

PERBANDINGAN KINERJA PENYARING AIR SISTEM *UPFLOW* PIPA VERTIKAL DAN PIPA U DALAM MENURUNKAN KEKERUHAN DAN TOTAL PADATAN TERSUSPENSI

[Comparative Performance of Upflow Water Filter Systems with Vertikal Pipe and U-Pipe Configurations in Reducing Turbidity and Total Suspended Solids]

Humairo Saidah^{1)*}, Anid Supriyadi²⁾, Heri Sulistiyono³⁾, I Dewa Gede Jaya Negara⁴⁾

Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram

h.saidah@unram.ac.id (corresponding)

ABSTRAK

Upaya peningkatan kinerja filter sederhana terus dikembangkan, salah satunya melalui modifikasi lintasan aliran. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan bagian horisontal pada pipa penyaring terhadap kemampuan filter dalam menurunkan kekeruhan dan total padatan tersuspensi (*Total Suspended Solids* atau TSS). Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen dengan membandingkan filter pipa vertikal dan filter pipa berbentuk U dengan variasi panjang pipa horisontal. Kinerja masing-masing filter dievaluasi berdasarkan efektivitas penurunan kekeruhan dan TSS dan mengukur indeks kinerja relatif keduanya untuk menilai perbedaan performa antar konfigurasi filter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan bagian horisontal pada pipa penyaring meningkatkan efisiensi penyaringan secara signifikan. Semakin panjang pipa horisontal, semakin besar kemampuan filter dalam menurunkan kekeruhan dan TSS. Filter pipa berbentuk U menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan filter pipa vertikal, dengan indeks kinerja relatif sebesar 1,7 untuk penurunan kekeruhan, dan 1,9 untuk kinerja penurunan TSS. Indeks kinerja yang lebih tinggi pada pipa penyaring berbentuk U menunjukkan bahwa modifikasi panjang lintasan aliran lebih efektif dalam mengurangi partikel tersuspensi dengan massa yang relatif lebih besar, sehingga berpotensi diaplikasikan sebagai alternatif desain filter sederhana yang lebih efisien.

Kata kunci: filtrasi; kekeruhan; Total Padatan Tersuspensi (TSS); Indeks Kinerja Filter

ABSTRACT

Efforts to enhance the performance of simple filtration systems have been continuously developed, one of which involves modifying the flow path within the filter. This study aims to evaluate the effect of incorporating a horizontal section into the filter pipe on its ability to reduce turbidity and Total Suspended Solids (TSS). The study was conducted using an experimental approach by comparing a vertikal pipe filter with a U-shaped pipe filter featuring variations in horizontal pipe length. The performance of each filter configuration was evaluated based on its effectiveness in reducing turbidity and TSS, and by determining the relative performance index to assess differences in filtration efficiency between configurations. The results indicate that the addition of a horizontal section to the filter pipe significantly enhances filtration efficiency. An increase in the horizontal pipe length corresponds to greater reductions in turbidity and TSS. The U-shaped pipe filter outperformed the vertikal pipe filter, achieving relative performance indices of 1.7 for turbidity reduction and 1.9 for TSS reduction. The higher performance indices observed for the U-shaped filter suggest that flow path modification in the form of a U-shaped configuration is more effective in removing suspended particles with relatively larger mass, indicating its potential application as a more efficient alternative design for simple filtration systems.

Keywords: Filtration; Turbidity; Total Suspended Solids (TSS); Filter Performance Index

PENDAHULUAN

Air bersih merupakan kebutuhan dasar bagi seluruh makhluk hidup, tidak terkecuali manusia, utamanya kebutuhan air bersih yang memenuhi standar Kesehatan. Namun, ketersediaan air bersih yang memenuhi standar kualitas masih menjadi permasalahan di banyak wilayah di Indonesia. Meskipun secara potensial wilayah Indonesia memiliki ketersediaan air yang melimpah, tapi masih sering dijumpai masyarakat yang mengalami kesulitan mengakses dan memenuhi kebutuhan air (Alihar, 2018; Chefany et al., 2024; Febriawati et al., 2021; Hargono et al., 2022). Berdasarkan hasil penelitian yang dipublikasikan oleh *United Nations Partnership for Development Framework (UNPDF)*, suatu kerangka kerja sama strategis jangka menengah antara Pemerintah Indonesia dan Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) untuk mendukung pembangunan nasional dan pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (TPB), disampaikan bahwa setidaknya masih ada 42,8 persen masyarakat Indonesia yang tidak memiliki akses terhadap air bersih yang layak, dan sekitar 55 juta jiwa (22% populasi) masih melakukan buang air sembarangan (Ronika et al., 2022). Untuk itu, pemerintah terus berupaya mewujudkan tercapainya 100% akses air minum aman dapat dinikmati seluruh rakyat Indonesia, sesuai RPJMN 2015-2019 dan *Sustainable Development Goals (SDGs)* tahun 2030 (Nurrahim, 2020) dan menjadi landasan bagi pencapaian target nasional air bersih dan sanitasi (Ronika et al., 2022).

