

EVALUASI KINERJA ELEKTRODEIONISASI (EDI) DALAM MENURUNKAN KADAR KONDUKTIVITAS DAN SILIKAT PADA WATER TREATMENT PLANT INDUSTRI FARMASI

Ata Khusnaya dan Khalimatus Sa'diyah

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, Indonesia
atakusnaya@gmail.com; khalimatus.s@polinema.ac.id

ABSTRAK

Kualitas air sangat penting dalam industri farmasi, terutama dalam produksi *Purified Water* (PW) yang harus memenuhi standar baku mutu. Salah satu teknologi yang digunakan untuk meningkatkan kualitas air adalah Sistem Elektrodionisasi (EDI), berfungsi menurunkan kadar konduktivitas dan silikat yang mempengaruhi kualitas air dan kinerja peralatan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja EDI dalam menurunkan kadar konduktivitas dan silikat pada *Water Treatment Plant* industri farmasi, serta mengukur efisiensi sistem dalam mencapai standar kualitas. Data sekunder mengenai konduktivitas dan silikat pada aliran inlet dan outlet EDI bulan Januari 2024 dikumpulkan dan dianalisis menggunakan grafik tren untuk melihat fluktuasi serta memastikan kualitas air sesuai standar Cara Pembuatan Obat yang Baik (CPOB). Analisis diperkuat dengan uji statistik One-Way ANOVA untuk menguji adanya perbedaan signifikan antara kedua aliran tersebut. Hasil analisis menunjukkan sistem EDI telah mampu menurunkan kadar konduktivitas dan silikat dengan efisiensi 89,2% dan 80,4%. Efisiensi ini menunjukkan EDI efektif dalam menghilangkan ion terlarut yang dapat menyebabkan kontaminasi produk dan risiko pembentukan kerak serta korosi pada peralatan. Hal ini didukung dengan hasil uji statistik ANOVA yang menunjukkan nilai F hitung lebih besar dari F tabel sehingga disimpulkan bahwa terdapat perbedaan signifikan antara aliran *inlet* dan *outlet* pada sistem EDI. Walaupun kinerja EDI tergolong baik, efisiensinya sedikit di bawah standar optimal sebesar 95%. Kondisi ini dipengaruhi oleh usia EDI sehingga menyebabkan penurunan kinerjanya. Oleh karena itu, pemeliharaan dan pengawasan lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas air yang dihasilkan.

Kata kunci: elektrodionisasi (EDI), konduktivitas, *purified water*, silikat, *water treatment plant*

ABSTRACT

Water quality is very important in the pharmaceutical industry, especially in the production of Purified Water (PW) which must meet quality standards. One of the technologies used to improve water quality is the Electrodeionisation System (EDI), which functions to reduce conductivity and silicate that affect water quality and equipment performance. This study aims to evaluate the performance of EDI in reducing conductivity and silicate levels in a pharmaceutical industry Water Treatment Plant, as well as measuring the efficiency of the system in achieving quality standards. Secondary data on conductivity and silicate at the EDI inlet and outlet flows in January 2024 were collected and analysed using trend charts to see fluctuations and ensure water quality meets Good Manufacturing Practice (GMP) standards. The analysis was strengthened by One-Way ANOVA statistical test to test for significant differences between the two streams. The results showed that the EDI system was able to reduce conductivity and silicate levels with efficiencies of 89.2% and 80.4%, respectively. These efficiencies indicate EDI is effective in removing dissolved ions that can lead to product contamination and the risk of scale formation and corrosion of equipment. This is supported by the results of the ANOVA statistical test, which shows that the calculated F value is greater than the F table, concluding that there is a significant difference between the inlet and outlet flows in the EDI system. Although EDI's

performance is good, its efficiency is still slightly below the optimal standard of 95%. This condition is influenced by the age of EDI, causing a decrease in its performance. Further maintenance and supervision are required to improve the efficiency and quality of the water produced.

Keywords: *electrodeionization (EDI), conductivity, purified water, silicate, water treatment plant*

1. PENDAHULUAN

Air termasuk bahan utama dalam berbagai industri. Hal ini disebabkan oleh sifat kimianya yang khas, seperti polaritas dan kemampuannya membentuk ikatan hidrogen, sehingga air mampu melarutkan, menyerap, dan mensuspensi berbagai senyawa, termasuk kontaminan berbahaya [1]. Dalam industri farmasi, air digunakan dalam berbagai proses, seperti produksi obat, pencucian peralatan, dan sterilisasi. Kualitas air yang digunakan harus memenuhi standar yang sangat ketat, karena air yang tidak murni dapat memengaruhi kemurnian, stabilitas, dan keamanan produk farmasi. Oleh karena itu, pengendalian kualitas air menjadi prioritas utama untuk memastikan proses produksi berjalan dengan baik dan menghasilkan produk yang memenuhi spesifikasi.

