

DOI: <https://doi.org/10.21009/JRSKT.092.05>

Analisis Kadar Silika Dioksida pada Sistem Pemurnian Air Kolam Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy dengan Spektrofotometer UV-VIS

Abdul Aziz^{1,*}, Setyo Budi Utomo¹, Davina Nur Ramadhina²

¹ Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jl. Kw. Puspipetek No. 30 Tangerang Selatan, Indonesia

² Prodi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, Jl. Rawamangun Muka, Rawamangun, Jakarta Timur, DKI Jakarta 13220, Indonesia

*Email: abdu070@brin.go.id

Informasi Artikel

Diterima: 09/10/2023

Direvisi: 14/11/2023

Online: 25/12/2023

Edisi: 25/12/2023

Abstrak

Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) adalah reaktor riset yang menggunakan air sebagai pendingin. Air pendingin reaktor berfungsi sebagai moderator dan media pemindah panas yang timbul sebagai akibat terjadinya reaksi fisi dalam teras reaktor. Air sebagai pendingin akan berhubungan langsung dengan material komponen atau struktur reaktor, sehingga memungkinkan akan terjadi reaksi kimia antara air dan material komponen atau struktur reaktor yang dapat menyebabkan terjadinya korosi atau timbulnya kerak pada permukaan logam sehingga menurunkan efisiensi pertukaran panas. Dalam penelitian ini, dilakukan pengamatan kadar silika dioksida (SiO₂) dalam sistem pemurnian air kolam reaktor dan air sistem penyedia air bebas mineral yang digunakan sebagai pasokan air pendingin reaktor. Dari hasil kajian menunjukkan bahwa kadar SiO₂ pada sistem pemurnian air kolam reaktor cukup tinggi yaitu sebesar 17,02 ppm. Kadar SiO₂ yang tinggi pada sistem pemurnian air kolam reaktor berasal dari sistem penyedia air bebas mineral dan air baku PAM Puspipetek. Kadar SiO₂ pada sistem air bebas mineral dapat berkurang setelah dilakukan regenerasi resin kation-anion dan resin mixed bed.

Kata kunci: silika dioksida, siwabessy (RSG-GAS), spektrofotometer UV-VIS

Abstract

The G.A. Siwabessy Multi-Purpose Reactor (RSG-GAS) is a research reactor that uses water as a coolant. Reactor cooling water functions as a moderator and the media heat transfer of result of the fission reaction in the reactor core. Water as a coolant will be in direct contact with component materials or reactor structures, making it possible for chemical reactions to occur between water and component materials or reactor structures which can cause corrosion or scale to appear on the

metal surface, thereby reducing heat exchange efficiency. In this research, observations were made of silica dioxide (SiO₂) levels in reactor water purification system. The result of the study shows that the SiO₂ level in the reactor water purification system are quite high, namely 17,02 ppm. The high SiO₂ levels in the reactor purification system come from the mineral-free water system and PAM Puspiptek raw water. Silica dioxide (SiO₂) levels in mineral-free water systems can be reduced after regeneration of cation-anion resins and mixed bed resins.

Keywords: *silica dioxide, siwabessy (RSG-GAS), spektrofotometer UV-VIS*

Pendahuluan

Reaktor nuklir memiliki dua tipe berdasarkan fungsinya yaitu reaktor daya yang digunakan sebagai energi listrik dan reaktor riset yang digunakan sebagai penghasil radioisotop (Mousakazemi, 2021) maupun penelitian Iptek nuklir. Salah satu reaktor riset milik Indonesia adalah Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (Ramadhan et al. 2016). RSG-GAS merupakan reaktor riset yang mempunyai daya termal maksimum 30 MW dan mempunyai fluks neutron rata-rata 10^{14} n/cm².detik yang berasal dari hasil reaksi fisi. RSG-GAS adalah reaktor dengan jenis kolam berbahan bakar U₃O₈Al/U₃Si₂Al dengan pengayaan ²³⁵U sebesar 19,75%. Sebagai reaktor riset maka panas yang dihasilkan harus dibuang agar tidak terjadi pelelehan pada komponen material teras reaktor. Untuk melepaskan panas tersebut, RSG-GAS dilengkapi dengan dua sistem pendingin yaitu sistem pendingin primer dan sistem pendingin sekunder yang menggunakan air sebagai bahan pendinginnya (Ratnawati et al. 2018).

Air pendingin primer reaktor berfungsi untuk memindahkan panas yang timbul sebagai akibat reaksi fisi di teras reaktor kemudian memindahkannya ke sistem sekunder melalui alat penukar panas. Sedangkan sistem pendingin sekunder berfungsi untuk mengambil panas dari sistem pendingin primer dan melepaskannya ke lingkungan melalui menara pendingin (Lestari et al. 2014). Kedua sistem ini menggunakan air sebagai bahan pendinginnya. Kualitas air pendingin primer akan mempengaruhi integritas komponen atau struktur reaktor, karena pada dasarnya air sebagai pendingin akan berhubungan langsung dengan komponen atau struktur reaktor. Oleh karena itu air yang digunakan sebagai pendingin harus memenuhi persyaratan yang sesuai dengan komponen atau struktur yang dirumuskan dalam spesifikasi kualitas air pendingin.

