

KAJIAN PENUAAN FASILITAS KANAL HUBUNG INSTALASI PENYIMPANAN SEMENTARA BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS

Budiyono, Titik Sundari, Parjono
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif – BATAN
budibtdd@batan.go.id

ABSTRAK

KAJIAN PENUAAN FASILITAS KANAL HUBUNG INSTALASI PENYIMPANAN SEMENTARA BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS. Penuaan adalah proses perubahan karakteristik sistem, struktur dan komponen (SSK) sebagai fungsi waktu dan/atau akibat pemanfaatan pada kondisi operasi yang menyebabkan degradasi material. Penuaan dapat menurunkan tingkat ketersediaan dan kehandalan SSK sehingga akan mempengaruhi kinerja pengoperasian dan fungsi keselamatan. Kajian penuaan fasilitas Kanal Hubung - Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Nuklir Bekas (KHIPSB3) bertujuan untuk mengetahui kinerja SSK kritis dan mengestimasi umur sisa operasi/pelayanan dari SSK tersebut. SSK kritis pada fasilitas KH-IPSB3 adalah liner SS304 yang menempel pada sisi bagian dalam kolam dan kanal. Kajian dilakukan dengan melakukan deteksi penuaan pada SSK kritis. Kegiatan didasarkan pada informasi data desain, perawatan dan pengujian. Evaluasi data dilakukan untuk mengestimasi umur sisa operasi/pelayanan SSK. Kajian menghasilkan kesimpulan bahwa kualitas air kolam penyimpanan Bahan Bakar Nuklir Bekas (BBNB) terjaga baik pada kondisi pH antara 5,5 - 7,5 dan konduktivitasnya antara 1,33 – 1,50 $\mu\text{S}/\text{cm}$, jauh lebih kecil dari nilai yang dipersyaratkan, yaitu 15 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Sehingga kecil kemungkinan terjadi korosi pada liner kolam dan kanal KH-IPSB3 karena pengaruh kualitas air kolam. Hal ini diperkuat dengan hasil pengukuran laju korosi *stainless steel* (SS) 304 yang mengalami pengurangan sebesar 0,002 mili inchi/tahun. Dengan perhitungan, liner tersebut diperkirakan saat ini masih mempunyai ketebalan 2,999 mm. Dengan sisa ketebalan tersebut maka, liner masih mampu menahan beban air kolam penyimpanan dan BBNB lebih dari 40 tahun.

Kata kunci: Penuaan, sistem struktur dan komponen, korosi

ABSTRACT

STUDY ON AGING OF TRANSFER CHANNEL – INTERIM STORAGE FOR SPENT FUEL INSTALLATION. Aging is the process of changing the characteristics of Structural Systems and Components (SSCs) as a function of time and/or due to the utilization of the operating conditions which cause degradation of the material. Aging can reduce the level of availability and reliability of SSCs that will affect the performance of the operation and safety functions. Study on aging of the facility of transfer channel – interim storage for spent fuel installation (TC-ISFSF) aims to determine the performance of SSCs and estimating the residual life of critical SSC operations/services. The critical SSC at the TC-ISFSF is the SS304 liner attached to the inner sides of pond and watery channel. Assessment was conducted by detecting the critical SSC aging. The activity based on the information and data design, maintenance and testing. Evaluation data is performed to estimate the remaining operations/services life of the SSC. The study lead to the conclusion that the quality of water in the spent fuel storage pool is well maintained at pH between 5.5 to 7.5 and its conductivity is around 1.33 – 1.50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ much smaller than the required value, 15 $\mu\text{S}/\text{cm}$. So, little possibility of corrosion occurs on the liner due to the influence of the pool water quality. This is also supported by the result of corrosion rate measurements of the SS304 that show a reduction of 0.002 millinches/year. Using a calculation, the liner predicted still has a thickness of 2.999 mm. With the remaining thickness, the liner is still able to bear the burden of the water storage pond and spent fuel more than 40 years.