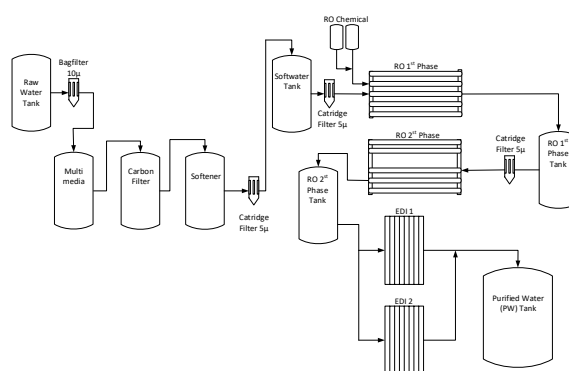
Industri farmasi memiliki standar tertentu untuk kualitas air yang digunakan. Di Indonesia, standar kualitas air diatur secara ketat dalam CPOB (Cara Pembuatan Obat yang Baik) [2]. CPOB adalah pedoman yang mengatur standar dalam produksi obat untuk memastikan kualitas atau mutu produk sesuai dengan standar dan tujuan penggunaan [3]. CPOB menetapkan parameter seperti konduktivitas, kandungan *Total Organic Carbon* (TOC), dan silikat untuk memastikan air yang digunakan memenuhi standar [4].

Tabel 1. Standar kualitas *purified water* berdasarkan peraturan bpom nomor 7 tahun 2024 tentang cara pembuatan obat yang baik (CPOB) [2].

Parameter	CPOB Indonesia
Konduktivitas	< 1,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$
TOC	< 500 ppb
Silikat	<1 ppm
Mikrobiologi	< 100 CFU/ml

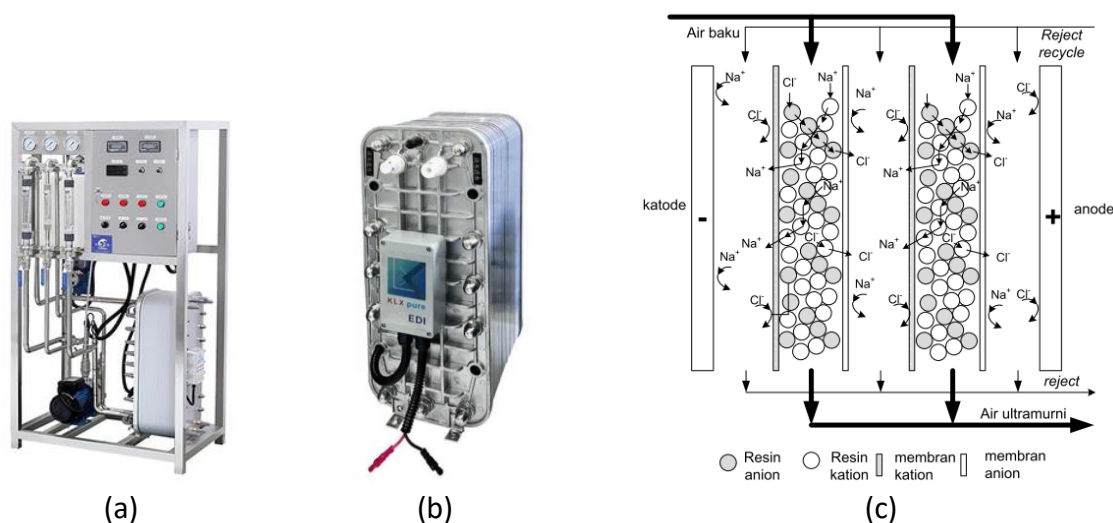
Untuk memenuhi standar kualitas air tersebut, industri farmasi menggunakan *Water Treatment Plant* (WTP) sebagai unit pengolahan air utama. WTP dirancang untuk memastikan *Purified Water* (PW) yang digunakan dalam proses produksi memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan. Proses pemurnian air di WTP melibatkan beberapa tahapan, mulai dari *bag filter*, *multimedia filter*, *carbon filter*, *softener*, *reverse osmosis* (RO), hingga tahap akhir berupa unit Elektrodeionisasi (EDI).

Elektrodeionisasi (EDI) merupakan teknologi inovatif dalam tahap akhir pemurnian air untuk menghasilkan air murni dengan konduktivitas dan kandungan silikat yang sangat rendah. Teknologi ini menggabungkan prinsip pertukaran ion, elektrolisis, dan medan listrik untuk memisahkan ion terlarut. Selain itu, proses regenerasi tidak menggunakan bahan kimia sehingga lebih efisien dibandingkan metode konvensional [5,6]. Unit EDI terdiri dari membran penukar ion (kation dan anion), resin penukar ion, serta sepasang elektroda dengan sumber arus listrik searah (DC).



Gambar 1. Process flow diagram pada unit water treatment plant industri farmasi

Mekanisme pemisahan ion terjadi dalam dua tahap utama, yaitu pertama, ion-ion terlarut diikat oleh resin melalui proses pertukaran ion, di mana kation seperti Na^+ dan Mg^{2+} ditukar dengan ion H^+ , sedangkan anion ditukar dengan ion OH^- . Pada tahap kedua, ion-ion yang telah ditangkap oleh resin ditarik oleh membran akibat gaya listrik yang diberikan oleh elektroda [7]. Dengan mekanisme ini, EDI dapat menghasilkan *pure water* secara berkelanjutan tanpa memerlukan regenerasi berkala, sehingga menjadi solusi unggul bagi industri yang membutuhkan air dengan tingkat kemurnian tinggi.



