

STUDI EVALUATIF KINERJA FILTER PASCA *BACKWASH* BERDASARKAN PEMANTAUAN AIR DEMINERALISASI DI INDUSTRI PENYEDIA *STEAM*

Terisa Natalia dan Khalimatus Sa'diyah

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

terisanatalia5@gmail.com ; [khalimatus.s@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Perusahaan penyedia utilitas industri, khususnya yang berfokus pada penyediaan *steam* untuk proses produksi, menghadapi tantangan dalam menjaga kualitas air demineralisasi sebagai air umpan boiler dan HRSG. Salah satu unit penting dalam sistem pengolahan air adalah *dual media filter* (DMF) yang memerlukan proses *backwash* berkala guna mencegah penurunan efisiensi filtrasi akibat akumulasi partikel tersuspensi. Partikel tersebut meliputi lumpur halus, flok hasil koagulasi-flokulasi yang tidak terpisah sempurna, material organik alami, serta endapan anorganik seperti besi dan mangan teroksidasi. Akumulasi terjadi karena tingginya beban padatan pada air baku, kinerja *pretreatment* yang kurang optimal, serta operasi filtrasi yang berlangsung terus-menerus tanpa pembersihan. Studi ini bertujuan mengevaluasi efektivitas *backwash* terhadap perubahan kualitas air demineralisasi pada fasilitas *Water Treatment Plant*. Metodologi yang digunakan Adalah metode kuantitatif deskriptif dengan desain observasional longitudinal selama 15 hari, dengan pengamatan harian pada unit DMF sebelum dan sesudah *backwash*. Data diperoleh dari 30 titik pengukuran menggunakan instrumen laboratorium internal milik perusahaan berdasarkan ISO/IEC 17025, lalu dianalisis secara deskriptif untuk menghitung efektivitas perubahan parameter kualitas air. Hasil studi menunjukkan bahwa *backwash* meningkatkan *flowrate* sebesar 4% dan menurunkan *total hardness* sebesar 9%, sementara parameter lain seperti pH (7,1), TDS (257 ppm), konduktivitas (401,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$), dan kekeruhan (1 NTU) tetap stabil. Hasil ini menunjukkan bahwa *backwash* efektif meningkatkan efisiensi hidraulik tanpa mengganggu keseimbangan kimia air serta menjaga stabilitas kinerja sistem filtrasi dan kualitas air demineralisasi. Untuk mencapai efisiensi yang lebih optimal, perlu dilakukan peningkatan frekuensi dan durasi *backwash*, penerapan sistem pemantauan otomatis, evaluasi performa media filtrasi secara berkala, serta penguatan kompetensi teknis operator.

Kata kunci: *backwash, demineralisasi, dual media filter, kesadahan, kualitas air*

ABSTRACT

Industrial utility providers, particularly those specialising in the supply of steam for production processes, face challenges in maintaining the quality of demineralised water used as feedwater for boilers and HRSGs. One key component in the water treatment system is the *dual media filter* (DMF), which requires periodic *backwashing* to prevent a decline in filtration efficiency caused by the accumulation of suspended particles. These particles include fine sludge, flocs from coagulation-flocculation that have not separated completely, natural organic matter, and inorganic deposits such as oxidised iron and manganese. Accumulation occurs due to high solids loads in the raw water, sub-optimal *pretreatment* performance, and continuous filtration operations without cleaning. This study aims to evaluate the effectiveness of *backwashing* on changes in the quality of demineralised water at a *Water Treatment Plant* facility. The methodology employed was a descriptive quantitative method with a longitudinal observational design over 15 days, involving daily observations of the DMF unit before and after *backwashing*. Data were obtained from 30 measurement points using the company's internal laboratory instruments compliant with ISO/IEC 17025, and were analysed descriptively to calculate the effectiveness of changes in water quality

Corresponding author: Khalimatus Sa'diyah

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

E-mail: khalimatus.s@polinema.ac.id



parameters. The study results indicate that backwashing increased the flow rate by 4% and reduced total hardness by 9%, whilst other parameters such as pH (7.1), TDS (257 ppm), conductivity (401.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$), and turbidity (1 NTU) remained stable. These results indicate that backwashing effectively improves hydraulic efficiency without disrupting the chemical balance of the water, whilst maintaining the stability of the filtration system's performance and the quality of the demineralised water. To achieve more optimal efficiency, it is necessary to increase the frequency and duration of backwashing, implement an automatic monitoring system, conduct regular evaluations of the filtration media's performance, and enhance the technical competence of the operators.

Keywords: backwash, demineralization, dual media filter, hardness, water quality

1. PENDAHULUAN

Perusahaan penyediaan utilitas menjalankan peran strategis dalam memastikan kontinuitas operasional pabrik skala besar melalui penyediaan energi, uap (*steam*), air proses, dan layanan pemeliharaan sistem. Salah satu layanan yang paling vital adalah penyediaan air demineralisasi untuk unit boiler dan *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) di lingkungan industri berbasis uap [1]. Sistem ini membutuhkan air dengan kemurnian tinggi agar dapat mencegah korosi dan pembentukan kerak pada jaringan perpipaan dan peralatan bertekanan tinggi [2]. Untuk menjamin mutu air tersebut, perusahaan mengoperasikan sistem *Water Treatment Plant* (WTP) yang terdiri atas beberapa tahapan pengolahan seperti koagulasi, flokulasi, sedimentasi, dan filtrasi. Salah satu tahapan kritis dalam sistem ini adalah filtrasi awal menggunakan *Dual Media Filter* (DMF), yaitu unit dengan dua media berbeda, umumnya antrasit dan pasir silika, yang memungkinkan penyaringan lebih efektif sehingga partikel tersuspensi dapat tertahan secara optimal. Unit ini mampu mengurangi beban kontaminan yang masuk ke tahap demineralisasi lanjutan, sehingga menjaga kestabilan kualitas air pada proses berikutnya.

Efektivitas proses filtrasi dan performa sistem boiler telah dibuktikan melalui sejumlah studi terdahulu. Sebuah studi oleh Komorowska (2022) menemukan bahwa kerusakan pada jaringan pipa panas dan penurunan kinerja sistem boiler disebabkan oleh gangguan kualitas air [3]. Dengan demikian, pengendalian kualitas air menjadi aspek penting dalam manajemen sistem boiler industri [4]. Untuk mencapai kualitas air yang sesuai dengan kebutuhan operasional dilakukan filtrasi untuk menghilangkan mineral dan kontaminan lain dengan tujuan menghasilkan air demineralisasi yang sesuai secara fisik dan kimia [5, 6]. Unit *dual media filter* (DMF), dirancang untuk menyaring partikel tersuspensi dan bahan organik sebelum memasuki tahap lanjutan seperti pertukaran ion atau reverse osmosis. Larsen (2022) menegaskan bahwa DMF mampu menghilangkan 80–90% partikel padat, sehingga berkontribusi besar terhadap efisiensi sistem demineralisasi [7]. Namun, DMF bekerja dengan menyaring partikel melalui lapisan media filter sehingga partikel tersuspensi, lumpur, dan mikroorganisme tertahan di permukaan dan di dalam pori-pori media. Selama operasi berlangsung terus-menerus, partikel yang tertahan tersebut tidak langsung keluar, melainkan menumpuk di dalam media filter. Hal ini berpotensi menimbulkan peningkatan tekanan (*head loss*) dan menurunkan efisiensi filtrasi. Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan proses regenerasi media secara berkala melalui pencucian balik atau *backwash*.

