

Efisiensi Penyisihan Kekeruhan pada Paket IPA dengan Sedimentasi *Continuous Discharges Flow (CDF)* pada Debit Desain dan *Uprating*

Ridwan¹, Reri Afrianita¹, Reski Anggika¹, Fajri Dwi Arya¹, Viorin Fergessi¹, Latifa Tri Kartika¹, dan Aisyah Maulida R²

¹Departemen Teknik Lingkungan, Universitas Andalas, Indonesia; e-mail: ridwan@eng.unand.ac.id

²Prodi D-IV Kesehatan Lingkungan, Poltekkes Kemenkes Padang, Indonesia

ABSTRAK

Sistem penyediaan air minum yang berkelanjutan membutuhkan pembaruan teknologi *uprating* pada bangunan pengolahan air minum (BPAM) sebagai alternatif yang efisien untuk meningkatkan debit produksi di tengah keterbatasan anggaran pembangunan infrastruktur. Penelitian ini bertujuan mengembangkan paket BPAM yang mengintegrasikan bak sedimentasi metode *Continuous Discharge Flow (CDF)* dengan bak filtrasi untuk mengukur kinerja penyisihan kekeruhan air baku pada debit desain 240 L/jam serta debit *uprating* 360 L/jam dan 480 L/jam. Paket BPAM yang diteliti terdiri dari unit koagulasi sistem terjunan, unit flokulasi dengan sistem sekat, unit sedimentasi metode CDF, dan unit filtrasi media tunggal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun debit operasional ditingkatkan secara signifikan, mutu air hasil olahan relatif tetap stabil dan konsisten memenuhi baku mutu. Efisiensi penyisihan kekeruhan pada bak sedimentasi berada pada rentang 93,53% hingga 95,71%, sedangkan pada bak filtrasi mencapai efisiensi yang lebih tinggi, yaitu 96,46% hingga 98,72%. Selain performa kualitas, sistem ini mampu beroperasi pada waktu detensi yang jauh lebih singkat, yaitu berkisar antara 33,8 hingga 44,8 menit, dibandingkan dengan kriteria desain perencanaan konvensional. Kebaruan pada penelitian ini terletak pada integrasi unit sedimentasi metode CDF dengan unit filtrasi yang terbukti mampu dalam mempertahankan baku mutu kualitas air minum pada kondisi *uprating* hingga kapasitas ganda. Sistem ini berpotensi menjadi alternatif solusi teknis yang aplikatif dalam pengembangan infrastruktur air minum perkotaan yang lebih efisien.

Keywords: air sungai, penyisihan parameter kekeruhan, instalasi pengolahan air, debit desain, *up-rating*

ABSTRACT

A sustainable drinking water supply system requires technology upgrading in water treatment plants (WTPs) as an efficient alternative to increasing production capacity amid infrastructure budget constraints. This study aimed to develop a WTP package integrating a Continuous Discharge Flow (CDF) sedimentation tank with a filtration unit to evaluate raw water turbidity removal performance at the design flow rate of 240 L/h and uprating conditions of 150% (360 L/h) and 200% (480 L/h). The investigated WTP package consisted of a cascade coagulation unit, a baffled flocculation unit, a CDF sedimentation unit, and a single-media filtration unit. The results showed that despite significant increases in operational flow rate, the treated water quality remained relatively stable and consistently met drinking water quality standards. Turbidity removal efficiency in the sedimentation unit ranged from 93.53% to 95.71%, while the filtration unit achieved higher efficiencies ranging from 96.46% to 98.72%. In addition, the system operated at substantially shorter detention times, ranging from 33.8 to 44.8 minutes, compared with conventional design criteria. The novelty of this study lies in the integration of the CDF sedimentation method with a filtration unit, which effectively maintained drinking water quality standards under uprating conditions up to double capacity. This system offers a practical technical alternative for the development of more efficient urban drinking water infrastructure.

Keywords: river water, turbidity parameter removal, water treatment installation, design discharge, *up-rating*

Citation: Ridwan, Afrianita, R., Anggika, R., Arya, F. D., Fergessi, V., Kartika, L. T., dan R. Maulida, A. (2026). Efisiensi Penyisihan Kekeruhan pada Paket IPA dengan Sedimentasi *Continuous Discharges Flow (CDF)* pada Debit Desain dan *Uprating*. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 24(1), 191-200, doi:10.14710/jil.24.1.191-200

1. PENDAHULUAN

Penularan penyakit melalui media air di negara-negara berkembang menjadi salah satu masalah

utama, dan hampir satu juta manusia menggunakan air yang terkontaminasi tersebut (Liew, A. G., dkk, 2004). Sistem pengolahan air adalah rangkaian unit

proses seperti unit koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi serta unit desinfeksi yang dapat menghasilkan air minum dengan standar kualitas, kuantitas dan kontinuitas (Crittenden, J.C, dkk., 2012).

Tantangan global saat ini, seperti pertumbuhan populasi yang pesat dan perubahan iklim, memaksa Instalasi Pengolahan Air (IPA) untuk mengoptimalkan teknologinya guna memitigasi risiko kesehatan serta mencapai keberlanjutan lingkungan (Attia dkk., 2026). Selain itu, pengembangan teknologi tepat guna dalam pengolahan air sungai menjadi air bersih kini semakin krusial guna menjamin akses air layak bagi masyarakat di wilayah dengan keterbatasan infrastruktur (Riski dkk., 2023). Salah satu strategi lingkungan yang dapat diintegrasikan adalah Produksi Bersih (Cleaner Production), yang bertujuan meningkatkan efisiensi proses dan mengurangi risiko bagi manusia serta ekosistem (García-Ávila dkk., 2023). Meskipun Produksi Bersih telah banyak diterapkan pada pengolahan air limbah, penerapannya pada sistem pengolahan air minum masih terbatas, sehingga pengembangan teknologi yang efisien dalam penggunaan sumber daya menjadi sangat krusial (García-Ávila dkk., 2023)

Salah satu dari proses fisika krusial yang berperan penting pada paket instalasi pengolahan air, yaitu proses sedimentasi, karena penyisihan terbesar padatan tersuspensi terjadi di proses ini, setelah melalui unit koagulasi-flokulasi. Sedimentasi adalah proses pemurnian air dengan cara mengendapkan material padat yang terdapat di dalam air baku (Reynold & Richard, 2012). Secara teknis, tangki sedimentasi diklasifikasikan dalam dua, yakni sedimentasi standar, serta sedimentasi dalam kapasitas tinggi. Sedimentasi secara konvensional (standar) adalah proses pengendapan yang tidak mengalami perubahan pada zona pengendapan, sehingga efektivitasnya dalam menghilangkan zat padat tersuspensi sangat terbatas. Sebaliknya, sedimentasi kapasitas besar adalah metode sedimentasi dengan penambahan *settlers*, atau sejenisnya di area pengendapan guna menambah kinerja penyisihan parameter kekeruhan (Crittenden, J.C, dkk., 2012).

