

Rancang Bangun Penjernih Air Portable Berbasis Filtrasi Bertingkat untuk Darurat Banjir Bandang Sumatera Barat

Fani Iflahdini^{1*}, Yaumal Arbi²

^{1,2} Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, Kota Padang, Indonesia.

*Email: faniiflahdini@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini merancang, membangun, dan mengevaluasi alat penjernih air portable berbasis filtrasi bertingkat untuk mendukung penyediaan air bersih pada keadaan darurat banjir bandang. Penelitian dilakukan melalui eksperimen kuantitatif menggunakan air permukaan dari Batang Kuranji, Kota Padang. Sistem yang dikembangkan terdiri atas pompa listrik, tabung FRP berisi pasir silika dan media mangan, karbon aktif, filter housing, membran ultrafiltrasi, unit ultraviolet, serta desinfeksi akhir. Kinerja alat dievaluasi meliputi analisis struktur rangka menggunakan SAP2000, perhitungan debit, kecepatan, kehilangan energi, total dynamic head (TDH), hydraulic retention time (HRT), serta pengujian pH, total dissolved solids (TDS), dan kekeruhan sebelum dan sesudah pengolahan. Prototipe berukuran 100,33 cm × 69,85 cm × 146,05 cm menghasilkan debit rata-rata 972 L/jam, total dynamic head 2,7425 m, dan waktu tinggal hidrolik teoretis 2,10 menit. Pada kondisi pengujian, kekeruhan turun dari 179 NTU menjadi 24 NTU dengan efisiensi 86,59%, sedangkan TDS menurun dari 167 mg/L menjadi 147 mg/L dengan efisiensi 11,98%. Nilai pH berubah dari 6,81 menjadi 6,99. Secara teoretis, debit rata-rata mampu menghasilkan 1500 L dalam 1,54 jam untuk kebutuhan 100 orang. Hasil penelitian dari nilai Ph, TDS, dan kekeruhan dapat memenuhi nilai acuan Permenkes RI Nomor 2 Tahun 2023 untuk keperluan higiene sanitasi. Meskipun demikian, air hasil pengolahan belum dapat dinyatakan aman diminum karena parameter mikrobiologi, logam berat, dan parameter kimia lain belum diuji.

Kata Kunci: *air bersih darurat; filtrasi bertingkat; penjernih air portable; analisis hidrolika; kualitas air.*

Pernyataan Pendanaan

Penelitian ini memperoleh dukungan pendanaan dari Alumni Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung (ITB) Angkatan 1984 melalui skema kerja sama penelitian dengan dosen Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang. Pendanaan digunakan untuk menunjang pelaksanaan kegiatan penelitian dan pengembangan alat penjernih air portable.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan dan bimbingan selama proses penyusunan penelitian ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada keluarga, teman-teman, serta seluruh pihak yang telah memberikan dukungan penuh dan bantuan dari awal penelitian hingga penelitian ini selesai dilakukan.

Etika Publikasi

Penelitian ini tidak melibatkan manusia maupun hewan sebagai subjek penelitian. Seluruh proses pengumpulan, pengolahan, dan penyajian data dilakukan dengan menjunjung prinsip kejujuran, objektivitas, serta tanggung jawab akademik. Seluruh sumber data, gambar, dan rujukan dicantumkan sesuai dengan kaidah penulisan ilmiah.

Pernyataan AI

Struktur tata bahasa artikel ini dibantu menggunakan ChatGPT. Penulis telah memeriksa ulang setiap kalimat, menyesuaikannya dengan data tugas akhir, serta memastikan bahwa sitasi dan interpretasi hasil tetap akurat. Tanggung jawab atas seluruh isi artikel berada pada penulis.

