

## Kinerja Unit *Portable* Pengolahan Air Minum Berbasis Membran Keramik: Efektivitas dalam Menurunkan *E. Coli* dan TSS

Miftahul Djana <sup>1\*</sup>, Rizka Mayasari <sup>1)</sup>, Hasrul Anwar <sup>1)</sup>, Kurniawati Oktarina <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Teknik Lingkungan, Teknik, Universitas Lampung

<sup>2)</sup> Teknik Perkapalan, Institut Maritim Prasetiya Mandiri

<sup>\*)</sup> *Corresponding author*: miftahul.djana@eng.unila.ac.id

### Abstrak

Provinsi Lampung merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang rentan terhadap bencana banjir dan kekeringan akibat dampak perubahan iklim. Kondisi ini menyebabkan gangguan terhadap pasokan air bersih bagi masyarakat, terutama pada musim ekstrem seperti musim hujan yang intens atau kemarau panjang. Di beberapa daerah, sumber air permukaan seperti sungai dan sumur dangkal tercemar akibat limpasan air hujan dan limbah domestik, terutama saat banjir. Sementara pada musim kemarau, banyak sumber air mengalami penurunan debit atau bahkan mengering. Selain itu, infrastruktur pengolahan air minum di wilayah terdampak sering kali tidak memadai atau tidak berfungsi optimal dalam situasi darurat. Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan sistem pengolahan air minum portabel berbasis teknologi membran keramik untuk mengatasi permasalahan tersebut. Teknologi tersebut dirancang untuk menurunkan parameter kualitas air seperti TDS, TSS, kekeruhan, dan *E. Coli*, serta memenuhi standar Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492/MENKES/PER/IV/2010. Metode yang digunakan meliputi pengambilan sampel air dari wilayah terdampak banjir dan kekeringan di Provinsi Lampung. Air disaring menggunakan sistem portabel berbasis membran keramik yang dikembangkan dari campuran tanah liat, bentoni, zeolite, dan fly ash lalu dibakar untuk membentuk pori mikro. Sistem ini bekerja tanpa tekanan eksternal dan tanpa listrik, memungkinkan operasional dalam kondisi darurat. Uji kualitas air dilakukan sebelum dan sesudah penyaringan dengan parameter TDS, TSS, kekeruhan, dan *Escherichia coli*, menggunakan metode spektrofotometri, gravimetri, turbidimetri, dan MPN. Hasil penelitian menunjukkan bahwa membran keramik dengan kadar fly ash 75% dapat menurunkan TDS hingga 70%, dan membran keramik dengan kadar 10% dapat menurunkan *E. Coli* hingga 98%. Alat ini dirancang portabel dan tidak bergantung pada sumber energi eksternal, sehingga sangat praktis, cepat dioperasikan, dan efektif digunakan dalam kondisi darurat, terutama di wilayah terdampak bencana dengan keterbatasan akses terhadap infrastruktur air bersih.

**Kata Kunci:** Air Minum, Membran Keramik, *E. Coli*, TSS

### PENDAHULUAN

Kekeringan dan banjir merupakan fenomena alam yang berlawanan, namun saling berkaitan erat dalam konteks perubahan iklim dan pengelolaan sumber daya air. Kekeringan ditandai oleh rendahnya curah hujan yang mengakibatkan kekurangan air, sedangkan banjir disebabkan oleh tingginya curah hujan yang menyebabkan limpasan air meluas ke daerah dataran rendah dan menimbulkan kerusakan. Provinsi Lampung, khususnya wilayah di sekitar Sungai Way Sekampung dan Sungai Tulang Bawang, merupakan

