

## EVALUASI KINERJA SISTEM AIR BEBAS MINERAL – IEBE

Ahmad Paid, Eko Yuli Rustanto, Suhatno, Purwanto  
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir - BATAN

### ABSTRAK

**EVALUASI KINERJA SISTEM AIR BEBAS MINERAL – IEBE.** Telah dilakukan evaluasi unjuk kerja sistem air bebas mineral – IEBE pada pengoperasian tahun 2015. Metode yang digunakan dalam melakukan evaluasi yaitu dengan mengumpulkan data operasi pada saat pengoperasian dan regenerasi sistem air bebas mineral dan menganalisis data operasi. Tujuan dari kegiatan ini untuk mengetahui unjuk kerja sistem air bebas mineral dalam mendukung operasi dan kegiatan di fasilitas Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE). Pemrosesan air bebas mineral (*demin water*) menggunakan bahan baku air air segar (*fresh water*) dari PUSPIPTEK dengan tekanan 3 - 4 kg/cm<sup>2</sup>, pH air 5,5 - 6, konduktivitas 1,2 mS/cm dan temperatur air berkisar 25 – 29 °C. Proses tersebut menggunakan media resin kation dan anion yang ditempatkan dalam satu tangki *mix bed*. Hasil proses berupa air demin dengan konduktivitas < 1 µS/cm. Proses ini berjalan efektif selama kurun waktu sekitar 4 bulan. Setelah waktu tersebut dilampai, konduktivitas air keluaran kolom resin penukar *mix bed* cenderung naik dengan bertambahnya waktu pengoperasian yang disebabkan oleh menurunnya kemampuan resin dalam menyerap ion-ion mineral yang terlarut di dalam air baku dan resin mengalami kejenuhan. Setelah dilakukan proses regenerasi, kemampuan resin dalam menyerap ion-ion pengotor akan kembali seperti semula dan air bebas mineral yang dihasilkan mempunyai konduktivitas sesuai yang dipersyaratkan yaitu <1 µS/cm.

Katakunci: air bebas mineral, regenerasi, resin, konduktivitas

### PENDAHULUAN

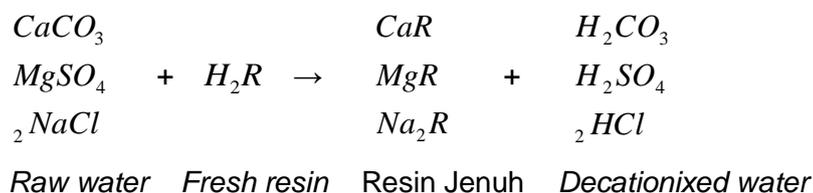
Air bebas mineral pada Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE) digunakan untuk proses dan operasi peralatan pada *Pilot Conversion Plant (PCP)*, *Fuel Fabrication Laboratory (FFL)*, Laboratorium Kontrol Kualitas dan suplai *steam boiler*. Sistem air bebas mineral tersebut termasuk jenis *mix bed* dengan resin kation dan resin anion berada dalam satu tangki. Sistem ini terdiri dari 2 tangki yang dioperasikan secara bergantian dengan memanfaatkan bahan baku air segar (*fresh water*) PUSPIPTEK, dengan tekanan 3 - 4 kg/cm<sup>2</sup>, pH air 5,5 - 6, konduktivitas 1,2 mS/cm dan temperatur air berkisar 25 – 29 °C.

Dalam pemrosesan air demin, *fresh water* dialirkan terlebih dahulu ke tangki karbon aktif untuk menghilangkan padatan yang tersuspensi dari sisa bahan organik yang terkandung dalam air. Karbon aktif merupakan bahan karbon yang memiliki pori-pori sangat banyak dan berfungsi untuk menyerap setiap kontaminan yang melaluinya. Dengan karbon aktif, maka kontaminan dalam air yang masuk dalam pori-pori akan terabsorpsi dan terjebak di dalamnya. Karbon aktif tidak efektif menghilangkan mineral, garam, dan senyawa anorganik yang terlarut.