Keywords: Aging, system structures and components, corrosion

PENDAHULUAN

Karakteristik utama dari fasilitas Kanal Hubung - Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan 2 Bakar Bekas (KH-IPSB3) adalah adanya kanal hubung berisi air yang menghubungkan KH-IPSB3 dengan fasilitas lain dan kolam penyimpanan Bahan Bakar Nuklir Bekas (BBNB). Kanal hubung ini menghubungkan tiga instalasi yaitu Instalasi Radiometalurgi (IRM), Instalasi Produksi Radioisotop (IPR) dan Reaktor Serba Guna G.A Siwabessy (RSG GAS) yang berfungsi sebagai jalur pemindahan BBNB dan material teriradiasi lainnya. Kolam penyimpanan berfungsi untuk menyimpan sementara BBNB dan material teriradiasi. Kapasitas kolam penyimpanan adalah 1458 bundel BBNB [1]. Pada saat ini jumlah BBNB yang disimpan dalam kolam IPSB3 sebanyak 245 bundel. Penuaan adalah proses perubahan karakteristik sistem struktur dan komponen (SSK) sebagai fungsi waktu dan/atau akibat pemanfaatan pada kondisi operasi yang menyebabkan degradasi material. Salah satu perubahan fisik yang terjadi sebagai fungsi waktu pada suatu instalasi nuklir adalah penuaan (aging) fisik pada segenap komponen dan peralatan yang ada di instalasi tersebut. Penuaan dapat menurunkan tingkat ketersediaan (availability) dan kehandalan (reliability) SSK sehingga akan mempengaruhi kinerja pengoperasian instalasi secara keseluruhan. Jika penuaan ini terjadi pada SSK yang terkait dengan fungsi keselamatan maka akan membahayakan aspek keselamatan pekerja instalasi, masyarakat serta lingkungan di sekitar instalasi. Menimbang hal tersebut, pemahaman mekanis me degradasi SSK selama penggunaan, teknik pengkajian dan proses mitigasi yang memadai sangat diperlukan untuk pengembangan tindakan korektif dan penjagaan tingkat keselamatan dalam operasi dan utilisasi instalasi nuklir. Kebolehjadian sebuah SSK mengalami kegagalan yang berdasarkan oleh degradasi penuaan biasanya meningkat bersamaan dengan lamanya waktu SSK terkena kondisi operasi, kecuali jika dilakukan tindakan pecegahan

KH-IPSB3 merupakan salah satu jenis Instalasi Nuklir Nonreaktor. Didalamnya terdapat banyak SSK yang dapat mengalami penurunan kinerja akibat penuaan. Struktur sistem dan komponen KHIPSB3 adalah semua elemen yang memberi kontribusi pada proteksi dan keselamatan instalasi. Struktur sistem dan komponen yang penting untuk keselamatan dapat mengalami perubahan fisik akibat penuaan sehingga mempengaruhi fungsi keselamatan dan umur layanannya. Struktur sistem dan komponen yang sangat perlu diperhatikan adalah SSK kritis. Struktur sistem dan komponen kritis adalah SSK yang penting untuk keselamatan dan rentan terhadap penuaan tetapi tidak redundan, tidak mudah diperbaiki atau tidak mudah diganti. Selama operasi KHIPSB3, aspek-aspek penuaan yang mempengaruhi SSK Kritis dikelola dengan baik. Kegiatan deteksi penuaan SSK kritis dilaksanakan secara teratur dalam rangka kegiatan manajemen penuaan. Kegiatan didasarkan pada informasi data desain, perawatan dan pengujian. Evaluasi dilakukan untuk mengestimasi umur sisa operasi/pelayanan dari komponen yang ada.

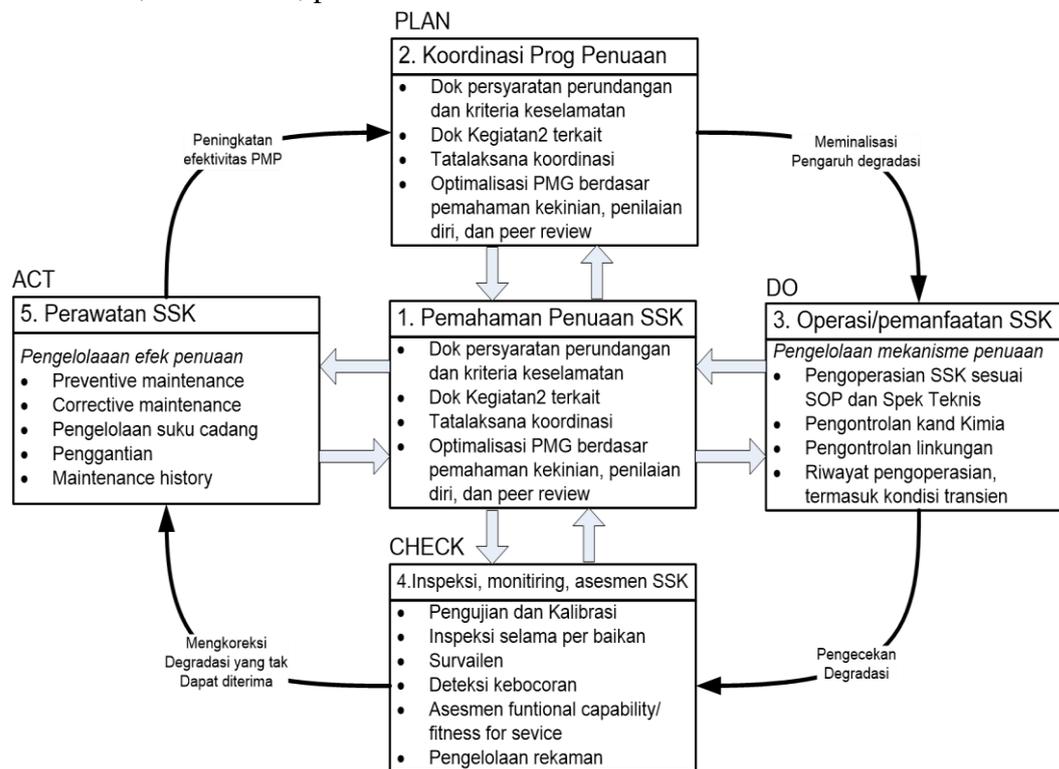
Program Manajemen Penuaan disusun untuk merencanakan dan melaksanakan upaya-upaya yang secara sistematis dan memadai dalam mengelola efek penuaan terhadap SSK. Khususnya SSK yang penting untuk keselamatan namun rentan terhadap penuaan. Manajemen penuaan dilakukan agar pengaruh penuaan terhadap SSK kritis masih dalam batas yang dapat diterima. Program penuaan KHIPSB3 memuat metode untuk seleksi dan kategorisasi komponen yang akan menua, aktivitas pemeriksaan (*surveillance*), metode pengumpulan data dan