Alternatif inovasi dalam bak sedimentasi adalah modifikasi aliran yang bergerak ke bawah di zona pengendapan. Aliran ini terjadi karena pembuangan air yang berlangsung terus-menerus serta terkendali akibat kebocoran di wilayah pengendapan yang sebut CDF (Ridwan dkk., 2021). Aliran bocor yang secara terus menerus dan dikendalikan dimaksudkan untuk meningkatkan jumlah gaya ke arah bawah dan bekerja terhadap partikel pencemar di dalam air. Dengan demikian, laju pengendapan partikel meningkat dan efisiensi penyisihan kekeruhan dalam unit sedimentasi menjadi lebih optimal.

Penerapan metode CDF sebelumnya telah menunjukkan hasil yang signifikan, Dimana efisiensi penyisihan kekeruhan mampu mencapai 82,38% dengan nilai CDF sebesar 6% dari laju aliran yang masuk ke inlet unit sedimentasi, pada kondisi

kekeruhan air baku sebesar 23,613 NTU (Ridwan, dkk, 2020). Pengendalian aliran bocor yang berlangsung secara kontinu dilakukan dengan mengatur katup CDF pada zona pengendapan, yang disebut sebagai nilai CDF (Ridwan, dkk, 2022). Semakin tinggi nilai CDF maka bertambah tinggi pula kinerja penyisihan parameter kekeruhan (Ridwan, dkk, 2020). Efisiensi penyisihan kekeruhan dengan metode CDF dalam unit sedimentasi tergolong tinggi dibandingkan dengan sedimentasi konvensional, yang hanya memiliki efisiensi sekitar 65-70% (Gurjar, dkk, 2017).

Aliran buangan akibat kebocoran yang berlangsung terus-menerus tetapi tetap terkendali menyebabkan berkurangnya kapasitas produksi sistem. Semakin tinggi nilai CDF, semakin besar volume aliran bocor, sehingga untuk mempertahankan kapasitas produksi tangki sedimentasi CDF, air aliran CDF harus dikembalikan ke tangki flokulasi. Resirkulasi aliran CDF dapat meningkatkan efektivitas penyisihan kekeruhan karena aliran CDF mengandung padatan yang telah berikatan dengan koagulan dan membentuk flok (Hudson, H. E. Jr, 1981). Pengembalian aliran CDF ke unit flokulasi memungkinkan air dari outlet unit koagulasi berinteraksi dengan flok dalam aliran resirkulasi, yang menyebabkan ukuran flok semakin besar. Proses ini dikenal sebagai sedimentasi solid contact (Qasim, dkk, 2000).

Semakin besar volume aliran CDF yang diresirkulasi, semakin tinggi efisiensi penyisihan kekeruhan air baku, dan sebaliknya. Rata-rata efisiensi penyisihan kekeruhan tertinggi terjadi pada debit resirkulasi 100% aliran CDF, yakni 87,21% untuk debit produksi 240L/jam, 82,5% untuk produksi 360L/jam. Sementara itu, tingkat kekeruhan dari air produksi dari beberapa macam nilai resirkulasi CDF sebesar 0, 25, 50, 75, dan 100 persen, berkisar antara 3,267 sampai 4,491NTU terhadap debit 240 L/jam. Laju aliran 360L/jam berada dalam rentang 4,528 sampai 5,926 NTU.

Peningkatan debit produksi dari reaktor sedimentasi CDF dari 240L/jam menjadi 360L/jam, menyebabkan penurunan kinerja penyisihan parameter kekeruhan di semua nilai resirkulasi 0, 25, 50, 75, dan 100 persen aliran CDF (Ridwan, dkk, 2023). Kelemahan pada penelitian ini adalah ketidakmampuan unit sedimentasi CDF tunggal dalam mempertahankan kualitas filtrat di bawah ambang batas 3 NTU, sebagaimana ditetapkan dalam Permenkes No. 2 Tahun 2023, ketika dioperasikan pada kondisi *uprating*. Keterbatasan ini menunjukkan adanya celah penelitian terkait perlunya unit tambahan untuk menangani beban kekeruhan sisa akibat peningkatan beban hidrolis.

Guna mengakomodasi kelemahan tersebut, hipotesis dari penelitian ini adalah bahwa integrasi unit sedimentasi metode *Continuous Discharges Flow* (CDF) dan unit filtrasi dalam satu paket IPA mampu mempertahankan efisiensi penyisihan kekeruhan yang tinggi dan menghasilkan kualitas air olahan yang

tetap memenuhi standar baku mutu air minum, meskipun kapasitas produksi ditingkatkan (*uprating*) hingga mencapai 200% dari debit desain awal. Unit filtrasi ini berfungsi sebagai tahap pengolahan fisik lanjutan untuk memisahkan partikel koloid dan flok halus yang tidak terendapkan di bak sedimentasi CDF pada kondisi debit tinggi. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan paket IPA terintegrasi yang mampu menghasilkan kualitas air olahan yang tetap stabil dan memenuhi standar regulasi terbaru, meskipun kapasitas produksinya ditingkatkan hingga 200% melalui teknologi *uprating*

Secara umum, filtrasi merupakan teknik dalam pengolahan air minum yang berfungsi untuk memisahkan partikel pencemar dalam air. Selama prosesnya, air melewati media filter sehingga partikel akan tertahan di permukaan filter dan mengendap sepanjang kedalaman media yang dilalui. Filter juga memiliki kemampuan untuk menyaring partikel berbagai ukuran, termasuk alga, virus, dan koloid tanah (Qasim, dkk, 2000). Faktor-faktor yang mempengaruhi proses filtrasi meliputi ukuran media, porositas, luas permukaan, serta karakteristik air baku (Qasim, dkk, 2000). Oleh sebab itu, penambahan unit filtrasi diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penyisihan parameter kekeruhan. Penelitian ditujukan untuk menambah kinerja penyisihan parameter kekeruhan dengan menambahkan bak filtrasi media tunggal yang terintegrasi dalam suatu IPA Paket.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Material

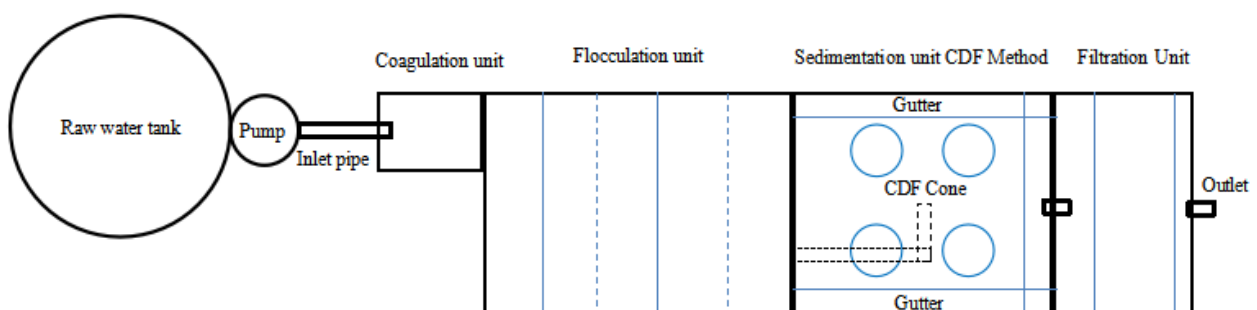
Penelitian ini dilakukan pada IPA paket pada skala labor dengan bagian tangki koagulasi dengan energi terjunan air, bak flokulasi jenis saluran bersekat, bak sedimentasi CDF, serta tangki filtrasi dengan pasir jenis kuarsa. Paket IPA di desain sebesar 240 L/jam, serta variasi debit sebagai debit *uprating* adalah 360 L/jam (1,5 kali debit awal) dan 480 L/jam (2 kali debit awal). Paket IPA ini digambarkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.