1. Pendahuluan

Banjir bandang tidak hanya merusak permukiman dan infrastruktur, tetapi juga dapat menghentikan layanan air bersih pada saat kebutuhan masyarakat justru meningkat. Lumpur, sedimen, bahan organik, serta pencemar lain yang terbawa aliran banjir dapat masuk ke sumber air dan jaringan distribusi. Kondisi tersebut menjadikan penilaian berdasarkan kejernihan visual saja tidak memadai karena mutu air perlu ditinjau melalui parameter fisik, kimia, dan mikrobiologi. World Health Organization menempatkan pengamanan air dari sumber sampai pengguna sebagai bagian penting pengendalian risiko kesehatan, sedangkan standar respons kemanusiaan menekankan kecukupan air untuk minum, pengolahan makanan, dan higiene dasar (World Health Organization [WHO], 2022; Sphere Association, 2018). Sumatera Barat yang berulang kali menghadapi bencana hidrometeorologi, teknologi pengolahan air yang mudah dipindahkan menjadi kebutuhan yang relevan untuk mendukung layanan darurat.

Filtrasi bertingkat menawarkan proses pengolahan melalui beberapa penghalang yang menjalankan fungsi berbeda, mulai dari penyisihan partikel hingga pengolahan lanjutan. Kajian pada skala rumah tangga menunjukkan bahwa sistem multistage dapat menurunkan kekeruhan dan kontaminan tertentu, tetapi hasilnya sangat dipengaruhi oleh karakteristik air baku, urutan unit, debit, waktu kontak, dan pemeliharaan media (Medeiros et al., 2020). Tinjauan teknologi filtrasi juga memperlihatkan bahwa setiap media dan membran memiliki kemampuan serta keterbatasan operasional yang berbeda (Razali et al., 2023). Penelitian mengenai perangkat portable untuk air permukaan pascabanjir masih belum banyak menggabungkan fungsi filtrasi dengan evaluasi kapasitas rangka dan konsumsi energi aliran, meskipun bukti tersebut mendukung penggunaan berbagai tahap pengolahan.

Menurut penelitian yang dilakukan di Indonesia, pasir silika, greensand manganese, dan karbon aktif memiliki kemampuan untuk meningkatkan berbagai karakteristik air telaga dan sumur (Badriyah et al., 2025; Riansyah & Al Kholif, 2021). Meskipun demikian, karakter air ini tidak sepenuhnya mencerminkan air sungai keruh setelah banjir, yang memiliki kualitas yang dapat berubah dengan cepat. Analisis debit, kehilangan energi, total dynamic head, dan respons struktur dalam satu prototipe belum dievaluasi oleh sebagian besar penelitian terdahulu, selain perbedaan sumber air. Selain itu, ada perbedaan dalam metode pengukuran. Ini karena keberhasilan alat harus dibuktikan melalui data sebelum dan sesudah pengolahan dengan instrumen dan prosedur yang dapat dipertanggungjawabkan, bukan hanya perubahan penampakan air (American Public Health Association et al. [APHA et al.], 2023; Creswell & Creswell, 2023).

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang penjernih air portable berbasis filtrasi bertingkat yang dapat menahan beban operasional, menghitung karakteristik hidrolik, serta mengevaluasi perubahan pH, total dissolved solids (TDS), dan kekeruhan. Nilai akhir ketiga parameter dibandingkan dengan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 untuk keperluan higiene sanitasi. Penelitian ini penting karena menghasilkan gambaran kuantitatif mengenai kelayakan awal prototipe untuk keadaan darurat sekaligus menegaskan batas penggunaannya. Hasil yang memenuhi tiga parameter tersebut tidak digunakan untuk menyatakan air aman diminum karena pengujian mikrobiologi, logam berat, dan parameter kimia khusus belum dilakukan (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2023).

2. Metodologi Penelitian

2.1 Desain penelitian dan lokasi pengambilan sampel

Penelitian disusun menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen. Rangkaian kegiatan dimulai dari penetapan kebutuhan desain, penyusunan model tiga dimensi, pemilihan komponen, fabrikasi prototipe, pengujian aliran, pengambilan sampel, analisis struktur, dan pengukuran mutu air. Susunan tersebut digunakan agar perubahan yang terjadi setelah air melewati alat dapat diukur secara objektif dan dibandingkan dengan kondisi awal (Creswell & Creswell, 2023).