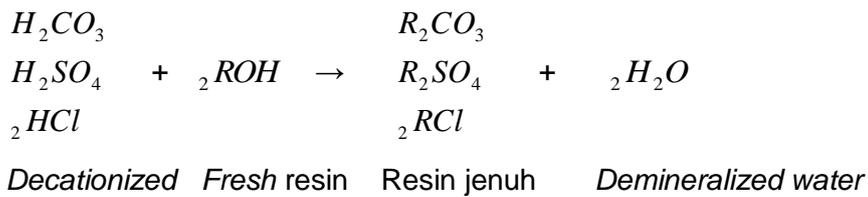
Selanjutnya air dialirkan ke kolom resin penukar kation (*cation exchange resin*) dan resin penukar anion (*anion exchange resin*) untuk proses demineralisasi. Air demin yang dihasilkan harus memenuhi spesifikasi konduktivitas yaitu  $\leq 1 \mu\text{S/cm}$ . Proses demineralisasi air adalah proses penyerapan ion-ion mineral yang terlarut di dalam air menggunakan resin penukar ion. Pada proses pertukaran ion (*ion exchange*) ini, ion positif (kation) dan ion negatif (anion) dari air ditangkap oleh gugus aktif resin penukar ion positif dan negatif. Proses ini merupakan proses kimia yang terjadi antara ion dalam fasa cair (air baku) dan ion dalam fasa padat (resin). Kandungan ion-ion terlarut yang tinggi dalam air /*Total Dissolved Solid* (TDS) menyebabkan daya hantar listrik pada air (*conductivity*) menjadi tinggi.

Ada dua tipe kolom resin yang umum digunakan pada proses demineralisasi air yaitu *Single Bed* dan *Mixed Bed Ion Exchange Resin*. Pada *Single Bed* kolom, hanya terdapat satu jenis resin, resin kation atau resin anion. Sedangkan untuk kolom *Mixed Bed* berisi resin kation dan resin anion yang berada dalam satu kolom. Pada kolom *mix bed demineralizer*, resin kation akan menangkap ion-ion positif dan resin anion akan menangkap ion-ion negatif (alkalinity dan silica). Pada kondisi tertentu, dalam air terkandung partikel-partikel seperti mineral dan gas. Kandungan ini dikategorikan menjadi dua, yaitu padatan tercampur (TSS=*Total Suspended Solid*) dan padatan yang terlarut (TDS=*Total Dissolved Solid*). Garam mineral yang terlarut ditampilkan dalam bentuk *Total Dissolved Solid*. TDS dalam air dapat dibedakan menjadi partikel yang bermuatan positif (*cation*) yang akan melekat pada ion yang bermuatan negatif dan partikel bermuatan negatif yang akan melekat pada ion yang bermuatan positif. Kation seperti calcium, magnesium dan sodium dapat diikat menggunakan *cation exchange resin*. Sedangkan anion seperti chloride, *total alkalinity* dan  $\text{SiO}_2$  dapat diikat menggunakan *anion exchange resin*. Proses pertukaran ion (*ion exchange*) selama proses pembuatan air bebas mineral sebagai berikut:

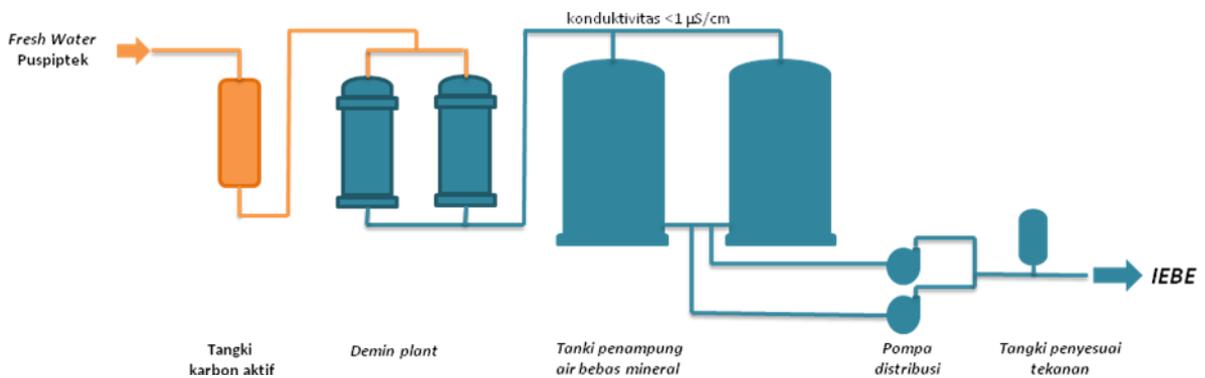
**Cation Services<sup>[3]</sup> :**



**Anion Services<sup>[3]</sup> :**



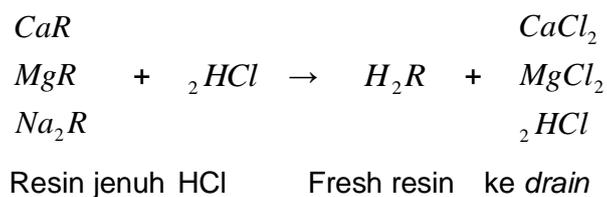
Selanjutnya, air bebas mineral dialirkan ke tangki penampung untuk didistribusikan ke fasilitas IEBE menggunakan 2 pompa distribusi. Air bebas mineral yang dihasilkan, dialirkan ke fasilitas IEBE dengan *flow rate* 4.000 liter/jam, dan tekanan sekitar 3 kg/cm<sup>2</sup>. Skema proses dari sistem air bebas mineral ditunjukkan pada Gambar 1.



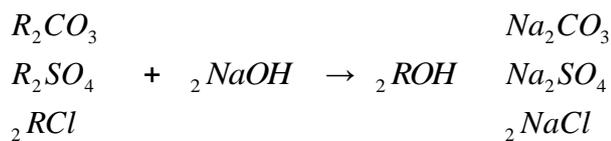
Gambar 1. Skema proses air bebas mineral fasilitas IEBE <sup>[1,2]</sup>

Setelah beberapa waktu, resin penukar ion tidak mampu lagi mengambil ion-ion pengotor yang terlarut dalam *fresh water*<sup>[3]</sup>. Pada kondisi ini resin penukar ion dikatakan jenuh dan perlu dilakukan regenerasi guna mengembalikan kemampuan resin penukar ion untuk mengambil pengotor dalam *fresh water*. Regenerasi resin penukar kation dilakukan menggunakan larutan 32% - 33% Asam Klorida (HCl), sedangkan resin penukar anion dengan larutan 48%-50% Natrium Hidroksida (NaOH). Reaksi kimia yang terjadi pada proses regenerasi resin digambarkan dengan persamaan reaksi berikut :

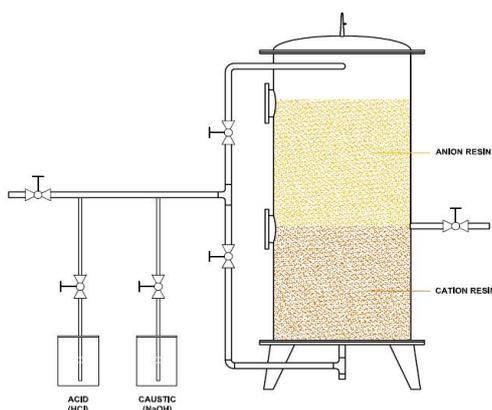
**Regenerasi Kation<sup>[3]</sup> :**



Regenerasi Anion<sup>[3]</sup> :



Resin jenuh NaOH    *Fresh resin*    ke *drain*



Gambar 2. Kolom resin tipe *Mix Bed*

## METODOLOGI

Evaluasi unjuk kerja sistem *demin water* pada fasilitas IEBE dilakukan menggunakan data pemantauan operasi, data sebelum dan sesudah regenerasi selama kegiatan pada tahun 2015. Pemantauan dan pengambilan data operasi dilakukan setiap operasi dan merupakan bagian dari data mingguan untuk pemantauan konduktivitas. Selanjutnya data hasil pemantauan operasi dalam bentuk tabel dievaluasi berdasarkan nilai rerata untuk setiap minggu/bulan dan ditampilkan dalam bentuk grafik. Dari data tersebut dapat diketahui konduktivitas optimal air bebas mineral dengan nilai konduktivitas  $\leq 1$   $\mu\text{S/cm}$ . Data yang ditampilkan dalam bentuk grafik kemudian dibatasi untuk daerah yang memenuhi spesifikasi dan air bebas mineral tersebut dimasukkan kedalam tangki operasional air bebas mineral.

