

## KAJIAN ANALISIS PERTUMBUHAN BAKTERI PENYEBAB BIO-KOROSI DI KOLAM PENYIMPANAN BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS

Dyah Sulistyani Rahayu, Marhaeni Joko Puspito  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif – BATAN  
yayuk@batan.go.id

### ABSTRAK

KAJIAN ANALISIS PERTUMBUHAN BAKTERI PENYEBAB BIO-KOROSI DI KOLAM PENYIMPANAN BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS (BBNB). Kolam penyimpanan BBNB adalah fasilitas vital yang sangat penting dijaga kondisi kualitas airnya sesuai Batas Kondisi Operasi (BKO), untuk menghindari terjadinya proses korosi. Sebagai langkah awal dilakukan kajian untuk menganalisa pertumbuhan bakteri penyebab korosi, dan indikasi keberadaan bakteri APB tersebut di kolam penyimpanan BBNB. Dampak mikroba terhadap korosi cukup penting, maka tidak bisa diabaikan dan memerlukan kajian yang lebih intensif sehingga pengaruh korosi dapat diminimalisir. Penelitian dilakukan dengan mengambil 10 titik sampling pada air kolam dan kanal, yaitu 7 titik pada kolam dan 3 titik pada kanal, kemudian diinokulasikan kedalam agar tube dan disimpan dalam inkubator selama 1- 5 hari pada suhu 30°C. Pengamatan secara visual perubahan warna dari merah ke kuning, dimulai hari pertama sampai hari kelima. Dari hasil analisa dengan menggunakan sanicheck APB terdeteksi adanya bakteri produksi asam penyebab korosi (APB) yang kuat dengan perkiraan populasi 90.000 cfu/ mL di dekat rak BBNB serta dan 3 titik di kanal hubung penyimpanan BBNB, sedangkan di titik sampling yang lain terdeteksi populasi bakteri sangat lemah. Hal tersebut dikarenakan pada area tersebut aliran airnya sangat kecil cenderung lebih tenang dibanding dengan lokasi yang lain, disebabkan lokasi pipa untuk sirkulasi air kolam yang jauh dari titik tersebut

Kata kunci : bakteri produksi asam, bio-korosi, kolam penyimpanan bahan bakar bekas .

### ABSTRACT

*STUDY ON GROWTH ANALYSIS OF BACTERIAL CAUSES OF BIO-CORROSION IN THE SPENT NUCLEAR FUEL STORAGE. Spent nuclear fuel storage pool is a vital facility that is very important to maintain the condition of water quality according to Boundary Operation Condition (BKO), to avoid the occurrence of corrosion process. The next step is to analyze the growth of corrosion-causing bacteria, and the APB bacteria in the spent fuel storage pool. The impact of microbe on corrosion is quite important, it cannot be ignored and requires a more intensive study so as to influence corrosion can be minimized. Research by taking 10 sampling points on pond water and canals, 7 points on the pond and 3 points on the channel then inoculated into tube And stored in an incubator for 1- 5 days at a temperature of 30°C. Visually observed changes in color from red to yellow, starting the first day until the fifth day. From the analysis result by sanicheck APB detected the presence of strong corrosive acid production (APB) with the with the estimated population of 90,000 cfu /mL in pool and channel of spent nuclear fuel storage, while at other sampling points was weak., because that area very small water flow tend to be quieter than the other location, due to the location of the pipeline for the water circulation pond far from that point, so it is necessary to re-install the circulation pipe so that the water flow is more homogeneous.*