Di industri penyedia steam, *backwash* merupakan proses penting untuk menjaga kinerja *Dual Media Filter* (DMF) dalam penyaringan air demineralisasi. Proses *backwash* dilakukan secara terjadwal harian untuk melepaskan kotoran yang menumpuk dalam media

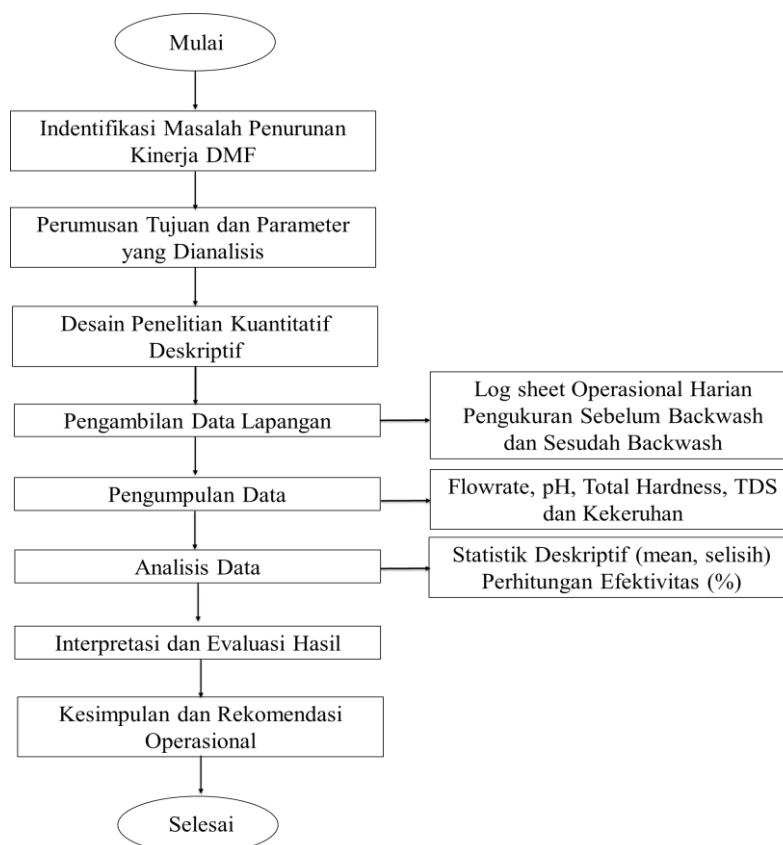
filter. Efektivitasnya ditentukan oleh durasi, kecepatan alir, dan konsistensi jadwal pelaksanaan. Jika tidak optimal, kotoran dapat terakumulasi dan menurunkan kualitas air hasil filtrasi, yang berpotensi mengganggu kestabilan sistem umpan boiler dan HRSG [8]. Studi oleh Kennedy (2020) menunjukkan bahwa *backwash* yang tidak terjadwal dengan baik berpotensi menurunkan kualitas air akibat pelepasan ulang partikel terperangkap [9]. Dengan demikian, keberhasilan proses *backwash* tidak hanya berdampak pada aspek hidraulik, tetapi juga memengaruhi parameter kualitas air demineralisasi.

Sistem industri modern saat ini menuntut pendekatan berbasis data untuk pemantauan kualitas air. Parameter seperti tekanan diferensial, kekeruhan, dan konduktivitas telah dipantau melalui sensor *real-time* dan sistem *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA). Parish (2020) menyatakan bahwa integrasi teknologi pemantauan otomatis dapat mempercepat deteksi penurunan kinerja filtrasi dan mengurangi ketergantungan terhadap intervensi manual [8]. Namun, meskipun proses *backwash* dilakukan secara rutin, evaluasi menyeluruh terhadap dampaknya terhadap parameter kimia air hasil filtrasi seperti pH, TDS, konduktivitas, dan total hardness masih jarang dilakukan. Ketidakteraturan distribusi aliran selama *backwash* atau ketidakefektifan pencucian dapat menghasilkan kualitas filtrasi yang tidak konsisten [10].

Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas proses *backwash* pada unit *dual media filter* di fasilitas pengolahan air industri penyedia steam dan energi. Evaluasi dilakukan dengan memantau perubahan lima parameter utama yaitu laju aliran (*flow rate*), derajat keasaman (pH), total kesadahan (*total hardness*), konduktivitas (*conductivity*), dan total zat padat terlarut (*Total Dissolved Solid*) sebelum dan sesudah proses *backwash*. *Flow rate* digunakan untuk menilai kapasitas aliran serta indikasi tingkat kejenuhan media. Parameter pH berhubungan dengan potensi korosif air. *Total hardness* menggambarkan konsentrasi kalsium dan magnesium, penyebab utama pembentukan kerak. *Conductivity* merepresentasikan jumlah ion-ion terlarut secara umum, sedangkan TDS mengindikasikan konsentrasi total zat padat terlarut yang mempengaruhi tingkat kemurnian air [11]. Diharapkan, hasil studi ini dapat memberikan kontribusi ilmiah dan praktis dalam pengembangan sistem pengolahan air berbasis data serta pengambilan keputusan teknis yang lebih presisi dalam manajemen sistem filtrasi di industri utilitas berbasis uap.

2. METODOLOGI STUDI

Studi ini dilakukan di *Unit Water Treatment Plant* (WTP) pada industri utilitas dan pembangkitan energi uap, dengan fokus pada unit demineralisasi tahap filtrasi menggunakan Dual Media Filter (DMF) sebagai penyedia air umpan untuk boiler dan HRSG. Pengambilan sampel dilakukan pada dua titik utama, yaitu pada inlet DMF (setelah proses sedimentasi) dan outlet DMF (setelah proses filtrasi). Diagram alir metodologi studi ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram alir metodologi studi

2.1 Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan secara eksperimental dengan pengukuran parameter kualitas air untuk mengevaluasi efektivitas proses *backwash* terhadap kinerja unit DMF. Sumber data meliputi: (1) data primer berupa hasil pengukuran langsung parameter kualitas air pada outlet DMF sebelum dan sesudah *backwash* dan (2) data sekunder berupa data kualitas air baku yang masuk ke unit DMF (*inlet*), yang diperoleh dari catatan operasional harian *Water Treatment Plant* (WTP) serta laporan monitoring kualitas air. Pengambilan data dilakukan selama periode dua minggu, yaitu 14-28 Oktober 2024. Data sekunder pada Tabel 1 merupakan kualitas air baku yang masuk ke unit DMF dan memberikan gambaran awal mengenai karakteristik air yang akan diproses dalam sistem filtrasi.