metode lebih lanjut untuk evaluasi efek-efek penuaan. Pengkajian efek penuaan sangat bergantung pada kegiatan pengumpulan, penyimpanan dan evaluasi data.

Kajian penuaan ini memaparkan tentang hasil evaluasi penuaan KHIPSB3 selama diperoleh ijin operasi dari Bapeten. Kajian bertujuan untuk mengetahui kinerja SSK kritis dan mengestimasi umur sisa operasi/pelayanan dari SSK tersebut. Kajian dibuat untuk memenuhi persyaratan pengajuan perpanjangan ijin operasi KHIPSB3 yang akan habis pada tahun 2018.

MANAJEMEN PENUAAN KHIPSB3

Sejak penuaan mulai mempengaruhi kondisi keselamatan umum dari fasilitas, maka diperlukan suatu upaya menanggulangnya, antara lain dengan kegiatan rekayasa, operasi dan perawatan untuk mengendalikan agar pengaruh penuaan pada SSK masih dalam batas yang dapat diterima. Gambar 1 menjelaskan penerapan manajemen penuaan dengan pendekatan siklus *Plan-Do-Check-Act* (PDCA) atau merencanakan, melaksanakan, periksa dan koreksi.



Gambar 1. PDCA pelaksanaan Program Penuaan) [2]

Yang pertama perlu dilakukan dalam manajemen penuaan adalah membuat basis data SSK dan mengelompokkan SSK berdasarkan kontribusinya terhadap keselamatan instalasi. Dengan mengacu pada basis data SSK tersebut kemudian disusun program manajemen penuaan. Program manajemen penuaan merupakan rancangan upaya-upaya yang secara sistematis dan memadai untuk mengelola efek dari penuaan SSK. Langkah berikutnya adalah mempelajari mekanisme penuaan yang mungkin terjadi pada SSK Kritis dan melaksanakan tindakan preventif untuk mencegah atau menghambat degradasi SSK Kritis akibat penuaan. Efek penuaan

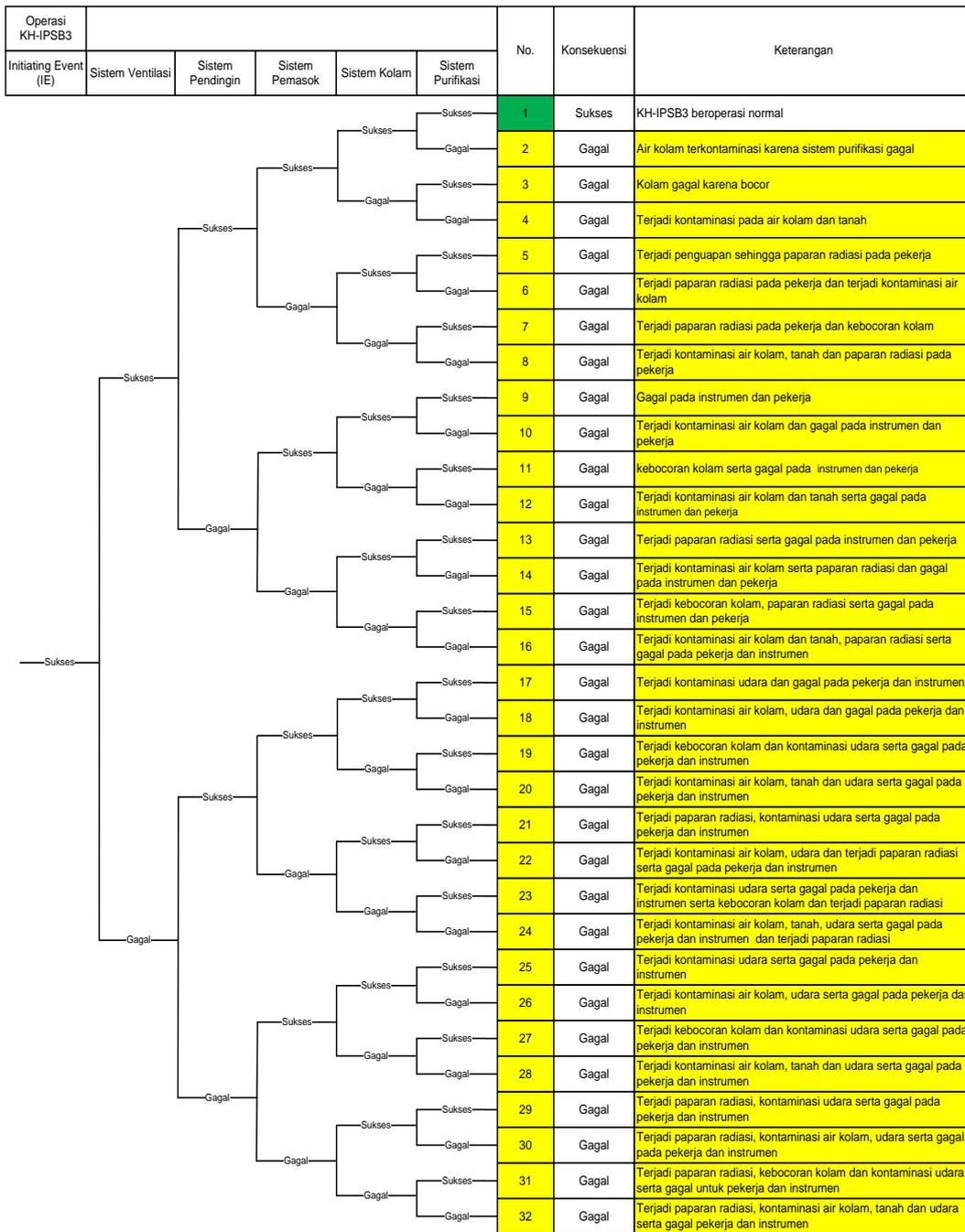
yang terjadi terus dimonitor, dianalisis dan dievaluasi untuk melaksanakan tindakan penanggulangannya apabila degradasi SSK Kritis yang terjadi tidak bisa diterima.