*Keywords: acid production bacteria, bio-corrosion, spent fuel storage pool*

### PENDAHULUAN

Fungsi kolam penyimpanan bahan bakar nuklir bekas di Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Nuklir Bekas (BBNB) adalah untuk menyimpan bahan bakar nuklir bekas yang berasal dari PRSG dan material teriradiasi yang lain. Semua bahan nuklir yang disimpan di kolam penyimpanan dengan ukuran 4 x 15 meter. Bahan bakar nuklir bekas dan dimasukkan ke dalam rak yang terbuat dari *stainless steel* dengan ukuran 0,94m x 0,94m [1]. Kolam penyimpan BBNB berisi kira-kira 995 m<sup>3</sup> air bebas mineral, 6 buah rak SS yang berisi 245 BBNB serta 1 buah rak penyimpan scab material. Fasilitas IPSB3 dirancang untuk dapat menampung 1448 BBNB yang ditimbulkan dari 25 tahun operasi RSG-GAS. Air bebas mineral dipasok dari sistem demineralisasi

menggunakan kolom penukar anion dan kation. Sistem purifikasi dilakukan untuk mempertahankan kualitas air di KHIPSB3 dari kontaminasi zat radioaktif serta untuk proses sirkulasi dan pemurnian air secara kontinu. Persyaratan kualitas air kolam KHIPSB3 sesuai dengan Batas Kondisi Operasi (BKO) seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Salah satu parameter untuk mengontrol kualitas air tersebut adalah parameter biologi, yaitu kandungan mikroba seperti bakteri, jamur, algae dan lain sebagainya. Akumulasi dari campuran mikroorganisme ini membentuk *slime*, yang menempel pada rak, alat *handling* BBNB, dinding SS kolam penyimpanan BBNB serta pipa-pipa yang berada pada kolam dan kanal.

Tabel 1. Kualitas air bebas mineral dari sistem demineralisasi [1]

pH	: 6,0 – 7,7	Cl	: 0,2 mol/cm <sup>3</sup>
Konduktivitas	: < 15 S/cm	SO <sub>4</sub>	: 0,6 mol/m <sup>3</sup>
Total kandungan garam	: 100 mg/l	Fe total	: 0 %
CaO	: 0,6 mol/m <sup>3</sup>	asam salisilat	: 0,34 mol/m <sup>3</sup>

Dampak pengotoran air oleh mikroba secara langsung belum diketahui, tetapi mempengaruhi proses korosi yang dikenal dengan istilah MIC (*Microbiological influenced Corrosion*) [2]. Bio-korosi merupakan korosi yang disebabkan oleh mikro organisme dapat berupa bakteri, jamur atau alga. Dalam *bio-korosi*, mikroorganisme dapat berperan secara aktif maupun secara pasif dalam menyebabkan korosi. Korosi terhadap degradasi material di lingkungan, pengaruh inisiasi atau laju korosi di suatu area, mikroorganisme umumnya berhubungan dengan permukaan korosi kemudian menempel pada permukaan logam dalam bentuk lapisan tipis atau biodeposit. Lapisan film atau biofilm berupa biodeposit biasanya membentuk diameter beberapa centimeter di permukaan, namun terekspos sedikit di permukaan sehingga dapat menyebabkan korosi lokal. [3]

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui keberadaan atau pertumbuhan MIC dalam hal ini adalah bakteri penghasil asam (APB). Hal ini sangat penting dilakukan karena faktor korosi adalah hal yang sangat dihindarkan dari kolam penyimpanan BBNB. Apabila BBNB terkorosi terjadi pitting corrosion maka akan mengakibatkan lepasan radionuklida hasil fisi ke air pendingin reaktor dan udara lingkungan. Dampak mikroba terhadap korosi cukup penting, maka tidak bisa diabaikan dan memerlukan kajian yang lebih intensif sehingga pengaruh korosi dapat diminimalisir. Sebagai langkah awal dilakukan kajian untuk menganalisa pertumbuhan bakteri penyebab korosi, salah satunya adalah *Acid Production Bacteri* (APB), dan indikasi keberadaan bakteri APB tersebut di kolam penyimpanan BBNB.

## TEORI

Mikroorganisme dikategorikan berdasarkan kadar oksigen yaitu [3]:

1. Jenis anaerob, berkembang biak pada kondisi tidak adanya oksigen
2. Jenis Aerob, berkembang biak pada kondisi kaya oksigen.
3. Jenis anaerob fakultatif, berkembang biak pada dua kondisi.