Air baku diambil secara purposif dari Sungai Batang Kuranji, Kota Padang, karena sumber tersebut menyediakan volume yang mencukupi dan menunjukkan tingkat kekeruhan tinggi pada waktu pengambilan. Sampel dibedakan menjadi tiga tahap, yaitu air baku, air setelah melewati rangkaian filtrasi, dan air hasil akhir setelah desinfeksi kaporit. Pengujian mutu dilakukan pada setiap tahap agar arah perubahan pH, TDS, dan kekeruhan dapat diamati secara berurutan.

2.2 Konfigurasi alat dan media pengolahan

Prototipe ditempatkan pada rangka beroda agar lebih mudah dipindahkan. Air baku dipompa menuju tabung FRP yang memuat pasir silika dan media mangan. Aliran berikutnya diteruskan ke filter housing berisi karbon aktif, kemudian melewati membran ultrafiltrasi serta unit ultraviolet sebelum menerima desinfeksi akhir. Konfigurasi ini mengikuti prinsip beberapa penghalang, yaitu setiap unit diposisikan untuk mengurangi beban kontaminan secara bertahap sesuai fungsi desainnya (WHO, 2022; Razali et al., 2023). Komponen utama dan perannya dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Komponen utama prototipe dan fungsi teknisnya

Komponen	Spesifikasi/isi	Fungsi utama
Rangka	Baja Hollow galvanis 40 × 60 x 1,2 mm, beroda	Menopang komponen dan memudahkan mobilisasi pada kondisi darurat
Pompa listrik	AC 220 V, daya 125 W, debit maksimum ±30 L/menit (1.800 L/jam), head maksimum ±35 m, sambungan ¾ inci	Mengalirkan air baku keseluruh unit filtrasi dan mengatasi kehilangan energi akibat elevasi
Tabung FRP	Tipe 1035 (Ø10 inci × tinggi 35 inci)	Wadah media granular untuk proses penyaringan bertingkat.
Media tahap awal	Pasir silika 25 kg (ukuran 0,4–0,8 mm; ketebalan ±35 cm) dan manganese greensand 25 kg (ukuran 0,3–1,2 mm; ketebalan ±35 cm)	Menyisihkan padatan tersuspensi, menurunkan kekeruhan, serta membantu proses oksidasi dan penyaringan besi serta mangan.
Filter housing	Housing 10 inci berisi karbon aktif granular (8 × 30 mesh) dan cartridge filter	Mengadsorpsi senyawa organik, bau, warna, serta melakukan penyaringan lanjutan terhadap partikel halus.
Membran	Membran ultrafiltrasi (UF) removable, ukuran pori ±0,01 µm	Menahan partikel halus, bakteri, dan mikroorganisme sesuai ukuran pori membran.

Komponen	Spesifikasi/isi	Fungsi utama
Desinfeksi	UV Sterilizer 10 W dan kaporit (kalsium hipoklorit)	Menonaktifkan mikroorganisme patogen sebagai tahap akhir pengolahan air.
Perpipaan	Pipa PVC Ø¾ inci (diameter dalam 19,05 mm), panjang total ±17,2 m, dilengkapi valve, elbow, tee, union, dan fitting	Menyalurkan air antarkomponen serta mengatur arah dan debit aliran selama proses filtrasi.

2.3 Analisis struktur rangka

Model rangka dibuat dengan SketchUp dan dianalisis menggunakan SAP2000 sebagai struktur ruang. Ukuran keseluruhan prototipe adalah 100,33 cm × 69,85 cm × 146,05 cm. Baja ASTM A36 dimodelkan dengan modulus elastisitas 200 GPa dan tegangan leleh 250 MPa, sedangkan empat kaki rangka diasumsikan sebagai tumpuan sendi. Beban yang dimasukkan mencakup berat tabung FRP, media dan air, filter housing, pompa, generator, membran, unit ultraviolet, perpipaan, serta berat sendiri rangka. Analisis menghasilkan deformasi, gaya dalam, tegangan maksimum, dan faktor keamanan untuk memeriksa kemampuan rangka terhadap pembebanan statis yang direncanakan (Hibbeler, 2020; Badan Standardisasi Nasional, 2020).