Gambar 2. (a) elektrodionisasi, (b) modul EDI, (c) skema proses EDI [8]

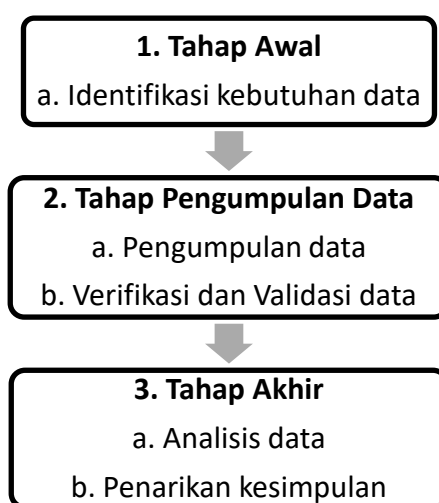
Dalam pengaplikasiannya, EDI terbukti efektif dalam menurunkan kadar konduktivitas air dan *Total Organic Carbon* (TOC) serta menghasilkan *pure water* dengan resistivitas tinggi. TOC yang tinggi dapat mempengaruhi kualitas air bersih karena mampu mengangkut material logam dan bahan kimia organik, serta menyebabkan perubahan warna, rasa, dan bau tidak sedap [9]. Sedangkan resistivitas merupakan kebalikan dari konduktivitas yang menunjukkan kemampuan air dalam menolak aliran arus listrik, sehingga semakin tinggi resistivitas maka semakin sedikit jumlah ion terlarut dalam air. Berdasarkan hasil penelitian oleh Wood dkk. [10,11], EDI mampu menghilangkan garam hingga lebih dari 99,5% dengan konduktivitas produk mencapai 1–18 $\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ dan *Total*

Organic Carbon (TOC) kurang dari 0,05 mg/L [10,11]. Selain itu, penelitian lain oleh Wang dkk. menunjukkan bahwa sistem gabungan RO dan EDI mampu menghasilkan *pure water* dengan resistivitas sebesar 12-18 mΩ.cm yang tetap stabil setelah dioperasikan selama 6 jam [11,12].

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, dilakukan penelitian untuk mengevaluasi kinerja sistem Elektrodeionisasi (EDI) dalam menghasilkan *pure water* dengan kualitas yang memenuhi standar CPOB. Evaluasi kinerja ditinjau dari nilai konduktivitas dan kadar silikat. Konduktivitas yang tinggi menunjukkan adanya ion terlarut dalam air, yang dapat mempengaruhi proses produksi dan kualitas produk akhir [13]. Sementara itu, kadar silikat yang berlebihan dapat menyebabkan pembentukan kerak dan korosi pada peralatan, yang akhirnya berdampak pada efisiensi operasional dan umur pakai peralatan [14]. Oleh karena itu, penting untuk memastikan bahwa sistem EDI efektif dalam menurunkan konduktivitas dan silikat. Evaluasi kinerja EDI dilakukan dengan menganalisis apakah terdapat perbedaan atau tidak antara aliran *inlet* dan *outlet* untuk menilai efektivitas proses pemurnian, yang disajikan dalam bentuk grafik dengan mengamati pola perubahan kinerja dari waktu ke waktu. Selain itu, persentase efisiensi dihitung untuk mengukur seberapa besar kemampuan EDI dalam mengurangi kontaminan. Analisis ini diperkuat dengan uji One-Way ANOVA untuk mengevaluasi efektivitas EDI dalam menghasilkan air berkualitas tinggi secara konsisten. Uji ini menggunakan hipotesis nol (H_0) yang menyatakan tidak ada perbedaan signifikan antara aliran *inlet* dan *outlet*, dan hipotesis alternatif (H_1) yang menyatakan sebaliknya. Hasil evaluasi ini diharapkan dapat memberikan informasi penting untuk pengembangan teknologi pengolahan air di industri farmasi. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja EDI dalam menurunkan kadar konduktivitas dan silikat pada *Water Treatment Plant* industri farmasi, serta mengukur efisiensi sistem dalam mencapai standar kualitas.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui 3 tahap yang dijelaskan secara singkat pada diagram alir berikut:



Gambar 3. Diagram alir metode penelitian

2.1. Tahap Awal

Tahap ini bertujuan untuk menentukan jenis dan cakupan data yang diperlukan dalam evaluasi kinerja EDI. Data yang dikumpulkan harus relevan dengan tujuan analisis, yaitu mengukur efisiensi sistem dan memastikan kualitas air yang dihasilkan sesuai dengan standar CPOB. Beberapa parameter utama yang perlu diperhatikan meliputi kadar konduktivitas dan silikat pada aliran *inlet* dan *outlet* sistem EDI. Dengan mengidentifikasi kebutuhan data secara jelas, proses pengumpulan dan analisis dapat dilakukan secara sistematis dan efektif.

2.2. Tahap Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dilakukan secara tidak langsung dengan menggunakan data sekunder hasil pengukuran industri. Setelah kebutuhan data ditetapkan, langkah selanjutnya adalah mengajukan permintaan resmi kepada pihak industri untuk memperoleh data operasional. Permintaan ini dapat dilakukan melalui surat, email, atau pertemuan langsung dengan tim operasional atau manajemen industri. Data yang dikumpulkan mencakup konduktivitas dan kadar silikat pada aliran *inlet* dan *outlet* sistem EDI, yang diperoleh dari catatan operasional serta pengukuran selama bulan Januari 2024.