Jenis-jenis bakteri yang berkembang, yaitu [3]:

1. Bakteri reduksi sulfat. Bakteri ini merupakan bakteri jenis anaerob membutuhkan lingkungan bebas oksigen atau lingkungan

reduksi, bakteri ini bersirkulasi di dalam air aerasi termasuk larutan klorin dan oksidiser lainnya, hingga mencapai kondisi ideal untuk mendukung metabolisme. Bakteri ini tumbuh pada oksigen rendah. Bakteri ini tumbuh pada daerah-daerah kanal, pelabuhan, daerah air tenang tergantung pada lingkungannya. Bakteri ini mereduksi sulfat menjadi sulfid, biasanya terlihat dari meningkatnya kadar H<sub>2</sub>S atau Besi sulfida. Tidak adanya sulfat, beberapa turunan dapat berfungsi sebagai fermenter menggunakan campuran organik seperti pyruvate untuk memproduksi asetat, hidrogen dan CO<sub>2</sub>, banyak bakteri jenis ini berisi enzim hidrogenase yang mengkonsumsi hidrogen.

2. Bakteri oksidasi sulfur-sulfida (bakteri Thiobacillus). Bakteri jenis ini merupakan bakteri aerob yang mendapatkan energi dari oksidasi sulfid atau sulfur. Beberapa tipe bakteri aerob dapat teroksidasi sulfur menjadi asam sulfurik.
3. Bakteri besi mangan oksida Bakteri memperoleh energi dari oksidasi Fe<sup>2+</sup>(2+) atau Fe<sup>3+</sup>(3+) dimana deposit berhubungan dengan bakteri korosi. Bakteri ini hampir selalu ditemukan di *Tubercle* (gundukan Hemispherikal berlainan) di atas lubang pit pada permukaan baja.

Masalah biokorosi di dalam suatu sistem lingkungan mempunyai beberapa variable yaitu [4]:

1. Temperatur, umumnya kenaikan suhu dapat meningkatkan laju korosi tergantung karakteristik mikroorganisme yang mempunyai suhu optimum untuk tumbuh yang berlainan.
2. Kecepatan alir, jika kecepatan alir biofilm rendah akan mudah terganggu sedangkan kecepatan alir tinggi menyebabkan lapisan lebih tipis dan padat.
3. pH, umumnya pH air dapat mempengaruhi metabolisme mikroorganisme.
4. Kadar Oksigen, banyak bakteri membutuhkan O<sub>2</sub> untuk tumbuh, namun pada Organisme fakultatif jika O<sub>2</sub> berkurang maka dengan cepat bakteri ini mengubah metabolismenya menjadi bakteri anaerob.
5. Kebersihan, dimaksud air yang kadar endapan padatan rendah, padatan ini

menciptakan keadaan di permukaan untuk tumbuhnya aktifitas mikroba.

Bio-korosi aktif dapat disebabkan baik oleh bakteri aerob ataupun anaerob, beberapa tipe bakteri yang menyebabkan bio-korosi antara lain pereduksi sulfat, memproduksi asam, pendeposit logam, *slime formers*. Beberapa bakteri pereduksi sulfat yang dikenal antara lain *desulfovibrio*, *desulfomonas*, *desulfotomaculun*, umumnya bakteri pereduksi sulfat merupakan bakteri anerob, bakteri pereduksi sulfat memiliki ketahanan baik pada temperatur sampai dengan 80 C, bakteri ini bekerja baik pada pH 5-9. *Thiobacillus Thiooxidans* dan *clostridia* merupakan bakteri penghasil asam, bakteri *Thiobacillus Thiooxidans* mengoksidasi senyawa sulfur menjadi sulfat, *Thiobacillus Thiooxidans* merupakan bakteri yang bersifat aerob, sementara *clostridia* bersifat anaerob, dan *clostridia* menghasilkan asam organik rantai pendek. *Gallionella* merupakan bakteri yang mampu mengoksidasi ion ferro  $Fe^{+2}$  ke ion ferri  $Fe^{+3}$ , *Gallionella* umumnya berdeposit bersama ion besi, mangan yang mengandung ion klorida, bakteri *Gallionella* sering ditemukan pada sambungan las, beberapa bakteri pengoksidasi besi lain yang dikenal antara lain *sphaerotilus*, *crenothrix* dan *leptothrix*, *Pseudomonas* merupakan bakteri slime formers, lapisan slim merupakan polymer extraselular hasil metabolisme, lapisan slim dari bakteri slim former berkontribusi pada timbulnya korosi yang disebabkan adanya sel konsentrasi. Jenis-jenis bakteri penyebab korosi terlihat pada Tabel 2 dan 3.

