

# Evaluasi Efektivitas Penggunaan Resin pada Sistem *Demineralizer* Air Tangki PT TRIGA 2000

**Indriyani Sumitra\***, Alvera Apridialianti Melkias, Adyuta Inastrian, Fairuz Syahka Habibi

Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Kec. Parongpong, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat.

E-mail: [indriyani@polban.ac.id](mailto:indriyani@polban.ac.id)\*

## **Abstract**

*Evaluation Of Resin Use In The TRIGA 2000 Reactor Tank Water Demineralizer System. The demineralizer system is a system that functions to treat reactor tank water so that the conductivity value remains below 3.5  $\mu$ mhos to prevent corrosion of reactor components exposed to water, especially the fuel element. The demineralizer performs this function by removing soluble impurities from the water using a mixed bed resin. The resin used is a special resin designed for nuclear, namely Amberlite IRN 150 H/OH Ion Exchange Resin. According to the Safety Analysis Report (LAK), the resin should be replaced after 6 months of use. Research has been carried out when replacing resin every 6 months with continuous use of 12 days for one month. The average conductivity value of reactor tank water is at 0.9 – 1.1  $\mu$ mhos with a note that there is no addition of reactor tank water in the middle of the 6-month resin usage cycle. The analysis was carried out by comparing the pH value, conductivity, and mineral content in each resin cycle from 2020 to 2021. The results showed that the resin was able to work well and the effectiveness of the resin reached 77% - 92%. The time of using the resin in one cycle varies depending on the activity of the impurities dissolved in the reactor tank water.*

**Keywords:** demineralizer system, resin effectiveness, conductivity

## **Abstrak**

*Evaluasi Penggunaan Resin Pada Sistem Demineralizer Air Tangki PT TRIGA 2000. Sistem demineralizer merupakan sistem yang berfungsi untuk merawat air tangki reaksir agar nilai konduktivitas tetap dibawah 3,5  $\mu$ mhos untuk mencegah korosi pada komponen reaksi yang terpapar air, terutama elemen bahan bakar. Demineralizer melakukan fungsi ini dengan menghilangkan kotoran larut dari air menggunakan resin mixed bed. Resin yang digunakan merupakan resin khusus yang di desain untuk nuklir yaitu Amberlite IRN 150 H/OH Ion Exchange Resin. Menurut Laporan Analisis Keselamatan (LAK), resin harus diganti setelah 6 bulan pemakaian. Telah dilakukan penelitian pada saat penggantian resin setiap 6 bulan sekali dengan penggunaan kontinu 12 hari selama satu bulan. Rata – rata nilai konduktivitas air tangki reaksi berada pada 0,9 – 1,1  $\mu$ mhos dengan catatan tidak ada penambahan air tangki reaksi di tengah siklus penggunaan resin selama 6 bulan. Analisis dilakukan dengan membandingkan nilai pH, konduktivitas, dan kadar mineral pada setiap siklus resin dari tahun 1 tahun tertentu ( mohon tidak disebutkan Tahunnya ). Hasil analisis menunjukkan resin mampu bekerja dengan baik dan efektivitas resin mencapai 77% - 92%. Waktu penggunaan resin dalam satu siklus bervariasi tergantung pada aktivitas zat kotoran yang larut pada air tangki reaksi.*

**Kata kunci:** sistem demineralizer, efektivitas resin, konduktivitas

## 1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara berkembang dengan kebutuhan energi yang terus meningkat. Energi menjadi sektor vital yang berperan dalam mendorong pertumbuhan ekonomi dan peningkatan kesejahteraan masyarakat. Salah satu sumber energi yang memiliki potensi besar untuk mendukung hal tersebut adalah energi nuklir.

Penelitian dan pemanfaatan teknologi nuklir di Indonesia saat ini berada di bawah satu badan riset nasional yang dibentuk berdasarkan peraturan presiden tahun 2021. Badan ini mengintegrasikan seluruh kegiatan riset dan inovasi di tingkat nasional, termasuk pengembangan teknologi nuklir untuk keperluan energi, kesehatan, dan industri [1].

Salah satu fasilitas riset nuklir yang telah beroperasi sejak tahun 1965 terletak di kota Bandung. Fasilitas ini memiliki reaktor riset dengan kapasitas daya maksimum sebesar 2000 kilowatt thermal, dan digunakan untuk pelatihan, penelitian, serta produksi isotop [2]. Dalam pengoperasiannya, aspek keselamatan dan keamanan menjadi prioritas utama, baik bagi pekerja, masyarakat, lingkungan, maupun sistem peralatan reaktor itu sendiri [3].

Untuk menjamin keselamatan reaktor dalam berbagai kondisi operasi, salah satu komponen penting yang harus diperhatikan adalah kualitas air pendingin primer. Air ini memiliki tiga fungsi utama: sebagai pendingin untuk menyerap panas dari elemen bahan bakar, sebagai moderator untuk menurunkan energi neutron ke tingkat termal, dan sebagai pelindung radiasi untuk mengurangi paparan ke lingkungan sekitar [4].

Persyaratan teknis air pendingin primer mengacu pada dokumen keselamatan reaktor, yang menetapkan batasan konduktivitas  $< 3,5$   $\mu\text{mhos/cm}$ , pH antara 5,5–6,5, serta kadar unsur seperti Si, Mg, Ca, dan Na kurang dari 1 ppm [5]. Kegagalan dalam menjaga parameter ini dapat mengganggu kelancaran operasi dan berpotensi membahayakan keselamatan sistem reaktor [6].

Untuk menjaga kualitas air tetap sesuai spesifikasi, digunakan sistem pemurnian air berbasis demineralisasi. Sistem ini terdiri dari filter dan resin penukar ion. Filter berfungsi menyaring partikel hingga ukuran 5  $\mu\text{m}$ , sementara resin mixed-bed digunakan untuk menurunkan konduktivitas air [7]. Laju aliran sistem pemurnian maksimum sebesar 10 gpm, dan unit pembersih air terdiri dari surface water skimmer, fiber cartridge, serta demineralizer [8].

Resin yang digunakan adalah Amberlite IRN 150 H/OH Ion Exchange Resin, yang dirancang khusus untuk aplikasi nuklir. Resin ini memiliki tingkat kemurnian dan stabilitas tinggi, sehingga

mampu mendukung operasi reaktor secara andal dan aman [9]. Berdasarkan dokumen keselamatan reaktor, resin harus diganti dua kali dalam setahun atau jika konduktivitas air melebihi batas yang ditetapkan [5].

Evaluasi terhadap penggunaan resin dilakukan selama dua tahun untuk menilai efektivitasnya dalam menjaga kualitas air pendingin. Sistem ini sangat penting untuk mencegah korosi, terutama pada elemen bahan bakar, dan memastikan keselamatan operasional reaktor [10]. Resin berfungsi menghilangkan ion positif dan negatif dalam air, sesuai dengan standar keselamatan yang berlaku [11].

Air pendingin perlu dievaluasi secara berkala terhadap parameter konduktivitas, pH, dan kadar mineralnya agar tetap memenuhi standar keselamatan. Oleh karena itu, dilakukan kajian terhadap penggunaan resin dalam sistem demineralisasi untuk mendukung keberlangsungan operasi reaktor dan menjamin keselamatan sistem secara menyeluruh [12].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan resin penukar ion tipe Amberlite IRN 150 H/OH dalam sistem demineralisasi air pendingin primer pada fasilitas reaktor TRIGA 2000. Evaluasi dilakukan berdasarkan parameter kualitas air seperti konduktivitas, pH, dan kadar mineral, yang harus memenuhi standar keselamatan teknis sebagaimana tercantum dalam dokumen analisis keselamatan reaktor [5]. Penelitian ini juga bertujuan untuk mendukung keberlangsungan operasi sistem pemurnian air dengan memastikan bahwa frekuensi penggantian resin sesuai dengan kebutuhan aktual dan standar operasional [10].

## 2. Metodologi

Tugas Akhir ini dilaksanakan di TRIGA 2000 dan Penelitian ini dilakukan menggunakan metode kuantitatif

### 2.1. Parameter Kualitas Air

Dalam pelaksanaannya, kualitas air yang digunakan sebagai pendingin primer pada sistem reaktor di TRIGA 2000 harus memenuhi persyaratan teknis yang tercantum dalam dokumen Laporan Analisis Keselamatan (LAK), yang disusun berdasarkan rekomendasi dari General Atomic. Persyaratan ini bertujuan untuk menjamin keselamatan operasional reaktor serta mencegah terjadinya korosi, kontaminasi, dan gangguan sistem pendingin.

Tabel 3. 1

Persyaratan Air Tangki berdasarkan LAK

Parameter	Nilai
pH	5,5 – 6,5
Konduktivitas Listrik	Maks 3,5 µmhos
Kadar Ca,Mg,Na	Maks 1 ppm

Selain ketiga parameter utama tersebut, data Total Dissolved Solid (TDS) dari air umpan (*feed water*) juga digunakan sebagai data pendukung dalam pelaksanaan tugas akhir ini

## 2.2. Standar Operasional Prosedur (SOP) dan Metode Pengambilan Data

SOP ini disusun sebagai panduan bagi operator dan supervisor dalam melakukan pengambilan data kualitas air pada sistem tangki reaktor TRIGA 2000, dengan tujuan memastikan validitas hasil pengukuran. Data yang digunakan dalam evaluasi ini diperoleh dari hasil operasi reaktor selama tahun 2020–2021, yang mencakup empat siklus pemakaian resin penukar ion. Satu siklus pemakaian didefinisikan sebagai periode enam bulan penggunaan resin Amberlite IRN 150 H/OH [1].