Table 1. Kualitas air baku

Parameter	Dimensi	Satuan
pH	7,5	-
Turbidity	5	NTU
Total Suspended Solids	35	ppm
Total Dissolved Solid	653	ppm
Conductivity	453	MicroSiemens/cm
Total Hardness	220	ppm as CaCO ₃
Warna	12,5	Pt-Co
Temperatur	20-32	Deg C
Calcium Hardness	220	ppm as CaCO ₃

2.2 Parameter dan Prosedur Pengukuran

Parameter yang diukur dalam studi ini mencakup parameter kimia (pH, *Total Dissolved Solid*, konduktivitas, dan total hardness) dan parameter fisika (*flowrate* dan turbidity). Pengambilan sampel dilakukan setiap hari dengan mengikuti prosedur uji yang berlaku di laboratorium pengolahan air internal bersertifikasi ISO/IEC 17025. Analisis pH menggunakan pH meter terkalibrasi, konduktivitas diukur dengan konduktometer, TDS dihitung berdasarkan nilai konduktivitas, *total hardness* dianalisis melalui metode titrasi EDTA, turbidity diukur menggunakan turbidimeter, dan *flowrate* dimonitor menggunakan flowmeter yang terpasang pada sistem.

2.3 Analisis Data

Data dianalisis menggunakan metode statistik deskriptif dengan menghitung nilai rata-rata setiap parameter kualitas air, seperti *flowrate*, pH, TDS, konduktivitas, kekeruhan, dan *total hardness*, baik sebelum dan sesudah *backwash* menggunakan Persamaan berikut:

$$\text{rata-rata} = \frac{\sum \text{nilai}}{n} \quad (1)$$

Keterangan:

n: jumlah pengukuran

$\sum \text{nilai}$ = total seluruh nilai parameter hasil pengukuran

Selanjutnya, efektivitas proses *backwash* terhadap perubahan parameter kualitas air dihitung menggunakan Persamaan berikut:

$$\text{Efektivitas} = \frac{(A-B)}{A} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

A: rerata nilai parameter sebelum *backwash*

B: rerata nilai parameter setelah *backwash*

Konversi TDS dilakukan terhadap parameter konduktivitas listrik menggunakan pendekatan linier sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan berikut:

$$\text{TDS} = k \times \text{Conductivity} \quad (3)$$

Keterangan:

k: faktor konversi yang berkisar antara 0,5 hingga 0,7, tergantung pada karakteristik kimia air, seperti jenis ion terlarut, suhu, dan kekuatan ionik. Dalam studi ini, digunakan nilai konversi 0,64, yang merupakan nilai tengah umum dan sering dipakai dalam analisis air berkarakteristik netral atau domestik [12].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Studi ini dilaksanakan melalui pengamatan kualitas air selama 15 hari pada unit *Dual Media Filter* (DMF), dengan membandingkan kondisi sebelum dan sesudah proses *backwash*. Pengambilan data dilakukan pada periode 14-28 Oktober 2024, mencakup parameter *flowrate*, pH, *total hardness*, kekeruhan, *total dissolved solid* (TDS), dan konduktivitas.

Data hasil pengamatan kualitas air sebelum dan sesudah proses *backwash* disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3, sedangkan hasil pengolahan data berupa nilai rata-rata dan

efektivitas setiap parameter dirangkum pada Tabel 4. Data tersebut digunakan sebagai dasar untuk mengevaluasi perubahan kualitas air setelah proses *backwash* pada masing-masing parameter. Pengaruh *backwash* terhadap parameter kimia, yaitu nilai pH, dianalisis berdasarkan hasil pengamatan sebelum dan sesudah proses *backwash*.

Tabel 2. Hasil pengamatan kualitas air unit DMF sebelum proses *backwash*

No	Tanggal	Flow (m ³ /jam)	pH	Total Hardness (ppm as CaCO ₃)	Kekeruhan (NTU)	TDS (ppm)	Conductivity (μS/cm)
1	14/10/24	99.7	7.02	180	1	278	435
2	15/10/24	110	6.98	168	1	265	414
3	16/10/24	105	7.03	162	1	264	412
4	17/10/24	112.3	7.11	158	1	266	415
5	18/10/24	118	7.25	170	1	255	399
6	19/10/24	110	7.06	178	1	255	399
7	20/10/24	110	7.04	174	1	250	390
8	21/10/24	116	7.19	164	1	264	412
9	22/10/24	113	7.10	172	1	255	398
10	23/10/24	110	7.11	180	1	248	388
11	24/10/24	115	7.08	182	1	259	405
12	25/10/24	104	7.12	196	1	247	386
13	26/10/24	110	7.14	188	1	243	380
14	27/10/24	112	7.20	180	1	250	391
15	28/10/24	109	7.10	190	1	249	389

Tabel 3. Hasil pengamatan kualitas air unit DMF setelah proses *backwash*

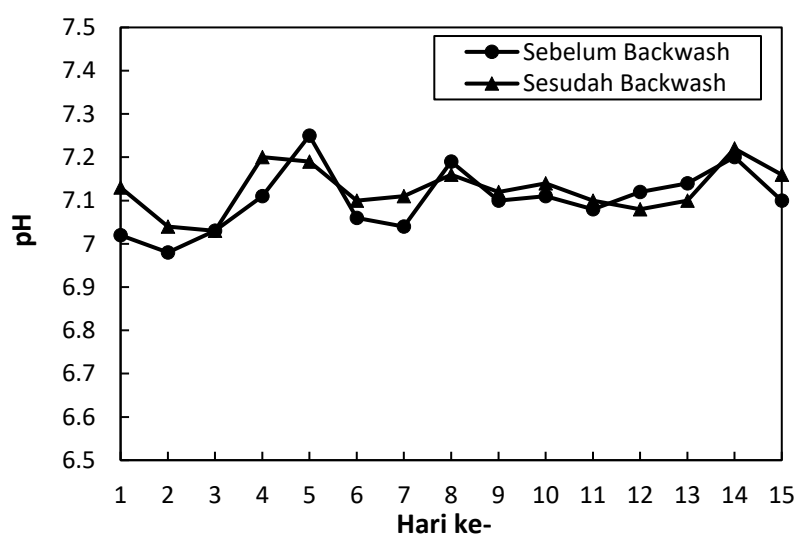
No	Tanggal	Flow (m ³ /jam)	pH	Total Hardness (ppm as CaCO ₃)	Kekeruhan (NTU)	TDS (ppm)	Conductivity (μS/cm)
1	14/10/24	111.3	7.13	144	1	268	419
2	15/10/24	119	7.04	150	1	267	417
3	16/10/24	110	7.03	160	1	265	414
4	17/10/24	116.2	7.20	158	1	264	413
5	18/10/24	108	7.19	176	1	256	400
6	19/10/24	111	7.10	168	1	257	401
7	20/10/24	116	7.11	166	1	255	398
8	21/10/24	120	7.16	160	1	251	392
9	22/10/24	114.7	7.12	152	1	255	399
10	23/10/24	118.2	7.14	164	1	253	395
11	24/10/24	116.8	7.10	160	1	253	396
12	25/10/24	115.6	7.08	150	1	252	393
13	26/10/24	115	7.10	152	1	253	396
14	27/10/24	118	7.22	164	1	250	391
15	28/10/24	116	7.16	176	1	257	402