Pada kolam reaktor, air pendingin dimurnikan oleh sistem pemurnian air kolam reaktor (KBE01) yang memiliki resin *mixed bed* yang berfungsi untuk menangkap produk aktivasi dan pengotor dari air kolam reaktor dan air dikembalikan ke kolam reaktor setelah dimurnikan. Air pendingin tersebut merupakan air bebas mineral dengan kualitas tertentu (Zangeneh et al. 2020). Air bebas mineral atau air demineralisasi adalah air minim mineral yang diproses dengan cara mengurangi atau menghilangkan ion-ion mineral yang terkandung dalam air dengan cara pertukaran ion (Suryani et al. 2022). Pertukaran ion atau ion exchange merupakan teknologi yang digunakan dalam demineralisasi air untuk menghilangkan kontaminan positif maupun negatif dengan menggunakan zat yang dapat menukar ion-ion dalam air tersebut (Kamal, 2023).

Air bebas mineral di RSG-GAS dihasilkan oleh sistem penyedia air bebas mineral (GCA01) dengan filter resin yang berfungsi untuk menangkap spesi kimia dengan cara pertukaran ion. Jika ion yang ditukar adalah kation, resin disebut resin penukar kation, dan jika ion yang ditukar adalah anion, resin disebut resin penukar anion (Sutopo, 2019). Air baku yang telah diolah menjadi air bebas mineral ditampung dalam tangki penampung air bebas mineral (BB04) sebelum akhirnya didistribusikan ke kolam reaktor ataupun sistem lain yang membutuhkan.

Tingkat kemurnian air diperlukan untuk menekan paparan radiasi akibat teraktivasinya pengotor di dalam air pendingin. Di samping itu, kemurnian air juga mempengaruhi laju korosi terhadap logam

pada komponen reaktor. Besaran yang dapat digunakan sebagai indikator konsentrasi pengotor di dalam air diantaranya adalah derajat keasaman (pH) dan daya hantar listrik karena nilai keduanya dipengaruhi oleh spesi kimia yang terlarut di dalam air.

Di samping mengontrol nilai pH dan konduktivitas dalam rangka evaluasi dan untuk menjamin agar air pendingin primer yang merupakan air bebas mineral atau air demineralisasi yang diproduksi oleh sistem penyedia air bebas mineral masih memenuhi persyaratan keselamatan untuk beroperasinya reaktor nuklir, maka perlu dilakukan analisis terhadap kadar spesi kimia yang terkandung di dalam sistem air pendingin reaktor dan sistem penyedia air bebas mineral.

Spesi kimia yang ada di dalam air dapat berupa unsur, ion, ataupun senyawa netral yang bersifat organik maupun anorganik yang dapat berpengaruh secara signifikan terhadap kualitas air, ditinjau dari sudut penggunaannya sebagai air pendingin reaktor. Salah satu senyawa yang mempengaruhi kualitas air adalah silika dioksida. Silika dioksida, juga dikenal sebagai silika atau asam silikat, merupakan oksida silikon yang memiliki rumus kimia SiO_2 . Silika dioksida memiliki warna transparan hingga abu-abu, dapat berbentuk kristal atau padatan amorf, serta tidak berbau. Silika dioksida tidak larut dalam asam dan air (Nugroho dan Putra, 2015). Silika dioksida berpotensi menjadi endapan pada lapisan bahan bakar dan menghambat proses pendinginan dan perpindahan panas di teras reaktor. Berdasarkan penelitian terdahulu, pedoman kimia EPRI merekomendasikan untuk membatasi kadar silika dioksida hingga 1 ppm. Pada penelitian tersebut juga dikatakan bahwa endapan silika dioksida mulai terbentuk saat konsentrasinya 16-20 ppm (Stern dan Brobst, 1997).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan pengamatan terhadap kadar SiO_2 pada sistem pemurnian air kolam reaktor (KBE01) sebagai air pendingin reaktor dan air bebas mineral yang diproduksi oleh sistem penyedia air bebas mineral (GCA01) agar kualitas air yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan dan tidak terjadi pengotor pada kolam Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy.

Metodologi Penelitian

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah konduktivimeter, botol vial 10 mL, erlenmeyer 250 mL, dan spektrofotometer UV-Vis. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah larutan HCl 33%, larutan NaOH 48%, reagen molibdat, reagen asam amino, dan reagen asam sitrat.