Untuk melakukan kegiatan ini diperlukan peralatan fasilitas *demin plant*, *conductivity-meter*, termometer dan *toolset*. Bahan baku air yang akan digunakan adalah air segar (*fresh water*) dari Puspipstek, resin, HCl dan NaOH. data teknis resin ditampilkan pada Table 1 berikut ini :

Tabel 1. Data teknis resin

PUROLITE C-100 <i>Cation Exchange Resin</i>	PUROLITE A-400 <i>Anion Exchange Resin</i>
Volume : 43 liter	Volume : 70 liter
Regeneran : 7 liter - HCL 32 %	Regeneran : 10 liter - NaOH 48%
Waktu Regenerasi : 45 menit	Waktu Regenerasi : 30 menit

Spesifikasi :

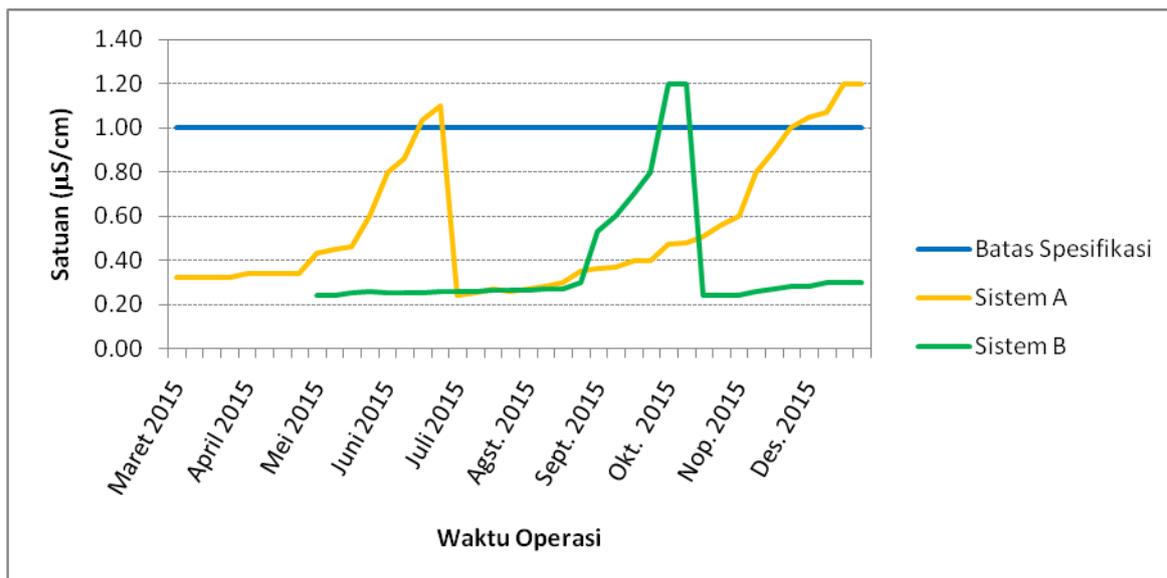
Polymer Matrix Structure	Crosslinked Polystyrene Divinylbenzene
Physical Form and Appearance	Clear spherical beads
Whole Bead Count	90% min.
Functional Groups	R-SO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Ionic Form, as shipped	Na <sup>+</sup>
Shipping Weight (approx.)	850 g/l (53 lb/ft <sup>3</sup> )
Screen Size Range: - British Standard Screen	14 - 52 mesh, wet
- U.S. Standard Screen	16 - 50 mesh, wet
Particle Size Range	+1,2 mm <5%, -0,3 mm <1%
Moisture Retention, Na <sup>+</sup> form	44 – 48%
Swelling Na <sup>+</sup> → H <sup>+</sup>	5% max.
Ca <sup>++</sup> → Na <sup>+</sup>	5% max.
Specific Gravity, moist Na <sup>+</sup> Form	1,29
Total Exchange Capacity, Na <sup>+</sup> form, wet, volumetric dry, weight	2,0 eq/l min. 4,5 eq/k min.
Operating Temperature, Na <sup>+</sup> Form	150°C (300°F) max.
pH Range, Stability pH Range Operating, Na <sup>+</sup> cycle	0 - 14 6 - 10