Material dan alat yang digunakan dalam percobaan ini meliputi pompa air yang berfungsi untuk memompa air baku dari tangki penampungan menuju unit koagulasi, serta tangki air yang digunakan sebagai tempat penampungan air baku dan koagulan PAC. Katup digunakan untuk mengatur aliran buangan atau nilai *Continuous Discharge Flow (CDF)*, sedangkan koagulan *poly aluminium chloride (PAC)* berfungsi dalam proses koagulasi. Spektrofotometer digunakan untuk mengukur tingkat kekeruhan air, sementara *jar test* digunakan untuk menentukan dosis optimum koagulan PAC. Selain itu, pH meter dan termometer digunakan untuk mengukur tingkat keasaman dan suhu air. *Magnetic stirrer* digunakan untuk mengaduk air baku artifisial agar tercampur secara homogen, sedangkan neraca analitik digunakan untuk menimbang koagulan dan kaolin *clay*.

Air baku artifisial dalam penelitian ini dipersiapkan dengan mencampurkan bubuk *kaolin clay* ke dalam air untuk mencapai target kekeruhan tinggi sebesar 124,906 NTU. *Kaolin clay* digunakan sebagai agen pembentuk kekeruhan karena mampu merepresentasikan partikel padatan tersuspensi dan koloid tanah yang umum ditemukan pada perairan sungai. Untuk menjamin ketepatan dosis, *kaolin clay* ditimbang menggunakan neraca analitik. Selanjutnya, campuran diaduk menggunakan *magnetic stirrer* hingga homogen guna menjaga kestabilan suspensi dan mencegah pengendapan dini sebelum air dialirkan ke unit koagulasi.

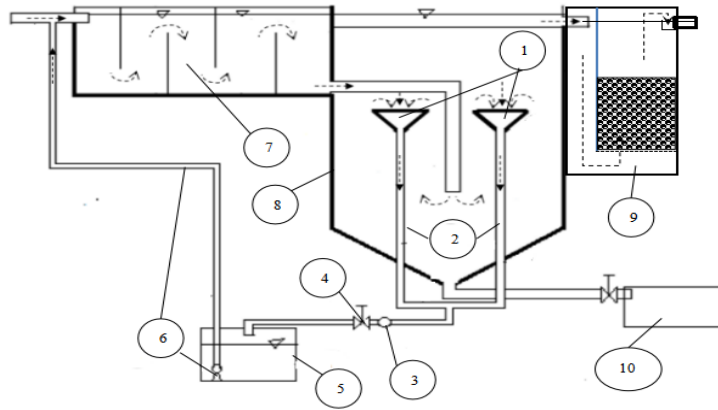
2.2. Metode

Aliran produksi pada paket IPA ini dapat diilustrasikan sebagai berikut: air baku dialirkan ke unit koagulasi menggunakan pompa dan diaduk menggunakan terjunan setinggi 0,33 cm dengan koagulan PAC pada dosis optimum, setelah itu air mengalir ke unit flokulasi dengan pengadukan hidrolis berupa *baffle*, dan terus mengalir ke unit sedimentasi yang pada akhirnya mengalir ke unit filter dengan arah aliran dari bawah (*upflow*).



Gambar 1. Paket IPA Menggunakan Unit Sedimentasi Metode CDF

- Detail:
1. Kerucut CDF
 2. Pipa CDF
 3. Meteran
 4. Katub
 5. Bak reservoirCDF
 6. Pompa serta pipa resirkulasi
 7. Inlet unit flokulasi
 8. Bak Sedimentasi
 9. Bak Filtrasi
 10. Bak lumpur



Gambar 2. Bagian Paket IPA Menggunakan Sedimentasi CDF

Prosedur penjaminan kualitas data dan kalibrasi alat dilakukan sebelum dan selama pengujian berlangsung. Instrumen pengukuran, termasuk spektrofotometer untuk uji kekeruhan, dikalibrasi terlebih dahulu sesuai dengan standar prosedur operasional dan merujuk pada SNI 06-6989.25:2005 guna memastikan akurasi pembacaan. Alat pendukung lainnya seperti pH meter dan termometer juga diverifikasi fungsinya untuk memantau kondisi lingkungan air baku artifisial secara tepat.

Persiapan pengoperasian alat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut: 1). kondisi alat sebelum *running* dipastikan dalam keadaan baik dan tidak bocor, 2). persiapan sampel air baku artifisial dan koagulan PAC, larutan koagulan disiapkan terlebih dahulu dan diukur dosis koagulan optimum dengan melakukan *jartest* terhadap sampel air yang digunakan, setelah mendapatkan dosis optimum, koagulan dimasukkan ke dalam tangki dan diatur dosis yang ditambahkan ke air baku, 3). percobaan dilakukan dengan tiga variasi debit, yakni 240 L/jam sebagai debit desain, serta 360L/jam, 480L/jam debit peningkatan *uprating*, 4). kontrol kualitas data dilakukan melalui replikasi pengujian sebanyak dua kali atau *duplo* (dua kali pengulangan) untuk setiap variasi debit guna memastikan presisi hasil pengamatan, 5). pengambilan sampel air dari *outlet* sedimentasi dan *outlet* filtrasi sebanyak 5 kali dengan jarak waktu interval 5 menit untuk menggambarkan kualitas riiltime, 5). sampel air yang diambil tersebut diukur kekeruhannya dengan menggunakan *spektrofotometer Uv-Vis*, 6). analisis dan pembahasan, data yang didapatkan dari percobaan yang telah dilakukan kemudian dianalisis dan dilakukan pembahasan.