2.4 Analisis hidrolik

Debit aktual ditentukan secara volumetrik dari volume air yang tertampung dan waktu pengisian. Kecepatan aliran dihitung berdasarkan debit dan luas penampang pipa. Kehilangan energi sepanjang pipa dihitung dengan persamaan Darcy-Weisbach, sedangkan kehilangan lokal ditentukan dari jumlah koefisien fitting, valve, dan perubahan arah aliran. Total dynamic head (TDH) diperoleh dari penjumlahan head statis, major head loss, dan minor head loss. Hydraulic retention time (HRT) dihitung dari volume efektif media terhadap debit rata-rata. Persamaan yang digunakan mengikuti prinsip mekanika fluida dan aliran dalam pipa (Çengel & Cimbala, 2021).

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

$$V = \frac{Q}{A} \quad (2)$$

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (3)$$

$$h_m = K \frac{V^2}{2g} \quad (4)$$

$$TDH = H_s + H_f + H_m \quad (5)$$

$$HRT = \frac{V}{Q} \quad (6)$$

Kemampuan layanan dihitung dengan menggunakan kebutuhan dasar 15 L per orang per hari. Untuk 100 orang, volume acuan menjadi 1500 L per hari. Lama operasi teoretis diperoleh dengan membagi volume tersebut terhadap debit produksi rata-rata (Sphere Association, 2018). Perhitungan ini menggambarkan kapasitas ideal pada kondisi pengujian dan belum mengakomodasi waktu pencucian media, backwash, penghentian alat, kehilangan air, maupun penurunan debit akibat penyumbatan.

2.5 Pengujian kualitas air dan analisis data

Kekeruhan diukur menggunakan turbidity meter, TDS menggunakan water quality meter, dan pH menggunakan pH meter yang telah dikalibrasi. Pengukuran pH utama dilakukan dua kali pada setiap tahap dan dihitung nilai rata-ratanya. TDS serta kekeruhan dibandingkan antara air baku, air setelah filtrasi, dan air hasil akhir. Efisiensi penyisihan dihitung dari selisih konsentrasi awal dan akhir terhadap konsentrasi awal. Pelaksanaan pengujian mengacu pada prinsip pemeriksaan kualitas air yang menuntut kalibrasi alat, konsistensi prosedur, dan pencatatan kondisi sampel (APHA et al., 2023).

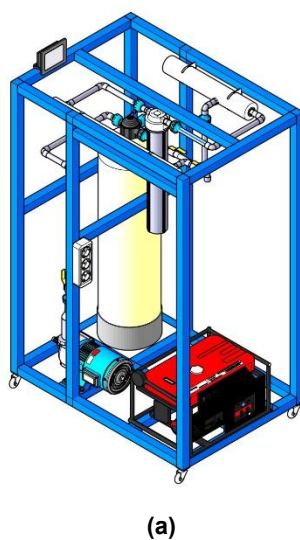
$$Efisiensi = \frac{C_o - C_t}{C_o} \times 100\% \quad (7)$$

Hasil akhir dibandingkan dengan batas pH 6,5–8,5, TDS maksimum 500 mg/L, dan kekeruhan maksimum 25 NTU sebagaimana tercantum dalam Permenkes RI Nomor 2 Tahun 2023. Kesimpulan mengenai pemenuhan baku mutu hanya berlaku untuk ketiga parameter yang diukur. Karena penelitian tidak mencakup mikrobiologi, logam berat, dan parameter kimia spesifik lainnya, air hasil pengolahan tidak dinyatakan sebagai air minum (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2023).