Spesifikasi :

Polymer Matrix Structure	Polystyrene cross-linked with Divinylbenzene
Physical Form and Appearance	Clear golden spherical beads
Whole Bead Count	90% min.
Functional Groups	Type I Quaternary Ammonium
Ionic Form, as shipped	Cl <sup>-</sup>
Shipping Weight (approx.)	680 - 695 g/l (42.5 - 43.5 lb/ft <sup>3</sup> )
Screen Size Range: - U.S. Standard Screen	16 - 50 mesh, wet
Particle Size Range	+1.2 mm <2%, -0.3 mm <1%
Moisture Retention, Cl <sup>-</sup> form	48 – 54%
Reverible Swelling Cl <sup>-</sup> → OH <sup>-</sup>	20% max.
Specific Gravity, moist Cl <sup>-</sup> Form	1.08
Total Exchange Capacity, Cl <sup>-</sup> form, wet, volumetric dry, weight	1.3 eq/l min. 3.7 eq/kg min.
Operating Temperature, Cl <sup>-</sup> Form	100°C (212°F) max.
Operating Temperature, OH <sup>-</sup> Form	60°C (140°F) max.
pH Range, Stability, OH <sup>-</sup> Form pH Range, Operating, OH <sup>-</sup> Form	0 - 13 0 - 8

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil pemrosesan air bebas mineral (*demin water*) dengan bahan baku air segar (*fresh water*) PUSPIPTEK pada tekanan 3 - 4 kg/cm<sup>2</sup>, pH air 5,5 - 6, konduktivitas 1,2 mS/cm dan temperatur air berkisar 25 – 29 °C menggunakan kolom resin jenis *mix bed* diperlihatkan oleh grafik pada gambar 3. Grafik ini memperlihatkan unjuk kerja sistem proses air bebas mineral. Dengan bertambahnya waktu pengoperasian sistem, harga konduktivitas air keluaran resin mengalami kenaikan. Hal ini berkaitan dengan kapasitas tukar ion dari resin yang mengindikasikan berkurangnya kemampuan resin untuk menyerap partikel dalam *fresh water*.



Gambar 3. Grafik operasi sistem air bebas mineral

Apabila resin penukar ion telah mengalami tingkat kejenuhan dengan indikasi pada nilai konduktivitas air keluaran yang lebih besar dari  $>1 \mu\text{S/cm}$  seperti diperlihatkan pada gambar 3 untuk sistem A pada akhir bulan Juni 2015 dan sistem B pada awal bulan Oktober 2015, maka dilakukan regenerasi resin. Dengan demikian pada sistem A di awal Juli 2015 dan sistem B pada minggu ke-3 bulan Oktober 2015, dihasilkan air demin yang telah mengalami penurunan konduktivitas. Proses regenerasi dilakukan untuk menjaga kemampuan unjuk kerja sistem dan untuk mengembalikan kemampuan resin penukar ion dalam mengambil pengotor dalam air baku. Proses regenerasi dilakukan dengan menginjeksi bahan regenerasi pada masing-masing unit sesuai proses regenerasi yaitu basa (NaOH) 48%-50% untuk resin anion dan asam (HCl) 32% - 33% untuk resin kation. Proses ini dirancang menggunakan saluran yang berbeda antara asam untuk kation dan basa untuk anion seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1.