Permasalahan akses air bersih ini juga dihadapi oleh masyarakat Desa Gegerung, Kecamatan Lingsar, Kabupaten Lombok Barat. Keterbatasan kemampuan ekonomi serta belum meratanya jaringan pelayanan air bersih PDAM menyebabkan sebagian warga harus bergantung pada air sungai Meninting yang mengalir melintasi wilayah desa. Ketergantungan terhadap air sungai ini menjadikan kualitas air sebagai faktor krusial yang secara langsung memengaruhi kesehatan dan kenyamanan hidup masyarakat. Permasalahan utama yang dihadapi adalah rendahnya kualitas air, utamanya tingkat kekeruhan dan kandungan lumpur yang dibawa. Hal ini disebabkan tingginya aktivitas proyek Pembangunan Bendungan Meninting yang tengah berlangsung akibat penggalian terowongan maupun bangunan pelengkap lain sehingga menyingkap lapisan batuan di lokasi proyek (Saidah et al., 2025). Meskipun pemerintah telah menyediakan dua unit sumur bor dalam, namun belum mampu memenuhi kebutuhan masyarakat di tiga dusun sekitarnya akibat berbagai kendala, terutama keterbatasan jarak dan akses distribusi. Kondisi ini menyebabkan masyarakat tetap bergantung pada air Sungai Meninting untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Untuk keperluan air minum dan memasak, masyarakat umumnya hanya melakukan penanganan sederhana berupa pengendapan, sementara untuk kebutuhan mandi, cuci, dan kakus (MCK) air sungai digunakan secara langsung tanpa pengolahan. Praktik tersebut menunjukkan perlunya upaya peningkatan kualitas air agar sumber air yang tersedia dapat dimanfaatkan secara lebih aman dan layak dalam memenuhi kebutuhan hidup masyarakat.

Teknik sederhana yang biasa digunakan untuk meningkatkan kualitas air adalah penyaringan, yaitu melewati air melalui media filter untuk menangkap partikel pencemar yang dibawa. Salah satu teknik penyaringan air yang populer adalah type *upflow*, yaitu system yang mengalirkan airnya dari bawah ke atas melalui media penyaring. Dibandingkan dengan sistem filtrasi aliran ke bawah (*downflow*), filter *upflow* memiliki sejumlah keunggulan. Studi terdahulu memperlihatkan efisiensi penghilangan polutan type *upflow* relatif sama dengan *downflow*, namun *upflow* memiliki keunggulan karena dinilai lebih tahan terhadap penurunan debit akibat *clogging* dalam operasi jangka Panjang (Clark et al., 2012; Pratap et al., 2012). Sejumlah temuan baru diperoleh dari penelitian terbaru mengenai kelebihan Filter *upflow* dibanding *downflow* yaitu aliran dari bawah ke atas mengurangi potensi penyumbatan (*clogging*) pada lapisan media bagian atas, sehingga distribusi aliran menjadi lebih merata dan stabil. Selain itu, akumulasi partikel cenderung terjadi pada bagian bawah media, sehingga proses pencucian balik (*backwashing*) atau perawatan filter dapat dilakukan dengan lebih mudah dan efisien (He et al., 2025). Karakteristik tersebut menjadikan filter *upflow* lebih sesuai untuk diterapkan pada pengolahan air bersih skala rumah tangga maupun komunitas, khususnya di wilayah dengan keterbatasan sumber daya dan kemampuan operasional.

Penelitian ini bertujuan untuk melihat kinerja dua penyaring type *upflow* yaitu model vertikal dan model pipa U dalam menurunkan tingkat kekeruhan dan kadar kandungan tersuspensi (TSS) dalam air di Sungai Meninting. Kekeruhan adalah salah satu parameter yang penting dalam penilaian

kualitas air. Air yang keruh bisa jadi petunjuk awal adanya pencemaran. Kekeruhan air dapat menjadi factor risiko munculnya masalah Kesehatan seperti diare dan gatal-gatal di kulit (Caesar & Prasetyo, 2017). Penyaring model pipa U ini merupakan modifikasi dari penyaring *upflow* vertikal yang ditambahkan bagian horizontal (sehingga membentuk huruf U) sebelum air mengalir melalui media filter. Hal ini ditujukan untuk menambah waktu perjalanan air selama berjalan melalui bagian horizontal sebelum melewati media.

Oleh karena itu, diperlukan evaluasi kinerja yang membandingkan secara langsung efektivitas filter *upflow* model pipa vertikal dan model pipa U untuk mengkaji dan memberikan informasi yang lebih komprehensif mengenai pengaruh lintasan aliran terhadap kinerja sistem dalam menurunkan kekeruhan dan kandungan TSS, sekaligus menjadi dasar dalam pemilihan desain filter yang lebih efektif dan aplikatif untuk penggunaan skala kecil.

Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi ilmiah dalam memperkaya khazanah pengetahuan di bidang teknologi penyaringan air bersih, khususnya terkait kinerja sistem filtrasi aliran ke atas (*upflow*) dalam menurunkan kekeruhan dan kandungan partikel tersuspensi (TSS). Air yang bersih umumnya harus memiliki tingkat kejernihan yang baik, yang ditandai oleh tidak adanya warna mencolok serta rendahnya partikel tersuspensi di dalam air. Kejernihan air merupakan salah satu parameter kualitas air yang paling mudah diamati secara visual dan sering kali menjadi indikator awal yang digunakan masyarakat untuk menilai kelayakan air dalam pemenuhan kebutuhan sehari-hari. Air yang tampak keruh umumnya diasosiasikan dengan kualitas yang buruk, karena mengandung partikel padatan halus, lumpur, bahan organik, maupun mikroorganisme yang tersuspensi.

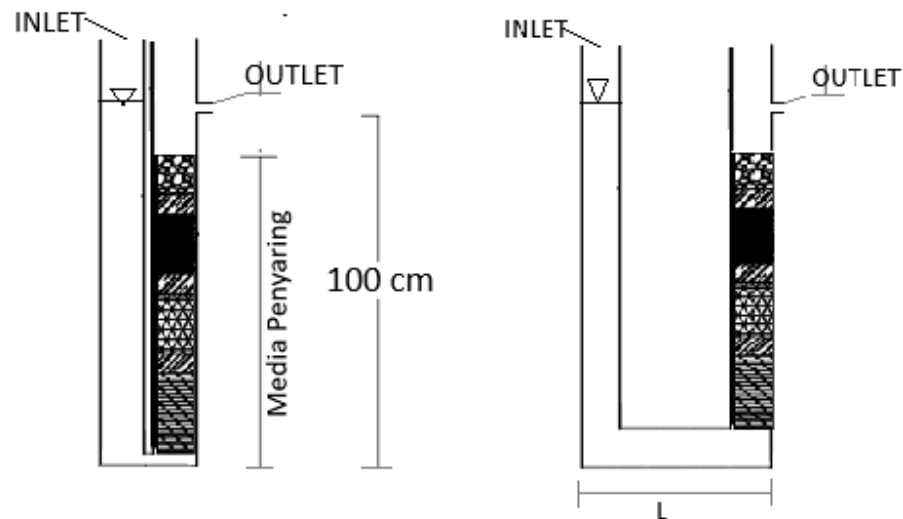
Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi dalam pengembangan dan penyempurnaan desain bak filter skala kecil dan rumah tangga yang lebih efektif, efisien, serta sesuai dengan kondisi sumber air permukaan yang memiliki tingkat kekeruhan tinggi. Selain itu, kajian komparatif antara konfigurasi filter pipa vertikal dan model berbentuk U memberikan dasar teknis bagi perancangan sistem filtrasi yang mempertimbangkan aspek aliran, waktu kontak, dan distribusi media penyaring. Secara praktis, temuan penelitian ini juga berpotensi dimanfaatkan sebagai alternatif teknologi pengolahan air bersih berbasis bahan lokal yang mudah diaplikasikan oleh masyarakat, khususnya di wilayah yang memiliki keterbatasan akses terhadap air bersih.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis dan membandingkan kinerja dua model filter air bersih sistem *upflow*, yaitu model pipa vertikal dan model pipa U menggunakan data hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan dengan metode eksperimen (pengukuran dan pengujian langsung) untuk. Air sungai Meninting yang berlokasi di Desa Gegerung digunakan sebagai air baku (*raw water*) dalam eksperimen tersebut. Pemilihan air sungai ini sebagai sumber air baku dimaksudkan untuk merepresentasikan kondisi kualitas air permukaan yang umum digunakan oleh masyarakat sekitar.

Penelitian dilakukan dengan terlebih dahulu mengumpulkan data hasil pengujian kualitas air baku (kekeruhan dan TSS) sebelum disaring dan setelah disaring menggunakan alat filter dengan bentuk yang berbeda (Gambar 1). Unit filter pertama menggunakan model pipa vertikal, sedangkan unit filter kedua menggunakan model pipa berbentuk U. Kedua unit filter menggunakan jenis dan susunan media penyaring yang sama, yaitu arang kelapa, batu zeolit, pasir, dan kerikil, dengan mengaplikasikan ijuk diantara setiap lapisan (Gambar 2).

Pada model pipa berbentuk U, air mengalir melalui bagian leher horizontal kemudian naik melalui media filter lalu keluar dari unit filter. Tambahan waktu perjalanan ini diduga dapat menambah waktu bagi partikel yang lebih besar untuk mengendap pada bagian pipa horizontal sebelum melalui media penyaring sehingga berpotensi meningkatkan kualitas air hasil filtrasi dibandingkan dengan model pipa vertikal. Untuk melihat pengaruh panjang leher horizontal pada pipa berbentuk U, maka bagian ini divariasikan (50 cm, 75 cm dan 100 cm) (Gambar 1).



