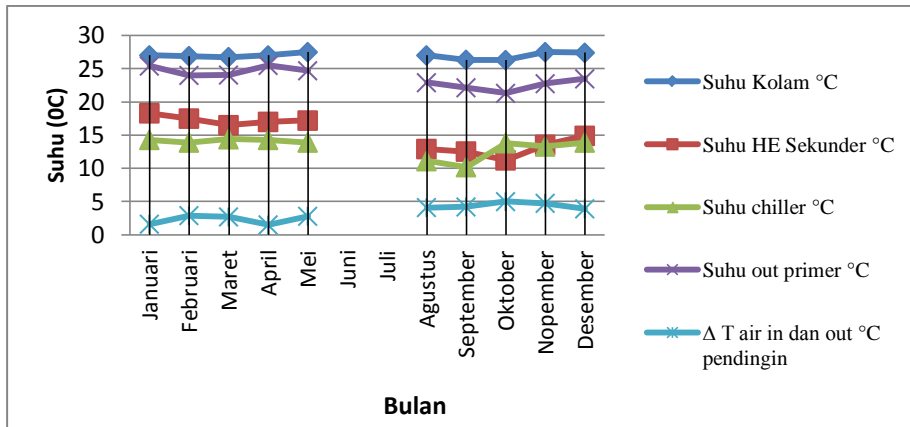


Gambar 3. Diagram *Programmable Logic Control* (PLC) Sistem Pendingin

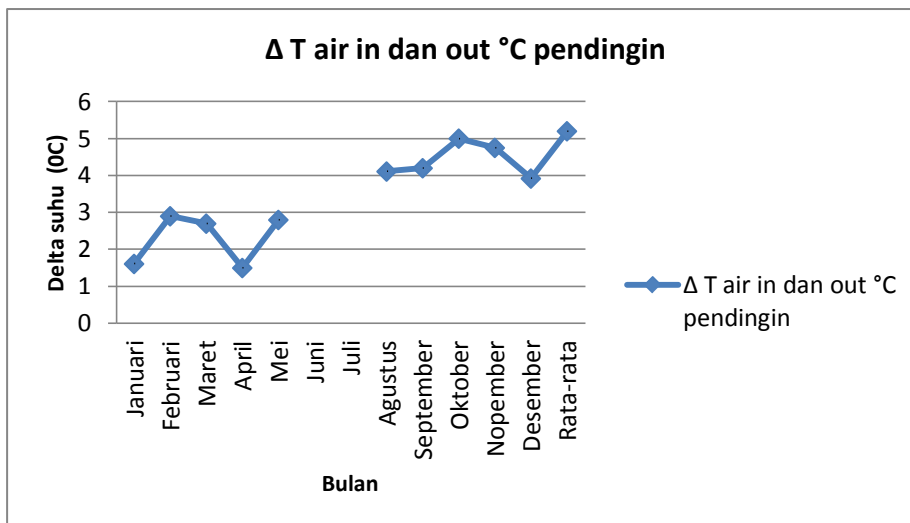
Tabel 1. Hasil Pengukuran Suhu Sistem Pendingin 2017

Bulan 2017	Suhu Kolam °C (KBO<35 C)	Suhu HE Sekunder °C (KBO<20 C)	Suhu <i>chiller</i> °C (KBO<18 C)	Suhu out primer °C	Δ T air in dan out °C pendingin
Januari	27,01	18,30	14,30	25,40	1,61
Februari	26,90	17,50	13,90	24,00	2,90
Maret	26,75	16,50	14,40	24,05	2,70
April	27,00	17,00	14,30	25,50	1,50
Mei	27,50	17,20	13,90	24,70	2,80
Juni	Perbaikan kerusakan				
Juli					
Agustus	27,01	12,92	11,10	22,90	4,11
September	26,34	12,54	10,20	22,14	4,20
Oktober	26,30	11,22	13,80	21,30	5,00
Nopember	27,50	13,55	13,30	22,75	4,75

Desember	27,40	14,90	13,90	23,48	3,92
Rata-rata	26,25	13,24	12,36	21,05	5,20



Gambar 4. Grafik Pengukuran suhu sistem pendingin vs bulan



Gambar 5. Grafik Δ T air in dan out °C vs Bulan

Gambar 4 menunjukkan hasil pengukuran suhu yang harus diukur pada sistem pendingin tiap bulan. Faktor-faktor yang mempengaruhi pengukuran suhu antara lain kinerja sistem *chiller*, sistem penukar panas dan suhu air PUSPIPTEK sebagai pendingin primer. Dari tabel diperoleh suhu rata-rata T suhu kolam (*in*) = 26,9°C, T HE sekunder = 15,1°C, T air *chiller* = 13,2°C, dan T out sistem primer = 23,62 °C.