*Acid Production Bacteri* (APB) atau bakteri produksi asam sebagai penyebab utama korosi, terutama karena aktivitas fermentasi mereka akan menyebabkan penurunan pH ke kondisi asam, terutama di biofilm. Dengan kondisi seperti ini, suatu bentuk asam yang disebabkan korosi dapat terjadi, di mana logam mulai larut dan struktur beton kehilangan integritas. Bentuk asam korosi ini dapat dipandang sebagai kejadian awal atau alternatif untuk korosi elektrolitik yang diawali oleh Bakteri Pereduksi Sulfat (SRB). Bakteri pereduksi sulfat (SRB) karena kaitannya yang jelas dengan produksi hidrogen sulfida, yang dikenal sebagai inisiator korosi elektrolitik pada besi [5]. Kondisi pertumbuhan SRB umumnya melibatkan kondisi reduktif dan suplai asetat, salah satu asam lemak terminal yang biasa diproduksi oleh fermentasi mikroba. Asam lemak ini adalah produk umum dari fermentasi mikroba reduktif dan dapat

menyebabkan pH lingkungan turun ke kisaran asam. Bakteri fermentasi yang mampu melakukan ini adalah bakteri penghasil asam (APB). Intinya, APB dapat dipandang sebagai pengaturan kondisi untuk meningkatkan tingkat agresivitas SRB, dengan memanfaatkan asam lemak yang dihasilkan oleh APB [5].

Tabel 2. Bakteri Aerobik Penyebab Korosi<sup>[4]</sup>

Genus atau Spesies	Range pH	Range Suhu °C	Logam yang Dapat Terkorosi	Aksi Korosif
<i>Thiobacillus thiooxidans</i>	0.5-8	10-40	Besi dan baja, paduan tembaga	Mengoksidasi sulfur dan sulfida menjadi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .
<i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	1-7	10-40	Besi dan baja	Mengoksidasi Fe <sup>2+</sup> menjadi Fe <sup>3+</sup>
<i>Gallionella</i>	7-10	20-40	Besi dan baja, <i>stainless steel</i>	Mengoksidasi Fe <sup>2+</sup> dan Mn <sup>2+</sup> menjadi Fe <sup>3+</sup> dan Mn <sup>3+</sup>
<i>Sphaerotilus</i>	7-10	20-40	Besi dan baja, <i>stainless steel</i>	Mengoksidasi Fe <sup>2+</sup> dan Mn <sup>2+</sup> menjadi Fe <sup>3+</sup> dan Mn <sup>3+</sup>
<i>Pseudomonas</i>	4-9	20-40	Besi dan baja, <i>stainless steel</i>	Mereduksi Fe <sup>3+</sup> menjadi Fe <sup>2+</sup>
<i>P. aeruginosa</i>	4-8	20-40	Paduan aluminium	...

Tabel 3. Bakteri Anaerobik Penyebab Korosi<sup>[4]</sup>

Genus atau Spesies	Range pH	Range Suhu °C	Logam yang Dapat Terkorosi	Aksi Korosif
<i>Desulfovibrio desulfuricans</i>	4-8	10-40	Besi dan baja, <i>stainless steel</i> , aluminium seng, paduan tembaga	Memanfaatkan hidrogen dalam mereduksi SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> menjadi S <sup>2-</sup> dan H <sub>2</sub> S
<i>Desulfotomaculum nigrificans</i>	6-8	10-40 dan 45-75	Besi dan baja, <i>stainless steel</i>	Mereduksi SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> menjadi S <sup>2-</sup> dan H <sub>2</sub> S
<i>Desulfomonas</i>	...	10-40	Besi dan baja	Mereduksi SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> menjadi S <sup>2-</sup> dan H <sub>2</sub> S