Pengambilan Sampel

Sampel yang akan diuji dalam penelitian ini adalah air keluaran pipa inlet dan outlet dari sistem pemurnian air kolam reaktor (KBE01), air keluaran tangki penampung air bebas mineral (BB04), air baku PAM Puspipstek, air keluaran kolom resin anion pada sistem penyedia air bebas mineral (GCA01), dan air keluaran kolom resin *mixed bed* pada sistem penyedia air bebas mineral (GCA01).

Pengujian Sampel

Pengujian yang dilakukan pada sampel air yang telah diuraikan di atas adalah sebagai berikut.

1. Pengukuran konduktivitas
Ke dalam masing-masing gelas erlenmeyer 250 mL dimasukkan sampel air yang sudah diambil. Kemudian dimasukkan elektroda alat konduktivimeter ke dalam masing-masing sampel air. Tekan *read* dan biarkan pembacaan stabil. Kemudian catat hasil pembacaan nilai konduktivitas pada alat.
2. Analisis kadar silika dioksida
Masing-masing sampel air dimasukkan ke dalam botol 2 vial 10 mL, sebagai blanko dan sampel. Sampel ditambahkan dengan reagen molibdat dan dihomogenkan. Kemudian sampel ditambahkan reagen asam amino dan dihomogenkan. Ditunggu hingga 10 menit. Kemudian sampel ditambahkan reagen asam sitrat, homogenkan, dan ditunggu hingga 2 menit. Kemudian siapkan instrumen spektrofotometer uv-vis, masukkan blanko ke dalam

ruang sel, tekan tombol *zero*. Keluarkan blanko dan masukkan botol sampel, tekan tombol *read*. Dicatat hasil pembacaan pada alat.

3. Regenerasi resin anion dan *mixed bed*
Injeksikan bahan kimia ke dalam kolom resin. Untuk resin kation digunakan larutan HCl 33%, sedangkan untuk resin anion digunakan larutan NaOH 48%. Sedangkan untuk resin *mixed bed* digunakan larutan HCl 33% dan NaOH 48%.

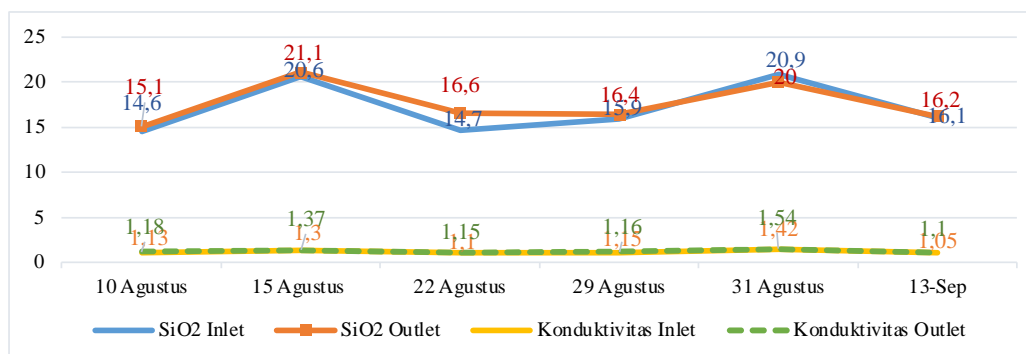
Hasil dan Pembahasan

Pengukuran Konduktivitas dan Analisis Kadar Silika Dioksida pada Sistem Pemurnian Air Kolam Reaktor (KBE01)

Nilai konduktivitas menyatakan banyaknya ion yang terkandung dalam air. Air murni atau air yang bagus adalah air yang sulit dalam menghantarkan atau mengalirkan listrik. Pengukuran DHL dilakukan menggunakan konduktivimeter dengan satuan $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Setiawan, 2022). Berdasarkan Gambar 1. dapat diketahui bahwa nilai konduktivitas pada KBE01 masih rendah atau berada di bawah batas operasional yang telah ditentukan, yaitu $< 2 \mu\text{S}/\text{cm}$. Pada sistem pemurnian air kolam reaktor (KBE01), diperoleh nilai konduktivitas pada rentang 1.05-1.54 $\mu\text{S}/\text{cm}$, dengan nilai rata-rata yang diperoleh sebesar 1,23 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Kenaikan nilai konduktivitas pada sistem pendingin primer terjadi ketika reaktor sedang beroperasi, yaitu pada tanggal 15 Agustus dan 31 Agustus dengan rata-rata sebesar 1,42 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Hal ini berkaitan dengan hubungan antara konduktivitas dengan temperatur yang tinggi ketika reaktor beroperasi. Semakin tinggi temperatur, nilai konduktivitas listrik juga semakin tinggi. Apabila temperatur semakin tinggi, maka ion-ion bergerak semakin cepat dan nilai konduktivitas listrik juga semakin tinggi (Irwan dan Afdal, 2016).