Data yang dikumpulkan meliputi kadar mineral, total zat terlarut (TDS Feed), pH, dan konduktivitas air tangki. Metode pengambilan data dilakukan oleh tim operator reaktor sesuai prosedur teknis yang berlaku. Salah satu metode utama yang digunakan untuk analisis kadar mineral adalah metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).

### 2.2.1. Metode SSA Untuk Pengambilan Data Kadar Mineral

Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) merupakan metode analisis kuantitatif yang digunakan untuk menentukan kadar unsur logam dan metaloid berdasarkan prinsip penyerapan cahaya pada panjang gelombang tertentu. Teknik ini menggunakan radiasi optik yang diserap oleh atom bebas dalam fase gas dan sangat efektif untuk analisis zat pada konsentrasi rendah [3].

Pengukuran dilakukan berdasarkan instruksi kerja internal yang mengacu pada standar nasional, dengan metode nyala sebagai teknik utama. Instruksi kerja SSA dirancang untuk analisis unsur secara total dalam air tangki reaktor, dan mengacu pada beberapa Standar Nasional Indonesia (SNI) berikut:

#### 2.2.1.1. Acuan

- SNI 6989.4:2009 – Cara uji besi (Fe) secara SSA nyala
- SNI 6989.5:2009 – Cara uji mangan (Mn) secara SSA nyala
- SNI 6989.6:2009 – Cara uji tembaga (Cu) secara SSA nyala
- SNI 06-6989.55-2005 – Cara uji magnesium (Mg) secara SSA

#### 2.2.1.2. Peralatan

- Spektrofotometer SSA – nyala
- Hollow Cathode Lamp (HCL) untuk Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Pb, Zn
- Pipet volumetrik
- Labu ukur 50 mL dan 100 mL
- Timbangan analitik (akurasi 0,0001 g)
- Labu semprot
- Botol politilen/kaca bertutup

#### 2.2.1.3. Bahan/Pereaksi

Bahan atau pereaksi yang dibutuhkan untuk metode SSA sebagai berikut :

- Sampel air
- Air bebas mineral
- HNO<sub>3</sub> p.a pekat (65%)
- Larutan standar Titrisol untuk Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Pb, Zn (1.000 ± 0,002 g)
- Gas asetilen (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) HP min. 100 psi
- Larutan pengencer HNO<sub>3</sub> 0,05 M
- Larutkan 3,5 mL HNO<sub>3</sub> pekat kedalam 1000 mL air bebas mineral dalam gelas piala.
- Larutan pencuci HNO<sub>3</sub> 5% (v/v)
- Tambahkan 50 mL asam nitrat pekat ke dalam 100 mL air bebas mineral ke dalam gelas piala 1000 mL, lalu tambahkan air bebas mineral hingga 1000 mL dan homogenkan.
- Udara tekan HP atau dari kompresor

#### 2.2.1.4. Tata Kerja

Tata kerja metode SSA sebagai berikut :

#### 2.2.1.5. Persiapan Pengujian

1. Gunakan kimia *pro analysis* (p.a)
2. Gunakan alat gelas bebas kontaminasi. Gunakan alat gelas atau plastic yang telah dicuci sesuai dengan IK 02 TP 033
3. Gunakan alat ukur yang terkalibrasi
4. Pengujian dilakukan oleh analis yang kompeten

5. Lakukan analisis dalam jangka waktu yang tidak melampaui penyimpanan sampel uji maksimum
6. Lakukan persiapan sampel air dan air limbah dilakukan sesuai dengan IK TP 003

#### 2.2.1.6. Pembuatan Standar

1. Pembuatan larutan induk logam (Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Pb dan Zn) 4000 mg/L dilakukan sesuai dengan IK 02 TP 017 Pembuatan larutan standar Stok Tritisol.
2. Pembuatan larutan baku logam 1000 mg/L.
  - a. Pipet 25 mL larutan induk logam 4000 mg/L, masukkan kedalam labu ukur 100 mL.
  - b. Tepatkan dengan larutan pengencer sampai tanda batas dan homogenkan.
3. Pembuatan larutan baku logam 100 mg/L.
  - a. Pipet 10 mL larutan induk logam 1000 mg/L, masukkan kedalam labu ukur 100 mL.
  - b. Tepatkan dengan larutan pengencer sampai tanda batas dan homogenkan.
4. Pembuatan larutan baku logam 10 mg/L.
  - a. Pipet 10 mL larutan baku logam 100 mg/L, masukkan kedalam labu ukur 100 mL.
  - b. Tepatkan dengan larutan pengencer sampai tanda batas dan homogenkan.
5. Pembuatan deret larutan standar kerja logam.  
Buatlah deret larutan kerja dengan I (satu) blangko dan paling sedikit 3 (tiga) titik kadar yang berbeda secara proporsional yang berada pada rentang pengukuran masing-masing logam.

#### 2.2.1.7. Prosedur Analisa Unsur Dalam Air dan Air Limbah Serta Pengendalian Mutu Analisis

Prosedur analisa unsur dalam air tangki reaktor yaitu sebagai berikut :

1. Aspirasikan sampel uji ke dalam SSAnyalanya dan ukur absorbansinya pada panjang gelombang masing-masing unsur yang hendak dianalisis.
2. Lakukan pengenceran bila diperlukan atau pada sqat kadar unsur dalam sampel

berada di luar rentang standar. Catat faktor pengencerannya.

3. Lakukan analisis blangko dengan frekuensi 5 % sampai dengan 10% per *batch* (satu seri pengukuran) atau minimal 1 kali untuk jumlah sampel uji kurang dari 10 sebagai kontrol kontaminasi.
4. Lakukan analisis duplo dengan frekuensi 5 % sampai dengan 10% per satu seri pengukuran atau minimal 1 kali untuk jumlah sampel uji kurang dari 10 sebagai kontrol ketelitian analisis. Jika perbedaan Persen Relatif (*Relative Percent Difference/RPD*) lebih besar dari 10% maka dilakukan pengukuran ketiga.
5. Aspirasikan larutan kerja dengan kadar yang mendekati kadar hasil pembacaan sampel uji diantara pengukuran sampel uji untuk mengetahui apabila terjadi drift pada alat.
6. Untuk kontrol kualitas dilakukan dengan mengukur bahan acuan atau cuplikan kontrol. Dalam hal bahan acuan ataupun cuplikan kontrol tidak tersedia, maka kontrol kualitas dilakukan dengan menggunakan *spike matrix* dengan frekuensi 5% sampai dengan 10% per satu seri pengukuran atau minimal 1 kali untuk jumlah sampel uji kurang dari 10. Kontrol akurasi dilakukan dengan menghitung persen temu balik. Kisaran persen temu balik untuk *spike matrix* adalah 85-115%.
7. Kontrol presisi dilakukan dengan menghitung standar deviasi relatif (RSD) atau %Coefficient Variation (%CV). Keberterimaan presisi dihitung dengan membandingkan nilai presisi dengan nilai RSD *Homitz* (RSDH), yang dinyatakan dengan rasio *Horwitz (HORRAT)* dan merupakan tolak ukur kinerja presisi dari metode analisis yang digunakan.

#### 2.2.1.8. Pengolahan Data

Bila diperlukan atau terindikasi terjadinya drift pada saat pembacaan, maka kadar yang didapat pada hasil pengukuran dikoreksi terhadap hasil pembacaan kembali larutan kerja yang diaspirasikan diantara pengukuran sampel uji. Kadar unsur atau logam dihitung dengan pengukuran sampel terkoreksi ( $C_{kor}$ ). Dalam hal terjadinya bias dari hasil analisis control akurasi, baik menggunakan acuan / cuplikan

control maupun *spike matrix*, maka kadar unsur/logam (X) dalam sampel dikoreksi terhadap nilai temu balik (*recovery*). Rekomendasi lakukan analisis *blind* sampel dan buat *control chart* untuk akurasi dan presisi analisis.

### 2.2.2. Metode Pengukuran TDS Feed

Total Dissolved Solid (TDS) merupakan zat pengotor berupa padatan terlarut yang terdapat di dalam air, terdiri dari mineral, garam, dan logam dalam bentuk ionik maupun molekuler. TDS menjadi salah satu parameter penting dalam evaluasi kualitas air, terutama dalam sistem pendingin reaktor, karena tingginya nilai TDS dapat menyebabkan korosi dan menurunkan efektivitas resin penukar ion [1].

Pengukuran TDS dilakukan menggunakan alat TDS Meter, yaitu perangkat elektronik yang mengukur berat total semua padatan terlarut dalam sejumlah volume air. Nilai TDS dinyatakan dalam satuan miligram per liter (mg/L) atau part per million (ppm), yang secara praktis menunjukkan konsentrasi zat terlarut dalam air

Dalam pelaksanaan pengambilan data pada sistem air tangki reaktor, metode pengukuran TDS dilakukan berdasarkan Standar Operasional Prosedur (SOP) 260.3/RN 00 02/SNT.4.1. Alat yang digunakan adalah TDS Meter tipe Xiaomi Mi IPX6, dengan rentang pengukuran 0–9990 ppm dan tingkat akurasi yang sesuai untuk aplikasi laboratorium dan lapangan. Pengukuran TDS Feed dilakukan pada air umpan sistem demineralisasi sebagai bagian dari evaluasi performa resin Amberlite IRN 150 H/OH yang digunakan dalam sistem pemurnian air [3,4].