Pada Gambar 5 terlihat bahwa selisih (ΔT) temperatur air kolam masuk ke sistem pendingin dan temperatur air kolam keluar dari sistem pendingin (ΔT *in* dan *out* °C) pada bulan Januari sampai dengan Mei 2017 adalah 2,3 °C disebabkan karena suhu air *chiller* sebagai pendingin sekunder yang mendinginkan suhu air primer masih cukup tinggi (14°C), tetapi masih dalam batas kondisi yang diijinkan. Pada bulan Juni – Juli 2017 yaitu sistem pendingin tidak dioperasikan, karena mengalami kerusakan pada sistem pompa. Setelah identifikasi penyebab kerusakan dan pengujian awal terhadap masing-masing komponen, ternyata permasalahan terletak pada motor pompa yang panas melebihi batas kondisi operasi, sehingga motor pompa perlu direwinding. Meskipun sistem pendingin tidak dioperasikan, tetapi suhu kolam masih dalam batas kondisi operasi yang diijinkan. Hal ini dapat dijelaskan ketika kondisi sistem pendingin tidak berfungsi dan VAC beroperasi, seluruh panas BBNB akan menaikkan suhu air kolam. Pada kondisi VAC difungsikan ada panas yang ditransfer ke udara

melalui konveksi dan radiasi [7]. Selisih (ΔT) temperatur air kolam masuk ke sistem pendingin dan temperatur air kolam keluar dari sistem pendingin (ΔT air *in* dan *out* °C) pada bulan Agustus sampai desember sekitar 4,3°C. Faktor kinerja *chiller* sangat berpengaruh kepada kinerja dari sistem pendingin, karena dengan suhu air *chiller* yang seharusnya 5 °C - 9 °C, akan didapat suhu air keluaran sistem pendingin yang optimum juga, sehingga kinerja sistem pendingin menjadi lebih optimal. Sehingga diperlukan untuk merevitalisasi sistem *chiller* agar kinerja sistem pendingin lebih optimal.

KESIMPULAN

Faktor-faktor yang mempengaruhi pengukuran suhu antara lain kinerja sistem *chiller*, sistem penukar panas dan suhu air puspipstek sebagai pendingin primer. Kinerja sistem pendingin selama periode 2017 masih beroperasi secara optimal, meskipun terjadi kerusakan pada bulan Juni - Juli, tetapi suhu air kolam masih terjaga sesuai dengan batas kondisi operasi, dikarenakan sistem udara VAC masih beroperasi dengan baik. Hasil pengukuran suhu rata-rata T suhu kolam (*in*) = 26,9°C, T HE sekunder = 15,1°C, T air *chiller* = 13,2°C, dan T *out* sistem primer = 23,62°C. Selisih (ΔT) temperatur air kolam masuk ke sistem pendingin dan temperatur air kolam keluar dari sistem pendingin (ΔT *in* dan *out* °C) berkisar 2,3°C - 4,3°C.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BATAN – IAEA ENGINEERING CONTRACT, “*Transfer Channel and ISSF for BATAN, Preliminary Design Package*” November 1992.
- [2] LAK KHIPSB3 rev 7 Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, tahun 2013.
- [3] ZAINUS SALIMIN, “Transfer Panas Bahan Bakar Bekas Dalam Sistem Penyimpanan Sementara Tipe Basah PPTA Serpong”, Prosiding Seminar III Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir, PPTA SERPONG, 5 – 6 September 1995.
- [4] DYAH S RAHAYU, *Laporan Repatriasi Bahan Bakar Nuklir Bekas RSG-GAS*, BATAN Serpong 2010.
- [5] IAEA TECHNICAL REPORT SERIES No. 240, “*Guidebook on Spent Fuel Storage*”, IAEA, Vienna, 1994.
- [6] ZAINUS SALIMIN, DYAH SULISTYANI RAHAYU, “Unjuk Kerja Penyimpanan Bahan Bakar Nuklir Bekas Dalam Kaitan dengan Teknologi Penyimpanannya”, Seminar Nasional Ke 16 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Lainnya, Surabaya 28 Juli 2010.
- [7] KUAT HERYANTO, NUROKHIM, “Optimalisasi Pendingin Bahan Bakar Nuklir Bekas Reaktor Serba Guna Siwabessy di Kolam Penyimpanan Sementara, Prosiding Seminar Limbah Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah IX PTLR, BATAN, 2013