Pengujian kandungan SiO_2 dilakukan guna mengetahui kadar SiO_2 yang terkandung di dalam sistem pemurnian air kolam reaktor (KBE01). Berdasarkan Gambar 1. dapat diketahui bahwa kadar SiO_2 pada KBE01 cukup tinggi, yaitu berada pada rentang 14,6-21,1 ppm. Saat reaktor sedang tidak beroperasi, rata-rata kadar SiO_2 sebesar 15,64 ppm. Sedangkan kadar tertinggi SiO_2 terjadi saat reaktor beroperasi yaitu pada tanggal 15 Agustus dan 31 Agustus dengan rata-rata sebesar 19,86 ppm.

Pedoman kimia air EPRI merekomendasikan untuk membatasi kadar silika pada sistem pendingin reaktor hingga 1 ppm. Pengendapan silika mulai terbentuk saat konsentrasi silika mencapai 16-20 ppm. Oleh karena itu, pada penelitian ini direkomendasikan untuk membatasi kadar silika dioksida pada sistem pemurnian air kolam reaktor (KBE01) RSG-GAS menjadi < 16 ppm untuk mencegah potensi terjadinya pengendapan silika pada lapisan bahan bakar dan menghambat proses perpindahan panas.



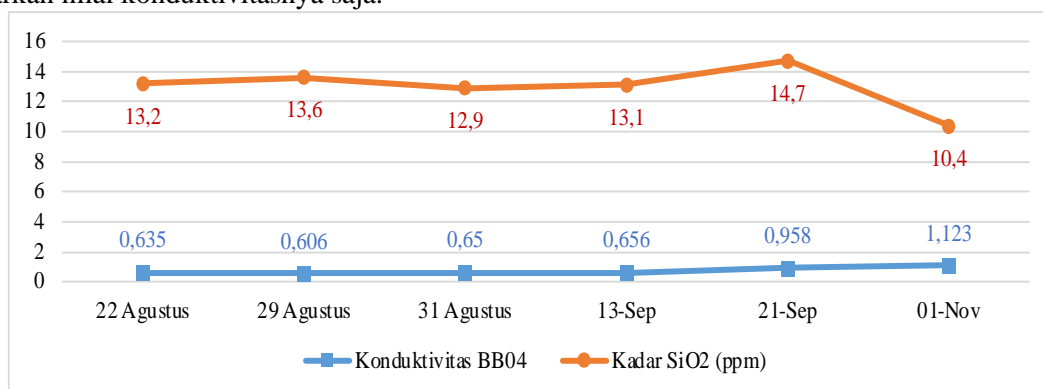
Gambar 1. Nilai Konduktivitas dan Kadar Silika Dioksida pada KBE01

Pengukuran Konduktivitas dan Analisis Kadar Silika Dioksida pada Tangki Penampung Air Bebas Mineral (BB04)

Kandungan silika dioksida yang tinggi pada KBE01 diduga berasal dari air demineralisasi yang merupakan suplai air pendingin reaktor. Air bebas mineral adalah air yang tidak mengandung atau sangat sedikit mineral atau garam-garam yang terkandung sehingga kemampuannya dalam menghantarkan listrik sangat terbatas (Kosim et al. 2021). Air bebas mineral diperlukan untuk

pengisian awal ke kolam reaktor dan sistem-sistem lain yang terkait. Air bebas mineral diproduksi oleh sistem penyedia air bebas mineral (GCA01) yang berfungsi untuk mengolah air baku menjadi air bebas mineral menggunakan resin penukar ion untuk mengikat mineral terlarut dalam air. Air yang sudah dihilangkan mineralnya kemudian ditampung di dalam tangki penampung air bebas mineral (BB04). Persyaratan mutu untuk air bebas mineral adalah konduktivitasnya maksimal 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