#### 2.2.2.1. Dasar Hukum

Dasar hukum pembuatan SOP pengukuran TDS ini diperkuat oleh :

1. Peraturan Kepala No. 21 Tahun 2014 Pasal 122 Ayat (2)

Menyatakan bahwa subbidang operasi dan perawatan reaktor memiliki tugas untuk melakukan perencanaan operasi, pengoperasian, perawatan, dan pendayagunaan reaktor riset secara sistematis dan terintegrasi.

2. Peraturan Kepala No. 5 Tahun 2011

Mengatur ketentuan teknis dan administratif terkait perawatan reaktor non-daya, termasuk pengelolaan sistem pendukung seperti sistem pemurnian air dan pemantauan kualitas air pendingin.

Keterkaitan :

1. Program Perawatan Reaktor di TRIGA 2000  
Pengukuran TDS merupakan bagian dari kegiatan monitoring kualitas air dalam program perawatan berkala sistem reaktor.
2. SOP Bidang Reaktor  
SOP ini menjadi acuan pelaksanaan operasional dan pemeliharaan sistem reaktor, termasuk prosedur pengambilan data kualitas air.
3. SOP Perawatan Sistem Pemurnian Air Tangki (Demineralizer)

Pengukuran TDS Feed dilakukan sebagai indikator performa sistem demineralisasi dan efektivitas resin penukar ion dalam menjaga kemurnian air sesuai standar keselamatan teknis

#### 2.2.2.2. Peringatan

Petugas yang menggunakan alat TDS Meter (Xiaomi Mi IPX6) untuk melakukan pengukuran kualitas air tangki reaktor berpotensi penerimaan paparan radiasi dan kontaminasi untuk diperlukan alat pelindung diri (APD) yaitu jas lab, sepatu kerja, personal monitor (TLD) dan sarung tangan serta dalam pelaksanaannya selalu didampingi PPR (petugas proteksi radiasi).

#### 2.2.2.3. Kualifikasi

Petugas harus memiliki Surat Izin Bekerja (SIB) Operator / Supervisor / Teknisi Perawatan Reaktor.

#### 2.2.2.4. Peralatan Perlengkapan

Peralatan dan perlengkapan yang diperlukan untuk pengambilan data TDS Feed adalah sebagai berikut :

1. Jas Lab
2. Sepatu Kerja
3. Personal Monitor (TLD)
4. Sarung Tangan
5. TDS Meter Xiaomi Mi IPX6
6. Akuades

#### 2.2.2.5. Pencatatan dan Pendataan

Dicatat dalam *Checklist* Penggunaan alat TDS Meter (Xiaomi Mi IPX6) No. FM 505/SOP. 260.3/RN 00 02 /SNT.4.1.

#### 2.2.2.6. Proses Pengambilan Data TDS Feed Air Tangki

Proses pengambilan data TDS Feed ditunjukkan pada tabel berikut :

**Tabel 3. 2**  
Tabel Proses Pengambilan Data TDS Feed Air Tangki

N o	Proses	Waktu	Output
1	Menyalakan alat TDS Meter dengan menekan tombol TDS	1 menit	TDS Meter ON
2	Membilas elektroda dengan akuades	5 menit	Elektroda bersih
3	Melakukan pengambilan sampel	1 menit	Sampel siap untuk diukur
4	Memasukkan elektroda TDS kedalam larutan sampel kemudian tunggu hingga layar menunjukkan nilai TDS	5 menit	Didapatkan hasil data pengukuran TDS pada sampel
5	Mencatat hasil pengukuran sampel pada perawatan <i>demineralizer</i> air tangki	1 menit	Hasil data pengamatan dan pemeriksaan dalam <i>checklist</i> .

#### 2.2.3. Metode Pengukuran pH

Derajat keasaman atau pH merupakan parameter kimia yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasahan suatu larutan. Nilai pH mencerminkan konsentrasi ion hidrogen

(H<sup>+</sup>) dalam larutan, dan menjadi indikator penting dalam evaluasi kualitas air, terutama dalam sistem pendingin reaktor. Pengukuran pH dilakukan menggunakan alat pH meter, yaitu perangkat elektronik yang berfungsi untuk menentukan kadar keasaman secara kuantitatif

Dalam pelaksanaan pengambilan data pada sistem air tangki reaktor, metode pengukuran pH dilakukan berdasarkan Standar Operasional Prosedur (SOP) 167.3/RN 00 02/SNT.4.1. SOP ini secara khusus berlaku untuk penggunaan alat pH Meter tipe Lutron pH-222. Prosedur pengukuran meliputi tahap kalibrasi alat menggunakan larutan standar pH 4,00 dan pH 7,00 untuk memastikan akurasi pembacaan. Setelah proses kalibrasi, dilakukan pengukuran langsung terhadap sampel air tangki reaktor untuk memperoleh nilai pH aktual sebagai bagian dari evaluasi performa sistem demineralisas

#### 2.2.3.1. Dasar Hukum

Dasar hukum pembuatan SOP pengukuran pH ini diperkuat oleh :

1. Peraturan Kepala No. 21 Tahun 2014 Pasal 122 Ayat (2)

Menyatakan bahwa subbidang operasi dan perawatan reaktor memiliki tugas untuk melakukan perencanaan operasi, pengoperasian, perawatan, dan pendayagunaan reaktor riset secara sistematis dan berkesinambungan.

2. Peraturan Kepala No. 5 Tahun 2011

Mengatur ketentuan teknis dan administratif terkait perawatan reaktor non-daya, termasuk pengelolaan sistem pendukung seperti pemantauan kualitas air pendingin dan pengujian parameter kimia seperti pH.

#### Keterkaitan:

Prosedur Inspeksi, Kalibrasi, dan Pengujian Komponen/Sistem Reaktor, No. 048/KN.08.04/NBR.4, Terbitan 1, Revisi 2, tanggal 20 Desember 2013.

Dokumen ini memuat ketentuan teknis terkait pengujian dan kalibrasi sistem reaktor, termasuk penggunaan alat ukur seperti pH meter dalam pemantauan kualitas air.

### 2.2.3.2. Peringatan

Petugas yang menggunakan alat pH meter (Lutron – 222) untuk melakukan pengukuran kualitas air tangki reaktor dan *bulk shielding* berpotensi penerimaan paparan radiasi dan kontaminasi untuk diperlukan alat pelindung diri (APD) yaitu jas lab, sepatu kerja, personal monitor (TLD) dan sarung tangan serta dalam pelaksanaannya selalu didampingi PPR (petugas proteksi radiasi).

### 2.2.3.3. Kualifikasi

Petugas harus memiliki Surat Izin Bekerja (SIB) Operator / Supervisor / Teknisi Perawatan Reaktor.

### 2.2.3.4. Peralatan/Perlengkapan

Peralatan dan perlengkapan yang diperlukan untuk pengambilan data TDS Feed adalah sebagai berikut :

1. Jas lab
2. Sepatu Kerja
3. Personal Monitor (TLD)
4. Sarung Tangan
5. pH meter pH – 222
6. Larutan Buffer pH 4,0 dan 7,00
7. Akuades

### 2.2.3.5. Pencatatan dan Pendataan

Dicatat dalam *Checklist* Penggunaan alat pH meter (Lutron – 222) No. FM 305/SOP. 167.3/RN.00 02/SNT.4.1 dan Lembar Pengoperasian Pompa *Demineralizer* dan Pompa *Bulk Shielding* No. (F 001/PR.C/08)

### 2.2.3.6. Proses Pengambilan Data pH Air Tangki

Proses pengambilan data pH air tangki ditunjukkan pada tabel berikut:

**Tabel 3. 3**

Tabel Proses Pengambilan Data Ph BATAN

No	Proses	Waktu	Output
1	Membilas elektroda dengan akuades	5 menit	Elektroda Bersih
2	Menekan pH meter dengan menekan tombol <i>power</i>	1 menit	pH meter ON
3	Menekan tombol “Hold” dan tombol “▼” hingga layer menampilkan “CAL” > “CAL” 7.00	1 menit	pH meter siap untuk kalibrasi
4	Memasukkan elektroda kedalam larutan <i>buffer</i> pH 7.00 kemudian tekan tombol “HOLD” tunggu hingga layer menunjukkan “END”	5 menit	pH meter telah terkalibrasi pada pH 7.00
5	Mencatat hasil pengukuran larutan <i>buffer</i> pH 7.00 pada lembar <i>checklist</i> penggunaan alat pH meter (Lutron – 222)	1 menit	Hasil data pengamatan dan pemeriksaan dalam <i>checklist</i>
6	Membilas kembali elektroda dengan akuades	5 menit	Elektroda bersih
7	Menekan tombol “Hold” dan tombol “▼” hingga layer menampilkan “CAL” > “CAL” 4.00	1 menit	pH meter siap untuk kalibrasi
No	Proses	Waktu	Output
8	Memasukkan elektroda kedalam larutan <i>buffer</i> pH 4.00 kemudian tekan tombol “HOLD” tunggu hingga layer menunjukkan “END”	5 menit	pH meter telah terkalibrasi pada pH 4.00
9	Mencatat hasil pengukuran larutan <i>buffer</i> pH 4.00 pada lembar <i>checklist</i>	1 menit	Hasil data pengamatan dan pemeriksaan dalam <i>checklist</i>

	penggunaan alat pH meter (Lutron – 222)		
10	Melakukan pengambilan sampel	1 menit	Sampel siap diukur
11	Membilas kembali elektroda dengan akuades	1 menit	Elektroda bersih
12	Memasukkan elektroda kedalam larutan sampel kemudian tunggu hingga layar menunjukkan angka yang stabil	10 menit	Didapatkan hasil data pengukuran pH pada sampel
13	Mencatat hasil pengukuran sampel pada lembar pengoperasian pompa demineralizer dan pompa <i>bulk shielding</i>	1 menit	Hasil data pengamatan dan pemeriksaan dalam <i>checklist</i>

#### 2.2.4. Metode Pengukuran Konduktivitas Air Tangki

Konduktivitas listrik adalah ukuran dari kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Digunakan *conductivity* meter untuk mengukur nilai konduktivitas listrik suatu larutan atau cairan. Nilai konduktivitas listrik menjadi referensi atas jumlah ion serta konsentrasi padatan yang terlarut di dalamnya. Metode pengukuran konduktivitas dilakukan berdasarkan Standar Operasional Prosedur (SOP) 243.3/RN 00 02/SNT.4.1 menggunakan alat *Conductivity Meter* (Lutron CD-4301). Pengoperasian alat terdiri dari kalibrasi yang dilakukan untuk memastikan keakuratan pengukuran pada nilai standar 1,413 mS, serta pengukuran konduktivitas pada sampel air tangki reaktor riset yang berlokasi di Bandung.