Setelah data terkumpul, dilakukan verifikasi dan validasi untuk memastikan kelengkapan dan keakuratan informasi. Jika ditemukan ketidaksesuaian, data perlu dikonfirmasi ulang kepada pihak industri sebelum digunakan dalam analisis lebih lanjut. Pemilihan data sekunder ini bertujuan untuk memastikan bahwa informasi yang diperoleh terverifikasi dan tercatat dengan akurat sehingga dapat digunakan untuk evaluasi kinerja EDI. Adapun hasil pengukuran kadar konduktivitas dan silikat pada aliran *inlet* dan *outlet* sistem EDI dapat dilihat pada Tabel 2.

2.3. Tahap Pengolahan Data

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran aliran *inlet* dan *outlet* kemudian diolah untuk menganalisis kinerja sistem EDI dalam menurunkan kadar konduktivitas dan silikat. Proses pengolahan data dilakukan dengan membuat tren grafik yang memvisualisasikan perubahan kadar konduktivitas dan silikat pada kedua aliran *inlet* dan *outlet*. Grafik ini akan dibandingkan dengan batasan yang ditetapkan oleh CPOB, untuk memastikan apakah *pure water* yang dihasilkan memenuhi standar kualitas yang dibutuhkan.

2.4. Tahap Analisis Statistik Menggunakan ANOVA

Sebagai metode pendukung evaluasi kinerja EDI, digunakan *One-Way Analysis of Variance* (ANOVA) untuk menganalisis perbedaan signifikan antara hasil pengukuran konduktivitas dan silikat pada aliran *inlet* dan *outlet*. ANOVA membantu mengidentifikasi apakah variabel yang diuji mempengaruhi kinerja EDI dalam menurunkan kadar konduktivitas dan silikat. Proses dimulai dengan perumusan hipotesis, di mana hipotesis nol (H_0) menyatakan tidak ada perbedaan signifikan antara nilai parameter pada kedua titik pengukuran, sedangkan hipotesis alternatif (H_1) menyatakan ada perbedaan signifikan.

Tabel 2. Data kadar konduktivitas dan silikon pada sistem elektrodeionisasi (EDI) selama bulan Januari 2024

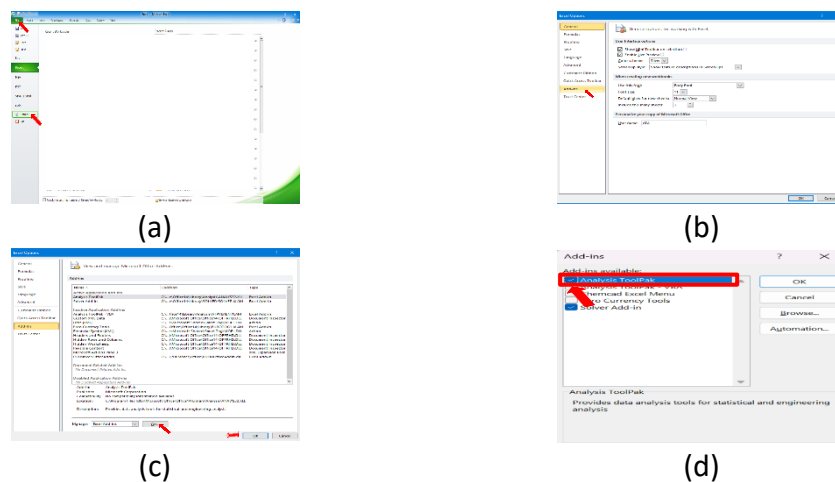
No.	Unit Elektrodeionisasi (EDI)			
	Cond ($\mu\text{S/cm}$)		Silikat (ppm)	
	IN	OUT	IN	OUT
1	8,90	1,00	1,30	0,64
2	10,50	0,70	1,26	0,32
3	9,10	0,90	1,26	0,32
4	9,00	0,70	1,30	0,00
5	13,70	1,00	1,30	0,30
6	13,70	1,00	1,30	0,30
7	8,60	0,90	1,30	0,30
8	9,40	0,90	1,30	0,30
9	8,80	1,00	1,30	0,64
10	8,40	0,70	1,26	0,64
11	7,70	0,90	1,26	0,32
12	9,00	0,80	1,30	0,00
13	7,00	0,90	2,10	0,00
14	8,60	0,90	1,30	0,30
15	9,20	0,80	1,30	0,30
16	7,00	0,80	2,10	0,00
17	14,00	0,70	2,10	0,00
18	8,30	0,90	1,26	0,21
19	7,40	0,90	1,26	0,64
20	7,00	0,70	2,10	0,00
21	8,80	0,90	1,26	0,21
22	8,30	0,80	1,30	0,32
23	8,80	1,00	1,30	0,32
24	5,00	0,90	1,30	0,00
25	5,10	0,80	0,64	0,21
26	4,90	0,80	0,64	0,21
27	6,00	0,70	1,30	0,00
28	5,00	0,80	1,30	0,00
29	6,60	0,80	1,30	0,30
30	13,60	0,90	1,30	0,30
31	5,00	0,90	1,30	0,00

Data yang terkumpul dianalisis dengan menghitung nilai F (*F-ratio*) atau F hitung, yang membandingkan varians antar kelompok dengan varians dalam kelompok. Hasil perhitungan F hitung dibandingkan dengan nilai kritis F atau F tabel pada tingkat signifikansi (α) 0,05. Jika nilai F hitung lebih besar dari nilai F tabel, maka H_0 ditolak sehingga terdapat perbedaan signifikan antara kelompok data. Sebaliknya, jika F hitung

lebih kecil, H_0 diterima, yang berarti tidak ada perbedaan signifikan.