daerah yang rentan terhadap kedua bencana hidrometeorologis tersebut. Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), Provinsi Lampung setiap tahunnya sering mengalami banjir akibat curah hujan tinggi, alih fungsi lahan, dan infrastruktur pengendalian banjir yang belum memadai. Kondisi ini menghambat akses masyarakat terhadap air bersih, terutama saat terjadi bencana. Oleh karena itu, instalasi pengolahan air minum portabel sangat penting untuk menjamin ketersediaan air layak konsumsi dalam keadaan darurat. Teknologi membran dipilih karena mampu menyaring berbagai kontaminan seperti bakteri, virus, logam berat, dan senyawa kimia berbahaya secara efektif, serta mudah dioperasikan tanpa memerlukan bahan kimia tambahan. Selain itu, sistem ini hemat energi, menghasilkan limbah minimal, dan dapat diterapkan dalam berbagai skala, baik sebagai unit bergerak maupun instalasi tetap. Penelitian ini merupakan pengembangan lebih lanjut dari studi sebelumnya (Djana, M., 2024) yang merancang prototipe pengolahan air minum sesuai dengan *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum*. Teknologi membran dinilai sebagai solusi yang tepat untuk mengatasi krisis air minum akibat kekeringan dan banjir karena efisiensinya, fleksibilitasnya, serta kemampuannya untuk beradaptasi dengan kondisi lokal di wilayah Bandar Lampung. Kekeringan dan banjir merupakan fenomena alam yang saling bertentangan, namun keduanya saling berkaitan erat dalam konteks perubahan iklim dan pengelolaan sumber daya air. Kekeringan ditandai dengan rendahnya curah hujan yang mengakibatkan kekurangan air. Sebaliknya, banjir disebabkan oleh tingginya curah hujan yang mengakibatkan air meluap ke daerah dataran rendah dan menimbulkan kerusakan. Provinsi Lampung, khususnya wilayah di sekitar Sungai Way Sekampung dan Sungai Tulang Bawang, merupakan wilayah yang rentan terhadap kedua bencana alam tersebut. Menurut BNPB, Provinsi Lampung setiap tahunnya sering dilanda banjir akibat curah hujan yang tinggi, alih fungsi lahan, dan infrastruktur pengendalian banjir yang belum memadai. Kondisi tersebut menghambat akses masyarakat terhadap air bersih, terutama saat terjadi bencana. Oleh karena itu, instalasi pengolahan air portable sangat penting untuk menjamin ketersediaan air minum dalam keadaan darurat. Teknologi membran dipilih karena mampu menyaring kontaminan seperti bakteri, virus, logam berat, dan bahan kimia berbahaya secara efektif, serta mudah dioperasikan tanpa memerlukan bahan kimia tambahan. Selain itu, sistem ini hemat energi, menghasilkan lebih sedikit limbah, dan dapat digunakan dalam berbagai skala, baik bergerak maupun permanen. Penelitian ini merupakan pengembangan lebih lanjut dari studi sebelumnya (Djana, M., 2024) yang merancang prototipe pengolahan air minum berbasis membran keramik sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Sejumlah studi terdahulu menunjukkan bahwa teknologi membran telah banyak digunakan dalam pengolahan air minum karena kemampuannya dalam menyaring kontaminan mikrobiologis dan kimiawi secara efektif. Namun, sebagian besar sistem tersebut bergantung pada tekanan tinggi, pompa listrik, atau bahan kimia tambahan, sehingga kurang sesuai untuk diterapkan di daerah terdampak bencana yang mengalami pemadaman listrik atau keterbatasan logistik. Gap utama dari penelitian sebelumnya adalah belum tersedianya sistem pengolahan air minum yang bersifat portabel, hemat energi, dan tetap efektif dalam kondisi ekstrem tanpa ketergantungan pada infrastruktur pendukung. Selain itu, pemanfaatan material lokal seperti *fly ash* dalam komposisi membran masih jarang dikembangkan secara terintegrasi dalam sistem darurat. Penelitian ini berkontribusi dalam pengembangan sistem pengolahan air portabel berbasis membran keramik yang tidak memerlukan sumber energi eksternal dan menggunakan bahan baku lokal, dengan efektivitas tinggi dalam menurunkan parameter Total Dissolved Solids (TDS), Total Suspended Solids (TSS), kekeruhan, dan *Escherichia coli*. Dengan demikian, teknologi ini menawarkan solusi alternatif yang adaptif, efisien, dan berkelanjutan untuk penyediaan air minum pada situasi darurat di wilayah rentan bencana seperti Provinsi Lampung. Teknologi membran dianggap sebagai solusi yang tepat untuk mengatasi