Gambar 1. Penyaring air type pipa vertikal dan pipa berbentuk U

10,00	KERIKIL
5,00	IJUK
15,00	PASIR
5,00	IJUK
15,00	ZEOLIT
5,00	IJUK
20,00	ARANG KELAPA

Gambar 2. Jenis dan susunan media penyaring yang digunakan dalam penelitian

Pipa dengan bentuk U divariasikan panjangnya pada bagian horisontal dengan 3 variasi yaitu 50 cm, 75 cm dan 100 cm, sedangkan pipa bentuk vertikal dianggap tidak memiliki jarak horisontal (0 cm) sebagaimana pipa bentuk U (Gambar 1).

Tahap penyaringan dilakukan dengan mengalirkan air melalui inlet lalu masuk ke ruang media penyaring dan keluar melalui outlet (Gambar 1). Air hasil penyaringan dari masing-masing model filter selanjutnya dibawa dan diuji di laboratorium untuk mengetahui perubahan kualitasnya setelah proses filtrasi, khususnya parameter kekeruhan, dan *Total Suspended Solids (TSS)*. Kedua parameter ini dipilih karena berhubungan erat dengan tampilan fisik air yang biasanya menjadi parameter awal dalam menilai kebersihan/kelayakan air. Hasil pengujian laboratorium kemudian dibandingkan untuk menilai dan mengevaluasi kinerja kedua model filter *upflow* dalam meningkatkan kualitas air bersih, menggunakan persamaan berikut:

Efisiensi Penyisihan (*Removal Efficiency*)

Nilai efisiensi penyisihan menggambarkan kemampuan media mengurangi dan menurunkan kadar pencemar dalam air. Persamaan ini biasa digunakan untuk mengukur kinerja suatu unit.

$$\text{Efisiensi Penyisihan (\%)} = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan: C_{in} = konsentrasi parameter air baku; dan C_{out} = konsentrasi parameter air hasil filtrasi

Sedangkan untuk analisis pembandingannya, dilakukan dengan menghitung indeks kinerja relatif untuk membandingkan kinerja keduanya, dengan persamaan:

$$RPI = \frac{E_U}{E_V} \quad (2)$$

Dengan: E_U = efisiensi filter model pipa U; E_V = efisiensi filter model pipa vertikal, dengan interpretasi: jika $RPI > 1 \rightarrow$ model pipa U lebih baik; $RPI = 1 \rightarrow$ kinerja setara dan jika $RPI < 1 \rightarrow$ model pipa vertikal lebih baik

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tingkat kekeruhan (*turbidity*) menggambarkan kemampuan partikel tersuspensi dan koloid dalam air menghamburkan cahaya. Nilai kekeruhan yang tinggi menunjukkan konsentrasi yang besar dari partikel halus. Kekeruhan yang tinggi tidak hanya menurunkan nilai estetika air, tetapi juga dapat melindungi mikroorganisme patogen dari proses desinfeksi serta mempercepat penyumbatan pada sistem penyaringan. Selain kekeruhan, parameter *Total Suspended Solids* (TSS) digunakan untuk mengukur secara kuantitatif jumlah padatan tersuspensi dalam air berdasarkan satuan massa. TSS mencerminkan beban partikel fisik yang terbawa aliran air dan berperan penting dalam menentukan efektivitas proses filtrasi (Metcalf and Eddy et al., 2007).

Kekeruhan berkaitan langsung dan memiliki hubungan linier yang kuat dengan TSS, meskipun gradien hubungannya sangat tergantung kondisi musim saat pengambilan sampel (kering dan basah) serta lokasi sampel. Kekeruhan dapat digunakan sebagai parameter praktis untuk mengestimasi TSS dengan akurasi yang memadai, khususnya dalam pemantauan kualitas air saat kejadian hujan (Hannouche et al., 2011). Parameter kekeruhan bahkan dapat digunakan sebagai pengganti parameter kandungan padat tersuspensi, meski tidak dapat memberikan informasi tentang distribusi ukuran partikel yang diukur sebagai kekeruhan, yang mana ukuran ini menjadi penting untuk mengukur efektivitas proses desinfeksi (Metcalf and Eddy et al., 2007). Dengan mengamati perubahan kekeruhan dan TSS sebelum dan sesudah penyaringan, efektivitas filter dalam memperbaiki kejernihan air dapat dievaluasi secara objektif dan terukur.

Air baku yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Sungai Meninting di Kabupaten Lombok Barat, yang diambil saat proyek Bendungan Meninting beroperasi. Berikut disajikan angka hasil pengukuran parameter kekeruhan dan TSS yang diambil pada musim yang berbeda, yaitu musim kemarau pada bulan Mei 2023 (Kamelia, 2023) dan musim penghujan di bulan Oktober 2024 (Cadas, 2025) (Tabel 1)

Tabel 1. Hasil pengukuran angka kekeruhan (Turbidity) dan Total Suspended Solids (TSS) Sungai Meninting (Cadas, 2025; Kamelia, 2023)