##### 2.2.4.1. Dasar Hukum

Dasar hukum pembuatan SOP pengukuran pH ini diperkuat oleh :

1. Peraturan Kepala No. 21 Tahun 2014 Pasal 122 Ayat (2)

Menyatakan bahwa subbidang operasi

dan perawatan reaktor memiliki tugas untuk melakukan perencanaan operasi, pengoperasian, perawatan, dan pendayagunaan reaktor riset secara sistematis dan berkesinambungan.

#### 2, Peraturan Kepala No. 5 Tahun 2011

Mengatur ketentuan teknis dan administratif terkait perawatan reaktor non-daya, termasuk pengelolaan sistem pendukung seperti pemantauan kualitas air pendingin dan pengujian parameter kimia seperti pH.

#### Keterkaitan :

- Program perawatan sistem reaktor riset di TRIGA 2000
- SOP bidang operasional dan perawatan sistem reaktor
- SOP perawatan sistem pemurnian air tangki (demineralizer)
- SOP perawatan sistem pemurnian air pada unit pelindung radiasi (bulk shielding)

#### 2.2.4.2. Peringatan

Petugas yang mengoperasikan alat *Conductivity Meter* (Lutron CD – 4301) untuk melakukan pengukuran kualitas air tangki reaktor TRIGA 2000, air *bulk shielding* dan cadangan air tangki reaktor berpotensi penerimaan paparan radiasi dan kontaminasi untuk itu diperlukan alat pelindung diri (APD) yaitu jas lab, sepatu kerja, personal monitor (LTD) dan sarung tangan serta dalam pelaksanaannya selalu didampinta PPR (Petugas Proteksi Radiasi).

#### 2.2.4.3. Kualifikasi

Petugas harus memiliki Surat Izin Bekerja (SIB) Operator / Supervisor / Teknisi Perawatan Reaktor.

#### 2.2.4.4. Peralatan/Perlengkapan

Peralatan dan perlengkapan yang diperlukan untuk pengambilan data TDS Feed adalah sebagai berikut :

1. Jas Lab
2. Sepatu Kerja

3. Personal Monitor (TLD)
4. Sarung Tangan
5. *Conductivity Meter* Lutron CD – 4301
6. Larutan Standar Kalibrasi Konduktivitas 1,413 Ms
7. Akuades

**2.2.4.5. Pencatatan dan Pendataan**

Dicatat dalam Formulir Kalibrasi alat *conductivity meter* (Lutron – CD – 4301).  
 No. FM 428/SOP.243.3/RN.00  
 02/SNT.4.1.

**2.2.4.6. Proses Pengambilan Data Konduktivitas Air Tangki**

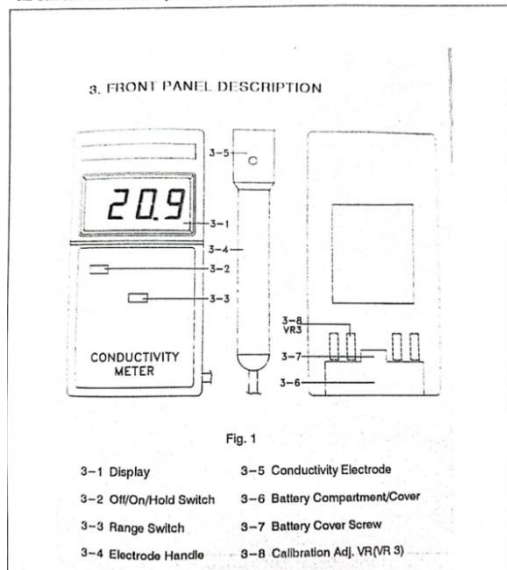
Proses pengambilan data konduktivitas air tangki ditunjukkan pada tabel berikut :

**Tabel 3. 4**  
 Proses Pengambilan Data Konduktivitas Air Tangki

No	Proses	Waktu	Output
1	Menyalakan alat <i>conductivity meter</i> merubah posisi "off/on/hold" ke posisi tombol "ON" (Gambar 3 -2)	1 menit	<i>conductivity meter ON</i>
2	Merubah posisi parameter ke 0 – 200 $\mu$ S (Gambar 3 – 3)	1 menit	Posisi parameter 0 – 200 $\mu$ S
3	Siapkan Larutan Standar Kalibrasi Konduktivitas 1,413 mS	5 menit	Larutan Standar Kalibrasi Konduktivitas 1,413 mS telah tersedia
4	Membilas elektroda dengan akuades	5 menit	Elektroda Bersih

5	Memasukkan elektroda konduktivitas (Gambar 3 – 5) kedalam Larutan Standar Kalibrasi Konduktivitas 1,413 mS kemudian lakukan "adjust" (Gambar VR 3 ref 3 – 8) hingga layer menunjukan nilai – nilai tepat di 1,413 mS	5 menit	Didapatkan hasil data pengukuran konduktivitas pada Larutan Standar Kalibrasi Konduktivitas 1,413 mS
6	Mencatat hasil pengukuran Larutan Standar Kalibrasi Konduktivitas 1,413 mS	5 menit	Hasil data pengamatan dan pemeriksaan dalam Lembar pengoperasian kalibrasi <i>conductivity meter</i>
7	Melakukan pengambilan sampel	1 menit	Sampel siap untuk diukur
8	Membilas elektroda dengan akuades	5 menit	Elektroda bersih
9	Memasukkan elektroda konduktivitas (Gambar 3 – 5) kedalam larutan sampel kemudian tunggu hingga layer menunjukan nilai konduktivitas	10 menit	Didapatkan hasil data pengukuran konduktivitas pada sampel
10	Mencatat hasil pengukuran sampel pada lembar perawatan <i>demineralizer</i> air tangki dan <i>bulk shielding</i>	1 menit	Hasil data pengamatan dan pemeriksaan dalam <i>checklist</i>

8.2 Gambar Alat Conductivity Meter Lutron CD-4301



Gambar 3. 1 Alat pengukuran konduktivitas

### 2.3. Data Air Tangki Reaktor

Data penelitian yang digunakan adalah data saat reaktor beroperasi pada sistem *demineralizer* reaktor. Data yang diambil meliputi nilai konduktivitas, pH, kadar zat mineral (Ca, Mg, dan Na), dan TDS Feed air tangki. Data yang diambil merupakan data 4 siklus penggunaan resin atau setiap 1 siklusnya terdiri dari 6 bulan operasi resin pada sistem *demineralizer*.

### 2.4. Metode Analisa Data

Metode analisa data yang dilakukan adalah menganalisa hasil dari pengukuran selama 4 siklus dan dievaluasi menggunakan Laporan Analisis Keselamatan, setelah itu akan diperoleh kesimpulan mengenai penggunaan dari resin pada sistem *demineralizer* reaktor. Berikut merupakan langkah metode analisa data yang dilakukan :

1. Data operasi diperoleh selama 4 siklus penggunaan resin. Satu siklus resin yang dimaksud adalah penggunaan resin selama 6 bulan pada sistem *demineralizer*.
2. Selama pengoperasian sistem *demineralizer*, dilakukan pengukuran kadar pH, konduktivitas, TDS Feed, dan kadar mineral air tangki reaktor. Terutama pengukuran konduktivitas air keluaran resin *mixed bed* menjadi acuan kapan diperlukannya penggantian resin.

3. Membandingkan hasil masing – masing nilai pH, konduktivitas, TDS Feed, dan kadar mineral air tangki reaktor selama 4 siklus.

4. Mengevaluasi data pengukuran selama 4 siklus menggunakan LAK.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Fungsi Air pada Reaktor di Kota Besar

Reaktor penelitian yang berlokasi di kota besar Indonesia menggunakan air sebagai pendingin, moderator, dan pelindung radiasi. Sebagai pendingin maka air reaktor harus mempunyai kemampuan untuk memindahkan panas dari elemen bakar yang dihasilkan pada reaksi fisi yang terjadi dalam reaktor secara baik dan menjaga sedemikian rupa agar bahan bakar tidak meleleh. Proses perpindahan panas ini terjadi pada sistem pendingin primer, dengan reaktor sebagai tempat utama terjadinya proses perpindahan panas , sehingga seringkali air pendingin primer ini disebut dengan air tangki reaktor. Pada operasi reaktor, panas dilepaskan secara terus menerus sehingga jika panas tidak dipindahkan suhu air reaktor akan naik terus. Untuk menjaga agar suhu air tangki tidak lebih tinggi dari batas suhu yang diizinkan maka panas dari air tangki harus dipindahkan. Proses perpindahan panas dari air tangki ini keluar dari reaktor terjadi pada sistem sekunder. Oleh karena itu air yang digunakan untuk mendinginkan air tangki reaktor sering disebut air sekunder.