Analisis ANOVA dilakukan menggunakan Microsoft Excel dengan prosedur sebagai berikut:

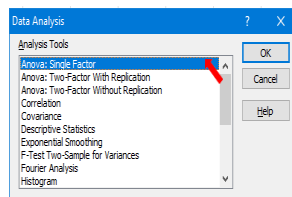
- 1). Membuka Microsoft Excel
- 2). Menyusun data dalam kolom, dengan setiap kolom mewakili kelompok yang berbeda.
- 3). Mengaktifkan Analysis Toolpak, jika belum aktif berikut langkah-langkahnya:
 - a. Memilih File, lalu klik Options
 - b. Memilih Add-in pada Jendela Excel Options
 - c. Pada bagian bawah, klik Manage lalu klik Excel Add-ins dan klik Go
 - d. Mencentang Analysis Toolpak saat jendela Add-ins muncul, lalu klik OK



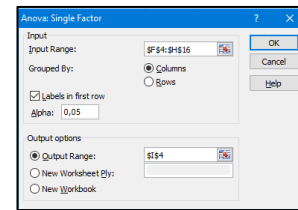
Gambar 4. Langkah-langkah mengaktifkan *analysis toolpak* pada microsoft excel, (a) pilih file (b) pilih add-in (c) pilih excel add-ins (d) pilih analysis toolpak

- 4). Prosedur penggunaan ANOVA *one-way* di excel dengan langkah-langkah berikut:
 - a. Memilih tab Data
 - b. Memilih Data Analysis
 - c. Memilih ANOVA : *Single Factor* lalu klik OK
 - d. Memasukkan *Input Range*
 - Memasukkan range data pada jendela ANOVA : *Single Factor*
 - Memilih *Grouped By: Column*
 - Mencentang *Labels in First Row*, jika kolom pertama berisi label (nama kelompok)





(c)



(d)

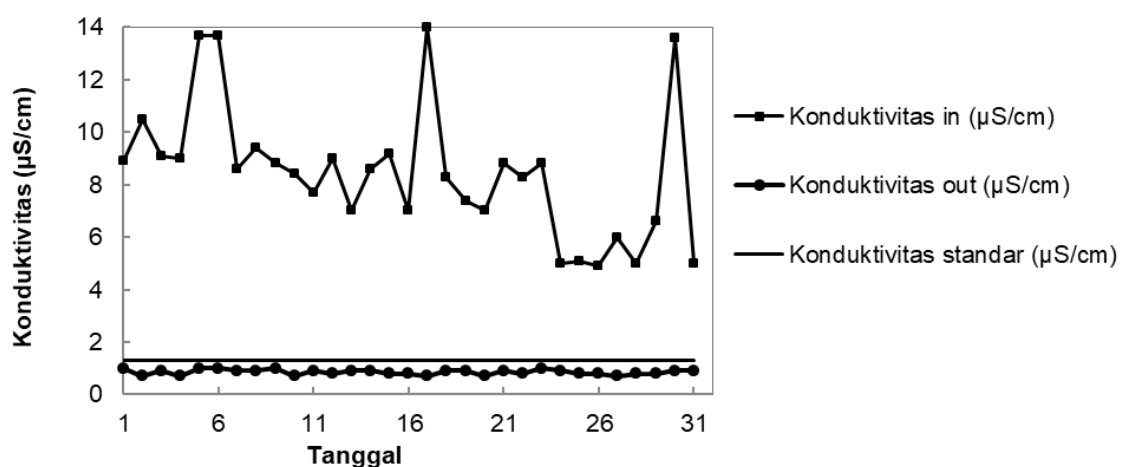
Gambar 5. Langkah-langkah menggunakan anova *one-way* di excel (a) pilih data (b) pilih data analysis (c) pilih anova sigle factor (d) isi input range

- 5). Memilih *Output Range* lalu klik OK. Menentukan sel tempat hasil ANOVA akan ditampilkan melalui *Output Options*
- 6). Interpretasi hasil: Excel akan menghasilkan tabel ANOVA yang terdiri dari beberapa bagian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Penurunan Kadar Konduktivitas pada Sistem Elektordeionisasi (EDI)

Nilai konduktivitas merupakan parameter penting dalam menentukan banyaknya ion terlarut dalam air, yang mempengaruhi kemampuan air untuk menghantarkan listrik [13]. *Purified Water* (PW) dikatakan berkualitas baik apabila memiliki konduktivitas rendah yang menandakan bahwa air tersebut sulit dalam menghantarkan listrik dan mengandung sedikit ion. Sebaliknya, konduktivitas yang tinggi atau melebihi batas standar baku mutu dapat menunjukkan adanya kontaminasi ion-ion terlarut yang dapat bereaksi dengan bahan baku dalam proses produksi sehingga akan menghasilkan produk sampingan yang tidak diinginkan. Produk sampingan ini dapat menurunkan kualitas produk utama, mengganggu efisiensi proses produksi, serta membahayakan keamanan produk yang dihasilkan. Oleh karena itu, pemantauan konduktivitas air sangat penting untuk memastikan kualitas air tetap terjaga sesuai standar, guna menjaga keamanan dan efektivitas produk yang dihasilkan.