Manajemen penuaan KHIPSB3 melingkupi kegiatan penapisan SSK, identifikasi penuaan, surveilan penuaan, pengumpulan data, dan evaluasi penuaan.

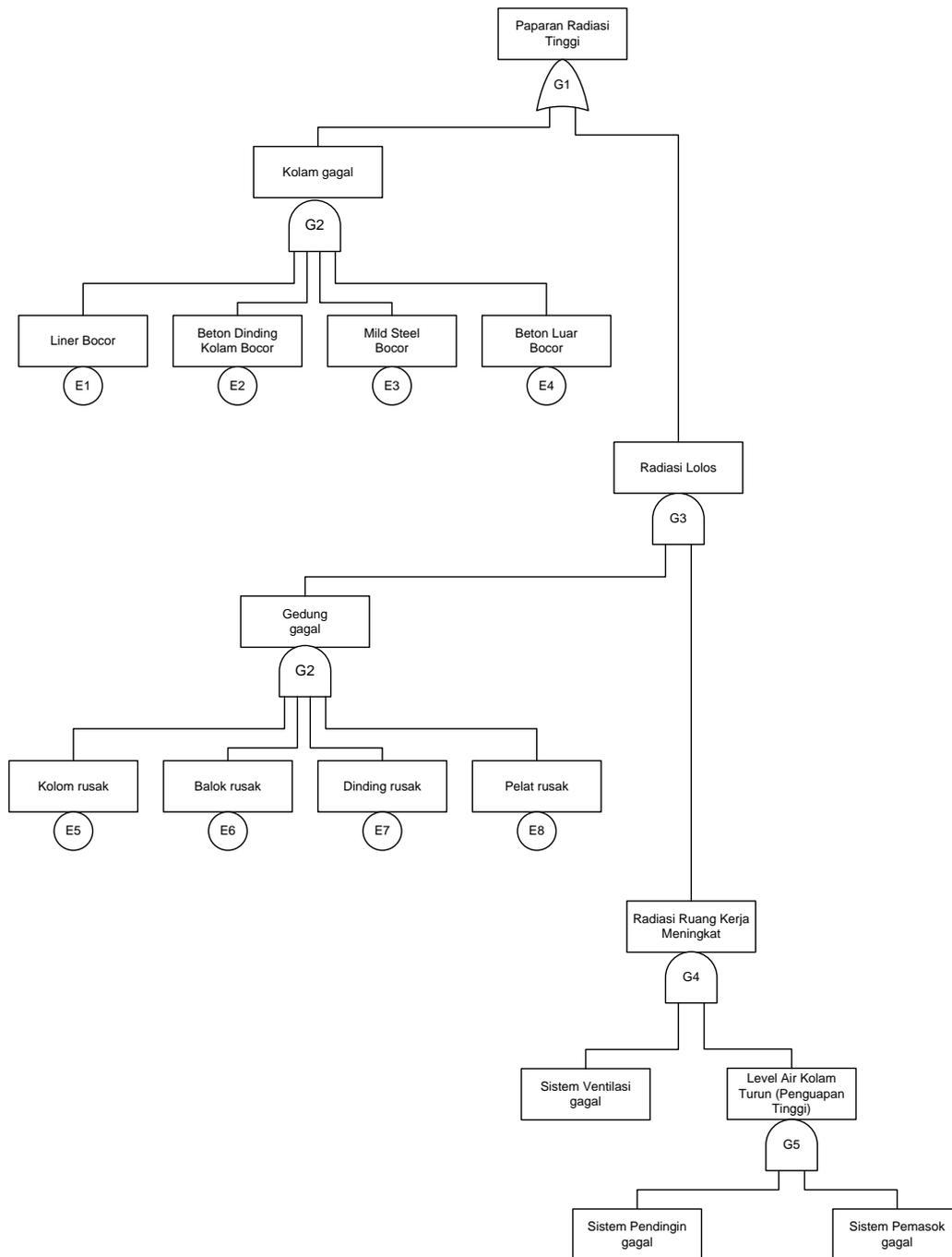
Penapisan SSK

Penapisan SSK kritis KHIPSB3 dilakukan dalam tiga tahap. Penapisan tahap pertama dilakukan dengan metode *event tree analysis* untuk mengevaluasi dan menentukan sistem yang apabila mengalami kegagalan dapat menyebabkan (langsung maupun tidak langsung) berkurangnya atau hilangnya fungsi keselamatan. Data hasil penapisan SSK tahap pertama ditunjukkan pada Gambar 2. Dalam penapisan tahap kedua, daftar konsekuensi terhadap keselamatan operasi yang dihasilkan dari penapisan tahap pertama, kemudian dianalisis untuk menentukan SSK penting bagi keselamatan. Metode penapisan tahap kedua ditunjukkan pada Gambar 3. Hasil penapisan tahap kedua dievaluasi berdasarkan ketentuan Perka Bapeten Nomor 7 tahun 2012 pasal 15 bahwa yang termasuk SSK kritis adalah tidak redundan, tidak mudah diganti dan tidak mudah diperbaiki. [3] Penapisan tahap ketiga menghasilkan SSK kritis KH IPSB3 yaitu *liner stainless steel* kolam penyimpanan bahan bakar nuklir bekas. Hasil pengelompokan SSK yang penting untuk keselamatan ditunjukkan pada Tabel 1.

Budyono, dkk.: Kajian Penuaan Fasilitas Kanal Hubung - Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Nuklir Bekas



Gambar 2. Data hasil penapisan Struktur Sistem dan Komponen tahap pertama



Gambar 3. *Fault tree analysis* bahaya radiasi tinggi

Tabel 1. Pengelompokan SSK [4]

Kelompok SSK	Sistem Struktur dan Komponen
SSK I (kritis); penting untuk keselamatan, tidak redundan, tidak mudah diperbaiki atau tidak mudah diganti	<i>Liner stainless steel</i> pada beton kanal hubung dan kolam penyimpanan