Pada saat melakukan regenerasi harus diperhatikan laju alir regenerasi supaya mendapatkan konsentrasi yang optimal untuk melepaskan partikel yang terdapat pada resin akibat dari penyerapan ion-ion pada saat proses air bebas mineral. Regenerasi pada resin penukar anion adalah 10 liter NaOH 48%-50% yang dialirkan selama 30 menit dan untuk resin kation adalah 7 liter HCl 32% - 33% yang dialirkan selama 45 menit. Proses ini akan mengembalikan kemampuan resin menyerap ion-ion pengotor dan untuk menjaga suplai air bebas mineral yang memenuhi persyaratan konduktivitas yaitu  $<1 \mu\text{S/cm}$ .

Tabel 1. Proses regenerasi tangki resin<sup>[3]</sup>.

NO	POS	Fungsi	Port Venting Operasi	Valve yang terbuka	Waktu (Menit)
0	0	<i>Service</i>	15,16	15,16	-
1					
2	1	<i>Backwash</i>	1	1, 1A	10
3	2	<i>Settle</i>	NONE	NONE	10
4					
5	3	<i>Caustic Inject</i>	4, 5, 9	4, 5, 9	30
6	4	<i>Slow Rinse</i>	5, 9	5, 9	15
7					
8	5	<i>Acid in</i>	7, 8, 9	7, 8, 9	45
9	6	<i>Slow Rinse</i>	8, 9	8, 9	15
10	7	<i>Rinse</i>	9, 10	9, 10	10
11					
12	8	<i>Drain Down</i>	9, 12	9, 12	10
13	9	<i>Air Inject</i>	12, 13	12, 13	10
14					
15	10	<i>Final Rinse</i>	14, 15	14, 15	15

**KESIMPULAN**

Dari evaluasi yang dilakukan terhadap kinerja sistem air bebas mineral dapat diambil kesimpulan bahwa pemrosesan air bebas mineral (*demin water*) menggunakan bahan baku air air segar (*fresh water*) dari PUSPIPTEK dengan konduktivitas <1  $\mu$ S/cm berjalan efektif selama kurun waktu sekitar 4 bulan. Setelah waktu tersebut dilampaui, konduktivitas air keluaran kolom resin penukar *mix bed* cenderung naik dengan bertambahnya waktu pengoperasian sistem air bebas mineral. Hal ini disebabkan oleh menurunnya kemampuan resin dalam menyerap ion-ion mineral yang terlarut di dalam air baku sebagai akibat dari resin yang mengalami kejenuhan. Untuk itu dilakukan proses regenerasi resin yang akan mengembalikan kemampuan resin menyerap ion-ion pengotor dan air bebas mineral yang dihasilkan akan mempunyai konduktivitas sesuai yang dipersyaratkan yaitu <1  $\mu$ S/cm.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Ucapan terima kasih disampaikan ke PTBBN dan seluruh staf yang terlibat dalam kegiatan evaluasi ini, khususnya Ir. Tonny Siahaan dan Kusyanto S.ST yang telah membantu dalam penyusunan makalah ini

**DAFTAR PUSTAKA**

1. Ahmad Paid, M. Suryadiman, Amar Ma'ruf, Yoskasih O., "Penentuan Spesifikasi Teknis *Demin Water* Pada Fasilitas Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE)", Proseding Hasil-hasil Penelitian EBN, ISSN 0854 – 5561, Tahun 2009.
2. Laporan Analisis Keselamatan (LAK) Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE), Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional - PTBN-BATAN, Oktober 2012.
3. ANONIM, "*Aerfresh Demineralizer*", Buku Panduan Operasi Water Treatment Plant, PT.Farmel Cahaya Mandiri.
4. Diyah Erlina Lestari, Setyo Budi Utomo, Suhartono, Aep Saepudin Catur, "Verifikasi Konsentrasi Regeneran Pada Proses Regenerasi Resin Penukar Ion Sistem Air Bebas Mineral (GCA01) RSG – GAS", Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir VII, Yogyakarta, ISSN 1978 – 0176, 16 November 2011.