## METODOLOGI

### BAHAN :

- Sanicheck APB
- Air kolam KHIPSB3

### TATA KERJA

Pengambilan air sampling 10 titik sampling. Lokasi titik sampling di 6 titik di sekitar rak BBNB, 1 titik di sekitar *scrap*, 1 titik didekat slice gate, 1 titik di gate kanal hubung arah RSG, 1 titik di gate kanal arah PT INUKI, dan 1 titik di gate kanal arah RMI (*Radiometalurgi Instalation*) dan dimasukkan kedalam botol

sampling. Membuka agar *tube* dan *sampel applicator* dari pembungkusnya dan memasukan *sampel applicator* kedalam air sampel sekitar 10 detik. Memasukan *sampel applicator* ke agar *tube* dengan pelan dan hati – hati, kemudian menutup kembali agar *tube*. Meletakkan sampel-sampel kedalam inkubator selama 1 – 5 hari dengan suhu 30<sup>0</sup>C dan mengamati perubahan warna dari merah (warna asal) ke warna kuning mulai hari ke 1 sampai hari ke 5.

Indikator adanya bakteri ditandai dengan perubahan seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

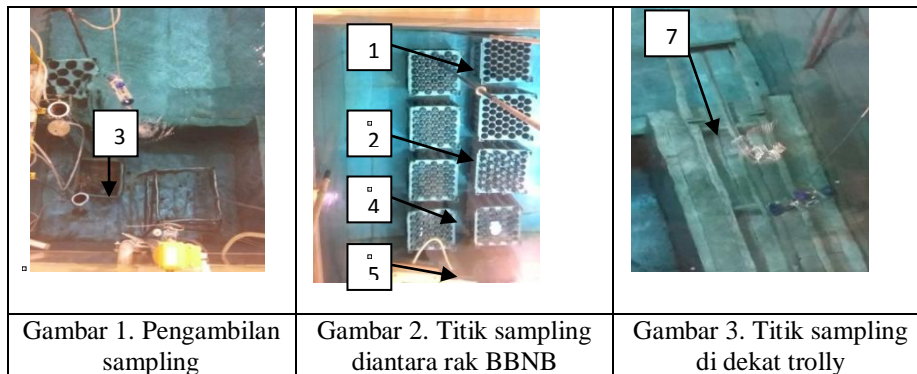
Tabel 1. Indikator perubahan warna dan agresivitas bakteri

Perubahan warna menjadi kuning (Appearance of yellow)	Perkiraan populasi APB cfu/mL	Agresivitas Bakteri Produksi Asam
Hari ke 1	250.000	Kuat
Hari ke 2	90.000	Kuat
Hari ke 3	1500	Medium
Hari ke 4	150	Medium
Hari 5	< 100	Lemah

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

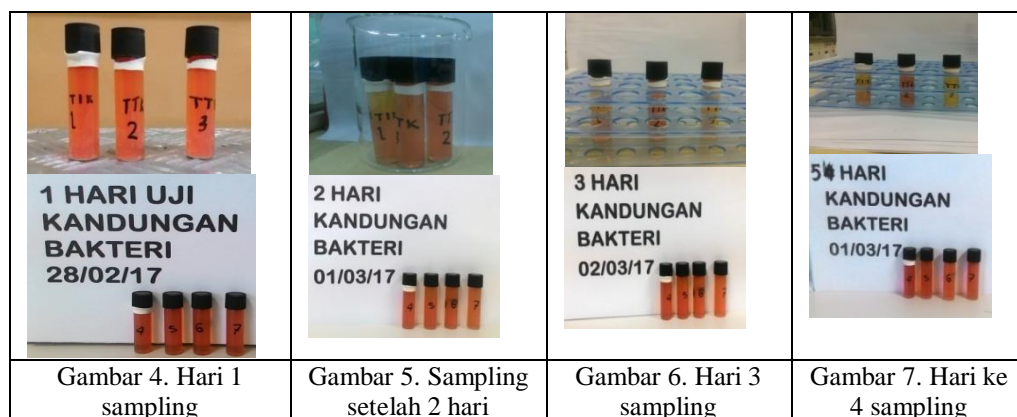
Hasil uji analisa mikrobiologi di lokasi dekat dengan rak BBNB, rak scrab dan dekat sluice gate yaitu titik sampling no. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 dan pengamatan titik sampling no. 8, 9 dan 10 kanal