SSK II; penting untuk keselamatan, tetapi redundan atau mudah dilakukan inspeksi SSK atau diganti	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gedung Kolom, balok, pelat lantai, pelat atap dan dinding 2. Ventilasi <i>Chiller, Cooling coil, Pressure gauge, Pipa, Katup, Ducting, Damper, Motor fan, Kabel, Relai, Kontaktor, Catu daya, Timer, Terminasi, Filter HEPA/Charcoal, Manometer</i> 3. Pendingin <i>Chiller, Heat Exchanger primer, Heat Exchanger sekunder, Pipa, Katup, Flow meter, Pressure gauge, Thermo meter, Motor pompa, Kabel, Relai, Kontaktor, Catu daya, Timer dan Terminasi</i> 4. Purifikasi Tangki resin cesium, Tangki resin <i>mixbed</i>, Pipa, Katup, <i>Flow meter, Flow meter, Conductivity meter, Motor pompa, Kabel, Relai, Kontaktor, Catu daya, Timer</i> dan Terminasi 5. Catu daya listrik utama 6. Demin water Tangki filter (<i>carbon, anion, cation, mixbed</i>), Tangki demin & raw water, Pipa, PH meter, <i>Conductivity meter, Pressure gauge, Motor pompa, Katup, Kompresor, Kabel, Relai, PLC, Kontaktor, Catu daya, Timer</i>, dan Terminasi 7. Rak BBNB 8. Rak Khusus BBNB cacat 9. Rak khusus material teriradiasi
SSK III; bukan SSK yang penting untuk keselamatan tetapi tidak mudah dilakukan inspeksi SSK atau diperbaiki	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Crane</i> 2. MTU 3. Jembatan geser 4. <i>Sluice gate</i>
SSK IV; komponen lain	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kontrol kendali 2. Alarm 3. Pasokan udara tekan 4. Sanitasi 5. Komunikasi 6. Proteksi kebakaran 7. Proteksi radiasi

Identifikasi Penuaan

Potensi yang menyebabkan penuaan, mekanisme penuaan dan efek penuaan pada *liner stainless steel* kolam penyimpanan bahan bakar nuklir bekas yang merupakan SSK kritis ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Potensi, Mekanisme dan Efek Penuaan pada SSK Kritis [2]

SSK	Bahan	Potensi Penyebab Penuaan	Mekanisme Penuaan	Efek Penuaan
Liner kolam & kanal	SS 304	Kimia air	Korosi	- Retak - Bocor

Untuk menghilangkan potensi penyebab penuaan SSK kritis (*kimia air yang tidak sesuai*) maka SSK sistem purifikasi, sistem pemasok air, sistem catu daya listrik utama dan *skeamer* harus berfungsi dengan baik.