Gambar 6. Grafik hubungan nilai konduktivitas pada aliran *inlet* dan *outlet* selama bulan Januari 2024

Gambar 6 menunjukkan grafik tren konduktivitas terhadap waktu selama periode 31 hari. Terlihat pola fluktuasi yang jelas antara nilai konduktivitas air masuk (*inlet*), konduktivitas air keluar (*outlet*), serta batas standar konduktivitas yang ditetapkan. Konduktivitas 'in' menggambarkan kualitas air sebelum proses pengolahan EDI, sedangkan konduktivitas 'out' menunjukkan kualitas air setelah proses pengolahan EDI. Nilai konduktivitas *inlet* menunjukkan fluktuasi yang cukup signifikan dengan puncak konduktivitas tertinggi terjadi pada 17 Januari 2024 yang mencapai 14 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Meskipun terjadi fluktuasi, sebagian besar tren grafik stabil yaitu pada kisaran konduktivitas 8–10 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Sebaliknya, konduktivitas *outlet* menunjukkan tren yang jauh lebih stabil dengan puncak terendah 0,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dan tertinggi 1,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Seluruh data konduktivitas *outlet* berada di bawah batas standar konduktivitas CPOB yaitu sebesar 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (ditandai dengan garis putus-putus). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sistem EDI telah mampu menurunkan kadar konduktivitas pada *pure water* sekaligus memenuhi persyaratan kualitas yang ditetapkan.

Selanjutnya dilakukan uji statistik menggunakan ANOVA untuk memperkuat kondisi tersebut. Hasil uji ANOVA menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara nilai konduktivitas sebelum (*inlet*) dan sesudah (*outlet*) proses EDI. Berdasarkan hasil ANOVA pada tabel 3, diperoleh nilai F hitung sebesar 273,765; jauh lebih besar dibandingkan nilai F tabel sebesar 4,001. Selain itu, nilai p-value yang dihasilkan adalah $4,91 \times 10^{-24}$; jauh lebih kecil dari tingkat signifikansi (α) sebesar 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa H_0 ditolak dan H_1 diterima, yang berarti terdapat perbedaan yang sangat signifikan secara statistik antara nilai konduktivitas *inlet* dan *outlet* proses EDI. Penolakan hipotesis nol (H_0) berdasarkan hasil tersebut menunjukkan bahwa kinerja EDI berpengaruh signifikan terhadap penurunan kadar konduktivitas air.

Tabel 3. Hasil ANOVA pada kadar konduktivitas

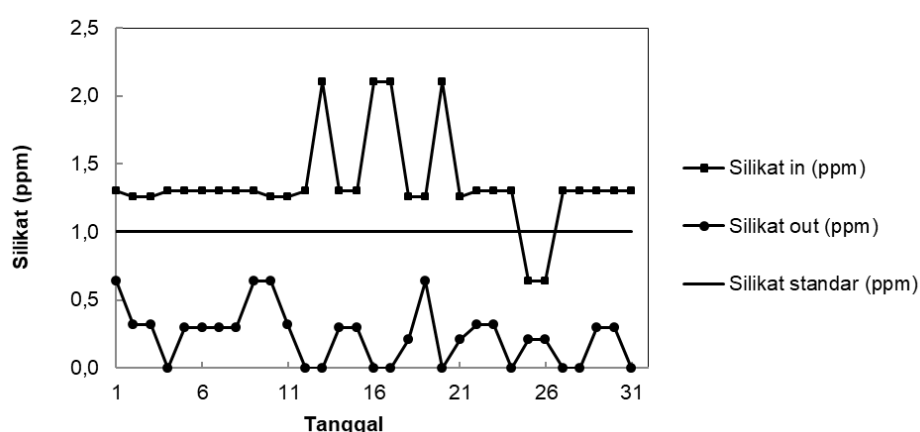
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
<i>Between Groups</i>	898,323	1	898,323	273,561	$5,03 \times 10^{-24}$	4,001
<i>Within Groups</i>	197,028	60	3,284			
Total	1095,351	61				

*Data didapatkan berdasarkan hasil perhitungan ANOVA

3.2. Analisis Penurunan Kadar Silikat pada Sistem Elektrodionisasi (EDI)

Silikat (SiO_2) merupakan mineral yang secara alami dapat larut atau tersuspensi dalam air, tergantung pada kondisi lingkungan seperti pH, suhu, dan konsentrasi ion lain di sekitarnya. Meskipun silica tidak bersifat beracun, keberadaannya dalam konsentrasi tinggi dapat menimbulkan berbagai masalah, terutama dalam sistem pengolahan air dan peralatan industri. Salah satu dampak utamanya adalah pembentukan kerak keras pada permukaan peralatan seperti boiler, heat exchanger, dan membran filter. Kerak ini dapat

menghambat transfer panas, meningkatkan konsumsi energi, serta menurunkan efisiensi operasional secara signifikan. Kondisi ini tidak hanya meningkatkan biaya perawatan dan operasional, tetapi juga berpotensi mengurangi umur pakai peralatan. Oleh karena itu, pengendalian kadar silikat dalam sistem pengolahan air sangat penting untuk menjaga kinerja optimal peralatan industri, mengurangi risiko kerusakan, serta memastikan efisiensi energi tetap terjaga [15].