No.	Parameter	Satuan	Nilai	Metode Analisis	Waktu Pengambilan sampel
1	Kekeruhan (<i>Turbidity</i>)	NTU	359	WI-M-K/7.2.31/BLKPK	Oktober
2	Kekeruhan (<i>Turbidity</i>)	NTU	132,9		Mei
3	TSS (<i>Total Suspended Solid</i>)	mg/L	1638	SNI 6989.3: 2019	Oktober
4	TSS (<i>Total Suspended Solid</i>)	mg/L	145,5		Mei

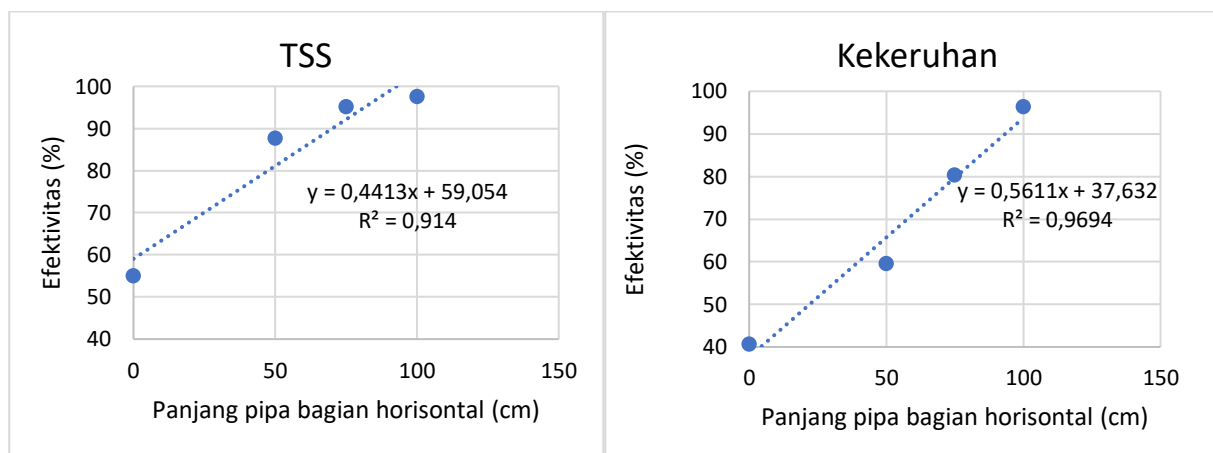
Data hasil pengukuran kualitas air baku sebelum proses penyaringan (Tabel 1) tersebut memberikan gambaran awal mengenai kondisi fisik air Sungai Meninting yang dimanfaatkan oleh Masyarakat. Data tersebut menggambarkan kondisi air yang sangat keruh dilihat dari nilai TSS. Air dikategorikan keruh jika nilai TSS seberat 50 – 200 mg/L, dan sangat keruh jika $TSS > 400$ mg/L, sehingga angka 1638 mg/L tersebut berkategori ekstrem keruh. Pada kasus ini, kondisi air Sungai Meninting menjadi ekstrem keruh karena tingginya aktivitas proyek di bagian hulu dari Lokasi pengambilan sampel, ditambah dengan waktu pengambilan sampel yang bertepatan dengan musim hujan. Sehingga dapat difahami jika Sungai mengalami resuspensi sedimen dan kondisi air permukaan menjadi ekstrem keruh.

Efektivitas Penyaringan

Selanjutnya, data awal tersebut digunakan sebagai acuan dalam mengevaluasi perubahan kualitas air setelah melalui proses penyaringan, sehingga kinerja masing-masing sistem filter dapat dianalisis secara objektif dan terukur. Selanjutnya dilakukan penyaringan menggunakan pipa penyaring vertikal dan model U. Efektivitas penyaringannya dihitung dengan membandingkan selisih nilai parameter awal dan akhir terhadap nilai awal parameter dan dikalikan 100% (Persamaan 1). Hasil perhitungan efektivitas penyaringannya disajikan pada table 2 dan gambar 3.

Model Pipa	Panjang pipa bagian horizontal (cm)	TSS (%)	Kekeruhan (%)
U	100	97,6	96,4
U	75	95,2	80,3
U	50	87,7	59,5
Vertikal	0	55,2	40,6

(Cadas, 2025; Kamelia, 2023).



Gambar 3. Grafik hubungan Panjang Pipa Horizontal terhadap Efektivitas Penyaringan

Tabel 2 menunjukkan bahwa peningkatan panjang pipa bagian horizontal berbanding lurus dengan peningkatan efektivitas penyisihan, baik untuk parameter TSS maupun kekeruhan. Secara hidraulik, penambahan panjang pipa horizontal pada sistem upflow berkontribusi terhadap penurunan kecepatan aliran, peningkatan waktu tinggal (detention time), serta distribusi aliran yang lebih stabil sebelum air bergerak ke arah vertikal. Kondisi ini mendukung proses pengendapan awal dan meningkatkan efektivitas kerja media filtrasi pada bagian selanjutnya. Pada panjang horizontal 0 cm, efektivitas penurunan TSS dan kekeruhan masing-masing hanya sebesar 55,2% dan 40,6%, yang menunjukkan bahwa mekanisme filtrasi masih terbatas pada proses penyaringan pipa vertikal. Seiring dengan bertambahnya panjang lintasan aliran horizontal menjadi 50 cm dan 75 cm, efektivitas penyisihan meningkat secara signifikan, hingga mencapai 87,7–95,2% untuk TSS dan 59,5–80,3% untuk kekeruhan.