Air sebagai moderator harus mampu menurunkan energi neutron ke tingkat energi neutron termal, sehingga neutron dapat bereaksi dengan bahan bakar. Kemudian air sebagai perisai radiasi harus mampu melindungi/ mengurangi lingkungan dari paparan radiasi yang terjadi akibat reaksi fisi. Kedua fungsi ini (moderator dan perisai radiasi) dilakukan oleh air primer atau air tangki reaktor. Karena perbedaan fungsi ini maka persyaratan untuk air primer dan sekunder berbeda. Selama ini dalam pelaksanaannya persyaratan air primer (air tangki ) mengacu pada LAK (Laporan Analisis Keselamatan) reaktor di kota besar Indonesia berdasarkan rekomendasi dari General Atomic, sedangkan untuk air sekunder karena berada di luar reaktor tidak ada persyaratan khusus tetapi pada prinsipnya memenuhi persyaratan air industri untuk penukar panas. Berikut merupakan data yang diperoleh melalui operasi

sistem reaktor riset yang berlokasi di kota besar Indonesia.

**Tabel 4. 1**  
Data Pengukuran Air Reaktor

No	Parameter						SIKLUS
	pH	Konduktivitas (µmhos)	TDS Feed (PPM)	Kadar Mineral (mg/L)			
				Ca	Mg	Na	
1	5,64	0,8	0,20814	0,069	0,006	0,058	Siklus 1
2	5,8	0,8	0,40728	0,143	0,009	0,216	
3	5,8	0,8	0,60192	0,138	0,007	0,058	
4	5,8	0,8	0,7889	0,02	0,002	0,003	
5	5,8	0,9	0,8667	0,135	0,005	0,014	
6	5,8	0,9	0,94988	0,015	0,007	0,063	
7	5,8	0,8	0,21591	0,179	0,008	0,047	Siklus 2
8	6,2	1	0,58474	0,075	0,004	0,07	
9	6,2	1,12	2,5088	0,164	0,021	0,236	
10	6,2	1,86	3,3784	0,299	0,175	0,44	
11	5,9	3,78	3,78	0,082	0,546	0,39	
12	5,9	0,8	0,28814	0,035	0,005	0,008	Siklus 3
13	5,9	0,8	0,66877	0,033	0,003	0,007	
14	5,9	0,8	0,70458	0,089	0,007	0,258	
15	5,9	0,9	0,87776	0,357	0,006	0,109	
16	6,2	0,9	1,2338	0,034	0,013	0,009	
17	6,2	0,9	1,5083	0,058	0,003	0,018	
18	6,7	0,9	0,21004	0,033	0,002	0,003	Siklus 4
19	6,7	0,9	0,47312	0,143	0,004	0,006	
20	6,6	1	0,6526	0,125	0,003	0,005	
21	6,6	1	0,8568	0,012	0,009	0,061	
22	6,5	1	1,3345	0,091	0,007	0,077	
23	6,6	1,1	1,53274	0,111	0,005	0,081	
24	6,5	0,8	0,24252	0,021	0,008	0,009	

### 3.2. pH Air Tangki Reaktor TRIGA 2000

Rentang pH air tangki reaktor memiliki persyaratan harus berada pada rentang 5,5 – 6,5. Hal ini ditujukan untuk meminimalkan produk korosi radioaktif dan menjaga laju dosis penghentian tetap rendah. Berikut merupakan data dan grafik dari pH air tangki reactor

**Tabel 4. 2**  
Data pH Air Tangki Reaktor TRIGA 2000

No	pH	Tanggal	Siklus
1	5,64	14 January 2020	Siklus 1
2	5,8	14 February 2020	

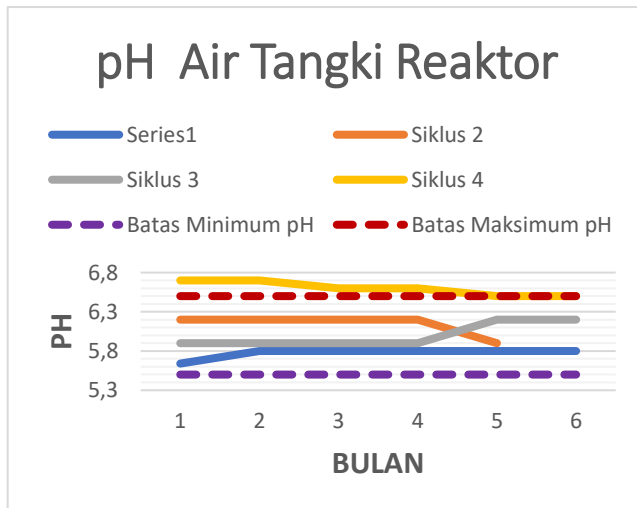
3	5,8	15 March 2020	Siklus 2
4	5,8	14 April 2020	
5	5,8	18 May 2020	
6	5,8	29 June 2020	
7	5,8	09 July 2020	
8	6,2	04 August 2020	
9	6,2	10 September 2020	
10	6,2	01 October 2020	
11	5,9	25 November 2020	Siklus 3
12	5,9	01 December 2020	

13	5,9	01 January 2021	Siklus 4
14	5,9	01 February 2021	
15	5,9	01 March 2021	
16	6,2	01 April 2021	
17	6,2	01 May 2021	
18	6,7	01 June 2021	
19	6,7	01 July 2021	
20	6,6	08 August 2021	
21	6,6	08 September 2021	
22	6,5	08 October 2021	
23	6,6	08 November 2021	
24	6,5	09 December 2021	

berada pada rentang 5,5 - 6,5, kadar Si, Ca, Mg, dan Na maksimal 1 ppm, dan konduktivitas listrik maksimal 3,5 µmhos. Konduktivitas air merupakan ukuran kemampuan air dalam menghantarkan arus listrik. Pada air tangki reaktor, konduktivitas air harus dijaga nilainya dan tidak boleh melebihi 3,0 µmhos. Makin bersih air, makin kecil kemampuan menghantarkan listrik. Besarnya konduktivitas air juga menjadi indikator bahwa air tercemar dengan zat yang terlarut. Pemeriksaan konduktivitas listrik bisa digunakan untuk praduga awal secara cepat adanya sejumlah pengotor yang ada pada air.

Reaktor TRIGA 2000 menggunakan proses demineralisasi untuk menjaga nilai konduktivitas di bawah 3,0 µmhos. Demineralisasi air adalah sebuah proses penghilangan kandungan ion – ion mineral di dalam air dengan menggunakan resin Penukar Ion. Prinsip dari pengolahan air secara pertukaran ion yaitu terjadinya pertukaran ion antara kation-anion yang ada dalam air dengan kation -anion yang terdapat pada ion yang dapat dipertukarkan dari media resin. Proses ini menghasilkan air dengan kandungan ion yang sangat sedikit sekali. Pada reaktor yang berada di kota besar Indonesia , digunakan resin *mixed bed* dimana resin ini berisi campuran resin kation dan anion. Resin yang digunakan adalah *Amberlite IRN 150 H/OH Ion Exchange Resin*. Resin ini digunakan khusus untuk nuklir dan berbagai aplikasi *radwaste (radioactive waste)*.

Berikut merupakan data konduktivitas yang ada pada air tangkai reaktor TRIGA 2000:



Gambar 4. 1 Grafik 4 Siklus pH pada Air Tangki Reaktor

Dari Tabel 4.1 dan Gambar 4.1 terlihat bahwa pH air pada siklus 4 mengalami kenaikan nilai hingga melebihi batas maksimum pH air tangki reaktor, yaitu pH sebesar 6,5. Hal ini disebabkan oleh komposisi resin yang tidak sesuai mengakibatkan perubahan pH. Kebanyakan resin penukar kation akan menurunkan pH dan sebaliknya kebanyakan resin penukar anion akan menyebabkan naiknya pH.

### 3.3. Konduktivitas Air tangka Reaktor TRIGA 2000

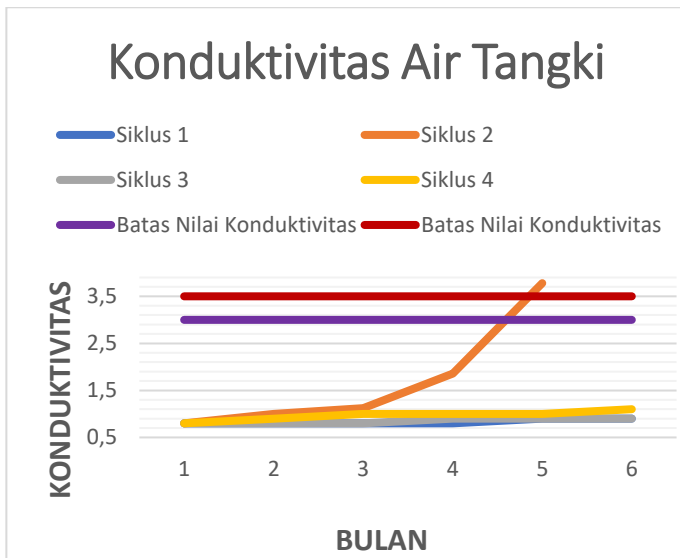
Air tangki reaktor di kota besar Indoensia memiliki tiga persyaratan utama, yaitu ph