Sementara itu, berdasarkan data pengamatan diperoleh bahwa hasil perhitungan nilai rata-rata parameter kualitas air sebelum dan sesudah proses *backwash* serta nilai efektivitasnya disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan rata-rata parameter dan nilai efektivitas

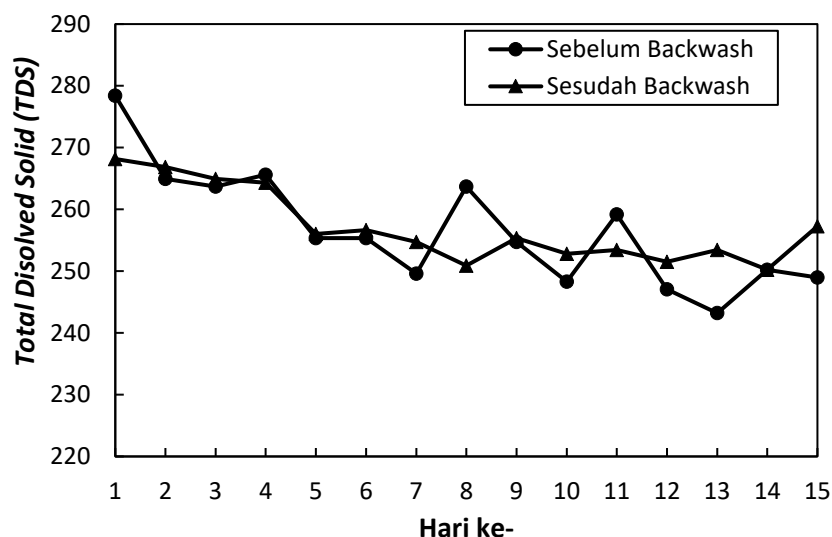
No	Parameter Uji	Satuan	Rerata (Sebelum <i>Backwash</i>)	Rerata (Setelah <i>Backwash</i>)	Efektivitas (%)
1	Flowrate	m ³ /jam	110,26	115,05	4
2	pH	-	7,1	7,1	0
3	Total Hardness	ppm as CaCO ₃	176,13	160	9
4	Total Dissolved Solid (TDS)	ppm	257	257	0
5	Konduktivitas	μS/cm	400,9	401,7	0

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa nilai pH air sebelum *backwash* berkisar antara 6,98-7,25, sedangkan setelah *backwash* berkisar antara 7,03-7,22. Fluktuasi nilai pH sebelum dan sesudah proses *backwash* tersebut dapat dilihat pada Gambar 2. Meskipun terjadi fluktuasi nilai pH dalam rentang tersebut, rerata nilai pH baik sebelum maupun sesudah *backwash* tetap sama yaitu 7,1. Menunjukkan bahwa proses *backwash* mampu mempertahankan pH dalam kondisi normal. Stabilitas pH selama proses *backwash* yang menunjukkan bahwa bahan organik atau polutan yang terperangkap di media filter sebagian besar bersifat netral dan tidak melepaskan ion H⁺ atau OH⁻ ke dalam air [13]. Tujuan utama *backwash* adalah membersihkan media filter dari partikel fisik, bukan mengubah parameter kimia air. Oleh karena itu, stabilitas pH selama proses ini merupakan hal yang normal dan diharapkan. Nilai pH yang tetap dalam kisaran 7,1 (netral) menunjukkan bahwa kualitas air setelah proses *backwash* masih sesuai dengan standar untuk berbagai penggunaan. Perubahan kecil pada nilai pH (0,1-0,2 unit) setelah *backwash* memberikan kontribusi positif terhadap stabilitas kimia air di instalasi pengolahan air. Dalam studi ini, fluktuasi pH yang terjadi masih dalam kisaran normal dan tidak signifikan.

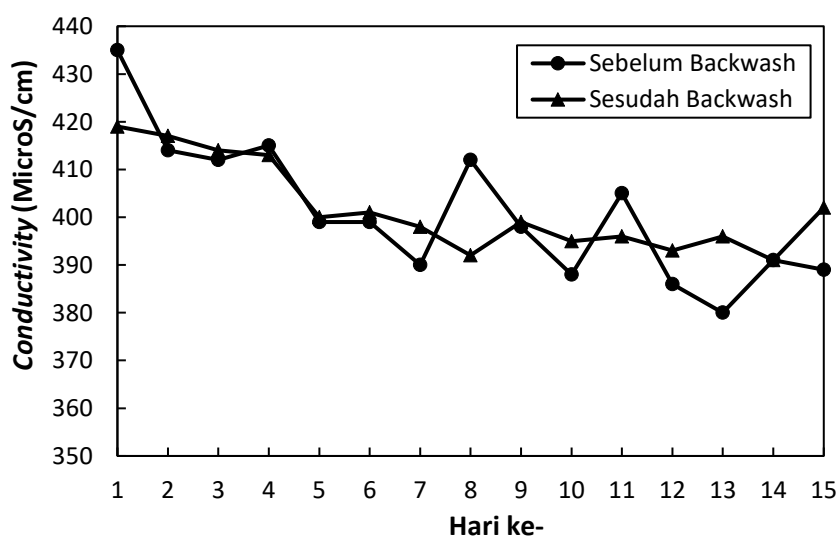


Gambar 2. Grafik pH sebelum dan setelah proses *backwash*

Pengaruh *backwash* terhadap nilai TDS dalam studi ini ditunjukkan pada Gambar 3. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa nilai TDS sebelum *backwash* berkisar antara 243-278 ppm, sedangkan setelah *backwash* berkisar antara 250-268 ppm. Rerata TDS sebelum dan sesudah *backwash* sama yaitu 257 ppm, dengan efektivitas 0%. Meskipun tidak ada perubahan signifikan pada nilai rata-rata TDS, terdapat kecenderungan penurunan nilai TDS pada awal pengamatan, dari 278 ppm sebelum *backwash* menjadi 268 ppm setelah *backwash*. Nilai TDS yang relatif stabil menunjukkan bahwa proses *backwash* tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kandungan zat terlarut dalam air. Nilai TDS dalam rentang 250-270 ppm mengindikasikan sistem berjalan dalam kapasitas yang masih dapat diterima untuk aplikasi industri tertentu. Stabilitas nilai TDS selama proses *backwash* juga dapat disebabkan oleh karakteristik media filter yang lebih efektif dalam menyaring partikel tersuspensi daripada mengurangi kandungan zat terlarut.



