

PENGELOLAAN AIR KOLAM SEBAGAI SALAH SATU ASPEK KESELAMATAN OPERASI PENYIMPANAN SEMENTARA BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS

Titik Sundari, Parjono, Dyah SR

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN)

Kawasan PUSPIPTEK Serpong Gedung No.50

E-mail: titiks@batan.go.id

ABSTRAK

PENGELOLAAN AIR KOLAM SEBAGAI SALAH SATU ASPEK KESELAMATAN OPERASI PENYIMPANAN SEMENTARA BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS. KH-IPSB3 merupakan instalasi penyimpanan tipe penyimpanan basah (*wet storage*). Konduktivitas, pH, suhu dan level air kolam merupakan parameter pemantauan yang penting terkait aspek keselamatan operasi KH-IPSB3. Pengelolaan air kolam yang dilakukan untuk memastikan kondisi operasi KH-IPSB3 sesuai persyaratan untuk operasi normal yang tercantum dalam Laporan Analisis Keselamatan (LAK) dan merupakan salah satu persyaratan surveilans fasilitas KH-IPSB3. Kegiatan pengelolaan air kolam dilakukan melalui pemantauan yang dilakukan setiap hari kerja dengan pencatatan parameter operasi yang meliputi konduktivitas, pH, suhu, dan tinggi permukaan air kolam dan pengendalian kualitas air *make up* yang diisikan ke kolam. Saat ini di IPSB3 menyimpan BBNB sebanyak 245 bundel, sedangkan kapasitas IPSB3 adalah sebanyak 1458 bundel. Hasil pemantauan diperoleh nilai konduktivitas maksimal adalah 1,53 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sesuai dengan persyaratan kondisi batas operasi normal yang menetapkan nilai konduktivitas tidak boleh lebih dari 15 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Nilai pH air kolam berkisar antara 5,73 – 6,39, sesuai dengan persyaratan kondisi batas operasi normal yaitu 5,5 – 7,5. Suhu air kolam rata-rata 27,15 °C dengan nilai maksimal 28,04 °C, sesuai dengan persyaratan kondisi batas operasi normal yaitu maksimal 35 °C. Nilai tinggi permukaan air kolam berkisar antara 6,23 – 6,38 m, sesuai dengan persyaratan kondisi batas operasi normal yaitu tinggi permukaan air minimal 3,6 dari permukaan BBNB (level air 5,96 m). Pengendalian kualitas air bebas mineral yang diisikan ke kolam (*air make up*) dilakukan dengan mempertahankan konduktivitas serendah mungkin yaitu tercapai pada rata-rata 0,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dan pada range pH 5,5-7. Tujuan kegiatan ini adalah untuk mendapatkan data operasi kolam penyimpanan sementara bahan bakar nuklir bekas dan memastikan parameter operasi tersebut sesuai dengan persyaratan batas kondisi untuk operasi normal sebagai salah satu aspek keselamatan operasi fasilitas KH-IPSB3. Hasil evaluasi ini juga bermanfaat sebagai salah satu data penting untuk mengkaji penuaan fasilitas instalasi penyimpanan sementara bahan bakar nuklir bekas.

Kata Kunci : aspek keselamatan, KH-IPSB3, bahan bakar nuklir bekas, penyimpanan tipe basah.

ABSTRACT

WATER POND MANAGEMENT AS ONE OF SAFETY ASPECTS IN OPERATIONS OF INTERIM STORAGE FOR SPENT NUCLEAR FUEL. TC-ISSF is a storage installation in wet storage type (*wet storage*). Conductivity, pH, temperature and level of pond water are important monitoring parameters related to safety aspects of TC-ISSF operation. Pool water management undertaken to ensure the operating conditions of TC-ISSF meet the requirements for normal operation listed in the Safety Analysis Report (SAR) and is one of the surveillance requirements of TC-ISSF facilities. The pool water management activities are conducted through daily monitoring with recording of operating parameters including conductivity, pH, temperature, and water level of the pond and the quality control of the make up water that is filled into the pond. Currently the TC-ISSF stores 245 bundles of BBNB, while the capacity of TC-ISSF is 1458 bundles. The result of monitoring obtained maximum conductivity value is 1.53 $\mu\text{S} / \text{cm}$, in accordance with the requirement of normal operating limit conditions which set the conductivity value should not be more than 15 $\mu\text{S} / \text{cm}$. The pH value of pond water ranges from 5.73 to 6.39, in accordance with the requirements of normal operating limits of 5.5 - 7.5. Water temperature of ponds average 27.15 oC with a maximum value of 28.04 oC, in accordance with the requirements of the normal operating limit conditions of a maximum of 35 oC. Pond water depth ranges from 6.23 - 6.38 m, in accordance with the requirements of the normal operating limit condition with a minimum water level of 3.6 from the surface of BBNB (water level 5.96 m). The control of the demineralized water quality that is filled into the pond (*make up water*) is done by maintaining the lowest possible conductivity that is reached at an average of 0.6 $\mu\text{S} / \text{cm}$ and in the pH range of 5.5-7. The purpose of this activity is to obtain operating data of interim storage for nuclear spent fuel and ensure the parameters of the operation in accordance with the conditions boundary conditions for normal operation as one of the aspects of safety of TC-ISSF operation. The results of this evaluation are also useful as one of the important data to assess the aging of storage facilities while temporary nuclear fuel.