Tabel 4. 3 Nilai Konduktivitas Air Tangki Reaktor

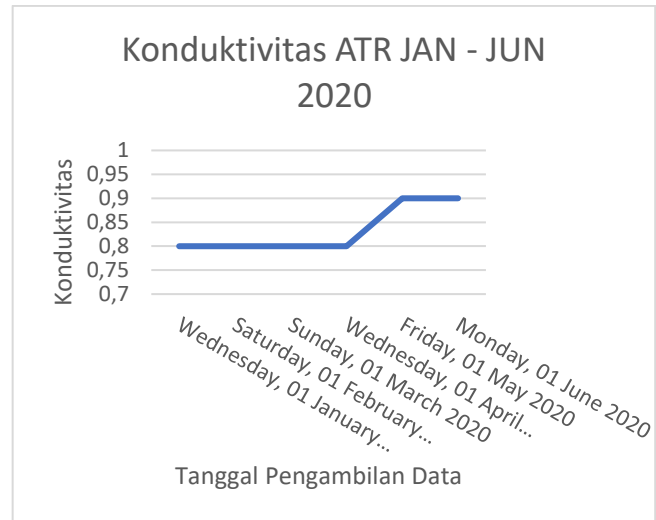
No	Konduktivitas (µmhos)	TGL	Siklus Resin
1	0,8	14 January 2020	Siklus 1 2020
2	0,8	14 February 2020	
3	0,8	15 March 2020	
4	0,8	14 April 2020	
5	0,9	18 May 2020	
6	0,9	29 June 2020	
7	0,8	09 July 2020	Siklus 2 2020
8	1	04 August 2020	
9	1,12	10 September 2020	
10	1,86	01 October 2020	
11	3,78	25 November 2020	Siklus 3 2021
12	0,8	01 December 2020	
13	0,8	01 January 2021	
14	0,8	01 February 2021	
15	0,9	01 March 2021	
16	0,9	01 April 2021	
17	0,9	01 May 2021	
18	0,8	01 June 2021	
19	0,9	01 July 2021	Siklus 4 2021
20	1	08 August 2021	

21	1	08 September 2021
22	1	08 October 2021
23	1,1	08 November 2021
24	0,8	09 December 2021

Berdasarkan Laporan Analisis Keselamatan (LAK) di kota besar Indoensia, konduktivitas air tangki tidak boleh melebihi 3,5  $\mu$ hos dan resin harus segera diganti ketika nilai konduktivitas air tangki reaktor 3,0  $\mu$ hos. Jika air tangki reaktor melebihi persyaratan tersebut, maka resin pada sistem *demineralizer* harus diganti dengan resin yang baru, salah satunya untuk mencegah penuaan pada reaktor. Pada tabel data diatas siklus 2 2020, konduktivitas air tangki reaktor mencapai 3,78  $\mu$ hos. Kenaikan konduktivitas pada air tangki reaktor disebabkan oleh beberapa hal, salah satunya adalah penambahan air tangki reaktor dan adanya pembersihan air tangki reaktor pada siklus 2. Pada siklus 1, 3, dan 4 data konduktivitas cenderung stabil dan tidak mengalami kenaikan yang signifikan. Hal tersebut ditunjukkan pada gambar berikut:



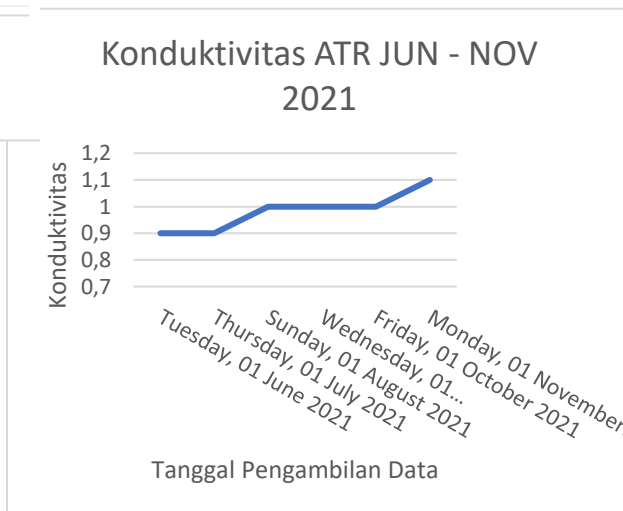
**Gambar 4. 2** Grafik Konduktivitas air tangki selama 4 siklus. Garis batas berwarna ungu menunjukkan batas konduktivitas air tangki pada nilai 3,0  $\mu$ hos, sementara garis berwarna merah menunjukkan batas konduktivitas air tangki pada nilai 3,5  $\mu$ hos.



**Gambar 4. 3** Grafik Konduktivitas ATR Siklus 1



**Gambar 4. 4** Grafik Konduktivitas ATR Siklus 3



**Gambar 4. 5** Grafik Konduktivitas ATR Siklus 4

Pada Gambar 4.4. grafik siklus 2 2020 diatas, grafik menunjukkan kenaikan yang signifikan sehingga melampaui batas nilai konduktivitas, yaitu 3,5  $\mu\text{mhos}$ . Kenaikan yang signifikan ini disebabkan oleh adanya banyaknya zat pengotor yang terlarut dalam air. Banyaknya zat pengotor yang terlarut dalam air menyebabkan nilai konduktivitas yang tinggi dan menyentuh angka 3,78  $\mu\text{mhos}$  yang berarti resin *mixed bed* pada sistem *demineralizer* harus segera diganti ke resin yang baru. Setelah resin diganti dan memulai siklus yang baru, nilai konduktivitas air tangki reaktor menurun drastis ke angka 0,8. Hal ini membuktikan bahwa resin berfungsi dengan baik untuk merawat air tangki reaktor.

Grafik 1,3, dan 4 cenderung stabil dan konduktivitas air tangki tidak melebihi angka 3,0  $\mu\text{mhos}$ . Nilai konduktivitas yang cenderung stabil ini disebabkan oleh kemampuan resin yang dapat merawat kualitas air tangki agar nilai konduktivitas tetap rendah.

#### 3.4. TDS Feed dalam Air Tangki Reaktor TRIGA 2000

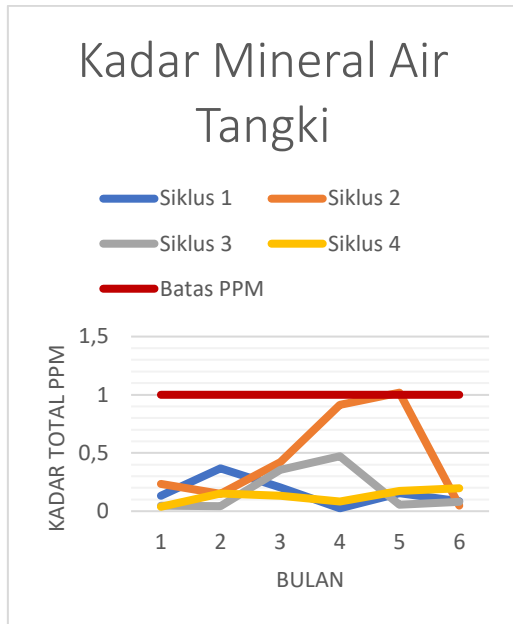
Kandungan mineral air tangki reaktor TRIGA 2000 dihasilkan oleh aktivitas logam yang terdapat dalam tangki reaktor. Zat logam yang terlarut dalam air diakibatkan oleh aktivitas reaktor seperti reaksi fisi atau reaksi pembelahan inti atom pada reaktor di kota besar Indonesia.

Kadar mineral yang rendah dapat mencegah atau mengurangi semaksimal mungkin laju korosi dan penggerak pada air tangki reaktor. Kondisi ini juga meminimalisir terjadinya reaksi antara sumber radiasi dengan partikel terlarut sehingga mencegah atau mengurangi pencemaran zat radioaktif pada seluruh komponen yang berada di dalam sistem pendingin primer dan mencegah paparan radiasi yang berlebihan. Berikut merupakan data kadar mineral selama 4 siklus:

**Tabel 4. 4**  
Data Kadar Mineral Selama 4 Siklus

No	Kadar Mineral (PPM)				Tanggal	Siklus
	Ca	Mg	Na	Total		
1	0,069	0,006	0,058	0,133	14 January 2020	Siklus 1
2	0,143	0,009	0,216	0,368	14 February 2020	
3	0,138	0,007	0,058	0,203	15 March 2020	
4	0,02	0,002	0,003	0,025	14 April 2020	

5	0,135	0,005	0,014	0,154	18 May 2020	Siklus 2
6	0,015	0,007	0,063	0,085	29 June 2020	
7	0,179	0,008	0,047	0,234	09 July 2020	
8	0,075	0,004	0,07	0,149	04 August 2020	
9	0,164	0,021	0,236	0,421	10 September 2020	
10	0,299	0,175	0,44	0,914	01 October 2020	
11	0,082	0,546	0,39	1,018	25 November 2020	Siklus 3
12	0,035	0,005	0,008	0,048	01 December 2020	
13	0,033	0,003	0,007	0,043	01 January 2021	
14	0,089	0,007	0,258	0,354	01 February 2021	
15	0,357	0,006	0,109	0,472	01 March 2021	
16	0,034	0,013	0,009	0,056	01 April 2021	
17	0,058	0,003	0,018	0,079	01 May 2021	Siklus 4
18	0,033	0,002	0,003	0,038	01 June 2021	
19	0,143	0,004	0,006	0,153	01 July 2021	
20	0,125	0,003	0,005	0,133	08 August 2021	
21	0,012	0,009	0,061	0,082	08 September 2021	
22	0,091	0,007	0,077	0,175	08 October 2021	
23	0,111	0,005	0,081	0,197	08 November 2021	Siklus 4
24	0,021	0,008	0,009	0,038	09 December 2021	



Gambar 4. 6 Grafik Kadar Mineral Air Tangki

Pada Gambar 4.7 Grafik Kadar Mineral Air Tangki, data yang diperoleh selama 4 siklus rata – rata menunjukkan hasil kadar mineral dibawah 1 PPM. Tidak semua mineral bisa disaring oleh resin. Hal ini disebabkan oleh adanya ion – ion yang berada di dalam resin sehingga mineral yang melewati resin tidak dapat tersaring sempurna. Kadar mineral yang melewati resin akan tetap ada dalam batas yang diizinkan.