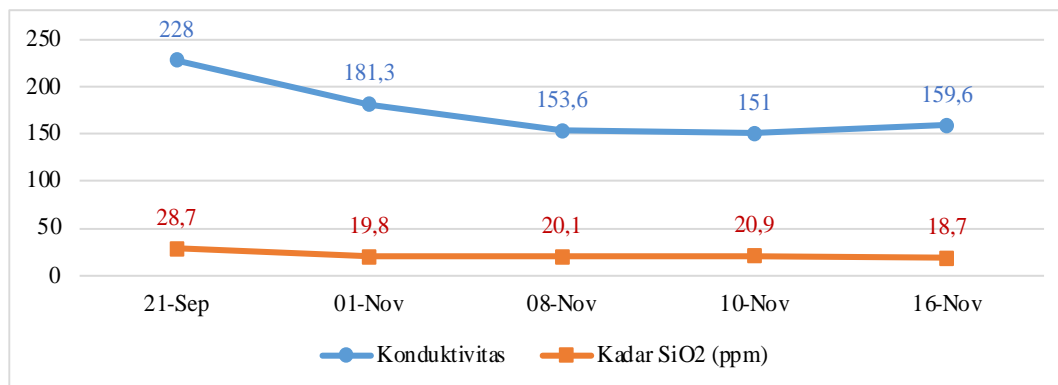
Berdasarkan Gambar 2. hasil dari pengukuran nilai konduktivitas yang terukur masih dalam batas aman yaitu $< 2 \mu\text{S}/\text{cm}$. Akan tetapi, seiring dengan berjalannya waktu terlihat kenaikan nilai konduktivitas yang mulai mendekati 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Kenaikan nilai konduktivitas ini berkaitan dengan kapasitas tukar resin. Resin penukar ion mempunyai kapasitas tukar tertentu, sehingga dengan bertambahnya waktu penggunaan resin penukar ion, kemampuan tukar ion pada resin penukar ion akan menurun dan lama kelamaan mengalami kejenuhan sehingga terjadi peningkatan nilai konduktivitas (Utomo et al. 2009). Kemudian berdasarkan hasil analisis kadar SiO_2 pada tangki BB04, didapatkan rentang kadar SiO_2 yaitu 10,4-14,7 ppm dengan rata-rata sebesar 12,98 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa air bebas mineral yang tertampung dalam tangki BB04 sebagai suplai air pendingin reaktor merupakan salah satu penyumbang kandungan SiO_2 . Dari data tersebut juga dapat diketahui bahwa nilai konduktivitas tidak linear dengan jumlah kadar SiO_2 yang terkandung di dalam air. Hal ini dikarenakan SiO_2 bersifat semikonduktor sehingga keberadaannya tidak bisa dideteksi jika hanya berdasarkan nilai konduktivitasnya saja.



Gambar 2. Nilai Konduktivitas dan Kadar Silika Dioksida pada Tangki BB04

Pengukuran Konduktivitas dan Analisis Kadar Silika Dioksida pada Air Baku

Dalam pembuatan air bebas mineral digunakan air baku. Air baku yang digunakan berasal dari PAM Puspipstek. Berdasarkan Gambar 3. diketahui bahwa nilai konduktivitas yang didapatkan berada pada rentang 151-228 ppm atau menyimpang dari batas kondisi operasional yang telah ditetapkan, yaitu $< 150 \mu\text{S}/\text{cm}$ (Pujiarta et al. 2012). Penyimpangan nilai konduktivitas pada air baku dapat memberatkan kerja resin pada sistem pengolahan air baku menjadi air bebas mineral. Sehingga diperlukan *treatment* air baku agar kualitas air yang dihasilkan oleh sistem air bebas mineral sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Kemudian berdasarkan pengukuran kadar SiO_2 pada air baku didapatkan kadar yang sangat tinggi yaitu pada rentang 18,7-28,7 ppm, dengan rata-rata sebesar 21,64 ppm. Hal ini mengindikasikan bahwa kadar SiO_2 yang tinggi pada air baku adalah penyebab dari kadar SiO_2 yang tinggi pula pada tangki penampung air bebas mineral (BB04).



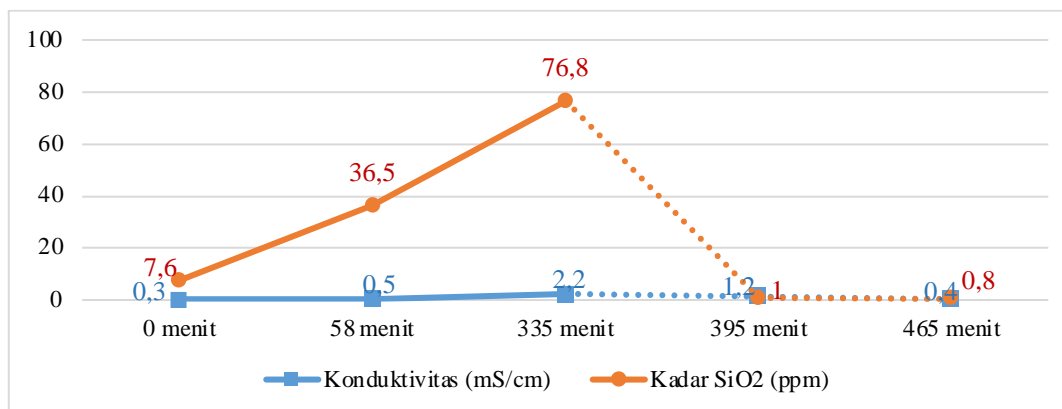
Gambar 3. Nilai Konduktivitas dan Kadar Silika Dioksida pada Air Baku

Regenerasi Resin Anion dan Analisis Kadar Silika Dioksida pada Sistem Penyedia Air Bebas Mineral (GCA01)