3. Hasil

3.1 Proses perancangan dan alur pengolahan

Alat penjernih air portable berhasil diwujudkan sebagai satu unit beroda dengan ukuran 100,33 cm × 69,85 cm × 146,05 cm. Pompa, tabung FRP, filter housing, cartridge filter, membran ultrafiltrasi, unit ultraviolet, generator, valve, dan jaringan perpipaan ditempatkan pada rangka yang sama. Tabung FRP disusun vertikal untuk menjaga kestabilan media, sementara jalur pipa diatur agar air bergerak berurutan dari inlet menuju setiap unit pengolahan. Bentuk model tiga dimensi dan hasil fabrikasi diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. (a) Model tiga dimensi alat dan (b) prototipe hasil fabrikasi.

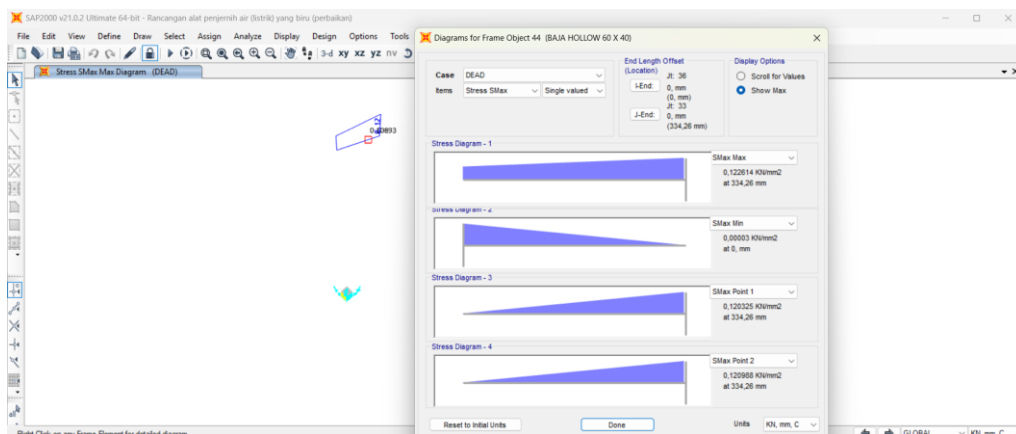
Pada uji operasi, pompa mampu mendorong air baku menuju tabung FRP yang diisi media pasir silika dan media mangan, filter housing yang berisikan karbon aktif, membran ultrafiltrasi, unit ultraviolet, dan outlet akhir tanpa terputus. Valve digunakan untuk mengarahkan serta mengatur aliran, sedangkan sambungan pipa diperiksa untuk memastikan tidak terjadi kebocoran yang mengganggu pengukuran debit. Hasil tersebut menunjukkan bahwa rangkaian pengolahan dapat dioperasikan sebagai satu sistem kontinu pada kondisi pengujian.

3.2 Hasil analisis struktur rangka

Total massa komponen yang dimasukkan ke dalam model mencapai 162,09 kg atau setara dengan beban 1590,1 N. Simulasi menghasilkan deformasi U1 sebesar 0,006444 mm, U2 sebesar 0,001058 mm, dan U3 sebesar 0,000015 mm. Gaya aksial maksimum tercatat 3,35 kN, gaya geser maksimum 4,18 kN, reaksi tumpuan maksimum 8,042 kN, dan tegangan maksimum 122,614 MPa. Ringkasan hasil analisis ditampilkan pada Tabel 2, sedangkan distribusi tegangan rangka ditunjukkan pada Gambar 2.

Tabel 2. Ringkasan hasil analisis struktur rangka

Parameter	Nilai	Interpretasi
Beban total	1590,1 N	Akumulasi komponen, media, air, dan rangka
Deformasi U1	0,006444 mm	Perpindahan sangat kecil
Deformasi U2	0,001058 mm	Perpindahan sangat kecil
Deformasi U3	0,000015 mm	Perpindahan sangat kecil
Gaya aksial maksimum	3,35 kN	Ditahan terutama oleh kolom utama
Gaya geser maksimum	4,18 kN	Terjadi pada balok penyangga utama
Tegangan maksimum	122,614 MPa	Lebih kecil dari $f_y = 250$ MPa
Reaksi tumpuan maksimum	8,042 kN	Beban diteruskan ke tumpuan
Faktor keamanan	$\approx 2,04$	Kapasitas masih di atas tegangan kerja



Gambar 2. Output tegangan maksimum rangka pada SAP2000.