Pada siklus 4, jumlah kadar mineral > 1 PPM. Hal ini disebabkan oleh adanya penambahan air tangki reaktor dan pembersihan reaktor yang menyebabkan banyaknya zat pengotor yang larut dalam air.

### 3.5. TDS Feed dalam Air Tangki Reaktor TRIGA 2000

Pada proses pembersihan air reaktor, air dipompakan dari tangki reaktor menuju *temperature probe* untuk melihat suhu air, kemudian air dilewatkan ke *fiber cartridge filter*, dimana air akan disaring dari partikel – partikel kecil seperti debu dan kotoran yang ada di dalam air, setelah itu air akan masuk ke *demineralizer dan conductivity cell*. Pada *demineralizer*, air akan disaring menggunakan resin *mixed bed*, yaitu resin yang berisi resin kation dan anion sekaligus. Pada proses ini, akan didapatkan air dengan kualitas yang sangat murni. Pada data dibawah ini diperoleh data dari hasil pengukuran TDS Feed sebagai berikut:

Tabel 4. 5  
Hasil Pengukuran TDS Feed

NO	TDS Feed (PPM)	TGL	Siklus Resin
1	0,20814	14 January 2020	Siklus 1 2020
2	0,40728	14 February 2020	
3	0,60192	15 March 2020	
4	0,7889	14 April 2020	
5	0,8667	18 May 2020	
6	0,94988	29 June 2020	
7	0,21591	09 July 2020	Siklus 2 2020
8	0,58474	04 August 2020	
9	2,5088	10 September 2020	
10	3,3784	01 October 2020	
11	3,78	30 November 2020	
12	0,28814	22 December 2020	
13	0,66877	01 January 2021	Siklus 3 2021
14	0,70458	01 February 2021	
15	0,87776	01 March 2021	
16	1,2338	01 April 2021	
17	1,5083	08 May 2021	
18	0,21004	01 June 2021	
19	0,47312	01 July 2021	
20	0,6526	08 August 2021	
21	0,8568	08 September 2021	
22	1,3345	08 October 2021	
23	1,53274	08 November 2021	
24	0,24252	09 December 2021	

Dari Tabel 4.5 data diatas dapat terlihat perubahan TDS Feed yang ada di dalam air tangki reaktor selama 2 tahun. Dari data tersebut, terdapat 4 siklus yang akan dianalisa. Dalam satu siklus penggunaan resin, resin akan digunakan selama 6 bulan sebelum diganti ke resin yang baru. Berdasarkan Laporan Analisis Keselamatan, resin harus selalu diganti dalam 2 kali setahun atau bila konduktivitas air tangki reaktor > 3,0  $\mu\text{mhos/cm}$  ( $\mu\text{siemen/cm}$ ). Dari data diatas dapat terlihat penggantian resin pada satu siklus rata – rata TDS Feed berada pada angka 1,94273 ppm seperti yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini:

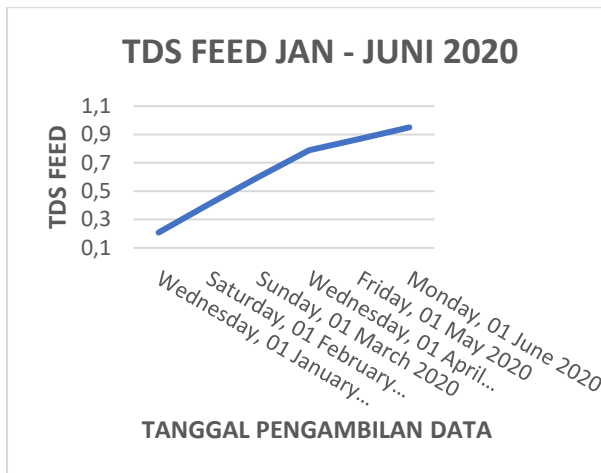
Tabel 4. 6  
Nilai TDS Feed Pada Saat Pergantian Resin

Nilai TDS Feed Pada Saat Pergantian Resin	
Tanggal	TDS Feed (PPM)
29 June 2020	0,94988
30 November 2020	3,78
08 May 2021	1,5083

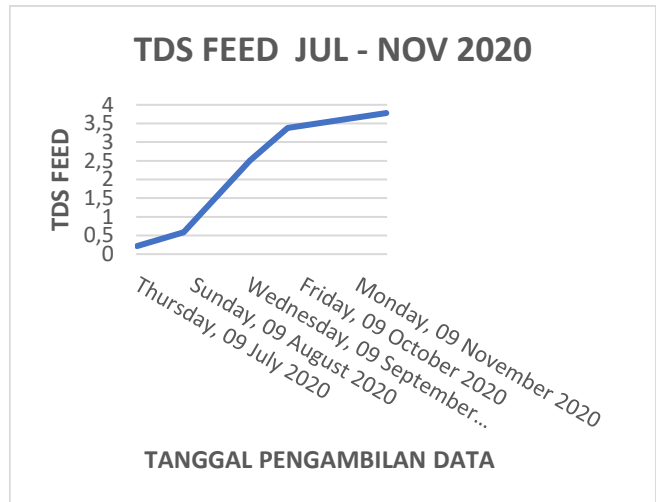
08 November 2021	1,53274
Rata - Rata	1,94273

Persyaratan air tangki reaktor TRIGA 2000 menurut LAK kadar Si, Ca, Mg, dan Na (jika ditotal sama dengan TDS Feed) harus maksimal 1 ppm. Persyaratan ini begitu tinggi sehingga air tangka reaktor hampir terbebas dari mineral. Air dengan kualitas seperti itu tidak bisa diperoleh dengan proses seperti yang ada pada air rumah tangga dengan urutan proses seperti koagulasi atau flokulasi, sedimentasi dan filtrasi untuk itu diperlukan proses tambahan. Maka dari itu, air perlu disaring di dalam resin agar terbebas dari mineral. Pada data diatas, ditunjukkan ada beberapa data yang melebihi 1 ppm. Hal tersebut disebabkan oleh aktivitas dari bahan logam yang ada di dalam air tangki reaktor karena terendam oleh air maka ada zat yang terlarut.

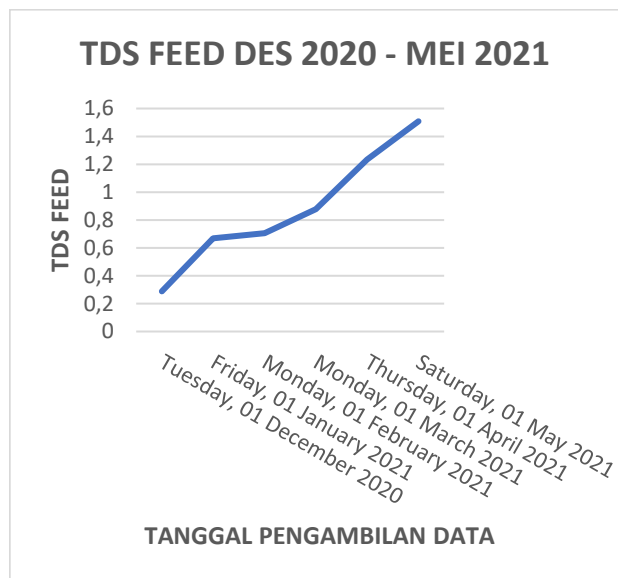
Nilai TDS Feed yang berada dalam air tangki reaktor berpengaruh pada waktu operasi air tangki dan menentukan seberapa lama resin di dalam air tangki bisa digunakan. Berikut merupakan grafik kenaikan TDS Feed di dalam air pada setiap siklus:



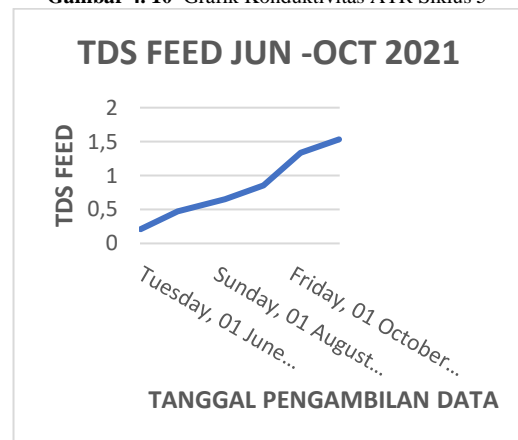
Gambar 4. 7 Grafik TDS Feed Siklus 1



Gambar 4. 9 Grafik Konduktivitas ATR Siklus 2



Gambar 4. 10 Grafik Konduktivitas ATR Siklus 3



Gambar 4. 11 Grafik Konduktivitas ATR Siklus 4

Satu siklus regenerasi yang ada dalam grafik diatas adalah waktu pengoperasian sistem dari

mulai awal operasi *demineralizer* dengan menggunakan resin baru yang belum dipakai sebelumnya. Pada grafik diatas, waktu penggunaan resin dipakai dalam waktu 6 bulan.