Keywords: safety aspect, TC-ISSF, spent nuclear fuel, wet storage.

PENDAHULUAN

Kanal Hubung-Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas (KH-IPSB3) terdiri dari Kanal Hubung (KH) dan Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas (IPSB3) yang berbentuk kolam. Ciri khas KH-IPSB3 adalah penyimpanan sistem basah yang dilakukan di dalam kolam penyimpanan. Kolam penyimpanan berfungsi untuk menyimpan sementara BBNB dan material teriradiasi lain. Kanal Hubung menghubungkan tiga instalasi yaitu IRM, IPR dan RSG GAS dan berfungsi sebagai jalur pemindahan BBNB dan material teriradiasi lainnya. Kapasitas kolam penyimpanan ini mampu menyimpan 1458 BBNB [1].

Bahan bakar bekas yang disimpan di IPSB3, sebelumnya telah mengalami pendinginan pendahuluan, minimum selama 100 hari di Kolam Penyimpanan Sementara RSG-GAS (KPS RSG-GAS). Dengan kapasitas ini IPSB3 mampu menampung seluruh bahan bakar RSG-GAS selama 25 tahun operasi RSG-GAS. Rak penyimpanan yang digunakan untuk mengantisipasi penyimpanan bahan bakar cacat adalah sebesar 5%. Bahan bakar cacat ditempatkan di dalam suatu wadah khusus yang dirancang untuk bahan bakar bekas cacat, pengungkungan menjadi tanggung jawab penimbul bahan bakar bekas [2].

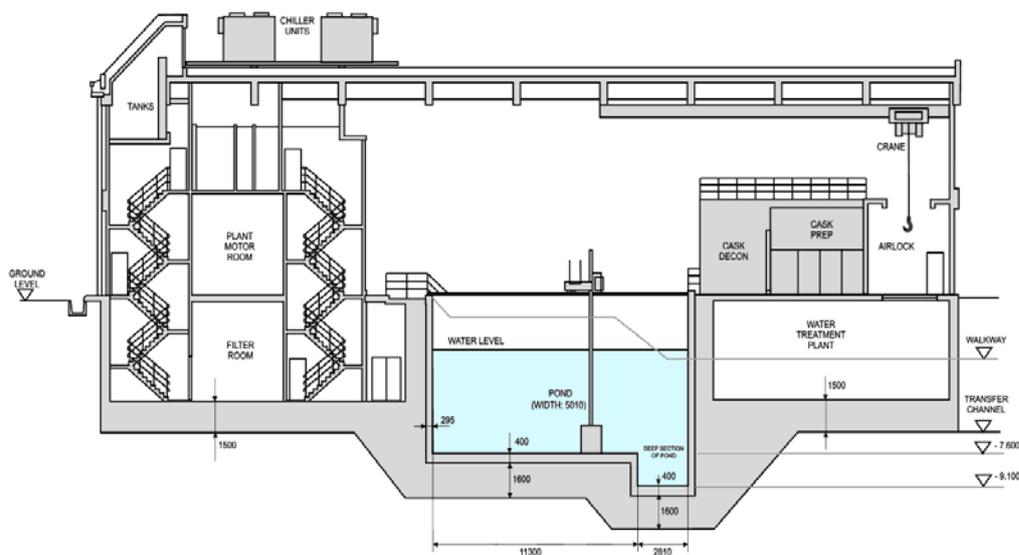
Kolam terletak di tengah-tengah IPSB3 dimana pada sisi Barat dan sisi Timur masing-masing terdiri dari tiga lantai. Pada sisi Barat terdapat pintu masuk orang dan tangga, ruang ganti, ruang administrasi serta ruang untuk ventilasi. Pada sisi Timur terdapat ruang *vehicle air lock*, ruang dekontaminasi, ruang persiapan pengiriman BBNB dan ruang pemurnian air. KH-IPSB3 dilengkapi dengan sistem bantu dan sarana dukung yang terletak di dalam gedung. Kolam penampung bahan bakar nuklir mempunyai kedalaman 7,5 m. Dinding dan dasar kolam dilapisi *stainless steel* [1]. Setiap bahan nuklir disimpan dalam rak penyimpanan, semua rak penyimpanan yang terbuat dari bahan *stainless steel* mempunyai ukuran 0,94 m x 0,94 m x 1,10 m [3].