Efektivitas tertinggi diperoleh pada panjang horizontal 100 cm, dengan nilai penyisihan TSS sebesar 97,6% dan kekeruhan sebesar 96,4%. Kondisi ini mengindikasikan bahwa bagian horizontal filter memberikan kontribusi penting terhadap proses penurunan partikel padat tersuspensi, terutama melalui mekanisme sedimentasi di perjalanan akibat pertambahan panjang pipa dan pertambahan waktu tinggal (detention time). Aliran horizontal pada bagian ini memungkinkan partikel tersuspensi mengalami pengendapan bertahap sebelum mencapai outlet, sehingga mengurangi beban filtrasi pada lapisan media selanjutnya.

Pada parameter TSS, hubungan linear ditunjukkan oleh persamaan regresi $y = 0,4413x + 59,054$ dengan nilai $R^2 = 0,914$. Nilai koefisien determinasi yang tinggi ini menunjukkan bahwa sekitar 91,4% variasi efektivitas penurunan TSS dapat dijelaskan oleh perubahan panjang pipa horizontal. Setiap penambahan panjang pipa 1 cm berkontribusi terhadap peningkatan nilai efektivitas penurunan TSS sebesar sekitar 0,44%. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin panjang lintasan

horizontal, semakin besar peluang partikel tersuspensi untuk mengalami sedimentasi, tertahan oleh media filter, atau mengalami mekanisme penangkapan fisik lainnya.

Sementara itu, pada parameter kekeruhan, hubungan yang lebih kuat ditunjukkan oleh persamaan regresi $y = 0,5611x + 37,632$ dengan $R^2 = 0,9694$. Nilai ini mengindikasikan bahwa 96,9% variasi efektivitas penurunan kekeruhan dipengaruhi oleh panjang pipa horizontal. Koefisien regresi yang lebih besar dibandingkan TSS menunjukkan bahwa kekeruhan lebih sensitif terhadap peningkatan panjang pipa horizontal. Hal ini dapat dikaitkan dengan dominasi partikel halus penyebab kekeruhan yang lebih mudah tertahan ketika waktu kontak air dengan media filter meningkat.

Perbedaan tren antara TSS dan kekeruhan juga terlihat jelas, di mana nilai efektivitas TSS secara umum lebih tinggi dibandingkan kekeruhan pada panjang lintasan yang sama. Hal ini karena lintasan yang panjang hanya dapat menjebak partikel padat yang berukuran besar, sementara partikel halus yang tetap terbawa aliran. Hal ini menyebabkan pembacaan saat pengukuran bahwa air masih memiliki kadar kekeruhan, karena masih partikel halus tersebut. Hasil ini sejalan dengan temuan Metcalf & Eddy (2007) yang menyatakan bahwa kekeruhan tidak hanya dipengaruhi oleh partikel tersuspensi berukuran besar (yang terukur sebagai TSS), tetapi juga oleh partikel koloid halus yang memiliki kontribusi besar terhadap hamburan cahaya namun massa yang relatif kecil (Metcalf and Eddy et al., 2007). Akibatnya, penurunan TSS yang tinggi tidak selalu diikuti oleh penurunan kekeruhan dalam proporsi yang sama, khususnya pada lintasan aliran yang relatif pendek.

Pengaruh Panjang lintasan yang positif terhadap peningkatan efisiensi penyaringan yang diperoleh dalam penelitian ini juga konsisten dengan penelitian terdahulu mengenai filter *upflow* dan modifikasi lintasan aliran. Sistem filtrasi yang dilakukan dengan menambah ketebalan media filter sehingga membuat lintasan aliran yang lebih panjang memiliki efisiensi penyisihan yang lebih baik, terutama untuk menurunkan partikel tersuspensi dan secara tidak langsung cenderung lebih tahan terhadap penyumbatan (*clogging*) (Kandra et al., 2014; Sansalone et al., 2012).

Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa modifikasi secara geometris filter *upflow* dengan penambahan bagian horizontal merupakan strategi yang efektif untuk meningkatkan kinerja penyaringan, khususnya dalam menurunkan tingkat kekeruhan dan kandungan TSS. Temuan ini memperkuat argumen bahwa desain filter tidak hanya ditentukan oleh jenis media, tetapi juga oleh konfigurasi aliran dan panjang lintasan hidraulik yang dilalui air selama proses filtrasi. Beberapa faktor utama yang memengaruhi efektivitas penyaringan sebagaimana disebutkan dalam banyak sumber diantaranya Adalah ukuran partikel media, ketebalan lapisan media filtrasi, laju (kecepatan) filtrasi, dan konsentrasi air baku (García-Ávila et al., 2020; Zhang et al., 2023).