Gambar 3. Grafik TDS sebelum dan setelah proses *backwash*

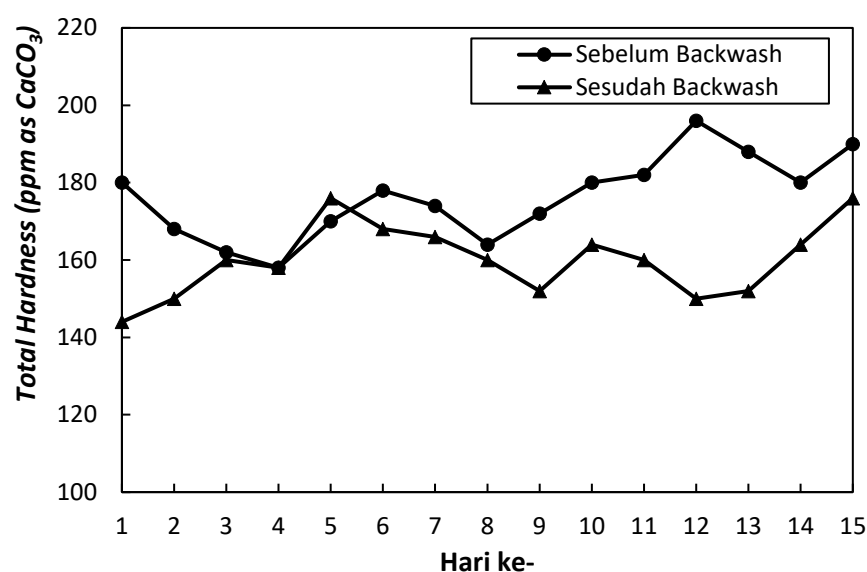


Gambar 4. Grafik conductivity sebelum dan setelah proses *backwash*

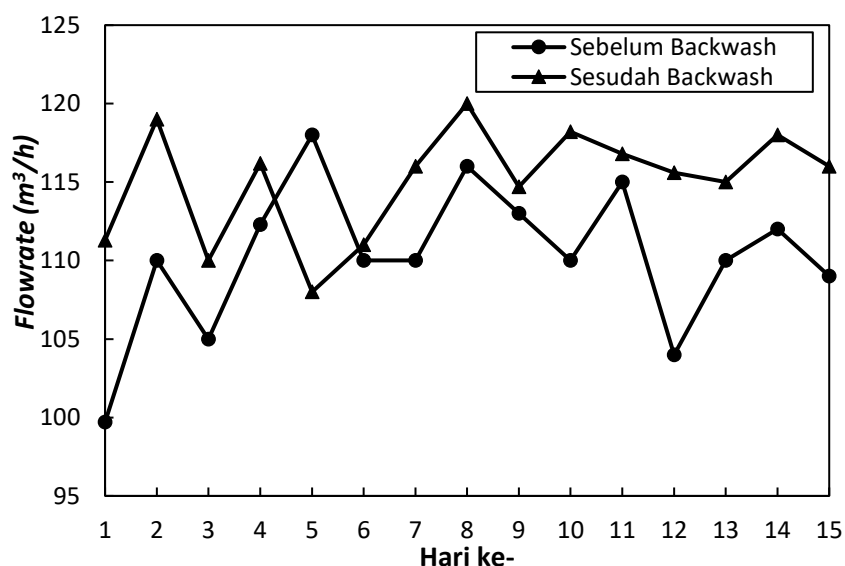
Pengaruh *backwash* terhadap nilai *conductivity* dalam studi ini ditunjukkan pada Gambar 4. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa nilai konduktivitas sebelum *backwash* berkisar antara 380-435 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sedangkan setelah *backwash* berkisar antara 391-419 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Rerata konduktivitas sebelum *backwash* adalah 400,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dan setelah *backwash* adalah 401,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$, dengan efektivitas 0%. Nilai konduktivitas yang relatif stabil ini sejalan dengan nilai TDS yang juga tidak mengalami perubahan signifikan. Korelasi antara nilai TDS dan konduktivitas yang ditunjukkan dalam studi ini sesuai dengan konsep bahwa konduktivitas merupakan representasi tidak langsung dari TDS. Hubungan antara TDS dan konduktivitas dapat dinyatakan dalam Persamaan (3).

Studi oleh Thirumalini dan Joseph (2009) memperkuat hal ini, dengan menunjukkan korelasi linier yang sangat kuat ($R^2 = 0.97$) antara TDS dan EC pada sampel air permukaan di lingkungan tropis. Mereka menetapkan nilai konversi k sebesar 0,64, dan menyimpulkan bahwa estimasi TDS melalui EC sangat akurat apabila jenis ion dominan tidak berubah secara signifikan. Ini paralel dengan temuan dalam studi ini, di mana sistem DMF mempertahankan kestabilan komposisi ionik selama proses *backwash* [14]. Selain itu, studi Kumar (2023) dalam ulasannya menekankan bahwa hubungan TDS–EC sangat dipengaruhi oleh suhu air dan jenis ion, namun tetap konsisten dalam sistem yang tidak mengalami gangguan eksternal. Mereka mencatat bahwa peningkatan suhu dapat meningkatkan EC tanpa mempengaruhi TDS secara langsung, sehingga koreksi suhu menjadi penting saat mengaplikasikan persamaan konversi ini. Dalam studi ini, suhu dijaga konstan, sehingga validitas hubungan antara EC dan TDS semakin diperkuat [15]. Dalam studi ini, stabilitas nilai konduktivitas selama proses *backwash* juga dapat dijelaskan dengan teori yang sama dengan TDS, yaitu bahwa proses *backwash* pada media filter DMF lebih efektif dalam menyaring partikel tersuspensi daripada mengurangi kandungan ion terlarut yang berkontribusi terhadap nilai konduktivitas.