Gambar 7. Grafik hubungan nilai silikat pada aliran *inlet* dan *outlet* sistem EDI pada bulan Januari 2024

Gambar 7 menunjukkan grafik tren silikat terhadap waktu selama periode 31 hari. Terlihat pola fluktuasi yang jelas antara nilai silikat air masuk (*inlet*), silikat air keluar (*outlet*), serta batas standar silikat yang ditetapkan. silikat 'in' menggambarkan kualitas air sebelum proses pengolahan EDI, sedangkan silikat 'out' menunjukkan kualitas air setelah proses pengolahan EDI. Berdasarkan data yang ditampilkan, kadar silikat *inlet* cenderung berada di atas batas standar 1 ppm, dengan nilai yang relatif stabil di awal dan akhir bulan, yaitu sekitar 1,3–1,4 ppm. Namun, terjadi fluktuasi signifikan di pertengahan bulan, di mana kadar silikat mencapai puncaknya sekitar 2,1 ppm. Sebaliknya, silikat *outlet* menunjukkan tren fluktuatif dengan puncak tertinggi 0,6 ppm. Seluruh data silikat *outlet* berada di bawah batas silikat standar CPOB yaitu sebesar 1 ppm (ditandai dengan garis putus-putu). Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem EDI telah mampu menurunkan kadar silikat pada *pure water* sekaligus memenuhi persyaratan kualitas yang ditetapkan.

Selanjutnya dilakukan uji statistik menggunakan ANOVA untuk memperkuat kondisi tersebut. Hasil uji ANOVA menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara nilai silikat sebelum (*inlet*) dan sesudah (*outlet*) proses EDI. Berdasarkan hasil ANOVA pada tabel 4, diperoleh nilai F hitung sebesar 273,561; jauh lebih besar dibandingkan nilai F tabel sebesar 4,001. Selain itu, nilai p-value yang dihasilkan adalah $5,03 \times 10^{-24}$; jauh lebih kecil dari tingkat signifikansi (α) sebesar 0,05. Hal ini berarti H_0 ditolak dan H_1 diterima, yang artinya terdapat perbedaan yang sangat signifikan secara statistik antara nilai silikat *inlet* dan *outlet* proses EDI. Penolakan hipotesis nol (H_0) berdasarkan hasil tersebut menunjukkan bahwa kinerja EDI berpengaruh signifikan terhadap penurunan kadar silikat air. Dengan penurunan kadar silikat, sistem EDI mampu mengurangi risiko

pembentukan kerak dan korosi pada peralatan yang diakibatkan oleh silikat berlebih.

Tabel 4. Hasil ANOVA pada kadar silikat

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
<i>Between Groups</i>	898,323	1	898,323	273,561	$5,03 \times 10^{-24}$	4,001
<i>Within Groups</i>	197,028	60	3,284			
Total	1095,351	61				

*Data didapatkan berdasarkan hasil perhitungan ANOVA

3.3. Analisis Perhitungan Persen Removal Efisiensi pada Unit *Elektrodeionisasi* (EDI)

Tabel 5. Nilai persen removal efisiensi terhadap penurunan kadar konduktivitas dan silikat

No	Parameter	%Removal
1	Konduktivitas	89,2%
2	Silikat	80,4%

Berdasarkan Tabel 5, diperoleh nilai efisiensi removal atau penurunan kadar konduktivitas dan silikat pada Unit EDI. Efisiensi penurunan kadar konduktivitas mencapai 89,2%. Nilai efisiensi penurunan konduktivitas yang tinggi menunjukkan bahwa sistem EDI sangat efektif dalam menghilangkan ion-ion terlarut di dalam air. Hal ini sesuai dengan prinsip kerja EDI yang mengandalkan kombinasi membran penukar ion, resin, dan medan listrik untuk memisahkan ion-ion bermuatan positif (kation) dan negatif (anion), sehingga menghasilkan air dengan kemurnian tinggi. Efisiensi sebesar 89,2% menunjukkan bahwa sebagian besar ion penghantar listrik telah berhasil dihilangkan, hal ini didukung dari hasil uji ANOVA yang menunjukkan penurunan signifikan pada kadar konduktivitas air. Sementara itu, efisiensi penurunan kadar silikat sebesar 80,4% juga menunjukkan kinerja EDI yang cukup baik dalam mengurangi konsentrasi silikat terlarut. Meskipun lebih rendah dibandingkan dengan konduktivitas, nilai ini tetap menunjukkan bahwa EDI mampu mengurangi risiko pembentukan kerak silika yang dapat merusak peralatan industri. Perbedaan efisiensi ini dapat disebabkan oleh karakteristik silikat yang lebih sulit dihilangkan dibandingkan ion-ion terlarut biasa, terutama jika berbentuk silika koloidal yang tidak bermuatan.

Di sisi lain, jika dibandingkan dengan tingkat kualitas *Purified Water* (PW) yang dihasilkan oleh unit EDI pada kondisi optimal, efisiensi removal ini masih berada di bawah standar. Umumnya, sistem EDI dirancang untuk mencapai efisiensi penurunan kadar kontaminan hingga 95% [16]. Efisiensi yang lebih rendah ini dapat mengindikasikan adanya potensi penurunan kinerja yang disebabkan oleh beberapa faktor, seperti penumpukan kerak pada membran, keausan resin penukar ion, fluktuasi arus listrik, atau kualitas air baku yang tidak konsisten. Berdasarkan sumber dari industri farmasi ini, unit EDI telah beroperasi selama kurang lebih 7 tahun, yang menunjukkan adanya kemungkinan penurunan kinerja akibat usia operasional. Faktor usia ini dapat mempengaruhi efisiensi kinerja karena degradasi komponen internal seperti membran