Pada saat ini jumlah BBNB yang disimpan dalam kolam IPSB3 adalah sebanyak 245 bundel. Pengoperasian KH-IPSB3 dalam mendukung kegiatan kegiatan tersebut wajib memperoleh izin operasi dari Badan Pengawas (BAPETEN). Izin operasi KH-IPSB3 diterbitkan oleh BAPETEN untuk kurun waktu 10 tahun dan selanjutnya izin harus diperpanjang kembali [4].

Kolam penyimpan dibagi menjadi dua bagian [4]:

- a. Daerah penyimpanan, dengan ukuran 5 m x 10 m.
- b. Daerah kerja, dengan ukuran 5 m x 4 m. Daerah kerja digolongkan menjadi dua tingkat.
 1. Tingkat pertama adalah bagian utama dengan tingkat kedalaman air sama dengan kedalaman air di bagian penyimpan dan berfungsi dalam hal pemantauan bahan bakar.
 2. Tingkat kedua adalah daerah yang lebih dalam. Bagian ini berfungsi sebagai tempat penyimpan rak sementara ketika pemuatan BBNB dilaksanakan dan juga sebagai tempat penyimpanan BBNB beserta wadahnya sebelum direpatriasi.

Gambaran penampang instalasi IPSB3 ditunjukkan pada **Gambar 1** berikut [4]:



Gambar 1. Kolam Penyimpanan BBNB di KH-IPSB3 [4]

Kualifikasi Penyimpanan BBNB di IPSB3 adalah sebagai berikut [4]:

1. Penyimpanan 1458 perangkat BBNB.
2. Penyimpanan BBNB cacat dengan kapasitas 5% dari kapasitas penyimpanan penuh, yaitu 72 buah.
3. Penyimpanan bahan nuklir khusus dalam bentuk U-235 dan Pu-249.
4. Penyimpanan BBNB tipe lain yang mengandung U-235 dan Pu-249.
5. Penyimpanan 125 wadah potongan-sisa (*scrap*) bahan bakar dengan ukuran panjang 1,2 m dan diameter 0,2 m.

Elemen bakar yang digunakan di RSG-GAS adalah elemen bakar tipe "*Material Testing Reactor*" (MTR) dengan pengkayaan U-235 sebesar 19,75 %. Ada dua jenis elemen bakar yang pernah digunakan di RSG-GAS yaitu bahan bakar oksida U_3O_8 -Al dan bahan bakar silisida U_3Si_2 -Al. Kedua macam elemen bakar tersebut mempunyai dimensi yang sama yaitu mempunyai penampang segi empat 76,1 x 80,5 mm dengan *meat* 600 mm dan tinggi total 868 mm. Kaki berbentuk selinder digunakan untuk menopang elemen bakar dimasukkan pada lubang kisi rak teras. Masing-masing elemen bakar terdiri dari 21 plat dengan berat total keseluruhan elemen bakar kg. Material kelongsong terbuat dari AlMg. Pada bagian atas elemen bakar terdapat batang pemegang bediameter 13 mm yang digunakan untuk memindah elemen bakar dari satu tempat ketempat lain di dalam kolam reaktor dan kolam penyimpan bahan bakar [2].

Bahan bakar bekas di dalamnya terdapat produk fisi dan dikungkung dengan *cladding* aluminium, harus tetap aman dari proses korosi. Kualitas air di dalam kolam penyimpanan bahan bakar bekas harus selalu dipantau dan dikendalikan agar kondisi bahan bakar bekas terjamin keutuhannya dan terhindar dari kerusakan, misalnya korosi pada *cladding* yang menyebabkan kebocoran bahan bakar. Apabila korosi terjadi maka dikawatirkan akan terjadi lepasan radionuklida ke air pendingin sehingga dimungkinkan juga terlepas ke lingkungan apabila sistem pengolahan air pendingin tidak benar. Proses korosi yang mungkin terjadi adalah korosi merata, korosi pitting, korosi galvanis dan lain-lain. Konduktivitas dan pH air pendingin harus dipantau pada nilai batas ambang tertentu agar tidak menginisiasi terjadinya proses korosi. Pada mulanya kualitas air pada penyimpanan bahan bakar bekas sama dengan kualitas air pendingin primer RSG GAS dengan spesifikasi yang sedikit berbeda. Oleh karena itu kualitas air pendingin IPSB3 sangat perlu untuk dikontrol agar sesuai dengan spesifikasi kualitas air [5]. Korosi *pitting* menjadi jenis korosi yang mendominasi dalam sistem penyimpanan basah yang dipengaruhi oleh parameter konduktivitas air dan kandungan ion klorida dalam air. [6]