Indeks kinerja relatif filter

Indeks Kinerja Relatif (IKR) antar Filter Adalah analisis kuantitatif untuk menunjukkan Tingkat keunggulan relatif antar alat filtrasi. Indeks ini digunakan untuk mengevaluasi dan membandingkan efektivitas setiap tipe filter berdasarkan kemampuan penurunan parameter kualitas air yang diamati, sehingga perbedaan kinerja antar konfigurasi filter dapat dinilai secara objektif. Hasil penilaian IKR disajikan pada tabel 3

Tabel 3. Nilai indeks kinerja relatif

	Kekeruhan	TSS
Efisiensi rerata pipa U	93,5	78,7
Efisiensi rerata pipa vertikal	55,0	40,6
Indeks Kinerja Relatif	1,7	1,9

Hasil evaluasi Indeks Kinerja Relatif menunjukkan bahwa sistem penyaring *upflow* tipe U memiliki kinerja yang secara konsisten lebih unggul dibandingkan penyaring *upflow* pipa vertikal pada kedua parameter kualitas air yang diuji, yaitu kekeruhan dan TSS. Nilai efisiensi rerata penyisihan kekeruhan pada filter tipe U mencapai 93,5%, jauh lebih tinggi dibandingkan filter vertikal yang hanya sebesar 55,0%. Kondisi serupa juga terlihat pada parameter TSS, di mana filter tipe U menunjukkan efisiensi sebesar 78,7%, sedangkan filter vertikal hanya 40,6%.

Keunggulan tersebut tercermin secara kuantitatif melalui nilai Indeks Kinerja Relatif, yang masing-masing bernilai 1,7 untuk kekeruhan dan 1,9 untuk TSS. Nilai indeks yang lebih besar dari satu mengindikasikan bahwa filter tipe U memiliki performa yang secara signifikan lebih baik hamper 2x lipat dibandingkan filter vertikal. Secara khusus, indeks yang lebih tinggi pada parameter TSS menunjukkan bahwa modifikasi lintasan aliran berbentuk U lebih efektif dalam meningkatkan penyisihan partikel tersuspensi bermassa relatif besar dibandingkan dengan kemampuannya mereduksi kekeruhan, yang selain disebabkan oleh partikel berukuran besar juga dipengaruhi oleh partikel koloid halus.

Salah satu hal yang perlu diketahui juga adalah bahwa hasil penurunan kekeruhan dan kandungan TSS hasil penyaringan ini belum menjamin air bebas pathogen atau mikroorganisme berbahaya. Kandungan bakteri patogen ini harus diperhatikan terutama jika air akan dimanfaatkan dan kontak langsung dengan manusia. Parameter kekeruhan dan TSS sangat penting, namun tidak berhubungan dengan jumlah pathogen yang berhasil dibuang selama proses penyaringan (Metcalf and Eddy et al., 2007). Oleh karena itu, kekeruhan dan TSS tidak boleh dijadikan satu-satunya indikator keamanan air, pemeriksaan lain tetap diperlukan diantaranya dari kelompok indikator kimiawi dan biologi serta kandungan logam berat, sehingga air yang akan digunakan atau bahkan dikonsumsi masyarakat dapat benar-benar memenuhi syarat kelayakannya.

PENUTUP

Simpulan

Penelitian ini menghasilkan simpulan bahwa modifikasi pipa penyaring dengan menambahkan bagian horisontal terbukti meningkatkan efisiensi penyaringan khususnya dalam menurunkan tingkat kekeruhan dan kandungan padat tersuspensi (TSS) dalam air. Semakin panjang pipa horisontal makin efektif menurunkan kekeruhan dan kandungan TSS dalam air.

Perbedaan indeks kinerja relatif antara filter pipa vertikal dan pipa berbentuk U cukup signifikan, dimana filter dengan pipa U memiliki performa yang secara signifikan lebih baik dibandingkan filter vertikal, dengan indeks mencapai 1.7 untuk penurunan kekeruhan dan 1,9 untuk penurunan TSS. Indeks kinerja pada parameter TSS yang lebih tinggi dibandingkan dengan kemampuannya mereduksi kekeruhan, menunjukkan bahwa modifikasi lintasan aliran pada pipa berbentuk U lebih efektif dalam menurunkan kandungan partikel tersuspensi bermassa relatif besar.