Tegangan maksimum 122,614 MPa berada di bawah tegangan leleh baja ASTM A36 sebesar 250 MPa. Perbandingan kapasitas leleh terhadap tegangan kerja memberikan faktor keamanan sekitar 2,04 untuk kombinasi pembebanan yang dimodelkan. Nilai deformasi yang sangat kecil juga memperlihatkan bahwa rangka memiliki kekakuan yang memadai pada kondisi uji statis.

3.3 Hasil analisis hidrolik dan kapasitas produksi

Pengukuran volumetrik menghasilkan debit minimum 936 L/jam, debit maksimum 1008 L/jam, dan debit rata-rata 972 L/jam. Dengan diameter dalam pipa PVC 0,01905 m, debit rata-rata tersebut setara dengan kecepatan aliran sekitar 0,95 m/s. Perhitungan kehilangan energi menghasilkan major head loss 0,825 m, minor head loss 0,537 m, serta static head 1,3805 m. Data hidrolik utama disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil analisis hidrolis prototipe

Parameter	Nilai
Debit minimum	936 L/jam
Debit maksimum	1008 L/jam
Debit rata-rata	972 L/jam
Kecepatan aliran	0,95 m/s
Major head loss	0,825 m
Minor head loss	0,537 m
Static head	1,3805 m
Total dynamic head	2,7425 m
Hydraulic retention time	2,10 menit
Waktu produksi 1500 L	1,54 jam

Penjumlahan static head dan seluruh kehilangan energi menghasilkan TDH sebesar 2,7425 m. Pada kondisi tersebut, pompa tetap mampu mempertahankan aliran melalui seluruh unit filtrasi. Berdasarkan debit rata-rata 972 L/jam, produksi 1500 L secara teoretis memerlukan waktu 1,54 jam atau sekitar 1 jam 32 menit.

Perbandingan volume efektif media dengan debit rata-rata menghasilkan HRT teoretis 2,10 menit. Angka ini merupakan waktu tinggal pada kondisi operasi rata-rata, sehingga belum menggambarkan perubahan yang dapat terjadi ketika media mulai tersumbat, dilakukan backwash, muncul kebocoran, atau alat dihentikan sementara.

3.4 Hasil pengujian kualitas air

Tabel 4. Kualitas air sebelum dan sesudah pengolahan

Parameter	Air baku	Setelah filtrasi	Hasil akhir	Baku mutu	Efisiensi
pH	6,81	6,92	6,99	6,5–8,5	—
TDS (mg/L)	167	158	147	≤ 500	11,98%
Kekeruhan (NTU)	179	24	24	≤ 25	86,59%

Kekeruhan air baku sebesar 179 NTU berkurang menjadi 24 NTU setelah filtrasi dan tidak berubah pada tahap akhir. Penurunan 155 NTU tersebut menghasilkan efisiensi penyisihan 86,59%. Nilai akhir 24 NTU berada sedikit di bawah batas maksimum 25 NTU untuk air higiene sanitasi.

TDS turun dari 167 mg/L pada air baku menjadi 158 mg/L setelah filtrasi dan 147 mg/L setelah desinfeksi akhir. Selisih 20 mg/L memberikan efisiensi penyisihan 11,98%, sedangkan nilai akhirnya masih jauh di bawah batas 500 mg/L.

Rata-rata pH meningkat dari 6,81 pada air baku menjadi 6,92 setelah filtrasi dan 6,99 pada hasil akhir. Seluruh nilai tersebut berada dalam rentang 6,5–8,5. Pengukuran perbandingan dengan water quality meter menghasilkan pH 7,66, 7,63, dan 7,67 pada tiga tahap pengujian. Dengan demikian, pH, TDS, dan kekeruhan hasil akhir memenuhi nilai acuan Permenkes RI Nomor 2 Tahun 2023 untuk keperluan higiene sanitasi pada parameter yang diuji.