Kondisi batas untuk operasi normal kolam penyimpanan bahan bakar nuklir bekas berdasarkan pada Sistem Operasi dan Proses dalam dokumen Laporan Analisis Keselamatan (LAK) KH-IPSB3 adalah sebagai berikut [7]:

- a. Kapasitas Maksimal BBNB yang dapat didinginkan (kapasitas penuh) yaitu 1458 bundel;
- b. Tinggi permukaan air kolam pada kapasitas penuh minimal 3,6 dari permukaan BBNB;
- c. Temperatur kolam penyimpanan maksimal sebesar 35 °C;
- d. pH berkisar 5,5 – 7,5 ;
- e. Konduktivitas air lebih kecil daripada 15 μ S/cm;
- f. Kontaminasi udara lebih kecil daripada $5,3 \cdot 10^2$ Bq/m³.

Guna menjamin agar sistem pendingin mampu mengambil panas pembangkitan dari BBNB, menjamin agar keutuhan BBNB yang disimpan dapat dipertahankan sampai dengan waktu yang telah ditentukan, dan mempertahankan sifat-sifat kimia, kejernihan, serta mencegah paparan radiasi yang diterima pekerja agar tidak melebihi batas yang dizinkan, maka dilakukan pemeriksaan dan pengukuran sebagai berikut [7]:

- a. Pemeriksaan jumlah BBNB minimal 2 (dua) kali dalam 1 (satu) tahun;
- b. Pengukuran tinggi permukaan (level) air kolam dari permukaan BBNB minimal 1 (satu) kali dalam 1 (satu) minggu;
- c. Pengukuran temperatur air kolam penyimpanan minimal 1 (satu) kali dalam 1 (satu) minggu;
- d. Pengukuran pH air kolam penyimpanan minimal 1 (satu) kali dalam 1 (satu) minggu;
- e. Pengukuran konduktivitas air kolam penyimpanan minimal 1 (satu) kali dalam 1 (satu) minggu;

- f. Pengukuran konsentrasi radioaktivitas air kolam minimal 1 (satu) kali dalam 1 (satu) minggu; dan
- g. Pengukuran kontaminasi udara minimal 1 (satu) kali dalam 1 (satu) minggu.

Persyaratan utama untuk instalasi penyimpanan bahan bakar nuklir bekas adalah untuk pembuangan panas dan penahan radiasi terhadap personil dengan cara penyimpanan bahan bakar nuklir bekas di dalam air (*under water*). Kedalaman 2,44 m air dari puncak bagian aktif bahan bakar nuklir bekas dipertimbangkan cukup sebagai penahan radiasi (*shielding*) [8].

Hal terpenting untuk mencegah korosi adalah menjaga dan merawat kimia air. Konduktivitas air yang merupakan kriteria adanya pengotor dalam air harus mendekati 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Jika konduktivitas air dijaga pada nilai sekitar itu, korosi bahan bakar nuklir bekas dan peralatan dapat diminimalisir. Purifikasi/pemurnian air mencegah korosi perangkat bahan bakar dan peralatan, mengurangi aktivitas permukaan kolam dengan cara membuang partikel radioaktif dari air. Dalam kolam penyimpanan bahan bakar nuklir bekas, kombinasi beberapa sistem sebagai berikut untuk mengontrol kemurnian air [9]:

1. Sistem penukar ion untuk mengendalikan pengotor ionik
2. Filter untuk mengendalikan pengotor partikulat
3. Skimmer untuk membuang pengotor dari permukaan air
4. Pembersih vakum untuk membuang partikel dari rak dan lantai kolam
5. Scrubber untuk membuang material teradsorpsi pada dinding kolam di air dan udara.

Pengelolaan air kolam yang merupakan salah satu aspek keselamatan operasi instalasi penyimpanan sementara bahan bakar nuklir bekas ini mempunyai ruang lingkup meliputi pemantauan temperatur, pH, konduktivitas, dan tinggi permukaan/level air kolam serta pengisian air bebas mineral sebagai *make up* air kolam penyimpanan bahan bakar nuklir bekas. Kegiatan pemantauan air kolam bertujuan untuk memastikan parameter-parameter konduktivitas, pH, suhu, dan level air kolam penyimpanan bahan bakar nuklir bekas memenuhi persyaratan kondisi batas untuk operasi normal. Sedangkan pengisian air *make up* kolam sesuai persyaratan kondisi operasi normal untuk mempertahankan parameter-parameter air kolam.

METODOLOGI

Bahan dan Peralatan

Bahan dan peralatan yang digunakan dalam pemantauan air kolam ini yaitu pH meter, konduktometer, thermometer, dan indikator level air.