yaitu pada gate kanal arah PRSG, PT INUKI dan RMI ditunjukkan pada Grafik 1. Penentuan lokasi titik sampling seperti terlihat pada Gambar 1, 2, 3.



Hasil uji analisis biologi

1. Lokasi di dekat rak bahan bakar nuklir bekas

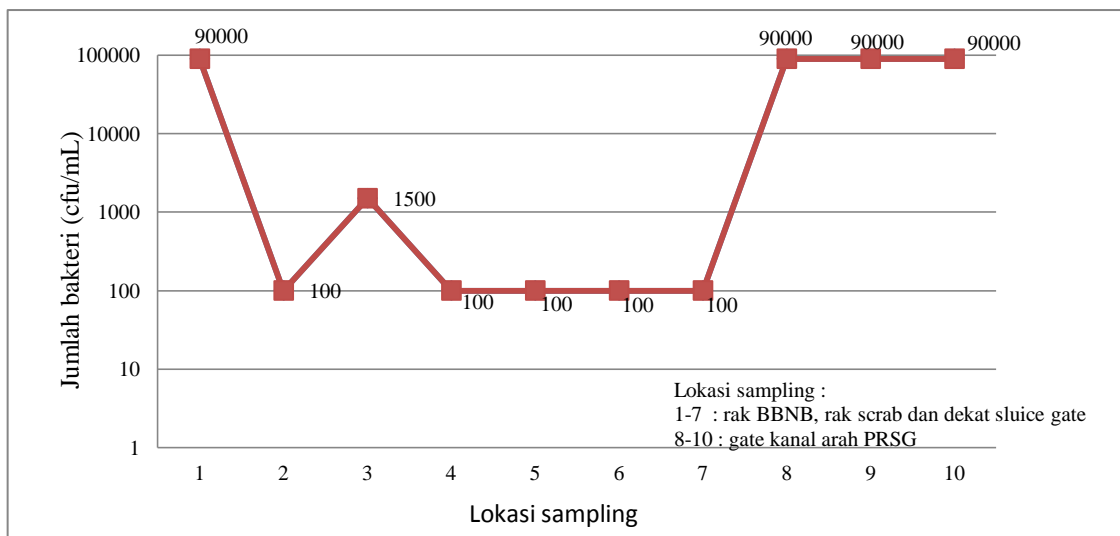


2.. Lokasi di gate kanal hubung



Gambar 8. Sampling hari ke 1

Gambar 9. Sampling hari ke 2



Gambar 10. Lokasi sampling vs jumlah bakteri (cfu/mL)

Dari grafik 10 terlihat di beberapa titik tertentu memang keberadaan pertumbuhan koloni APB sangat kuat, seperti pada titik 1 dekat rak BBNB. Hal tersebut disebabkan karena pada area tersebut aliran airnya sangat kecil cenderung lebih tenang dibanding dengan lokasi yang lain, disebabkan karena lokasi pipa untuk sirkulasi air kolam yang jauh dari titik tersebut. Hal ini sangat penting untuk diwaspadai karena koloni bakteri dekat dengan BBNB yang rentan dengan korosi. Apabila korosi maka dikawatirkan akan terlepasnya hasil fisi yang sangat tidak diharapkan. Demikian juga pada titik sampling no. 8, 9, 10 yaitu lokasi di gate kanal menuju RSG, PT INUKI dan RMI. Pada titik lokasi tersebut pipa sirkulasi dari kanal juga jauh dari titik lokasi tersebut, sehingga aliran airnya sangat kecil cenderung lebih tenang dibanding dengan lokasi yang lain. Batas kondisi operasi (BKO) untuk mempertahankan kualitas air sesuai dengan syarat keselamatan yang telah ditetapkan