Pengaruh *backwash* terhadap nilai *total hardness* dalam studi ini ditunjukkan pada Gambar 5. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa nilai *total hardness* sebelum *backwash* berkisar antara 158-196 ppm as CaCO_3 , sedangkan setelah *backwash* berkisar antara 144-176 ppm as CaCO_3 . Rerata *total hardness* sebelum *backwash* adalah 176,13 ppm as CaCO_3 dan setelah *backwash* adalah 160 ppm as CaCO_3 , dengan efektivitas 9%. Nilai efektivitas yang positif ini menunjukkan bahwa proses *backwash* memberikan pengaruh signifikan dalam mengurangi kesadahan air. Penurunan *total hardness* setelah *backwash* dapat disebabkan oleh terlepasnya akumulasi ion-ion penyebab kesadahan (terutama Ca^{2+} dan Mg^{2+}) dari media filter selama proses *backwash*. Proses *backwash* dapat menghilangkan akumulasi material terlarut, termasuk ion-ion penyebab kesadahan, dari media filtrasi, sehingga menurunkan nilai *total hardness* dalam air [16]. Efektivitas penurunan *total hardness* sebesar 9% dalam studi ini berada dalam rentang normal. Efektivitas *backwash* dalam menurunkan kesadahan air biasanya berkisar antara 5-20%, tergantung pada jenis media filtrasi dan kualitas air baku [10]. Nilai efektivitas 9% menunjukkan bahwa proses *backwash* cukup efektif dalam mengurangi kesadahan air, meskipun masih memerlukan pemantauan dan optimasi lebih lanjut. Dalam studi eksperimental pada sistem sand filter, mereka mencatat bahwa kandungan total hardness ($\text{Ca} + \text{Mg}$) dalam air mengalami penurunan setelah *backwash*, meskipun tidak sebesar parameter seperti turbidity. Studi ini melaporkan efektivitas berkisar 10–15%, tergantung intensitas pencucian dan waktu pemakaian filter sebelumnya [17].



Gambar 5. Grafik *total hardness* sebelum dan setelah proses *backwash*



Gambar 6. Grafik *flowrate* sebelum dan setelah proses *backwash*

Pengaruh *backwash* terhadap nilai *flowrate* dalam studi ini ditunjukkan pada Gambar 6. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa nilai *flowrate* sebelum *backwash* berkisar antara 99,7-118 m³/h, sedangkan setelah *backwash* berkisar antara 108-120 m³/h. Rerata *flowrate* sebelum *backwash* adalah 110,26 m³/h dan setelah *backwash* adalah 115,05 m³/h, dengan efektivitas 4%. Nilai efektivitas yang positif ini menunjukkan bahwa proses *backwash* memberikan pengaruh signifikan dalam meningkatkan kapasitas aliran air melalui media filter. Peningkatan *flowrate* setelah *backwash* dapat dijelaskan oleh berkurangnya resistensi aliran akibat terlepasnya partikel-partikel tersuspensi dan endapan dari media filter selama proses *backwash*. Endapan pada media filtrasi dapat mengurangi kapasitas aliran air, proses *backwash* membantu membersihkan media filter dari akumulasi kotoran, yang kemudian meningkatkan *flowrate* [18]. Efektivitas peningkatan *flowrate* sebesar 4% dalam studi ini berada dalam rentang normal. Peningkatan efektivitas pada sistem filtrasi konvensional

biasanya berkisar antara 3-10%, tergantung pada kualitas air baku, desain sistem, dan frekuensi *backwash*. Nilai efektivitas 4% menunjukkan bahwa proses *backwash* cukup efektif dalam meningkatkan kapasitas aliran air, meskipun masih ada ruang untuk optimasi lebih lanjut. Dalam sistem multimedia filter, ditemukan bahwa peningkatan flowrate setelah *backwash* mencapai hingga 12% bila proses dilakukan hingga kondisi media terfluidisasi sempurna. Mereka menyimpulkan bahwa keberhasilan ini terutama disebabkan oleh pelepasan partikel halus dan lumpur halus yang menyumbat media bagian bawah [19].

Sedangkan pada hasil pengamatan nilai kekeruhan baik sebelum maupun sesudah *backwash* konsisten pada nilai 1 NTU. Stabilitas nilai kekeruhan ini menunjukkan bahwa proses *backwash* tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kejernihan air. Nilai kekeruhan yang tetap rendah (1 NTU) setelah *backwash* menunjukkan bahwa proses *backwash* tidak menyebabkan peningkatan kekeruhan, yang merupakan indikasi bahwa sistem *backwash* dirancang dengan baik. Stabilitas nilai kekeruhan selama proses *backwash* dapat mengindikasikan bahwa partikel tersuspensi yang terlepas selama *backwash* tidak kembali masuk ke aliran air bersih [20]. Nilai kekeruhan yang tetap rendah juga menunjukkan bahwa media filter masih berfungsi secara optimal dalam menyaring partikel tersuspensi. Pentingnya pemantauan berkala dan kalibrasi alat ukur kekeruhan untuk memastikan konsistensi kualitas air, karena dalam jangka panjang, media filtrasi dapat mengalami degradasi meskipun nilai kekeruhan terlihat tetap rendah.

Berdasarkan hasil pengamatan dan analisis, beberapa rekomendasi dapat diajukan untuk meningkatkan efektivitas proses *backwash*:

1. Optimasi Frekuensi dan Durasi Backwash

Optimasi durasi dan frekuensi *backwash* dapat meningkatkan kemampuan media filter dalam menjaga kualitas air hasil, meskipun diikuti oleh peningkatan konsumsi air dan energi [21] [22]. Dalam studi ini, frekuensi *backwash* adalah satu kali per hari dengan efektivitas pengurangan total hardness sebesar 9%. Jika frekuensi ditingkatkan menjadi dua kali per hari, berdasarkan perhitungan estimatif dengan pendekatan proporsional berbasis data aktual, efektivitas dapat meningkat hingga sekitar 18,3%. Peningkatan frekuensi *backwash* dapat mencegah akumulasi partikel keras pada media filter, sehingga filter tetap berfungsi optimal sepanjang waktu. Namun, peningkatan frekuensi *backwash* juga akan meningkatkan konsumsi air dan energi. Alternatif lain adalah memperpanjang durasi *backwash*. Penambahan durasi *backwash* hingga 20-30% dari durasi standar dapat meningkatkan efektivitas penghilangan total hardness hingga 10%. Dengan memperpanjang waktu *backwash*, lebih banyak partikel keras dan endapan dapat terlepas dari media filter, sehingga media filter dapat menyerap ion-ion baru dengan lebih baik selama siklus operasi berikutnya. Hasil studi terdahulu menunjukkan bahwa peningkatan durasi *backwash* yang ditingkatkan dari 5 menit menjadi 10 menit dapat menurunkan total hardness rata-rata sebesar 8-12% [23]. Berdasarkan estimasi menggunakan pendekatan proporsional yang mengacu pada tren tersebut, efektivitas bisa meningkat dari 9% menjadi 11-13% [24].