Metode

1. Pemantauan kondisi air kolam

Kondisi air kolam yang dipantau yaitu konduktivitas, pH, suhu, dan level air kolam dalam kolam. Pemantauan rutin setiap hari kerja dilakukan dengan pencatatan parameter-parameter operasi ke dalam *logsheet* Lembar Pemantauan Kolam KH-IPSB3 dengan menggunakan koneksi sistem monitor dari Ruang Kendali Utama (RKU). Sedangkan pemantauan langsung di area kolam dilakukan minimal 1 (satu) kali dalam 1 (minggu). Alat-alat pengukuran tersebut dilakukan perawatan setiap triwulan dan dikalibrasi 1 (satu) kali dalam 1 (satu) semester (6 bulan), minimal 1 (satu) kali dalam setahun.

2. Pengisian air bebas mineral ke kolam IPSB3

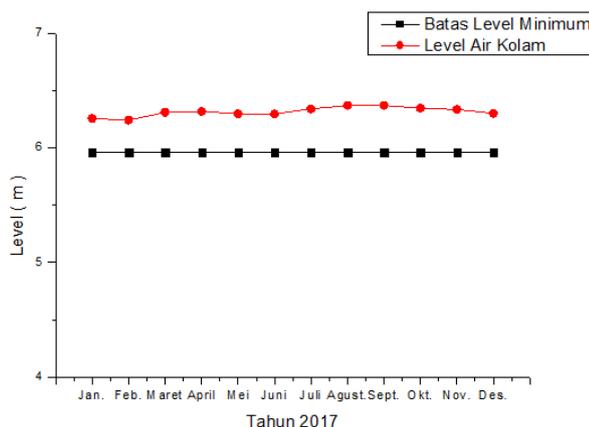
Sistem demineralisasi dioperasikan secara manual remote melalui panel sistem demineralisasi. Parameter operasi sistem demineralisasi yaitu laju alir, tekanan kompresor, dan tekanan pompa, diamati dan dicatat dalam Formulir Pengoperasian Sistem Demineralisasi. Kualitas air bebas mineral yang dihasilkan dipantau dan dicatat, meliputi konduktivitas output kolom anion filter serta konduktivitas dan pH output kolom *mixed bed*. Alat konduktometer digunakan untuk mengukur konduktivitas output sistem demineralisasi secara *realtime*. Nilai konduktivitas dan pH output anion dan output *mixed bed* setiap waktu pengecekan, diamati dan dicatat dalam Formulir Pengoperasian Sistem Demineralisasi. Output air demin dapat dialirkan ke kolam apabila nilai konduktivitas output *mixed bed* kurang dari 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dan pH antara 5,5-7,5. Untuk mengalirkan air bebas mineral ke kolam, valve ke arah kolam dibuka dan valve ke tangki tandon ditutup.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemantauan kondisi air kolam

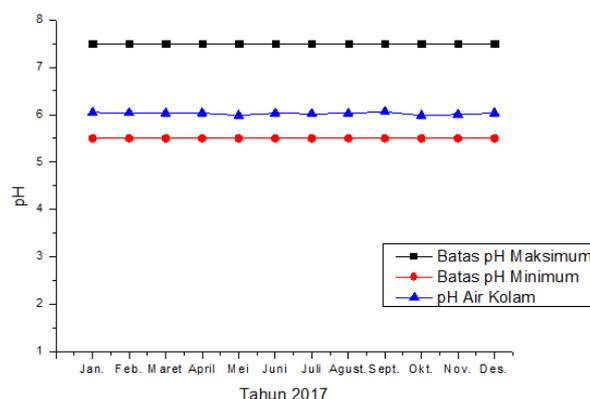
Pemantauan kondisi air kolam dan kanal yang dilakukan setiap hari kerja meliputi parameter level, konduktivitas, pH dan suhu. Dari kegiatan pencatatan parameter-parameter operasi berupa level, konduktivitas, pH dan suhu yang dilakukan setiap hari kerja didapatkan hasil seperti ditunjukkan secara berturut-turut pada **Gambar 2, 3, 4, dan 5**.

Setiap bundel BBNB mempunyai panjang total 868 mm atau 0,868 m. Rak penyimpanan BBNB mempunyai tinggi 1,1 m. Permukaan tertinggi dari BBNB yang berada di rak ke dasar kolam diperkirakan 0,86 m. Maka dapat dihitung ketinggian air kolam minimal adalah 5,96 m (0,86 m + 3,6 m + 1,5 m).