Analisis data dengan korelasi *Rank Spearman* guna mengukur tingkat hubungan modifikasi variasi debit aliran terhadap parameter kekeruhan. Tingkat penyisihan kekeruhan pada unit pengolahan disajikan dalam bentuk persentase (%) sebagai nilai efisiensi penyisihan. Efisiensi penyisihan diformulasikan dengan persamaan (1) di bawah ini (Qasim, dkk, 2000).

$$E = \frac{C_o - C_i}{C_o} \times 100\% \quad (1)$$

Nilai E pada persamaan tersebut adalah nilai efisiensi penyisihan kekeruhan (%), C_o merupakan kekeruhan awal (NTU), dan C_i adalah kekeruhan akhir (NTU). Hubungan antara variasi debit aliran, yang mencakup debit desain dan debit *uprating* dengan efisiensi penyisihan kekeruhan dianalisis secara statistik menggunakan koefisien korelasi dan signifikansi melalui Analisis Rank Spearman (Sujarweni, W, 2014). Koefisien korelasi Spearman Rank menggambarkan arah dan besarnya hubungan antara variasi debit produksi dan kinerja penyisihan kekeruhan. Nilai signifikansi menerangkan hubungan signifikan di setiap debit produksi terkait efisiensi penyisihan kekeruhan. Koefisien korelasi dan nilai signifikan dikelompokkan menjadi 5 kelompok, yaitu sangat lemah, lemah, sedang, kuat, dan sangat kuat, seperti terlihat pada Tabel 1. Koefisien korelasi rank spearman dinyatakan signifikan jika nilai signifikansi yang diperoleh sama dengan atau kurang dari 0,05 (Sujarweni, W, 2014). Nilai korelasi Spearman Rank selalu antara 1 dan minus 1. Jika nilai yang diperoleh 0, maka tidak ada hubungan antara variabel independen dan dependen. Sebaliknya pada nilai positif 1 maka dapat disimpulkan terdapat hubungan positif antara variabel independen dengan variabel dependen, begitu pula sebaliknya.

Tabel 1. Nilai Korelasi

Interval Nilai	Nilai hubungan
0.00 – 0.19	Sangat lemah
0.20 – 0.39	Lemah
0.40 – 0.59	Sedang
0.60 – 0.79	Kuat
0.80 – 1.00	Sangat kuat

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perencanaan Paket IPA dengan Debit Desain dan Perubahannya pada Debit *Uprating*

IPA Paket terdiri dari unit koagulasi dengan jenis terjunan yang sangat efektif (Ghawi, dkk., 2017), flokulasi, unit pengendapan, dan filtrasi yang dirancang berdasarkan SNI 6774 Tahun 2008 (BSN, 2014). Perancangan ini memakai debit rancangan

sebesar 240L/jam, sedangkan analisis aspek desain terhadap peningkatan debit aliran sebesar 360L/jam, serta 480L/jam sebagai debit *uprating* dihitung dan disajikan pada Tabel 2.

Pada Tabel 1, dapat dilihat bahwa paket IPA yang dirancang dengan debit produksi 240 L/jam memenuhi kekentuan desain SNI 6774, 2008 (BSN, 2014), termasuk evaluasinya pada debit *uprating* juga memenuhi.

3.2 Dosis optimum koagulan PAC

Air baku yang digunakan dalam pengujian paket IPA adalah air artifisial pada nilai kekeruhan tinggi, yaitu 124,906 NTU. Penggunaan bahan kimia Aluminium dan polimernya lebih efektif dalam membentuk flok jika dibandingkan dengan jenis koagulan Besi Klorida (Mazloomi S, dkk., 2019). Namun penggunaan Kitosan sebagai bahan alami, dapat dijadikan sebagai koagulan yang mampu menyisihkan kekeruhan dan ramah terhadap lingkungan (Soros dkk, 2019). Penentuan dosis optimum koagulan dilakukan menggunakan Jar Test sesuai dengan SNI 19-6449 Tahun 2000 tentang teknis pengujian proses koagulasi. Variasi dosis

koagulan yang digunakan mencakup 0,5 ml, 1 ml, 1,5 ml, 2 ml, 2,5 ml, dan 3 ml.

Berdasarkan hasil pengamatan pada Tabel 3, dosis optimum yang ditetapkan adalah 1 ml per 1 liter air baku. Dosis ini dipilih berdasarkan ukuran dan jumlah flok yang terbentuk, waktu pengendapan, serta tingkat kekeruhan akhir. Dosis tersebut mencatat waktu pengendapan tersingkat yaitu 9 menit 26,49 detik, dan nilai kekeruhan akhir terendah yaitu sebesar 10,065 NTU dengan kinerja penyisihan sebesar 91,23 %. Sedangkan untuk ukuran dan jumlah flok yang terbentuk pada dosis 1 ml secara penglihatan sama dengan dosis 0,5 ml yaitu sama-sama memiliki ukuran flok yang paling besar dan paling banyak terbentuk daripada dosis lainnya. Namun untuk lama waktu pengendapan dan kekeruhan akhir dosis 1 ml jauh lebih baik dibandingkan dosis 0,5 ml. Proses koagulasi dan flokulasi yang digunakan memiliki fungsi strategis dalam membentuk flok yang akan dihasilkan (Saruri R M, dkk, 2024). Efektifitas penyisihan kekeruhan pada proses koagulasi-flokulasi sangat bergantung kepada parameter operasi, seperti jenis dan dosis koagulan (Nasier & Abdulrazzaq, 2022).

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Perancangan Paket IPA pada Debit Desain dan Pengaruhnya pada Debit *Uprating*

Parameter desain	Satuan	240	360	480	Kriteria desain [14]	Keterangan
Unit Koagulasi						
Tinggi terjunan	m	0,33	0,33	0,33	-	
Panjang (p)	m	0,10	0,10	0,10	-	
Lebar (l)	m	0,10	0,10	0,10	-	
Volume (V)	m ³	3,35.10 ⁻⁴	3,35.10 ⁻⁴	3,35.10 ⁻⁴	-	
Kedalaman (h)	m	0,3323	0,2216	0,1662	-	
Waktu detensi (td)	detik	5	3,35	2,51	1-5	Ok
Gradien kecepatan (G)	/detik	847,00	1037,36	1197,84	> 750	Ok
Unit Flokulasi						
Jumlah tahap	tahap	6	6	6	6 - 10	Ok
Panjang (p)	m	0,22	0,22	0,22	-	
Lebar setiap tahap (l)	m	0,22	0,22	0,22	-	
Volume (V)	m ³	0,120	0,120	0,120	-	
Volume tiap bak	m ³	0,02	0,02	0,02	-	
Kedalaman setiap tahap	m	0,4	0,4	0,4	-	
Waktu detensi (td)	detik	1800	1200	900	1800 - 2.700	Lebih singkat
Gradien kecepatan (G)	/detik	60-10	55-5	50-5	60-5	Ok
Kecepatan aliran (v)	m/s	0,0014	0,002	0,003	< 0,9	Ok
Unit Sedimentasi						
Beban permukaan (vo)	(m ³ /m ² /jam)	1	1,5	2	0,8 - 2,5	Ok
Luas Permukaan (A)	m ²	0,24	0,24	0,24	-	
Panjang (p)	m	0,55	0,55	0,55	-	
Lebar (l)	m	0,44	0,44	0,44	-	
Kedalaman (m)	m	1	1	1	1	
Waktu detensi (td)	jam	1	0,67	0,5	1-3	Lebih singkat
Nre	-	78,81	99,43	132,57	< 2000	Ok
NFr	-	2,35.10 ⁻⁴	2,87.10 ⁻⁴	3,83.10 ⁻⁴	> 10 ⁻⁵	Ok
Diameter cone CDF	m	0,15	0,15	0,15	-	
Jumlah cone CDF	unit	4	4	4	-	
CDF flow recirculation to Flocculation Unit	%	100	100	100	-	
Unit filtrasi						
Jumlah bak	unit	1	1	1	-	
Panjang bak (p)	m	0,25	0,25	0,25	-	
Lebar bak (l)	m	0,44	0,44	0,44	-	
Tinggi filtrasi (h)	m	0,6	0,6	0,6	-	
Kecepatan penyaringan (v)	m/jam	2,18	3,27	4,36	5-12	
Tinggi muka air diatas saringan	m	0,05	0,05	0,05	-	
Tebal material penyaring	m	0,37	0,37	0,37	-	