Surveilan Penuaan

Kegiatan surveilan penuaan dilakukan secara berkesinambungan selama umur operasi instalasi. Kegiatan surveilan penuaan tersebut mempertimbangkan antara lain hasil penapisan SSK, spesifikasi teknik, hasil identifikasi penuaan, persyaratan inspeksi *in-service*, persyaratan pemantauan parameter, persyaratan uji kinerja, dan pengalaman operasi. Surveilan SSK kritis ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Surveilan SSK Kritis [2]

SSK	Item Pemeriksaan	Indikator Kinerja	Periode
Liner kolam & kanal	- Pemeriksaan kimia air kolam penyimpanan (<i>pH</i> dan <i>conductivity</i>)	$pH = 5.5 - 7.5$ $Conductivity < 15 \mu S$	1 kali/ minggu
	- Pemeriksaan korosi kupon yang berbahan sama dengan <i>liner SS 304</i>	Laju korosi < 0.05 milli inchi/ tahun	1 kali/ 2 tahun

Tabel surveilan SSK kritis menunjukkan bahwa pemeriksaan kimia air dilakukan satu kali dalam seminggu. Batasan pH yang harus dijaga minimal 5.5 - 7,5 dengan konduktivitas kurang dari 15 μS . Pemeriksaan kupon berbahan sama dengan *liner* dilakukan dua tahun sekali dengan batasan laju korosi < 0.05 milli inchi/ tahun. Jika data surveilan diluar indikator kinerja yang ditentukan maka harus segera dilakukan intervensi.

Parameter Surveilan SSK Kritis KHIPSB3

Parameter Surveilan SSK Kritis KHIPSB3 yang dikaji adalah konduktivitas listrik air kolam, derajat keasaman (pH) air kolam, dan material *liner* kolam yaitu SS304.

Konduktivitas Listrik Air Kolam

Konduktivitas listrik air merupakan ukuran kuantitatif terhadap kemampuan air untuk menghantarkan arus listrik, satuan konduktivitas listrik air adalah $\mu\text{S}/\text{cm}$. Kemampuan ini bergantung pada gerakan dari ion-ion (spesi pembawa muatan listrik) yang terdapat dalam air, pada umumnya semakin banyak ion-ion yang terdapat dalam air semakin besar pula konduktivitasnya. Air murni memberikan kontribusi kecil terhadap konduktivitas listrik karena air hanya akan memberikan ion H^+ dan OH^- dalam jumlah yang relatif kecil yaitu 10^{-7} mol/liter. Pada suhu 25°C air murni mempunyai konduktivitas listrik = $0,056 \mu\text{S}/\text{cm}$. Air akan memiliki konduktivitas tinggi jika air mengandung berbagai impuritas terlarut dan terionisasi dalam air. [5]

Derajat Keasaman (pH) Air kolam

Keasaman air secara normal dapat dibayangkan sebagai bentuk konsentrasi ion hidrogen $[\text{H}^+]$ yang terdapat dalam air. Karena ion hidrogen berada dalam konsentrasi yang sangat rendah, maka keasaman diekspresikan dalam bentuk logaritma. Derajat keasaman (pH) didefinisikan sebagai $-\text{Log} [\text{H}^+]$. Jadi larutan yang lebih asam maka $[\text{H}^+]$ besar sehingga pH nya rendah. Air yang mengandung ion H^+ dan OH^- pada konsentrasi 10^{-7} mol/liter maka mempunyai $\text{pH} = 7$. Air yang lebih asam mempunyai $\text{pH} < 7$ dan air yang lebih basa mempunyai $\text{pH} > 7$. Harga pH air dapat diubah dengan menambahkan sedikit asam / basa bergantung pada total konsentrasi senyawa dalam air [5]