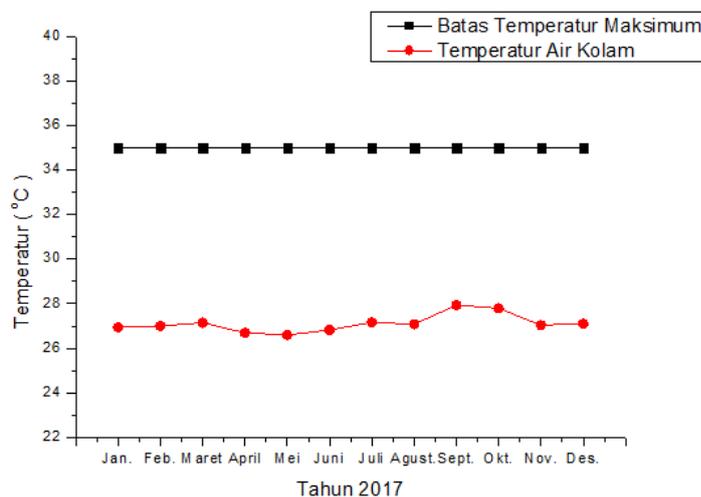
Gambar 2. Rata-rata Level Air Kolam Setiap Bulan

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa nilai rata-rata level air kolam setiap bulannya relatif stabil dan selalu di atas level minimal dalam kondisi batas operasi normal. Dari hasil pemantauan level air kolam dalam satu tahun didapatkan nilai minimal 6,23 m dengan pengukuran dari *deep section*. Hal ini menunjukkan bahwa level air kolam memenuhi persyaratan kondisi batas operasi normal yang berada pada nilai minimal 5,96 m dari *deep section*. Level air kolam sangat mempengaruhi sistem keselamatan KH-IPSB3, terutama kaitannya dengan fungsinya sebagai perisai radiasi dari bahan bakar nuklir bekas yang berjumlah 245 bundel tersimpan di kolam IPSB3. Sedangkan untuk operasi Kanal Hubung (KH) sangat penting sebagai perisai radiasi terutama pada saat ini yang secara rutin ada kegiatan transfer target iradiasi yang dilakukan dari Reaktor Serba Guna GA Siwabessy ke PT INUKI. Disain dasar KH-IPSB3 dengan kedalaman air dalam kolam yang dipersyaratkan dalam Batas Kondisi Operasi (BKO) dimaksudkan agar paparan radiasi di daerah kerja tidak melebihi 5 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ pada kondisi kapasitas maksimum/penuh (1458 bundel BBNB). Kondisi saat ini paparan radiasi di daerah kolam adalah 0,20 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$.



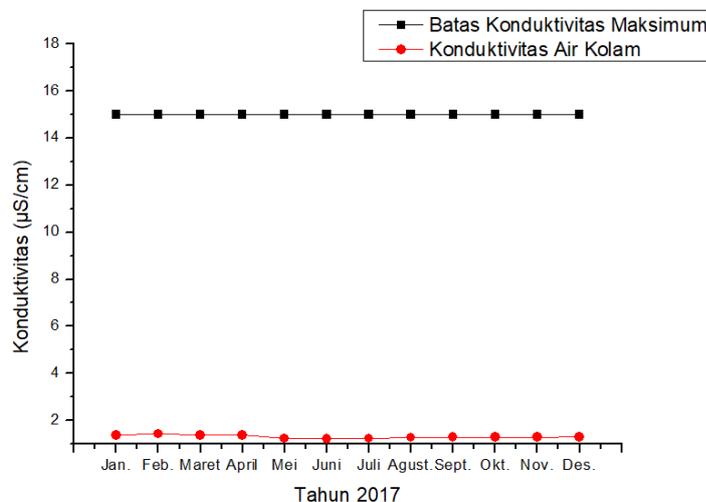
Gambar 3. Rata-rata pH Air Kolam Setiap Bulan

Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai rata-rata pH air kolam setiap bulannya selalu berada pada rentang nilai pH minimum dan maksimum dalam kondisi batas operasi normal. Hasil pemantauan pH air kolam dalam setahun yaitu dengan nilai rata-rata 6,06 dan berkisar antara 5,73 – 6,39. Nilai pH ini memenuhi persyaratan kondisi batas operasi normal yang mempersyaratkan nilai pH harus berada pada kisaran angka 5,5 – 7,5. pH dijaga pada range tersebut untuk menekan sekecil-kecilnya kemungkinan efek korosi pada *cladding* bahan bakar, rak, maupun liner kolam.



Gambar 4. Rata-rata Suhu Air Kolam Setiap Bulan

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa nilai rata-rata suhu air kolam relatif stabil setiap bulannya dan masih berada di bawah batas maksimal kondisi operasi normal. Hasil pemantauan suhu air kolam dalam setahun yaitu dengan nilai rata-rata 27,15 °C dan berkisar antara 26,43 – 28,04 °C. Nilai suhu dengan nilai maksimal 28,04 °C ini masih memenuhi persyaratan kondisi batas operasi normal yang mempersyaratkan nilai suhu harus lebih kecil daripada 35 °C. Faktor yang dapat mempengaruhi perubahan/fluktuasi suhu air kolam adalah pengoperasian sistem pendingin air kolam dan pengoperasian sistem tata udara di fasilitas KH-IPSB3. Pada operasi sistem pendingin, air kolam disirkulasikan dan didinginkan dalam sistem pendingin sehingga mampu menurunkan suhu air kolam. Sedangkan pada operasi sistem tata udara, udara di dalam ruangan kolam didinginkan sampai 24 °C di sistem tata udara sehingga mencegah kenaikan suhu air kolam. Pengendalian suhu air kolam serendah mungkin sesuai persyaratan BKO erat sekali kaitannya dengan aspek keselamatan operasi KH-IPSB3 yaitu untuk meminimalkan penguapan air kolam dan terjadinya kelembaban yang tak semestinya dalam gedung KH-IPSB3.