Kemudian dilakukan analisa kadar SiO₂ pada sistem air bebas mineral untuk mengetahui kinerja resin dalam mengikat ion pengotor SiO₂ dan hubungannya dengan lama waktu pengoperasian. Silika dioksida memiliki ion ‘Si’ dengan muatan negatif, maka resin yang bekerja mengikat ion silika adalah resin anion. Tingkat kejenuhan resin penukar anion adalah apabila konduktivitasnya melebihi 5 µS/cm. Berdasarkan Gambar 4. nilai konduktivitas sistem air bebas mineral di RSG-GAS masih dalam batas aman operasi. Akan tetapi, nilai konduktivitas saja tidak cukup untuk menjadi acuan kemurnian air. Hal ini dibuktikan dengan nilai konduktivitas yang kecil pada resin anion ternyata menghasilkan kadar SiO₂ yang tinggi bahkan sebelum nilai konduktivitas pada resin anion mencapai 5 µS/cm.

Berdasarkan Gambar 4. dapat diketahui dari pengukuran pertama kadar SiO₂ dalam air keluaran kolom resin anion masih kecil atau sebesar 7,6 ppm. Kadar SiO₂ mulai melonjak ketika pemakaian resin anion selama 58 menit, dengan kadar SiO₂ sebesar 36,5 ppm. Kenaikan kadar SiO₂ terus meningkat seiring dengan lama pemakaian resin anion dan melonjak pesat hingga mencapai 76,8 ppm dengan konduktivitas sebesar 2,2 µS/cm saat pemakaian resin anion selama 335 menit atau 5 jam 30 menit. Hal ini mengindikasikan bahwa resin anion sudah tidak efektif dalam menangkap SiO₂ karena akibat dari sifat selektivitas yang dimiliki resin penukar ion. Hal ini yang kemudian dilakukan regenerasi resin anion.

Kemampuan resin penukar ion dalam mengambil ion pengotor dalam air baku memiliki keterbatasan, sehingga setelah beberapa waktu tertentu resin penukar ion tidak mampu lagi mengambil ion pengotor dalam air. Dalam keadaan tersebut dikatakan bahwa resin telah jenuh, sehingga perlu dilakukan regenerasi yang bertujuan untuk mengaktifkan kembali gugus fungsional resin penukar ion agar dapat mengambil atau mengikat ion-ion pengotor yang berada di dalam air (Kosim et al. 2021). Regenerasi resin anion dilakukan dengan cara penambahan bahan kimia larutan NaOH 48%, dimana ion OH⁻ yang berasal dari NaOH dipertukarkan dengan ion-ion negatif yang terlarut dalam air. Berdasarkan Gambar 4. didapatkan hasil bahwa terjadi penurunan nilai konduktivitas menjadi 1,2 µS/cm dan juga penurunan kadar SiO₂ yang signifikan yaitu menjadi 1 ppm setelah dilakukan regenerasi. Nilai konduktivitas dan kadar SiO₂ terus menurun seiring dengan berjalannya pengoperasian sistem demineralisasi. Hal ini mengindikasikan bahwa regenerasi anion berhasil mengembalikan kemampuan resin penukar ion dalam mengambil pengotor dalam air. Selain itu, pada penelitian ini, direkomendasikan untuk membatasi kadar SiO₂ menjadi 15 ppm. Berdasarkan data pengukuran yang sudah didapat, diketahui bahwa kadar SiO₂ dengan nilai tersebut muncul saat konduktivitas air keluaran resin anion lebih dari 0,3 µS/cm.

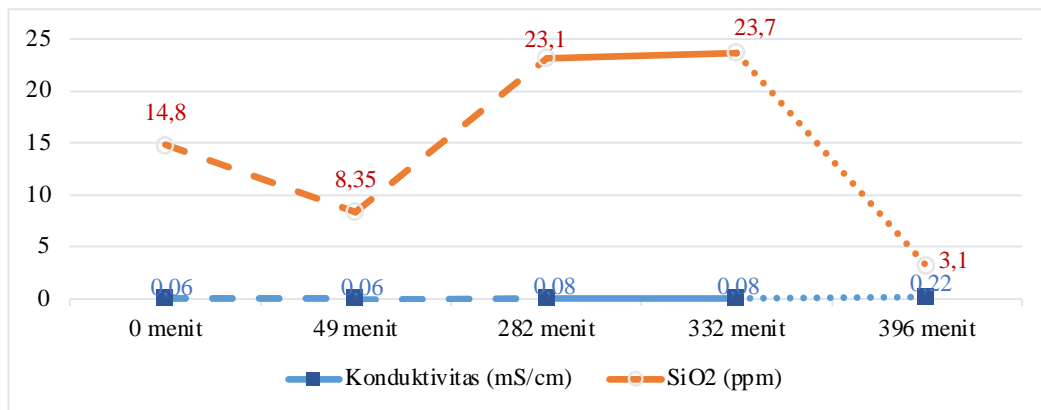


Gambar 4. Nilai Konduktivitas dan Kadar Silika Dioksida pada Resin Anion

Regenerasi Resin *Mixed Bed* dan Analisis Kadar Silika Dioksida pada Sistem Penyedia Air Bebas Mineral (GCA01)