3.2. Efisiensi Penyisihan Kekeruhan di Unit Sedimentasi

Pengambilan data dilakukan melalui replikasi pengujian sebanyak dua kali (*duplo*) untuk masing-masing debit aliran 240 L/jam sebagai debit desain, 360L/jam, 480L/jam sebagai debit *uprating*. Air olahan produksi unit sedimentasi dimasukan ke *beaker glass* 100 ml pada selang waktu 5 menit. Hasil pengujian kekeruhan air pada unit sedimentasi ditampilkan di Tabel 3. Tabel 3 menjelaskan kekeruhan akhir air produksi unit sedimentasi pada debit 240 L/jam, 360 L/jam, dan 480 L/jam secara berturut-turut adalah 5,36 NTU, 6,28 NTU, dan 8,09 NTU. Efisiensi penyisihan kekeruhan tertinggi diperoleh pada debit 240 L/jam dengan persentase 95,71%.

Jika dibandingkan secara komprehensif dengan teknologi sedimentasi lainnya, kinerja paket IPA dengan metode CDF ini menunjukkan keunggulan yang signifikan. Sebagai perbandingan, unit sedimentasi konvensional umumnya hanya memiliki efisiensi penyisihan kekeruhan berkisar antara 65-70%. Bahkan, jika dibandingkan dengan penelitian metode CDF tunggal sebelumnya yang mencapai efisiensi 82,38%, integrasi unit filtrasi dalam penelitian ini terbukti mampu meningkatkan performa sistem secara keseluruhan hingga di atas 93%.

Kinerja tinggi ini menempatkan unit sedimentasi CDF dalam klasifikasi sedimentasi kapasitas tinggi, yang secara efektivitas setara atau bahkan melampaui metode penambahan *settlers* (seperti *tube settlers*) yang umum digunakan untuk meningkatkan kinerja penyisihan pada luasan area yang sama. Keunggulan utama metode ini terletak pada kemampuannya menjaga efisiensi tetap stabil di atas 90% meskipun dioperasikan pada kondisi *uprating* hingga 200% dari debit desain, sebuah kondisi yang biasanya menyebabkan kegagalan operasional pada bak pengendap standar akibat peningkatan beban permukaan dan pemendekan waktu detensi.

Secara hidrodinamika, performa unit sedimentasi CDF saat kondisi *uprating* dipengaruhi oleh perubahan profil aliran dan waktu detensi. Berdasarkan data pada Tabel 2, meskipun debit

ditingkatkan hingga 480 L/jam, kondisi aliran di dalam bak tetap berada pada rezim laminar dengan nilai bilangan Reynolds (*Nre*) sebesar 132,57, yang masih jauh di bawah batas kritis 2.000. Selain itu, stabilitas aliran tetap terjaga dengan nilai bilangan Froude (*NFr*) sebesar $3,83 \times 10^{-4}$, yang memenuhi kriteria desain ($> 10^{-5}$).

Mekanisme utama yang menjaga efisiensi tetap tinggi meskipun waktu detensi terpendek menjadi 0,5 jam pada debit *uprating* maksimal adalah adanya gaya tarik ke bawah tambahan dari inovasi aliran bocor CDF. Aliran kontinu yang dikendalikan melalui katup di wilayah pengendapan menciptakan gaya gravitasi buatan terhadap partikel pencemar, sehingga laju pengendapan meningkat dan mengompensasi peningkatan kecepatan naik (*upflow velocity*) akibat *uprating*. Integrasi resirkulasi aliran CDF sebesar 100% ke unit flokulasi juga memperkuat mekanisme *solid contact*, di mana flok yang terbentuk menjadi lebih besar dan berat sehingga lebih mudah mengendap meskipun dalam kondisi aliran yang lebih cepat. Hal inilah yang secara hidrodinamika menjelaskan mengapa unit sedimentasi CDF mampu mempertahankan efisiensi penyisihan di atas 93% pada kondisi beban ganda

Kinerja unit pengendap ini dikategorikan sangat baik karena mampu melampaui efisiensi umum unit sedimentasi konvensional. Sebagai perbandingan, evaluasi pada IPA 2 Krian menunjukkan bahwa unit *clarifier* dengan media lamela mampu mencapai efisiensi penyisihan kekeruhan yang konsisten antara 97,72% hingga 98,72% (Nu'aimah & Hendrasarie, 2025). Hal ini memperkuat teori bahwa unit sedimentasi yang bekerja secara efektif harus mampu mereduksi kekeruhan di atas 95% guna menghasilkan air yang jernih melalui pengendapan gravitasi (Nu'aimah & Hendrasarie, 2025). Sebaliknya, kegagalan unit sedimentasi dalam memenuhi kriteria desain, seperti waktu detensi yang tidak tepat, dapat menyebabkan rendahnya performa penyisihan parameter fisik (Sholikhah & Afrianisa, 2023) Dibandingkan dengan Permenkes No. 2 Tahun 2023, batas tertinggi nilai kekeruhan untuk air minum adalah 3 NTU, maka air keluaran unit sedimentasi masih belum memenuhi standar baku mutu.

Tabel 3. Dosis Koagulan

Dosis, (ml)	pH, Awal	Kekeruhan Awal, (NTU)	Ukuran Flok	Lama Pengendapan	pH, Akhir	Kekeruhan Akhir, (NTU)
0,5			+++	10.00,23	7,12	10,786
1			+++	09.26,49	7,07	10,065
1,5			++	10.44,13	7,02	15,477
2	7,18	124,906	+	10.58,59	6,98	19,953
2,5			+	11.00,19	6,94	21,959
3			+	11.28,51	6,95	24,571

Keterangan:

+ : Flok, kecil dan sedikit

++ : Flok, besar dan sedikit

+++ : Flok, besar dan banyak

Tabel 4. Efisiensi Penyisihan Kekeruhan di Unit Sedimentasi

Debit (L/jam)	Kekeruhan Awal (NTU)	Pengambilan data				Kekeruhan rata-rata (NTU)	Efisiensi Penyisihan rata-rata (%)
		Percobaan 1		Percobaan 2			
		Kekeruhan Akhir (NTU)	Efisiensi Penyisihan (%)	Kekeruhan Akhir (NTU)	Efisiensi Penyisihan (%)		
240	124,906	6,296	94,96	5,18	95,86	5,36	95,71
		4,779	96,18	4,773	96,18		
		5,732	95,41	5,135	95,89		
		7,125	94,3	4,911	96,07		
		5,155	95,88	4,514	96,39		
360	124,906	5,451	95,64	5,454	95,64	6,28	94,98
		6,466	94,83	6,518	94,78		
		6,987	94,41	7,209	94,23		
		5,929	95,26	5,938	95,25		
		6,442	94,85	6,389	94,89		
480	124,906	6,771	94,58	7,013	94,39	8,09	93,53
		7,524	93,98	8,000	93,97		
		10,417	91,66	11,569	90,74		
		6,417	94,870	6,630	94,70		
		8,648	93,080	8,354	93,31		