Gambar 5. Rata-rata Konduktivitas Air Kolam Setiap Bulan

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa nilai rata-rata konduktivitas air kolam relatif stabil setiap bulannya, dan selalu di bawah nilai maksimal konduktivitas yang diijinkan dalam kondisi batas operasi normal. Hasil pemantauan konduktivitas air kolam dalam setahun yaitu dengan nilai rata-rata 1,30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dan berkisar antara 1,21 – 1,53 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Nilai konduktivitas dengan nilai maksimal 1,53 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ini masih memenuhi persyaratan kondisi batas operasi normal yang mempersyaratkan nilai konduktivitas harus lebih kecil daripada 15 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Pengendalian konduktivitas air sekecil mungkin bertujuan untuk menekan sekecil-kecilnya pengotor elektrolit dalam air yang dapat menyebabkan korosi pada *cladding*, rak maupun liner kolam dan kanal. Semakin kecil nilai konduktivitas air kolam maka semakin sedikit kadar elektrolit yang dapat menyebabkan korosi.

Dalam pengelolaan air kolam penyimpanan sementara bahan bakar nuklir bekas konduktivitas dan pH air kolam dijaga sesuai persyaratan BKO karena sangat penting untuk menjaga integritas BBNB, mengurangi efek penuaan dan menjaga keutuhan Struktur Sistem Keselamatan (SSK) di KH-IPSB3 terutama liner, rak dan peralatan. Integritas BBNB dipertahankan dari ancaman korosi yang dapat menyebabkan kebocoran BBNB terutama radionuklida hasil fisi bahan bakar nuklir. Apabila terjadi kebocoran BBNB maka dapat berakibat kontaminasi pada air kolam yang dapat berimbas pada sistem komponen pendukung operasi KH-IPSB3 lainnya. Untuk mempertahankan konduktivitas dan pH selalu sesuai persyaratan BKO maka dilakukan pemurnian air menggunakan sistem purifikasi dan dilakukan pengendalian kualitas *make up* air kolam dengan kualitas sebaik mungkin melalui sistem sistem demineralisasi (*water demineralization plant*) di KH-IPSB3. Langkah paling penting yang dilakukan yaitu dengan mengisikan *make up* air kolam /air bebas mineral dengan konduktivitas serendah mungkin dan pada rentang pH 5,5 – 7,5.

Pengisian air bebas mineral ke kolam IPSB3

Air kolam dan kanal fasilitas KH-IPSB3 merupakan air demineral/air bebas mineral untuk menjaga integritas bahan bakar yang disimpan di kolam. Tujuan pengisian air bebas mineral ke kolam adalah untuk mengganti air yang hilang karena penguapan. Air bebas mineral yang diisikan ke kolam IPSB3 dipenuhi dari sistem demineralisasi (*water demineralization plant*) di KH-IPSB3. Sistem demineralisasi air terdiri dari kolom karbon, kolom kation, kolom anion, dan kolom *mixed-bed* yang berfungsi untuk mengolah air baku menjadi air bebas mineral sehingga memenuhi spesifikasi :

1. pH : 5,5 - 7,5
2. Konduktivitas : maksimal 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Dalam dokumen dasar disain diperkirakan perlu penambahan air bebas mineral sekitar 250 l/hari untuk mengganti air yang hilang karena penguapan. Apabila sistem pendingin gagal, temperatur kesetimbangan di dalam kolam 75 °C dengan kecepatan penguapan 120 l/jam (2,9 m³/hari). Kecepatan pemanasan air kolam adalah 2 °C/hari. Data pengisian dan hasil analisis air bebas mineral ke kolam KH-IPSB3 ditunjukkan pada Tabel 1 dan 2. Pemantauan konduktivitas dan pH air bebas mineral dapat dilakukan secara langsung dengan alat yang terpasang di sistem demineralisasi yaitu konduktometer dan pH meter.