adalah suhu 25 – 35 °C , pH = 6,0 - 7,5 dan konduktivitas < 15 µS/cm yang ternyata merupakan kondisi yang sangat baik untuk pertumbuhan populasi bakteri, dimana bakteri APB ,spesies Thiobactillus thiooxidans merupakan bakteri aerob, hidup pada kondisi pH 0,5 - 8 dan suhu 10 - 40 °C. Bakteri produksi asam sebagai penyebab utama korosi, terutama karena aktivitas fermentasi mereka akan menyebabkan penurunan pH ke kondisi asam, terutama di biofilm. Dengan kondisi seperti ini, suatu bentuk asam yang disebabkan korosi dapat terjadi, di mana logam mulai larut dan struktur beton kehilangan integritas. Sehingga dari hasil analisa tersebut, menginstal ulang kembali pipa sirkulasi air kolam adalah yang paling mungkin dilakukan sehingga sirkulasi aliran air kolam dan kanal lebih merata dan homogen, untuk menghindari koloni bakteri penyebab korosi yang lebih banyak.

Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk pencegahan MIC, yaitu melakukan pembersihan permukaan secara mekanis berkala dan perawatan dengan *biocides* untuk membunuh bakteri atau mikroorganisme, modifikasi material yang digunakan, perubahan sistem aliran/operasi dan penggunaan bahan kimia tetapi hal tersebut tidak mungkin dilakukan karena lokasi penelitian ada di kolam penyimpanan bahan bakar nuklir bekas, yang tidak boleh ditambahkan zat-zat kimia, karena kualitas air kolam yang harus senantiasa dijaga sesuai dengan batas kondisi operasi yang sesuai.

## KESIMPULAN

Analisa pertumbuhan populasi bakteri produksi asam (APB) penyebab korosi di dekat rak BBNB dan kanal gate PRSG, PT Inuki dan RMI dengan menggunakan sanicheck APB dan terdeteksi adanya populasi APB yang kuat dengan perkiraan populasi 90.000 cfu/mL di dekat rak BBNB, sedangkan di titik sampling yang lain terdeteksi populasi bakteri sangat lemah. Sedangkan di kanal menunjukkan adanya populasi APB lebih banyak yaitu di gate RSG, RMI dan PT INUKI dengan perkiraan populasi 90.000 cfu/mL. Faktor-faktor penyebab korosi seperti pH, temperatur, laju alir dan kadar oksigen sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan bakteri, dalam hal ini terutama laju alir/sirkulasi dari kolam dan kanal yang perlu diperbaiki untuk menghindari koloni bakteri penyebab korosi yang lebih banyak. Hasil penelitian selanjutnya akan dikembangkan untuk mengidentifikasi secara fisiologis dengan kamera mikroskop mengenai populasi bakteri, laju pertumbuhannya dan pemetaan pertumbuhan bakteri di titik lokasi yang lain.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Laporan Analisis Keselamatan Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas (LAK KH-IPSB3), rev 7, PTLR – BATAN, 2009
2. A.B Johnsons Jr, Behavior Of Spent Nuclear Fuel in Water Pool storage, Sept 1997, Battelle, Pacific Northwest Laboratories Richland, washington, 99352
3. D. Suhartanti, 2006, Laju Korosi Baja oleh *Desulfomicrobium Baculatum* dan *Desulfomonas Pigra*, Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta.
4. G. Priyotomo, Teguh, 2007, Degradasi Fungsi Sistem Industri Akibat Korosi Mikrobiologi, Puslit Metalurgi LIPI.
5. J. Starosvetsky et al, 2007, *Identification of microbiologically influenced corrosion (MIC) in industrial equipment failures*, Elsevier Journal.
6. Jones, Denny A, 1996, *Principles and Prevention of Corrosion*, Prentice Hall