3.3. Efisiensi Penyisihan Kekeruhan di Unit Filtrasi

Air hasil olahan dari unit filtrasi diambil menggunakan *beaker glass* 100 ml dengan waktu *steady* 5 menit, didapatkan data pengukuran kekeruhan air yang dapat dilihat pada Tabel 3. Berdasarkan Tabel 3 di bawah ini, kekeruhan akhir untuk air olahan tangki filtrasi untuk debit rancangan 240 L/jam, 360 L/jam, serta 480 L/jam secara berurutan yaitu 1,60 NTU, 3,18 NTU serta 4,43 NTU. Kinerja penyisihan tertinggi di unit filtrasi terjadi di debit 240 L/jam dengan persentase 98,72%. Efektivitas ini didorong oleh mekanisme penyisihan partikel yang terjadi secara simultan di dalam media pasir kuarsa. Secara mekanis, partikel pencemar yang memiliki ukuran lebih besar daripada celah antarbutiran pasir akan tertahan di permukaan filter melalui proses penjarangan fisik (*straining*). Namun, keunggulan media pasir kuarsa dalam penelitian ini juga terletak pada kemampuannya melakukan filtrasi kedalaman (*depth filtration*), di mana partikel koloid yang lebih halus, termasuk virus dan koloid tanah, akan meresap masuk dan mengendap di sepanjang kedalaman media akibat gaya gravitasi serta adsorpsi pada luas permukaan butiran pasir yang porus.

Karakteristik pasir kuarsa yang memiliki variasi ukuran media, porositas, dan luas permukaan yang spesifik sangat menentukan keberhasilan pemisahan partikel sisa yang tidak terendapkan di unit sedimentasi CDF. Dengan arah aliran dari bawah (*upflow*), media pasir kuarsa mampu menangkap flok sisa secara efektif sebelum mencapai outlet, sehingga stabilitas kualitas air olahan tetap terjaga di bawah 3 NTU meskipun beban hidrolis ditingkatkan melalui teknologi *uprating*.

Penelitian lain pada unit filtrasi menggunakan media pasir kuarsa tunggal menunjukkan efektivitas yang konsisten dalam mereduksi kekeruhan hingga di bawah 3 NTU, sesuai dengan standar regulasi kesehatan terbaru (Nu'aimah & Hendrasarie, 2025). Meskipun demikian, kecepatan penjarangan harus tetap mengacu pada kriteria desain teknis agar

stabilitas kualitas air hasil olahan tetap terjaga (Sholikhah & Afrianisa, 2023). Di sisi lain, otomasi pada sistem filtrasi terbukti mampu meningkatkan produktivitas, menjaga kualitas air secara *real-time*, serta menurunkan biaya operasional melalui minimalisasi kesalahan manusia (Nursubiyantoro dkk., 2020).

Evaluasi menyeluruh terhadap kinerja unit-unit pengolahan secara periodik juga sangat diperlukan untuk mengidentifikasi potensi pembentukan produk sampingan desinfeksi (*disinfection by-products*) yang dapat membahayakan kesehatan konsumen dalam jangka panjang (Ebsa & Dibaba, 2022). Dibandingkan dengan Permenkes No. 2 Tahun 2023 tentang syarat mutu maksimum nilai kekeruhan adalah 5 NTU, maka kekeruhan akhir air hasil olahan telah memenuhi standar baku mutu. Penyisihan parameter kekeruhan ini akan jauh lebih baik, jika menggunakan saringan pasir lambat dua tingkat yang dapat disertai dengan penyisihan parameter Besi dan Mangan (Makhmudah N & Notodarmojo S, 2010).

Pemendekan waktu detensi dari 1 jam menjadi 0,5 jam pada kondisi *uprating* maksimal (480 L/jam) memiliki implikasi operasional yang signifikan terhadap desain IPA skala lapangan. Kemampuan sistem dalam menjaga kualitas air olahan tetap di bawah 5 NTU dengan waktu tinggal yang lebih singkat (33,8 - 44,8 menit) membuktikan adanya efisiensi lahan dan potensi peningkatan kapasitas produksi hingga 200% tanpa memerlukan pembangunan fisik unit baru. Hal ini menjadi solusi strategis bagi keterbatasan pembiayaan investasi infrastruktur air bersih di masa depan.

3.4. Analisis Korelasi Statistik Rank Spearman

Analisis statistik pengaruh variasi debit terhadap kinerja paket IPA, dilakukan menggunakan uji korelasi Rank Spearman. Berdasarkan hasil pengolahan data, ditemukan bahwa hubungan antara peningkatan debit produksi (*uprating*) dengan efisiensi penyisihan kekeruhan berada pada kategori "sangat kuat" dengan nilai koefisien korelasi yang

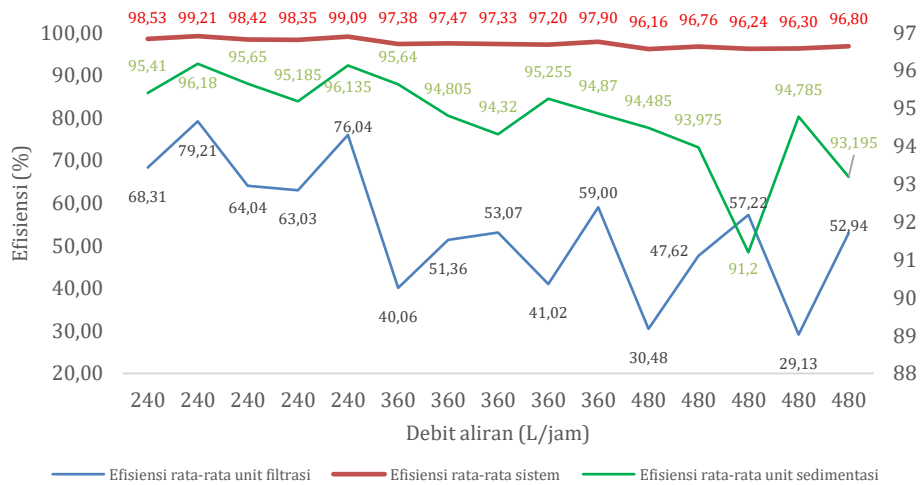
signifikan (p 0,05). Hal ini menunjukkan bahwa perubahan debit dari 240 L/jam menjadi 360 L/jam dan 480 L/jam memiliki dampak yang terukur dan konsisten terhadap penurunan efisiensi penyisihan, namun sistem tetap mampu mempertahankan stabilitas kualitas keluaran air minum.