Tabel 1. Data Kualitas Air Bebas Mineral KH-IPSB3

No.	Parameter	Air Bebas Mineral KH-IPSB3	Nilai Rujukan
1.	Konduktivitas	0,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$	$\leq 2 \mu\text{S}/\text{cm}$
2.	pH	5,9	5,5 - 7,5

Dari Tabel 1 dapat diketahui bahwa konduktivitas air bebas mineral yang diisikan ke kolam yaitu maksimum 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dengan pH berkisar antara 5,6 sampai dengan 6,2. Hal ini sesuai dengan spesifikasi air bebas mineral yang dapat diisikan ke kolam. Konduktivitas air bebas mineral yang diisikan ke kolam harus serendah mungkin untuk menjaga kualitas air kolam dan kanal KH-IPSB3. Jika air bebas mineral yang diisikan mempunyai konduktivitas yang tinggi maka kerja sistem purifikasi yang terdiri dari Cesium filter dan Mixed bed filter akan lebih berat dan lebih cepat jenuh karena terbebani dengan banyaknya pengotor dari air yang diisikan ke kolam. Oleh karena itu, pengisian air bebas mineral dengan konduktivitas serendah mungkin merupakan langkah efektif dan efisien untuk menjaga kualitas air kolam dan kanal KH-IPSB3.

KESIMPULAN

Pengelolaan air kolam sebagai salah satu aspek keselamatan operasi penyimpanan sementara bahan bakar bekas dilakukan melalui pemantauan dan pengendalian parameter penting dalam air kolam yaitu konduktivitas, pH, temperatur dan level serta memastikan penambahan make up air kolam dengan kualitas sebaik mungkin. Dari pemantuan parameter air kolam selama periode pengamatan diperoleh nilai konduktivitas maksimal adalah 1,53 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sesuai dengan persyaratan kondisi batas operasi normal yang menetapkan nilai konduktivitas tidak boleh lebih dari 15 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Nilai pH air kolam berkisar antara 5,73 – 6,39., sesuai dengan persyaratan kondisi batas operasi normal yaitu 5,5 – 7,5. Nilai suhu air kolam rata-rata 27,15 °C dengan nilai maksimal 28,04 °C, sesuai dengan persyaratan kondisi batas operasi normal yaitu maksimal 35 °C. Nilai level/tinggi permukaan air kolam berkisar antara 6,23 – 6,38 m, sesuai dengan persyaratan kondisi batas operasi normal yaitu tinggi permukaan air minimal 3,6 dari permukaan BBNB atau minimal 5,96 m. Kualitas air bebas mineral yang diisikan ke kolam (air *make up*) dipertahankan pada konduktivitas serendah mungkin yaitu tercapai pada rata-rata 0,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dan pada range pH 5,5-7,5 untuk menjaga kualitas air kolam sebaik mungkin. Dari hasil pemantauan parameter-parameter tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai konduktivitas, pH, suhu, dan level air kolam setiap bulannya dan dalam setahun memenuhi persyaratan kondisi batas untuk operasi normal. Hal ini dipertahankan sebaik mungkin untuk menjaga integritas BBNB, mengurangi efek penuaan, dan mempertahankan keutuhan SSK sehingga terpenuhi aspek keselamatannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Laporan Analisis Keselamatan Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas (LAK KH-IPSB3), rev 7, PTLR – BATAN, 2009.
- [2]. Sudiyono, “Pengoperasian Kanal Hubung-Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas (KH-IPSB3)”, Diktat Pelatihan Operator dan Supervisor KH-IPSB3, 2012.
- [3]. Kadarusmanto, Endang Susilowati, “Sistem Operasi dan Proses KH-IPSB3”, Pelatihan Instalasi Nuklir Non Reaktor, September – Oktober 2007, Jakarta
- [4]. Dokumen Penilaian Keselamatan Berkala Kanal Hubung-Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas (KH-IPSB3), Edisi 1, rev.0, PTLR – BATAN, 2015.
- [5]. Sriyono, “Kimia Air”, Diktat Pelatihan Operator dan Supervisor KH-IPSB3, Serpong, 13-24 April 2015.
- [6]. R. Gholizadeh Aghoyeh*, H. Khalafi. 2010. *Corrosion monitoring and determination of aluminium fuel clad of Tehran Research Reactor (TRR)*. *Journal of Progress in Nuclear Energy* 52 (2010) 225–228. Elsevier.
- [7]. Zamroni, Husen., “Batasan dan Kondisi Operasi”, Diktat Pelatihan Operator dan Supervisor KH-IPSB3, Serpong, 13-24 April 2015.
- [8]. *Storage of Water Reactor Spent Fuel in Water Pools Survey of World Experience, 1982. International Atomic Energy Agency, Vienna, ISBN 92-0-155182-7. Technical Reports Series No. 218.*
- [9]. Reza Gholizadeh Aghoyeh, Hosein Khalafi. 2011. *Design Of Water Purification System For Tehran Research Reactor Spent Nuclear Fuels Storage Pool (Wet Storage)*. *Journal of Progress in Nuclear Energy* 53 (2011) 119e124. Elsevier.