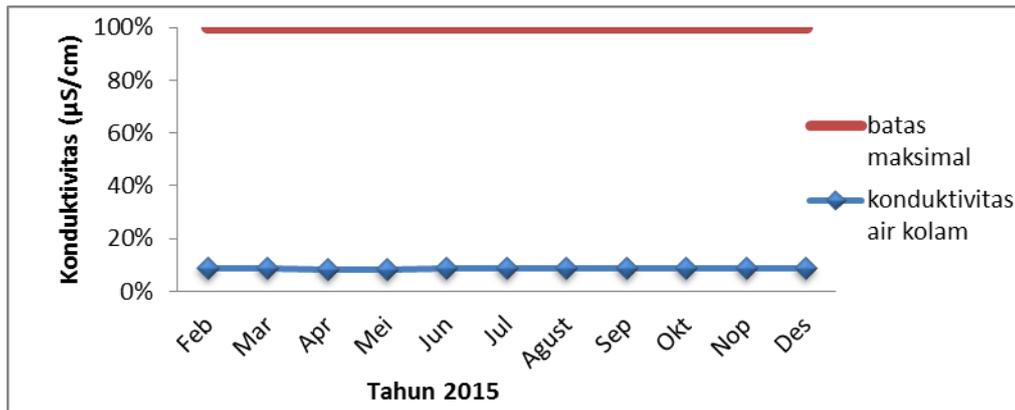
Material SS304 Liner kolam

KHIPS3, Stainless Steel 304 digunakan sebagai bahan *liner* kolam penyimpanan BBNB dan *liner* kanal hubung. *Stainless Steel* 304 merupakan baja paduan dengan kandungan bahan dasar besi dengan kadar lebih dari 60%. *Stainless Steel* 304 mengandung sedikitnya 18% kromium, 8% nikel dan dikombinasikan dengan paling banyak 0,08 % karbon. Chromium (Cr) adalah elemen yang paling penting dalam *stainless steel* karena akan membentuk lapisan pasif sebagai pelindung dari peristiwa oksidasi sehingga menyebabkan material ini mempunyai sifat tahan korosi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

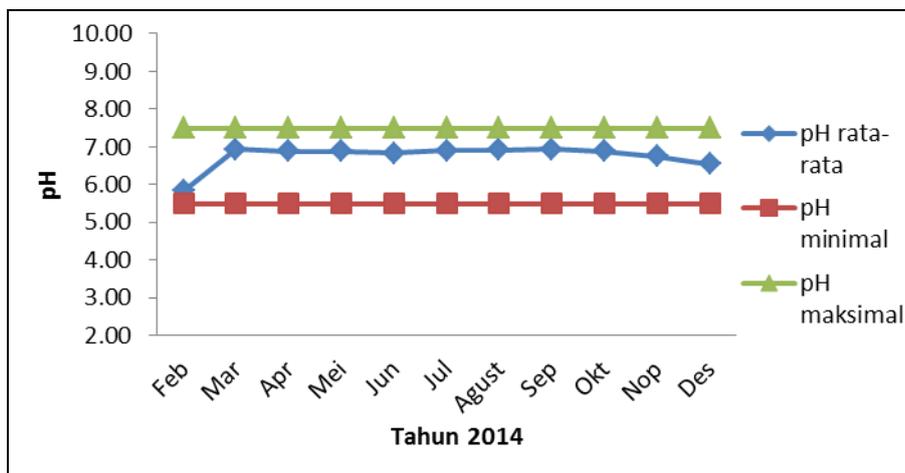
Surveilans Kualitas Air Kolam Penyimpanan BBNB

Sesuai program manajemen penuaan yang telah ditetapkan, maka pemantauan parameter yang mempengaruhi SSK kritis harus dilakukan. Komponen yang kemungkinan besar berpengaruh terhadap penuaan *liner stainless steel* di kolam penyimpanan BBNB adalah kondisi kualitas air kolam. Oleh karenanya pemantauan nilai pH dan konduktivitas air kolam penyimpanan BBNB dilakukan secara rutin dan terus menerus. Pemantauan rutin dilakukan minimal satu kali dalam seminggu dengan alat yang telah terkalibrasi. Data pemantauan nilai rata-rata konduktivitas air kolam diperlihatkan pada gambar 4. Data pemantauan nilai rata-rata pH air kolam diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Data rata-rata konduktivitas air kolam penyimpanan BBNB [6]

Air merupakan substansi yang agresif terhadap logam yang dibasahnya meskipun air berada dalam keadaan murni. Hal ini disebabkan karena air akan terionisasi menghasilkan ion H^+ dan OH^- . Air murni memberikan kontribusi kecil terhadap konduktivitas listrik karena air hanya akan memberikan ion H^+ dan OH^- dalam jumlah yang relatif kecil. Air akan memiliki konduktivitas tinggi jika air mengandung berbagai impuritas terlarut dan terionisasi dalam air. Pada suhu $25^{\circ}C$ air murni mempunyai konduktivitas listrik = $0,56 \mu S/cm$. Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa nilai rata-rata konduktivitas air kolam penyimpanan BBNB relatif stabil setiap bulannya, dan selalu dibawah nilai batas maksimal yang dipersyaratkan. Hasil pemantauan konduktivitas air kolam dalam setahun berkisar antara $1,33 - 1,50 \mu S/cm$. Nilai konduktivitas tersebut jauh lebih kecil dari nilai batas kondisi operasi yang aman yang tercantum dalam Laporan Analisis Keselamatan yaitu $< 15 \mu S/cm$. [1]