Hubungan yang sangat kuat ini mengonfirmasi bahwa meskipun beban hidrolis ditingkatkan hingga 200%, mekanisme integrasi sedimentasi CDF dan filtrasi tetap bekerja secara sinkron dalam mereduksi kekeruhan sesuai dengan pola hubungan statistik

yang ditemukan. Selain itu, hasil analisis menunjukkan nilai signifikansi (p) 0,05, sehingga dapat disimpulkan terdapat hubungan signifikan secara statistik antara variabel debit dengan kinerja penyisihan kekeruhan pada paket IPA yang diuji. Korelasi yang sangat kuat dan signifikan ini membuktikan bahwa integrasi unit sedimentasi CDF dan filtrasi memiliki stabilitas operasional yang andal dalam menghadapi fluktuasi beban hidrolis hingga kapasitas ganda.

Tabel 5. Kinerja Penyisihan Parameter Kekeruhan di Unit Filtrasi

Debit (L/jam)	Kekeruhan outlet bak sedimentasi (NTU)		Pengambilan data				Kekeruhan Rata-rata (NTU)	Kinerja Penyisihan Rata-rata (%)
	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 1		Percobaan 2			
			Kekeruhan Akhir di Filtrasi (NTU)	Efisiensi Penyisihan (%)	Kekeruhan Akhir di Filtrasi (NTU)	Efisiensi Penyisihan (%)		
240	6,296	5,180	2,193	65,17	1,479	71,45	1,6018	70,12
	4,779	4,773	0,841	82,40	1,145	76,01		
	5,732	5,135	2,457	57,14	1,493	70,93		
	7,125	4,911	1,597	77,59	2,531	48,46		
	5,155	4,514	0,954	81,49	1,328	70,58		
360	5,451	5,454	3,577	34,38	2,96	45,73	3,1778	48,90
	6,466	6,518	3,174	50,91	3,141	51,81		
	6,987	7,209	3,074	56,00	3,595	50,13		
	5,929	5,938	3,858	34,93	3,141	47,10		
	6,442	6,389	2,298	64,33	2,960	53,67		
480	6,771	7,013	4,612	31,89	4,975	29,06	4,4296	43,47
	7,524	8,000	4,588	39,02	3,503	56,21		
	10,417	11,569	4,571	56,12	4,823	58,31		
	6,417	6,63	4,782	25,48	4,457	32,78		
	8,648	8,354	3,577	58,64	4,408	47,23		



Gambar 3. Grafik Efisiensi Penyisihan Kekeruhan Paket IPA Menggunakan Sedimentasi CDF

Berdasarkan Gambar 3, efisiensi penyisihan kekeruhan sistem IPA secara keseluruhan menunjukkan performa yang sangat stabil dan tinggi pada seluruh variasi debit serta nilai *Continuous Discharge Flow* (CDF). Efisiensi total sistem berada pada rentang 96,16%–99,21%, yang menandakan bahwa kombinasi unit sedimentasi dan filtrasi mampu menghasilkan kualitas air olahan yang konsisten meskipun terjadi perubahan kondisi operasional. Nilai efisiensi tertinggi tercapai pada debit 240 L/jam sebesar 99,21%, sedangkan efisiensi terendah terjadi

pada debit 480 L/jam sebesar 96,16%. Meskipun mengalami sedikit penurunan pada debit yang lebih tinggi, nilai tersebut masih berada di atas standar efektivitas umum pengolahan air minum, yaitu >95%. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem masih memiliki kemampuan yang baik dalam mempertahankan kualitas pengolahan meskipun waktu kontak dan waktu detensi cenderung menurun akibat peningkatan debit aliran. Stabilitas efisiensi total juga mengindikasikan bahwa proses koagulasi-flokulasi berlangsung optimal sehingga beban

Ridwan, Afrianita, R., Anggika, R., Arya, F. D., Fergessi, V., Kartika, L. T., dan R. Maulida, A. (2026). Efisiensi Penyisihan Kekeruhan pada Paket IPA dengan Sedimentasi *Continuous Discharges Flow (CDF)* pada Debit Desain dan *Uprating*. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 24(1), 191-200, doi:10.14710/jil.24.1.191-200

padatan yang masuk ke unit sedimentasi dan filtrasi dapat dikendalikan secara efektif.

Di sisi lain, grafik menunjukkan adanya perbedaan karakteristik kinerja antara unit sedimentasi dan unit filtrasi. Unit sedimentasi memiliki efisiensi yang relatif tinggi dan stabil, yaitu berkisar antara 91,2%–96,18%, sehingga menjadi komponen utama dalam penyisihan kekeruhan awal. Namun, efisiensi unit filtrasi berfluktuasi cukup signifikan pada rentang 29,13%–79,21%. Fluktuasi ini menunjukkan bahwa kinerja filtrasi sangat dipengaruhi oleh variasi debit dan kemungkinan akumulasi padatan pada media filter. Penurunan efisiensi filtrasi paling rendah terjadi pada debit 480 L/jam dengan nilai 29,13%, yang mengindikasikan bahwa meningkatnya kecepatan filtrasi menyebabkan waktu kontak air dengan media menjadi lebih singkat sehingga kemampuan penyisihan partikel halus menurun. Meskipun demikian, rendahnya efisiensi unit filtrasi tidak secara langsung menurunkan efisiensi total sistem secara drastis karena sebagian besar kekeruhan telah berhasil disisihkan pada unit sedimentasi. Hal ini menegaskan bahwa unit sedimentasi memiliki kontribusi dominan terhadap penyisihan kekeruhan, sedangkan unit filtrasi lebih berperan sebagai proses pemoles akhir (*polishing process*) untuk memastikan kualitas air hasil olahan tetap memenuhi standar.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, efisiensi penyisihan kekeruhan pada unit sedimentasi untuk debit 240 L/jam, 360 L/jam, dan 480 L/jam berturut-turut sebesar 95,71%, 94,98%, dan 93,53%, dengan kekeruhan akhir masing-masing 5,36 NTU, 6,28 NTU, dan 8,09 NTU. Sementara itu, efisiensi penyisihan kekeruhan pada unit filtrasi berturut-turut sebesar 98,72%, 97,46%, dan 96,46%, dengan kekeruhan akhir masing-masing 1,60 NTU, 3,18 NTU, dan 4,43 NTU. Hasil uji korelasi Rank Spearman menunjukkan bahwa peningkatan debit pengolahan (*uprating*) memiliki hubungan yang sangat kuat terhadap efisiensi penyisihan kekeruhan. Meskipun debit ditingkatkan hingga 150% dan 200% dari debit desain, kualitas air hasil olahan tetap memenuhi standar kekeruhan di bawah 3 NTU. Hal ini menunjukkan bahwa paket IPA dengan unit sedimentasi metode *Continuous Discharge Flow (CDF)* memiliki potensi yang baik untuk diterapkan pada proses *uprating* kapasitas produksi.