dan resin penukar ion. Oleh karena itu, untuk mencapai efisiensi optimal mendekati 95%, diperlukan evaluasi lebih lanjut terkait kondisi operasional sistem, seperti melakukan pemeliharaan rutin, pembersihan membran secara berkala, dan pengawasan terhadap parameter proses. Selain itu, peningkatan kualitas air baku sebelum masuk ke unit EDI, misalnya dengan optimasi proses pra-perlakuan (*pretreatment*), juga dapat berkontribusi pada peningkatan efisiensi removal.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa sistem EDI mampu menurunkan konduktivitas air hingga 89,2% dan kadar silikat sebesar 80,4%. Hasil uji statistik ANOVA menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara nilai konduktivitas dan silikat pada aliran inlet dan outlet, yang mengindikasikan bahwa EDI efektif dalam menghilangkan ion-ion terlarut yang berpotensi menyebabkan kontaminasi produk serta pembentukan kerak dan korosi pada peralatan proses. Meskipun kinerja sistem EDI menunjukkan hasil yang baik, efisiensinya masih sedikit di bawah standar optimal sebesar 95%, yang kemungkinan disebabkan oleh faktor usia unit atau kondisi operasi.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan pemantauan berkala terhadap parameter operasional seperti tegangan, arus, dan tekanan aliran, serta analisis lebih lanjut terhadap umur resin dan membran EDI. Selain itu, penelitian dapat diperluas dengan membandingkan kinerja EDI dengan teknologi pemurnian air lainnya guna memperoleh rekomendasi sistem yang paling efisien dan ekonomis.

REFERENSI

- [1] A. Hodin dan S. Rosimah, "Perencanaan Troubleshooting dan Jadwal Maintenance Mesin Remoin Multieffect Distiller PT . Sanbe Farma Unit 5," *Jurnal Tiarsie*, vol. 21, no. 1, hal. 27–34, 2024.
- [2] R. Kartono dan Y. T. Basuki, "Strategic of applying free chemical usage in purified water system for pharmaceutical industry toward CPOB (cara pembuatan obat yang baik) indonesia to reducing environmental pollution," *EPJ Web of Conferences*, vol. 68, hal. 1–7, 2014.
- [3] D. Rahmawati *dkk.*, "CPOB Sediaan Steril," *Calory Journal: Medical Labolatory Journal*, vol. 2, no. 4, hal. 01–07, 2024.
- [4] B. D. H. Pranoto, "Penilaian Risiko Pada Purified Water System (PWS) Menggunakan Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) Dan Fuzzy Prioritization Di Perusahaan Farmasi PT XYZ," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2021.
- [5] D. Priambodo, S. Alimah, dan E. Dewita, "Studi Banding Sistem Demineralisasi Air Pada PLTN OPR 1000 dan AP 1000," *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, vol. 11, no. 2, hal. 83–91, 2019.
- [6] M. Wirani, "EDI Pure Water: Solusi Cerdas untuk Bisnis Industri Modern," Artikel Indotara, 2025.
- [7] Mardika M, "Elektrodialisis dalam Produksi Asam Organik," 2016.
- [8] A. K. Wardani, "Teknologi Deionisasi untuk Produksi Air Murni," *Jurnal Teknologi Penghilangan Ion untuk Produksi Air Murni*, vol. 1, hal. 1–10, 2015.
- [9] A. Amalia, M. Mirwan, dan M. S. Farid, "Pengaruh Kombinasi Pretreatment Adsorpsi-

- Ultrafiltrasi Dalam Menyisihkan Total Organic Carbon,” *Jurnal Ilmiah Teknik lingkungan*, vol. 11, no. 2, hal. 68–72, 2019.
- [10] J. Wood, J. Gifford, J. Arba, dan M. Shaw, “Production of ultrapure water by continuous electrodeionization,” *Desalination*, vol. 250, no. 3, hal. 973–976, 2010.
- [11] A. Salsyabil, “Perkembangan Teknologi Deionisasi Air,” *Teknik Kimia ITB*, hal. 1–14, 2020.
- [12] J. Wang, S. Wang, dan M. Jin, “A study of the electrodeionization process — high-purity water production with a RO/EDI system,” *Desalination*, vol. 132, no. 1–3, hal. 349–352, 2000.
- [13] P. L. Toruan, B. Margareta, A. Jumarni, S. S. Pratiwi, dan A. Atina, “Pengaruh Temperatur Air Terhadap Konduktivitas Dan Total Dissolved Solid,” *Jurnal Kumparan Fisika*, vol. 6, no. 1, hal. 11–16, 2023.
- [14] P. A. Ibrahim dan A. N. Fajri, “Analisa Laju Pertumbuhan Silica pada Pipa Air Kondensat Scrubber Unit 5 di Industri Geothermal,” *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, vol. 1, no. 4, hal. 285–295, 2020.
- [15] W. Volara dan R. S. Nasution, “Uji Kualitas Air Boiler Pada Proses Pengolahan Kelapa Sawit Di Pt. X,” *Amina*, vol. 3, no. 1, hal. 24–25, 2021.
- [16] N. L. Hanna, “Kelayakan Teknologi Desalinasi sebagai Alternatif Penyediaan Air Minum Kota Surabaya (Studi Kasus: 50 Liter per detik),” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.