Resin *mixed bed* merupakan salah satu tipe dari demineralisasi dimana terdapat resin kation untuk mengikat kontaminan positif dan resin anion untuk mengikat kontaminan negatif dalam satu tangki yang sama (Putri dan Purnomo, 2023). Berdasarkan Gambar 5, dapat diketahui bahwa pada pengukuran pertama kadar SiO₂ yang terukur sebesar 14,8 ppm. Kemudian dilakukan pengadukan resin *mixed bed* dan terjadi penurunan menjadi 8,35 ppm setelah dilakukan pengadukan resin *mixed bed*. Hal ini terjadi kemungkinan karena dengan melakukan pengadukan resin *mixed bed*, maka ion ‘Si’ yang sebelumnya berikatan secara lemah dengan resin anion pada kolom *mixed bed* terlepas dan terbuang selama sirkulasi. Kemudian pada pengukuran selanjutnya kembali dilakukan pengadukan resin *mixed bed* dan didapatkan hasil kadar SiO₂ yang tinggi yaitu 23,1 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa pengadukan resin *mixed bed* sudah tidak efektif dalam mengikat ion ‘Si’ akibat dari sifat selektivitas yang dimiliki resin itu sendiri. Dimana, resin anion dalam kolom *mixed bed* lebih memilih untuk berikatan dengan zat lain yang memiliki muatan yang lebih besar daripada SiO₂, sehingga SiO₂ tidak dapat terikat oleh resin. Kemudian pada pengukuran selanjutnya tidak dilakukan pengadukan resin *mixed bed*, dan didapatkan kadar SiO₂ yang semakin besar yaitu 23,7 ppm. Dari hasil tersebut sehingga kemudian dilakukan regenerasi resin *mixed bed* dengan harapan dengan harapan mampu mengembalikan kemampuan resin penukar ion dalam mengambil pengotor.

Proses regenerasi resin *mixed bed* dilakukan dengan menambahkan bahan kimia larutan HCl 33% dan larutan NaOH 48%. Larutan HCl digunakan untuk meregenerasi resin kation, dimana ion H⁺ yang berasal dari HCl dipertukarkan dengan ion-ion positif yang terlarut dalam air. Sedangkan larutan NaOH digunakan untuk meregenerasi resin anion, dimana ion OH⁻ yang berasal dari NaOH dipertukarkan dengan ion-ion negatif yang terlarut dalam air. Setelah dilakukan regenerasi resin *mixed bed*, diperoleh konduktivitas keluaran kolom resin *mixed bed* sesudah regenerasi adalah 0,22 μS/cm atau justru lebih besar daripada konduktivitas sebelum regenerasi yaitu 0,07 μS/cm. Hal ini disebabkan karena adanya sisa-sisa regenerasi yang tidak diperlukan oleh resin penukar ion dalam pengaktifkan kembali atau memulihkan gugus fungsional resin penukar ion. Oleh karena itu pada tahapan proses regenerasi perlu adanya pembilasan dengan terus pengoperasian sistem sehingga dengan bertambahnya waktu, lama kelamaan sisa regenerasi habis dan konduktivitas air mengalami penurunan. Sedangkan kadar SiO₂ menurun signifikan menjadi 3,1 ppm. Penurunan kadar SiO₂ pada kolom resin *mixed bed* membuktikan bahwa regenerasi yang dilakukan telah berhasil mengembalikan kemampuan resin penukar ion dalam mempertukarkan ion. Selain itu, data tersebut kembali membuktikan bahwa nilai konduktivitas tidak mampu mendeteksi keberadaan SiO₂ yang bersifat semikonduktor.



Gambar 5. Nilai Konduktivitas dan Kadar Silika Dioksida pada Resin Mixed Bed

Kesimpulan

Nilai konduktivitas pada sistem pemurnian air kolam reaktor (KBE01) masih memenuhi persyaratan sebagai air pendingin reaktor. Kadar silika dioksida pada sistem pemurnian kolam reaktor cukup tinggi dengan rata-rata 17,02 ppm. Kadar silika dioksida yang tinggi tersebut diduga berasal dari air bebas mineral dan air baku yang digunakan. Kemudian regenerasi resin anion dan resin *mixed bed* yang telah dilakukan mampu mengembalikan kemampuan resin dalam mengikat ion pengotor dan mengurangi kadar silika dioksida dalam air.