Gambar 5. Rata-rata pH Air Pendingin Setiap Bulan [6]

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa nilai rata-rata pH air kolam setiap bulannya selalu berada pada rentang nilai pH minimal dan maksimal dalam kondisi batas operasi normal. Hasil pemantauan pH air kolam dalam setahun bervariasi

antara 5,60 – 7,03. Nilai pH tersebut memenuhi syarat kondisi batas operasi normal yaitu pada kisaran 5,5 – 7,5. [1]

Dari data-data diatas menunjukkan bahwa kualitas air kolam penyimpanan BBNB terjaga sangat baik pada kondisi pH antara 5,5 - 7,5 dan konduktivitasnya antara 1,33 – 1,50 $\mu\text{S/cm}$. Hal ini sesuai dengan batas kondisi operasi yang dipersyaratkan dalam LAK. Dengan nilai tersebut berarti kemungkinan terjadinya korosi pada *liner* yang diakibatkan karena pengaruh air kolam sangat kecil.

Surveilan material *liner* kolam SS304

Pengujian korosi telah dilakukan untuk melihat ketahanan *liner* kolam terhadap oksidasi ketika diberi potensial luar. Seberapa besar kecepatan korosi pada material *liner* akan terjadi. Hasil pengukuran laju korosi pada sampel kupon material SS304 sebagai material yang sama dengan *liner* kolam penyimpanan BBNB diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengukuran laju korosi kupon SS304 dalam lingkungan air kolam KHIPSB3 [7]

Sampel	$E_{corr}(mV)$	I_{corr} ($\mu A/cm^2$)	$\beta_a(mV)$	$\beta_c(mV)$	CR (mpy)
SS304	-76,5	0	24,59	5,17	0,002

Besar kecilnya harga potensial korosi mengindikasikan kecenderungan sampel untuk mengalami oksidasi selama berada dalam media pengkorosi. Jika potensial korosi bebas dari sampel yang terukur rendah berarti sampel tersebut mudah teroksidasi, dan jika potensial korosi dari sampel yang terukur tinggi berarti sampel mudah tereduksi [7]. Tabel 4. menunjukkan bahwa laju korosi untuk material SS 304 dalam lingkungan air kolam KHIPSB3 sebesar 0,002 mpy atau dengan kata lain bahwa *liner* kanal dan kolam mengalami pengurangan sebesar 0,002 mili inchi/tahun. Jika dihitung berdasarkan waktu sejak mulai beroperasi hingga saat ini maka, *liner* kolam penyimpanan BBNB yang menggunakan material sama SS304 masih mempunyai ketebalan 2,999 mm. Artinya ketebalan liner kolam masih 99,96%. Apabila perhitungan prosentase sisa ketebalan *liner* menggunakan nilai 99,9%, berarti akan dibutuhkan waktu selama 40 tahun ke depan.

KESIMPULAN

Dari bahasan diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa kualitas air kolam penyimpanan BBNB terjaga pada kondisi pH antara 5,5 - 7,5 dan konduktivitas jauh lebih kecil dari 15 $\mu\text{S/cm}$. Untuk itu, kecil kemungkinan terjadi korosi pada *liner* karena pengaruh air kolam. Dari pengukuran laju korosi diperoleh informasi bahwa SS304 mengalami pengurangan ketebalan sebesar 0,002 mili inchi/tahun. Oleh karena itu, *liner* kolam penyimpanan BBNB masih mempunyai ketebalan 2,999 mm sehingga masih mampu menahan beban air kolam penyimpanan dan BBNB lebih dari 40 tahun ke depan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Laporan Analisis Keselamatan Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas (LAK KH-IPSB3), rev 7, PTLR – BATAN, 2009.
2. PTLR, Program Manajemen Penuaan Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas, Tangerang Selatan, 2014.

3. PERKA BAPETEN No 7 Tahun 2012 tentang Manajemen Penuaan Instalasi Nuklir Nonreaktor,
4. BUDIYONO, “Penentuan Struktur Sistem Dan Komponen Kritis Untuk Manajemen Penuaan Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Nuklir Bekas”, Prosiding Hasil Penelitian dan Kegiatan PTLR Tahun 2014, PTLR, Serpong, 2015.
5. SUMIJANTO, *Diklat Manajemen Penuaan Dan Aspek Keselamatan Dari Reaktor Penelitian*, BAPETEN, Jakarta, (2005).
6. YHON IRZON, TITIK SUNDARI, DYAH SR, DARMAWAN AJI, “Pemantauan Air Pendingin di Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Nuklir Bekas (IPSB3)”, Prosiding Hasil Penelitian dan Kegiatan PTLR Tahun 2014, PTLR, Serpong, 2015.
7. RAHAYU KUSUMASTUTI, GENI RINA SUNARYO, “Analisis Laju Korosi Material AlMg₂ Dan SS304 Dalam Lingkungan Air Kolam Penyimpanan Bahan Bakar Bekas (ISSF)” Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XII, PTLR, Serpong, 2014.