4. Pembahasan

4.1 Kinerja struktur dan hidrolis

Tegangan maksimum 122,614 MPa dan faktor keamanan 2,04 memperlihatkan bahwa rangka masih bekerja di bawah batas leleh material untuk pembebanan statis yang dianalisis. Deformasi yang sangat kecil mendukung penilaian bahwa kekakuan rangka memadai pada saat alat diam dan beroperasi dalam kondisi uji (Hibbeler, 2020; Badan Standardisasi Nasional, 2020). Namun, hasil tersebut belum mewakili beban kejutan ketika alat dipindahkan, getaran pompa jangka panjang, korosi, ketidaksempurnaan las, maupun ketidakrataan permukaan. Dari sisi hidrolis, TDH 2,7425 m menunjukkan bahwa pompa mampu mengatasi head statis dan kehilangan energi pada konfigurasi saat pengujian. Nilai debit yang relatif stabil juga menandakan bahwa jaringan pipa dapat mengalirkan air secara kontinu, meskipun perubahan kondisi media dapat meningkatkan hambatan dan mengurangi debit pada penggunaan berulang (Çengel & Cimbala, 2021).

4.2 Efektivitas filtrasi dan kesesuaian mutu

Efisiensi penurunan kekeruhan sebesar 86,59% menunjukkan bahwa gabungan media granular, cartridge filter, dan membran berhasil menahan sebagian besar partikel tersuspensi. Hasil ini sejalan dengan temuan bahwa filtrasi multistage dapat meningkatkan mutu fisik air apabila urutan media dan kondisi operasinya sesuai (Medeiros et al., 2020). Penggunaan pasir silika, manganese greensand, dan karbon aktif juga telah dilaporkan memperbaiki kekeruhan serta karakteristik air pada sumber lain (Badriyah et al., 2025; Riansyah & Al Kholif, 2021). Meskipun demikian, nilai akhir 24 NTU sangat dekat dengan batas 25 NTU sehingga perubahan kecil pada mutu air baku atau kondisi media dapat membuat hasil melewati acuan. Penambahan prasedimentasi atau koagulasi layak dipertimbangkan untuk mengurangi beban padatan sebelum filtrasi, sebagaimana ditunjukkan oleh sistem pengolahan yang menggabungkan koagulasi dan filtrasi bertingkat (Castro-Jiménez et al., 2022). Penurunan TDS yang lebih rendah dapat dipahami karena media granular dan karbon aktif tidak secara khusus dirancang untuk menghilangkan seluruh ion terlarut, sedangkan perubahan pH yang kecil menunjukkan bahwa proses tidak menyebabkan pergeseran keasaman yang besar (Razali et al., 2023).

4.3 Implikasi penerapan dan keterbatasan

Kombinasi beberapa tahap pengolahan memperlihatkan potensi prototipe sebagai teknologi awal untuk penyediaan air darurat. Debit rata-rata secara teoretis dapat menghasilkan 1500 L dalam 1,54 jam, tetapi angka tersebut merupakan kapasitas ideal yang belum memperhitungkan pencucian media, backwash, waktu henti, kehilangan air, ketersediaan energi, dan penurunan performa. Kelayakan lapangan juga dipengaruhi oleh kemudahan pengangkutan, kekuatan sambungan, persediaan komponen pengganti, serta keterampilan operator. Walaupun pH, TDS, dan kekeruhan memenuhi acuan, hasil ini tidak dapat digunakan sebagai bukti keamanan air minum. Pengujian E. coli, total coliform, logam berat, bahan kimia spesifik, dan efektivitas desinfeksi tetap diperlukan agar risiko kesehatan dapat dinilai secara menyeluruh (WHO, 2022; APHA et al., 2023).