Dari Gambar 4.9, Gambar 4.10, dan Gambar 4.11 terlihat bahwa dalam satu siklus penggunaan resin, nilai TDS Feed mengalami kenaikan dengan bertambahnya waktu. Hal ini berkaitan dengan kapasitas resin *mixed bed*. Dengan berjalannya waktu, nilai TDS Feed semakin bertambah dan kemampuan resin *mixed bed* untuk menyaring kadar zat mineral dalam air semakin berkurang. Pada grafik 2 siklus 2 pada bulan Juli 2020 sampai dengan November 2020 terjadi kenaikan jumlah kadar mineral dalam air atau TDS Feed yang disebabkan oleh adanya penambahan air reaktor. Pada proses penambahan air reaktor menyebabkan aktivitas logam di dalam air tangki reaktor bertambah sehingga menyebabkan nilai TDS Feed yang ada di dalam tangki meningkat.

3.6. Waktu Operasi Reaktor TRIGA 2000

Waktu operasi reaktor berlangsung selama 72 jam per minggu atau 288 jam per bulan. Dalam pengoperasiannya, menurut Laporan Analisis Keselamatan (LAK), resin harus diganti setelah 6 bulan digunakan pada sistem *demineralizer* atau selama 4320 jam. Ketentuan yang ditetapkan pada Laporan Analisis Keselamatan ini dinilai kurang efektif dikarenakan salah satu persyaratan lain yang harus dipenuhi, yaitu resin harus diganti ketika nilai konduktivitas air tangki reaktor bernilai 3,0 µmhos. Pada kenyatannya, pergantian resin pada sistem *demineralizer* ini diganti pada saat konduktivitas air tangki reaktor masih dibawah 3,0 µmhos.

Resin disarankan digunakan selama 14 jam perhari dalam waktu operasi selama 5 hari per minggu. Hal ini dikarenakan dalam operasinya, reaktor sudah bisa dijalankan normal karena pandemi yang sudah mereda. Dari operasi selama 5 jam perhari, reaktor bisa digunakan hingga 14 jam dalam sehari

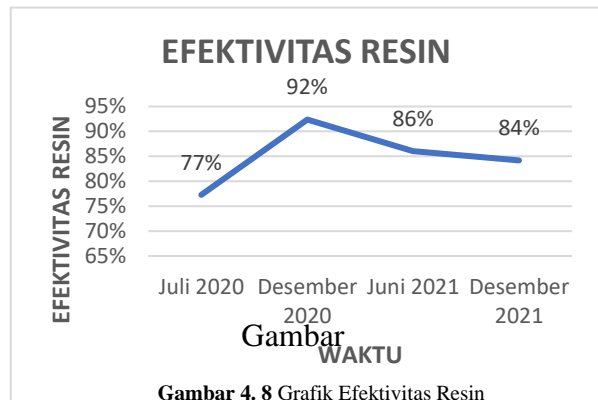
3.7. Efektivitas Resin

Pada proses pembersihan air reaktor, air dipompakan dari tangki reaktor menuju *temperature probe* dan *conductivity cell*, kemudian air dilewatkan ke *fiber cartridge filter*, *demineralizer*, dan *conductivity cell*. Secara keseluruhan, hasil pengukuran dan perhitungan kualitas air pada tahapan proses pembersihan air

tangki reaktor dapat dilihat pada data serta grafik diberikan pada gambar berikut :

Tabel 4. 7  
Data Hasil Perhitungan Efektivitas Resin

SIKLUS	TDS FEED SEBELUM MELEWATI RESIN	TDS FEED SESUDAH MELEWATI RESIN	EFEKTIVITAS RESIN	WAKTU
1	0,94988	0,21591	77%	Juli 2020
2	3,78	0,28814	92%	Desember 2020
3	1,5083	0,21004	86%	Juni 2021
4	1,53274	0,24252	84%	Desember 2021



Pada Gambar 4.12 Grafik Efektivitas Resin, diperoleh efektivitas terkecil pada bulan Juli 2020 sebesar 77% dan efektivitas resin tertinggi pada Desember 2020 yaitu sebesar 92%. Efektivitas resin dipengaruhi oleh kadar zat mineral air tangki, TDS Feed, konduktivitas air tangki, dan lamanya waktu operasi reaktor. Berdasarkan hasil penelitian, kemampuan efektivitas resin dalam menurunkan kadar TDS Feed dan menjaga nilai konduktivitas air tangki tetap rendah dipengaruhi oleh waktu kontak antara air dan resin. Seraya dengan berjalannya waktu, apabila resin digunakan berulang maka kemampuan resin penukar ion akan semakin menurun dan semakin lama tidak mampu menukar ion – ion yang terdapat di dalam air.

Efektivitas resin dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 & \text{Efektivitas Resin} \\
 &= \frac{TDS\ 1 - TDS\ 2}{TDS\ 1} \times 100\%
 \end{aligned}$$

Perhitungan 4. 1 Perhitungan Efektivitas Resin

Keterangan :

TDS 1 : Nilai TDS Feed sebelum melewati resin (ppm)

TDS 2 : Nilai TDS Feed setelah melewati resin (ppm)

#### 4. Simpulan

Setelah dilakukannya pengolahan data dan analisa data, dari hasil pengolahan dan analisa data dapat disimpulkan :

1. Penggunaan *Ion Exchange Resin Amberlite IRN 150* tahun 2020 – 2021 Berdasarkan Laporan Analisis Keselamatan (LAK), batas kualitas air pendingin primer adalah pH 5,5–6,5, konduktivitas maksimum 3,5  $\mu\text{mhos/cm}$ , dan kadar mineral Ca, Mg, Na  $\leq$  1 ppm. Hasil penelitian menunjukkan resin Amberlite IRN 150 memiliki efektivitas 77%–92% dalam menurunkan zat pengotor. Nilai aktual yang diperoleh masih dalam kisaran aman, yaitu konduktivitas 0,8–3,78  $\mu\text{mhos}$  (batas LAK 3,5  $\mu\text{mhos}$ ), pH 5,64–6,7 (batas LAK 5,5–6,5), serta kadar mineral 0,025–1,018 ppm (batas LAK 1 ppm). Dengan demikian, resin mampu menjaga kualitas air sesuai standar, meskipun pada siklus tertentu terdapat data yang sedikit melampaui batas.
2. Fungsi utama resin adalah menjaga konduktivitas air tetap rendah untuk mencegah korosi, terutama pada elemen bahan bakar reaktor. Secara keseluruhan, sistem *demineralizer* bekerja sesuai acuan LAK dengan menjaga konduktivitas, pH, dan kadar mineral dalam batas aman. Walaupun terdapat beberapa data aktual yang melewati batas maksimum (misalnya konduktivitas 3,78  $\mu\text{mhos}$  dan mineral 1,018 ppm), kondisi tersebut dapat segera dikendalikan oleh kemampuan resin sehingga kualitas air tetap terjaga dan operasi reaktor berlangsung aman.

#### Daftar Pustaka

- [1] Arba'aina M. Analisa pH, TDS, Kesadahan dan Alkalinitas Pada Air Umpan Boiler dari Pabrik Kelapa Sawit Bah Jambi, Dolok Sinumbah dan Ajamu yang Di Analisa Di PT. Perkebunan Nusantara IV Medan. Doctoral dissertation. Universitas Sumatera Utara., 2019.
- [2] Diyah EL, Setyo BU, Harsono. Analisis Kemampuan Resin Penukar Ion Pada Sistem Air Bebas Mineral (Gca 01) Rsg-Gas. Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Aplikasi Reaktor Nuklir, 2012, p. 21–33.
- [3] Efremenkov V, Gandhi P, Evans D, Gandhi P, Garamszeghy M. Application of Ion Exchange Processes for the Treatment of Radioactive Waste and Management of Spent Ion Exchange. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2002.
- [4] Guntur DS, Sobana S, Mutiah M, Suhulman S. Kajian Impuritas dan Pengolahan Air Tangki Reaktor Triga 2000 Bandung. Indonesian Journal of Nuclear Science and Technology 2005;4:129454. <https://doi.org/https://doi.org/10.17146/jstni.2003.4.1.2120>.
- [5] Antara IKG, Suyasa IWB, Putra AB. Kajian Kapasitas dan Efektivitas Resin Penukar Anion untuk Mengikar Klor dan Aplikasinya Pada Air. Jurnal Kimia 2008;2:87–91.
- [6] International Atomic Energy Agency. Operational Limits and Conditions and Operating Procedures for Research Reactors. Vienna: IAEA Safety Standards Series No. NS - G -4.4; 2008.
- [7] Nasional PDPBPTN. Kimia Air. Jakarta: Pusdiklat, Batan; 2019.
- [8] Nuhardin I, Septiani M, Rivaldiansyah R. Evaluasi Performance Regenerasi Mixed Bed Polisher Pada Unit Demineralisasi. Mecha J Tek Mesin 2021;3:38–45.
- [9] Paid A, Rustanto EY, Suhatno, Purwanto. Evaluasi Kinerja Sistem Air Bebas Mineral- IEBE. Nuklir-BATAN, Pusat Teknologi Bahan Bakar; 2015.
- [10] Partuti T. Efektivitas resin penukar kation untuk menurunkan kadar total dissolved solid (tds) dalam limbah air terproduksi industri migas. Jurnal

Integrasi Proses 2014;5:1–7.  
<https://doi.org/https://dx.doi.org/10.36055/jip.v5i1.30>.

- [11] PSTNT Batan. Laporan Analisis Keselamatan Reaktor TRIGA 2000 Bandung. Bandung: BATAN; 2016.
- [12] Pusat Pendidikan dan Pelatihan Badan Tenaga Nuklir Nasional. Kimia Air. Jakarta: Badan Tenaga Nuklir Nasional; 2019.