Saran

Penelitian selanjutnya dapat mengkaji variasi panjang pipa horisontal serta melihat pengaruh parameter operasional lain seperti kecepatan aliran, waktu kontak, dan karakteristik media filtrasi, hingga mendapatkan hubungan antara panjang lintasan aliran dan kinerja penyaringan. Selain itu, pengujian pada kondisi air baku dengan karakteristik yang berbeda perlu dilakukan untuk mengevaluasi konsistensi dan potensi penerapan sistem penyaring ini dalam skala yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Alihar, F. (2018). Penduduk dan akses air bersih di Kota Semarang. *Jurnal Kependudukan Indonesia*, 13(1), 67–76. <https://doi.org/10.14203/jki.v13i1.306>
- Cadas, S. (2025). *Analisis Efektivitas Sistem Filtrasi Upflow bentuk U untuk Meningkatkan Kualitas air di Desa Gegerung Kabupaten Lombok Barat dengan Pemanfaatan Media Filter Alami* [Skripsi]. Universitas Mataram.
- Caesar, D. L., & Prasetyo, E. (2017). Analisis Kualitas Fisik Air Desa Cranggang Kecamatan Dawe Kabupaten Kudus. *JKM (Jurnal Kesehatan Masyarakat) Cendekia Utama*, 5(1).
- Chefany, H. F., Nugroho, M. R., Jannah, R. R., Annisa, U., & Fatmawati. (2024). KETERSEDIAAN AIR BERSIH DAN KONDISI IKLIM: Studi Krisis Air Di Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Pendidikan Sosial Dan Humaniora*, 3(4), 5185–5201.
- Clark, S., Pitt, R., & Balakrishnan, A. (2012). *BMP Filters: Upflow vs. Downflow*. 489–493. [https://doi.org/10.1061/40602\(263\)32](https://doi.org/10.1061/40602(263)32)

- Febriawati, L., Mellaty, R., & Widowati, T. (2021). Analisis aksesibilitas air bersih dalam rangka peningkatan ketahanan keluarga di DKI Jakarta. *Jurnal Lemhannas RI*, 9(2), 24–39.
- García-Ávila, F., Zhindón-Arévalo, C., Álvarez- Ochoa, R., Donoso-Moscoso, S., Tonon-Ordoñez, M. D., & Flores del Pino, L. (2020). Optimization of water use in a rapid filtration system: A case study. *Water-Energy Nexus*, 3, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.wen.2020.03.005>
- Hannouche, A., Chebbo, G., Ruban, G., Tassin, B., Lemaire, B. J., & Joannis, C. (2011). Relationship between turbidity and total suspended solids concentration within a combined sewer system. *Water Science and Technology*, 64(12), 2445–2452. <https://doi.org/10.2166/wst.2011.779>
- Hargono, A., Waloejo, C., Pandin, M. P., & Choirunnisa, Z. (2022). Penyuluhan Pengolahan Sanitasi Air Bersih untuk Meningkatkan Kesehatan Masyarakat Desa Mengare, Gresik. *Abimanyu: Journal of Community Engagement*, 3(1), 1–10. <https://doi.org/10.26740/abi.v3n1.p1-10>
- He, W., Luo, T., Chen, F., Sun, X., & Yang, Z. (2025). Downflow and upflow sand filtration for removing turbid particles with diverse morphological and surface-charge characteristics: Comparisons of filtered water quality and head loss distribution. *Separation and Purification Technology*, 354, 128678. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.128678>
- Kamelia, W. (2023). *Analisis Kinerja Up Flow Filter Dalam Pengolahan Air Sungai Pada Desa Gegerung, Kabupaten Lombok Barat* [Skripsi]. Universitas Mataram.
- Kandra, H. S., McCarthy, D., Fletcher, T. D., & Deletic, A. (2014). Assessment of clogging phenomena in granular filter media used for stormwater treatment. *Journal of Hydrology*, 512, 518–527.
- Metcalf and Eddy, I., Asano, T., Burton, F. L., Leverenz, H., Tsuchihashi, R., & Tchobanoglous, G. (2007). *Water reuse*. McGraw-Hill Professional Publishing United States of America.
- Nurrahim, T. (2020). *Program 100-0-100 Tingkatkan Akses Air Minum*. Indonesiabaik.Id. http://indonesiabaik.id/motion_grafis/program-100-0-100-tingkatkan-akses-air-minum
- Pratap, M. R., Khambhammettu, U., Clark, S. E., & Pitt, R. (2012). *Stormwater Polishing: Upflow vs. Downflow Filters*. 1–12. [https://doi.org/10.1061/40927\(243\)582](https://doi.org/10.1061/40927(243)582)
- Ronika, Z. C., Manullang, A., & Tarina, D. D. Y. (2022). Penyediaan Air Bersih dan Sanitasi dalam Pembangunan Berkelanjutan. *Jurnal SDGs*, 1(1), 1–6.
- Saidah, H., Supriyadi, A., Yasa, I. W., Negara, I. D. G. J., & Agastya, D. M. (2025). KINERJA MEDIA PENYARING GRANULAR LOKAL PADA FILTER TYPE UPFLOW UNTUK PENINGKATAN KUALITAS AIR SUNGAI MENINTING. *Ganec Swara*, 19(1), 445–452. <https://doi.org/10.59896/gara.v19i1.236>
- Sansalone, J., Kuang, X., Ying, G., & Ranieri, V. (2012). Filtration and clogging of permeable pavement loaded by urban drainage. *Water Research, Special Issue on Stormwater in Urban Areas*, 46(20), 6763–6774. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.10.018>
- Zhang, W., Cai, J., Zhai, G., Song, L., & Lv, M. (2023). Experimental Study on the Filtration Characteristics and Sediment Distribution Influencing Factors of Sand Media Filters. *Water*, 15(24), 4303. <https://doi.org/10.3390/w15244303>