2. Implementasi Teknologi Pemantauan Otomatis

Implementasi teknologi pemantauan otomatis dapat membantu dalam mengawasi parameter kualitas air selama proses *backwash* [25]. Sistem kendali otomatis seperti *Programmable Logic Controller* (PLC) atau *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA), serta antarmuka digital berbasis web atau IoT. Teknologi ini memungkinkan pemantauan

parameter kualitas air secara *real-time*, baik selama proses penyaringan maupun saat *backwash* berlangsung. Dengan menggunakan sensor-sensor seperti turbidity, konduktivitas, tekanan diferensial, suhu, dan TDS, sistem dapat mendeteksi kapan media filter mulai mengalami kejenuhan akibat akumulasi partikel tersuspensi. Ketika nilai-nilai parameter ini melebihi ambang batas yang telah ditentukan, sistem otomatis akan mengaktifkan proses *backwash* tanpa perlu intervensi manual dari operator.

Skenario kerja dari sistem ini dimulai dari proses pengukuran yang dilakukan secara terus-menerus oleh sensor. Data yang dikumpulkan kemudian dianalisis oleh sistem pengendali. Jika terdeteksi bahwa kualitas air menurun atau tekanan diferensial meningkat, sistem akan memicu pembukaan katup *backwash* dan mengoperasikan pompa untuk menjalankan proses pencucian media filter. Setelah proses *backwash* selesai, sistem kembali memantau hasil air untuk memastikan kualitasnya sudah kembali pada standar. Jika belum, sistem dapat melakukan siklus tambahan secara otomatis. Seluruh aktivitas ini juga tercatat dalam sistem dan dapat dipantau oleh operator melalui dasbor digital yang menampilkan data historis maupun kondisi saat ini. Hal ini diperkuat oleh studi Ibrahim dan Asnawi (2018) yang mengembangkan sistem berbasis IoT untuk memantau kekeruhan air dan memicu proses *backwash* otomatis saat nilai turbidity melebihi ambang batas [26]. Demikian pula, Benjamin (2025) menunjukkan bagaimana integrasi SCADA dan PLC dalam sistem penyaringan air dapat mengatur logika kerja *backwash* secara otomatis berdasarkan data tekanan dan konduktivitas [27]. Boivin (2022) menambahkan bahwa sistem otomatis berbasis sensor mampu mengevaluasi efektivitas filtrasi dan mengatur frekuensi *backwash* agar lebih hemat energi dan air [28]. Teknologi ini juga mengurangi risiko *human error*.

3. Evaluasi Berkala Performa Media Filtrasi

Evaluasi berkala terhadap performa media filtrasi dan sistem *backwash* perlu dilakukan untuk memastikan bahwa keduanya bekerja secara optimal. Penurunan performa media filter sering terjadi setelah 6-12 bulan operasi, terutama pada sistem yang menangani air dengan kandungan zat padat terlarut yang tinggi [29]. Oleh karena itu, evaluasi rutin serta penggantian media filter yang sudah aus menjadi langkah penting untuk menjaga efektivitas.

4. Pelatihan Operator

Pelatihan operator dalam memahami prosedur dan parameter operasional yang tepat sangat penting untuk meningkatkan efektivitas proses *backwash*. Operator yang memahami parameter operasional seperti tekanan, durasi, dan alur proses *backwash* mampu meningkatkan efektivitas sistem hingga 15% dibandingkan dengan operator yang hanya mengandalkan manual instruksi tanpa pelatihan mendalam [30]. Pelatihan yang dimaksud tidak sekadar pengulangan SOP, tetapi lebih mengarah pada program pembelajaran teknis seperti yang dikenal dalam beberapa lembaga pelatihan dengan judul "*Advanced Filter Operation and Maintenance Training for Water Treatment Operators*" atau "*Backwash Optimization and Troubleshooting Workshop*". Pelatihan ini juga meningkatkan kemampuan operator untuk mendeteksi masalah operasional sejak dini. Ghernaout (2018) dalam studinya mencatat bahwa peningkatan efektivitas kerja operator pasca pelatihan berdampak langsung pada penurunan konsumsi air selama *backwash* dan peningkatan kestabilan kualitas air hasil [31].

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil studi menunjukkan bahwa proses *backwash* pada unit *Dual Media Filter* (DMF) berkontribusi terhadap peningkatan kinerja sistem filtrasi dalam produksi air demineralisasi. Parameter *flowrate* mengalami peningkatan sebesar 4%, sedangkan *total hardness* menurun sebesar 9% setelah proses *backwash*. Sementara itu, parameter lain seperti pH, TDS, konduktivitas, dan kekeruhan menunjukkan kestabilan nilai sebelum dan sesudah *backwash*, menandakan bahwa proses tersebut tidak mengganggu kestabilan kimia air hasil. Hal ini mengindikasikan bahwa *backwash* efektif dalam mengurangi akumulasi partikel tersuspensi dan ion penyebab kesadahan tanpa mempengaruhi kualitas parameter lainnya secara signifikan.

Oleh karena itu, optimalisasi durasi dan frekuensi *backwash*, integrasi teknologi pemantauan otomatis, serta peningkatan kapasitas operator melalui pelatihan teknis sangat disarankan untuk meningkatkan efektivitasnya. Strategi ini dapat memperkuat keberlanjutan sistem pengolahan air demineralisasi dalam memenuhi spesifikasi kualitas industri.

REFERENSI

- [1] W. Volara dan R. S. Nasution, "Uji Kualitas Air Boiler Pada Proses Pengolahan Kelapa Sawit Di Pt. X," *Amina*, vol. 3, no. 1, hal. 24–28, 2022.
- [2] D. D. S. Putri dan A. Purnomo, "Kajian Instalasi Pengolahan Air Demineralisasi dari Nalco Water An Ecolab Company," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 12, no. 2, hal. 123–128, 2023.
- [3] M. Komorowska-Kaufman dan M. Toczek, "*Recirculation of Backwash Water in the Water Treatment Plant for the Needs of the Combined Heat and Power Plant*," *Journal of Ecological Engineering*, vol. 23, no. 11, hal. 41–48, 2022.
- [4] N. Nuryoto, R. Hartono, dan R. Rahmayetty, "Pengolahan Air Menggunakan Proses Demineralisasi dengan Memanfaatkan Resin Penukar Ion: Studi Pengaruh Laju Alir dan Tinggi Resin," *Jurnal Ilmu Lingkungan*, vol. 22, no. 2, hal. 393–400, 2024.
- [5] D. Novita Sari dan A. Rahmayanti, "Artikel Kerja Praktek Teknik Lingkungan Dinamika Implementasi Sistem Instalasi Pengolahan Air Bersih: Studi Kasus Perumda Delta Tirta Sidoarjo," *Kerja Praktek Teknik Lingkungan*, vol. 1, no. 1, hal. 11–25, 2024.
- [6] M. C. Razali, N. A. Wahab, N. Sunar, dan N. H. Shamsudin, "Existing Filtration Treatment on Drinking Water Process and Concerns Issues," *Membranes (Basel)*, vol. 13, no. 3, hal. 1–29, 2023.
- [7] D. Larsen, "An Evaluation of Energy Consumption Comparing Conventional Water Treatment Plants to Microfiltration and Ultrafiltration Water Treatment Plants," 2022.
- [8] G. Kennedy, "Petra Nova W.A. Parish Post-Combustion CO₂ Capture and Sequestration Demonstration Project," *National Energy Technology Laboratory*, hal. 12, 2020.
- [9] K. Mashamaite, "A demineralised water audit within coal power plants for sustainable management," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 11, no. 1, hal. 1–14, 2023.
- [10] S. Mirelda Sari dan R. Rinawati, "Analisis Pengaruh Backwash Terhadap Pengolahan Air Bersih Di Water Treatment Plant (Wtp) 1 PDAM Way Rilau Bandar Lampung," *Analit:Analytical and Environmental Chemistry*, vol. 6, no. 02, hal. 198–208, 2021.
- [11] F. A. Pasaribu, I. Apriani, dan K. P. Utomo, "Penentuan Unit Operasi dan Proses Berdasarkan Kualitas Air Baku di Sungai Landak Kecamatan Kuala Behe," *Jurnal Ilmu Lingkungan*, vol. 21, no. 1, hal. 187–199, 2023.