Daftar Pustaka

- Irwan, F & Afdal, A. 2016. 'Analisis Hubungan Konduktivitas Listrik dengan Total Dissolved Solid (TDS) dan Temperatur pada Beberapa Jenis Air'. *Jurnal Fisika Unand*, 5(1), 85-93, <https://doi.org/10.25077/jfu.5.1.85-93.2016>.
- Kamal, DF. 2023. 'Proses Demineralisasi pada Unit Pengolahan Air di Pabrik Utility 1-A PT Pupuk Kujang Cikampek'. *Jurnal SIGMAT Teknik Mesin UNSIKA*, 3(1), 34-41, <https://doi.org/10.35261/sigmat.v3i1.9863>.
- Kosim, ME, Prambudi, D & Siskayanti, R. 2021. 'Analisis Efisiensi Penukar Ion Sistem Demineralisasi pada Pengolahan Air di Proses Produksi Electroplating'. *Prosiding Semnastek*.
- Lestari, DE, Utomo, SB & Pujiarta, S. 2014. 'Uji Kemampuan Resin Penukar Ion Sistem Purifikasi Air Pendingin Primer Reaktor Rsg-Gas Menggunakan Air Bekas Pencucian Batu Topas'. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Aplikasi Reaktor Nuklir*.
- Mousakazemi, SMH 2021, 'Comparison of the error-integral performance indexes in a GA-tuned PID controlling system of a PWR-type nuclear reactor point-kinetics model'. *Progress in Nuclear Energy*, 132, 103604, <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2020.103604>.
- Nugroho, EB & Putra, A. 2015. 'Estimasi Temperatur Reservoir Panas Bumi Berdasarkan Resistivitas Listrik Teras Silika di Sekitar Mata Air Panas Kecamatan Alam Pauh Duo, Kabupaten Solok Selatan'. *Jurnal Fisika Unand*, 4(4). <https://doi.org/10.25077/jfu.4.4.%25p.2015>.
- Pujiarta, S, Suraniyanto, Y, Amril, A, & Utomo, SB. 2012. 'Kajian Pemanfaatan Sumur Bor Sebagai Sumber Cadangan Pasokan Air pada Sistem Penyedia Air Baku (GBA 01)'. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Aplikasi Reaktor Nuklir. PRSG-Batan*.
- Putri, DDS, & Purnomo, A. 2023. 'Kajian Instalasi Pengolahan Air Demineralisasi dari Nalco Water an Ecolab Company'. *Jurnal Teknik ITS*, 12(2), D123-D128. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v12i2.120029>.

- Ramadhan, AI, Suwono, A. Tandian, NP, & Umar, E. 2016. 'Studi Pengembangan Desain Reaktor Nuklir Riset 2 MWTH dengan Elemen Bakar Plat di Indonesia'. *Dinamika Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 7(2), 13-20.
- Ratnawati, E, Lestari, DE & Mulyaningsih, TR. 2018. 'Studi Pengotor Pada Pendingin Primer Reaktor RSG GAS Setelah 30 Tahun Beroperasi'. *GANENDRA Majalah IPTEK Nuklir*, 21(1), 17-24. <https://doi.org/10.17146/gnd.2018.21.1.3675>.
- Setiawan, AA. 2022. 'Konduktivitas Listrik Ion Terlarut: Studi Kasus di Air Sumur TPA Sukawinatan Palembang'. *Jurnal Redoks*, 7(1), 48-54. <https://doi.org/10.31851/redoks.v7i1.6760>.
- Suryani, F., Madagaskar, M & Moulita, RN. 2022. 'Analisis Pengaruh Waktu dan Tekanan terhadap Demineralisasi Air Buangan AC dengan Metode Reverse Osmosis'. *Jurnal Redoks*, 7(1), 1-9. <https://doi.org/10.31851/redoks.v7i1.7924>.
- Sutopo, EH. 2019. 'Proses Demineralisasi Air Tanah Menjadi Air TDS 0 PPM Menggunakan Metode Resin Penukar Ion Tunggal (Single Ionic Resin Exchange Method)'. *Jurnal Inovasi Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 1(1), 22-10. <https://doi.org/10.32493/jiptek.v1i1.4590>.
- Stern, S & Brobst, GE. 1997. 'Operating Limits for Silica, Calcium, Aluminum and Magnesium in PWRs'.
- Utomo, SB, Lestari, DE, & Harsono, H. 2009. 'Regenerasi Resin Penukar Ion sebagai Tindakan Perawatan pada Sistem Air Bebas Mineral (GCA 01) RSG-GAS'. *Buletin "Reaktor"*.
- Zangeneh, S, Lashgari, HR & Sharifi, HR 2020, 'Fitness-for-service assessment and failure analysis of AISI 304 demineralized-water (DM) pipeline weld crack'. *Engineering Failure Analysis*, 107, 104210, <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.104210>.