Integrasi unit sedimentasi metode CDF dan unit filtrasi terbukti efektif dalam mempertahankan stabilitas penyisihan kekeruhan meskipun terjadi peningkatan kapasitas produksi. Secara ilmiah, penelitian ini membuktikan bahwa sistem mampu mengompensasi pemendekan waktu detensi tanpa menurunkan kualitas air olahan, yang diperkuat oleh hasil analisis statistik Rank Spearman dengan tingkat korelasi sangat kuat. Secara praktis, teknologi paket IPA ini berpotensi menjadi solusi strategis untuk

meningkatkan kapasitas produksi air bersih secara efisien, terutama pada kondisi keterbatasan lahan dan biaya pembangunan infrastruktur baru. Namun, penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena dilakukan pada skala laboratorium menggunakan air baku artifisial, sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi air baku alami di lapangan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan pada skala pilot maupun industri untuk mengevaluasi kinerja sistem pada kondisi operasional yang lebih dinamis dan berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan dana penelitian dari Fakultas Teknik, Universitas Andalas pada Tahun 2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Attia, Mohamed S., Mahmoud S. Abdel-Wahed, Faisal K. Algethami, Amer S. El-Kalliny. Advanced oxidation processes (AOPs) for drinking water treatment: a state-of-the-art review on applications, efficacy, and implementation challenges. *RSC Advances*. 2026;16: 22186-22210
- A. G. Liew, Y. M. Ng, M.J.M.M. Noor. Turbid water clarification using extraction of cowpea seeds. *KKU Eng J*. 2004;31(2):73-82.
- Ali Hadi Ghawi, The Effect of Hydraulic Jump Coagulation Mixer on the Performance of Drinking Water Treatment Plant. *International Journal of Engineering Technology and Scientific Innovation*. 2017;2(01): 535-550
- Ampai Soros, James E. Amburgey, Christine E. Stauber, Mark D. Sobsey, Lisa M Casanova, Turbidity Reduction in Drinking Water by Coagulation-Flocculation with Chitosan. *Journal of Water & Health*. 2019;17(2):204-218
- Badan Standar Nasional (BSN) Indonesia. Cara Uji Kekeruhan dengan Nefelometer, Air dan Air Limbah. Indonesia: 2005. Report no. SNI.06-6989.25.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN) Indonesia. Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air. Indonesia: 2014. Report no. SNI.6774:2008.
- Crittenden, J.C., Trussell, R.R., Hand, D.W, Howe, K.J., dan Tchobanoglous, G. *Water treatment: principles and design*. 3rd ed. New Jersey: John Wiley & Sons Inc; 2012.
- Ebsa, D. G., W. T. Dibaba. Assessment of drinking water treatment and disinfection by-products. *South African Journal of Chemical Engineering*. 2022;41: 85-92
- García-Ávila, Fernando, Rita Cabello-Torres, Sergio Iglesias-Abad, George García-Mera, Cristopher García-Uzca, Lorgio Valdiviezo-Gonzales, Silvana Donoso-Moscoso. Cleaner production and drinking water: Perspectives from a scientometric and systematic analysis for a sustainable performance. *South African Journal of Chemical Engineering*. 2023;45: 136-148
- Gurjar, A., Bhorkar, M., Bhole, A. G., and Baitule, P. Performance study of tube settlers module. *Int J Eng Res Appl*. 2017;7(3):52–55.

- Hudson, H. E. Jr. *Water Clarification Processes: Practical design and evaluation*. New York: Van Nostrand Reinhold; 1981.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 2 Tahun 2023 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. 2023.
- Mohammad Abd Nasier, Khalid Adel Abdulrazzaq, Performance Evaluation of the Turbidity Removal Efficiency of AL-Muthana Water Treatment Plant. *Journal of Engineering*. 2022;3(28):1-13
- Mohamad Rangga Saruri & Hardika. Penyisihan Kekeruhan dan Natural Organic Matter (NOM) pada Unit Koagulasi-Flokulasi Instalasi Pengolahan Air Minum di Asia Tenggara, Studi Literatur, *Jurnal Reka Lingkungan*, 2024;(12): 63-79
- Nisaul Makhmudah dan Suprihanto Notodarmojo. Penyisihan Besi-Mangan, Kekeruhan, dan Warna Menggunakan Saringan Pasir Lambat Dua Tingkat pada Air Sungai Cikapundung. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 2010;16(2): 150-159
- Nu'aimah, Zena, Novirina Hendrasarie. Efektivitas Unit Clarifier, Filtrasi, Desinfeksi dan Reservoir di Instalasi Pengolahan Air (IPA) 2 Krian. *Jurnal Serambi Engineering*. 2025;10(3): 14412-14420.
- Nursubiyantoro, Eko, Ismianti, Astrid Wahyu Adventri Wibowo. Otomasi Sistem Pengolahan Air Dalam Upaya Optimalisasi SPAM Temuireng Girisuko, Panggang, Gunungkidul. Laporan Penelitian Dasar UPN "Veteran" Yogyakarta. 2020; 1-62
- Qasim SR, Motley EM, Zhu G. *Water works engineering: planning, design, and operation*. London: Prentice-Hall; 2000.
- Reynolds T.D & Richards P.A. *Unit operations and processes in environmental engineering*. 2nd ed. Boston: PWS Publishing Company; 1996.
- Ridwan, Afrianita, R., and Kurniawan, Y. Modification of the sedimentation unit with continuous discharges flow (CDF) as a new method to increase turbidity removal in raw water. *And Int J Appl Sci Eng Tech*. 2021; 1(1): 1-9.
- Ridwan and Afrianita, R. Application of continuous discharge flow (CDF) as new method in the sedimentation unit for removal of raw water turbidity. *J Environ Treat Tech*. 2020; 9(3): 698-703.
- Ridwan, Afrianita, R., dan Gustina, Y. The effect of variation in cone position heighth on raw water turbidity removal in sedimentation unit continuous discharge flow (CDF) method as a new method. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 2022;20(1):58-64.
- Ridwan, Vera S. Bachtiar, Reri Afrianita and Rifka Indriani. A new method to improve raw water turbidity removal efficiency in sedimentation units with continuous discharges and flow recirculation. *Engineering and Applied Science Research*. 2023;50(3):213-219
- Riski, A., R. Purnaini, U. Kadaria. Teknologi Tepat Guna Pengolahan Air Sungai Menjadi Air Bersih. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*. 2023;11(2): 442-451
- Sajad Mazloomi, Ahmad Zarei, Heshmatollah Nourmoradi, Sodabeh Ghodsei, Parya Amraei, Gholam Ali Haghghat. Optimization of Coagulation-Flocculation Process for Turbidity Removal Using Response Surface Methodology. *Desalination and Water Treatment*, 2019;(147): 234-242.
- Sholikhah, Mar'atus, Rodu Dhuha Afrianisa. Evaluasi Unit Koagulasi, Flokulasi, Sedimentasi, dan Filtrasi pada Instalasi Pengolahan Air (IPA) Semanggi Perumda Air Minum Toya Wening Kota Surakarta. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*. 2023;11: 442-450
- Sujarweni W. *SPSS untuk Penelitian*. Yogyakarta: Pustaka Baru Press; 2014.