- [12] E. Hubert dan C. Wolkersdorfer, "Establishing a conversion factor between electrical conductivity and total dissolved solids in South African mine waters," *Water SA*, vol. 41, no. 4, hal. 490–500, 2015.
- [13] G. D. Sunaryuga, I. Y. Perwira, dan I. K. W. Negara, "Fluktuasi Harian Bahan Organik Dan Parameter Yang Mempengaruhi Di Hilir Sungai Jangga, Kabupaten Karangasem,Bali," vol. 34, no. 22, hal. 26–34, 2024.
- [14] S. Thirumalini dan K. Joseph, "Correlation between electrical conductivity and total dissolved solids in natural waters," *Malaysian Journal of Science*, vol. 28, no. 1, hal. 55–61, 2009.
- [15] S. K. Dewangan, S. K. Shrivastava, M. A. Kadri, S. Saruta, S. Yadav, dan N. Minj., "Temperature Effect on Electrical Conductivity (EC) & Total Dissolved Solids (TDS) of Water: a Review," *International Journal of Research and Analytical Reviews*, vol. 6, hal. 514, 2023.
- [16] S. Y. Yasmin, "Sistem Backwash Pada Filtrasi Sistem Pengolahan Air Minum Menggunakan Motor Listrik Pompa Sentrifugal di Perusahaan Umum Daerah Air Minum Tirta Madani Kota Serang," *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Informatika (JTMEI)*, vol. 2, no. 2, hal. 139–149, 2023.
- [17] M. Shafiquzzaman, S. S. Alsaleem, H. Haider, M. T. Alresheedi, dan H. Thabit, "Experimental study for sand filter backwash water management: Low-cost treatment for recycling and residual sludge utilization for radium removal," *Water (Switzerland)*, vol. 13, no. 20, 2021.
- [18] A. Halim dan R. N. Fatah, "Monitoring the Quality of Clean Water Treatment in the Water Treatment Plant Filtration Unit Using the Backwash Method," *Sustainable Environmental and Optimizing Industry Journal*, vol. 5, no. 2, hal. 95–102, 2023.
- [19] R. Naseer, S. A. Alhail, dan L. Xi-Wu, "Fluidization and optimum backwashing conditions in multimedia filter," *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, vol. 3, no. 11, hal. 1304–1309, 2011.
- [20] D. J. Prasasti, A. Yulianto, dan L. Hakim, "Peningkatan Kinerja Unit Filtrasi Di Instalasi Pengolahan Air Minum Unit Sewon-Bantul Dengan Penggantian Sistem Backwash Ditinjau Dari Parameter Besi (Fe) Dan Mangan (Mn)," *Jurnal Sains &Teknologi Lingkungan*, vol. 3, no. 2, hal. 125–135, 2011.
- [21] A. N. Sitasari dan A. Khoironi, "Evaluasi Efektivitas Metode dan Media Filtrasi pada Pengolahan Air Limbah Tahu," *Jurnal Ilmu Lingkungan*, vol. 19, no. 3, hal. 565–575, 2021.
- [22] S. Beshr, M. Moustafa, M. Fayed, dan S. Aly, "Evaluation of water consumption in rapid sand filters backwashed under varied physical conditions," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 64, hal. 601–613, 2023.
- [23] M. Chen, S. G. J. Heijman, dan L. C. Rietveld, "Ceramic membrane filtration for oily wastewater treatment: Basics, membrane fouling and fouling control," *Desalination*, vol. 583, hal. 117727, 2024.
- [24] H. Jafari, M. Ansari, E. Ahmadi, dan G. Majidi, "Assessment of a Continuous Electrocoagulation on Turbidity Removal from Spent Filter Backwash Water," vol. 5, no. 2, hal. 102–110, 2016.

- [25] S. Sarifudin, A. Sumardiono, dan G. M. Aji, "Control Dan Monitoring Proses Filtrasi Air Menggunakan HMI," *Journal of Energy and Electrical Engineering*, vol. 5, no. 1, hal. 6–11, 2023.
- [26] S. Noorjannah Ibrahim, A. L. Asnawi, N. Abdul Malik, N. F. Mohd Azmin, A. Z. Jusoh, dan F. N. Mohd Isa, "Web based water turbidity monitoring and automated filtration system: IoT application in water management," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 8, no. 4, hal. 2503–2511, 2018.
- [27] M. Benjamin, "Smart Water Treatment: Implementing PLC & SCADA for Automated Filter House Operations," 2025.
- [28] B. Sandrine dan L. Pascale, "Development of Automated Water Quality Monitoring Techniques for Producing Safe Drinking Water," 2021.
- [29] L. Kaslum, A. Zikri, Y. Tanjung, Y. Oktavia, P. Negeri Sriwijaya, dan J. Srijaya Negara Bukit Besar, "Kinerja Sistem Filtrasi Dalam Menurunkan Kandungan TDS, Fe, dan Organik Dalam Pengolahan Air Minum," *Jurnal Kinetika*, vol. 10, no. 1, hal. 46–49, 2019.
- [30] N. A. Saputra dan H. C. Palit, "Upaya Peningkatan Skill dan Knowledge Operator untuk Handling Defects pada PT. X," *Jurnal Titra*, vol. 9, no. 2, hal. 127–134, 2021.
- [31] Y. Alshammari, D. Ghernaout, M. Aichouni, dan M. Touahmia, "Improving Operational Procedures in Riyadh's (Saudi Arabia) Water Treatment Plants Using Quality Tools," *Applied Engineering*, vol. 2, no. 2, hal. 60–71, 2018.