5. Kesimpulan

Penjernih air portable berbasis filtrasi bertingkat berhasil dirancang dan dioperasikan sebagai satu sistem kontinu yang dipasang pada rangka beroda. Analisis struktur menghasilkan tegangan maksimum 122,614 MPa dengan faktor keamanan sekitar 2,04. Sistem hidrolis memberikan debit rata-rata 972 L/jam, TDH 2,7425 m, dan HRT teoretis 2,10 menit. Pada debit tersebut, kebutuhan 1500 L untuk 100 orang dapat diproduksi secara teoretis selama 1,54 jam. Pengolahan menurunkan kekeruhan dari 179 menjadi 24 NTU dengan efisiensi 86,59%, menurunkan TDS dari 167 menjadi 147 mg/L dengan efisiensi 11,98%, serta mengubah pH dari 6,81 menjadi 6,99.

Parameter yang diuji seperti, pH, TDS, dan kekeruhan hasil akhir dapat memenuhi nilai acuan Permenkes RI Nomor 2 Tahun 2023 untuk air higiene sanitasi, seperti mandi, mencuci dan keperluan tanggap darurat bencana lainnya. Akan tetapi, prototipe belum dapat dinyatakan menghasilkan air aman untuk diminum karena pengujian mikrobiologi, logam berat, dan senyawa kimia khusus belum dilakukan. Penerapan lapangan memerlukan uji operasi berulang, evaluasi ketahanan rangka saat dipindahkan, pemantauan penurunan debit dan fouling, validasi dosis ultraviolet serta kaporit, dan penambahan prasedimentasi atau koagulasi untuk menghadapi air baku dengan kekeruhan tinggi.

Referensi

- American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation. (2023). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (24th ed.). APHA Press.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). SNI 1729:2020: Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural. Badan Standardisasi Nasional.
- Badriyah, L., Hanif, M., & Putri, M. S. A. (2025). Pemanfaatan pasir silika, manganese greensand, dan karbon aktif sebagai bahan filter air telaga Desa Rancang Kencono Lamongan. *Environmental Engineering Journal ITATS*, 5(1), 12–23.
- Castro-Jiménez, C. C., Grueso-Domínguez, M. C., Correa-Ochoa, M. A., Saldarriaga-Molina, J. C., & García, E. F. (2022). A coagulation process combined with a multi-stage filtration system for drinking water treatment: An alternative for small communities. *Water*, 14(20), 3256. <https://doi.org/10.3390/w14203256>
- Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2021). *Fluid mechanics: Fundamentals and applications* (5th ed.). McGraw Hill.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2023). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (6th ed.). SAGE Publications.
- Hibbeler, R. C. (2020). *Structural analysis* (10th ed., SI units). Pearson.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2023). Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan. *Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2023 Nomor 55*.
- Medeiros, R. C., Fava, N. M. N., Freitas, B. L. S., Sabogal-Paz, L. P., Hoffmann, M. T., Davis, J., Fernández-Ibáñez, P., & Byrne, J. A. (2020). Drinking water treatment by multistage filtration on a household scale: Efficiency and challenges. *Water Research*, 178, 115816. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115816>
- Razali, M. C., Wahab, N. A., Sunar, N., & Shamsudin, N. H. (2023). Existing filtration treatment on drinking water process and concerns issues. *Membranes*, 13(3), 285. <https://doi.org/10.3390/membranes13030285>
- Riansyah, M. L., & Al Kholif, M. (2021). Pengaruh media filter manganese greensand, karbon aktif, pasir silika dan kerikil dalam menurunkan kadar mangan, kekeruhan dan bau pada air sumur. *WAKTU: Jurnal Teknik UNIPA*, 19(2), 24–30. <https://doi.org/10.36456/waktu.v20i01.5151>
- Sphere Association. (2018). *The Sphere handbook: Humanitarian charter and minimum standards in humanitarian response* (4th ed.). Sphere Association.
- World Health Organization. (2022). *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first and second addenda*. World Health Organization.