krisis air minum yang disebabkan oleh kekeringan dan banjir karena efisiensinya, fleksibilitasnya, dan kemampuannya beradaptasi dengan kondisi setempat di Bandar Lampung.

## METODOLOGI PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu air sampel dari air Sungai yang mengalir di Perumahan Griya Saka Hajimena, flyash dengan komposisi (7,5% dan 10%), zeolite dan campuran lempung dan bentonite dengan ukuran partikel rata-rata 20mesh, aquades, dan air.

Alat pengolahan air pada penelitian ini menggunakan pipa PVC berdiameter 3 inci dengan tinggi 100 cm. Media penyaring terdiri atas pasir silika setinggi 70 cm, kerikil 20 cm, dan ruang jagaan 10 cm. Proses filtrasi menggunakan gaya gravitasi. Dalam 147 detik alat pengolahan dapat menampung 1,5 Liter air dengan kecepatan filtrasi alat pengolahan sebesar 24,39 m/jam dan mempunyai debit 0,0102 L/detik. Dilakukan pengukuran menggunakan stopwatch untuk mengukur waktu yang diperlukan air olahan untuk melewati alat pengolahan. Waktu yang telah diukur digunakan untuk menghitung kecepatan filtrasi alat dan menghitung debit aliran. Sebelum dilakukan running alat, pengecekan alat dan tes kebocoran dilakukan agar pada saat running alat berjalan lancar. Tes kebocoran alat dilakukan dengan cara mengalirkan air bersih melewati filter tabung. Media filter pasir silika berupa membran keramik dicuci menggunakan air aquades kemudian dijemur sampai kering. Sampel air sungai dialirkan melalui membran keramik secara kontinu menggunakan pompa. Proses ini dilakukan selama 3 jam dengan pengambilan sampel pada interval waktu 30, 60, 90, 120, 150, dan 180 menit. Sebelum pengujian, membran keramik dibersihkan dan dialirkan dengan air bersih (pre-rinsing) untuk menghilangkan residu sisa pembakaran atau partikel halus yang dapat mempengaruhi hasil filtrasi. Setiap perlakuan pengujian dilakukan sebanyak tiga kali ulangan (triplo) untuk memastikan konsistensi data dan mengurangi kemungkinan bias eksperimen. Sebagai kontrol, dilakukan pengujian terhadap sampel air yang sama tanpa melalui proses filtrasi untuk mengetahui nilai awal parameter kualitas air. Selain itu, uji filtrasi juga dibandingkan antar variasi komposisi membran (dengan kadar *fly ash* 10%, 25%, 50%, dan 75%) untuk menilai efektivitas relatif masing-masing jenis membran. Validitas hasil dijaga melalui penggunaan metode analisis yang sesuai standar: spektrofotometri untuk TDS, gravimetri untuk TSS, turbidimetri untuk kekeruhan, dan metode *Most Probable Number* (MPN) untuk analisis *Escherichia coli*. Seluruh pengujian dilakukan di laboratorium terakreditasi dengan prosedur yang mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA). Data yang diperoleh dari hasil pengujian dianalisis untuk menentukan efisiensi membran keramik dalam menurunkan kadar E. Coli dan TSS. Efisiensi pengolahan dihitung menggunakan persamaan overall efficiency:

$$\text{Efisiensi (\%)} = (\text{Co} - \text{Ce}) / \text{Co} \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

di mana:

Co = Konsentrasi awal (mg/L atau MPN/100 mL)

Ce = Konsentrasi akhir (mg/L atau MPN/100 mL)

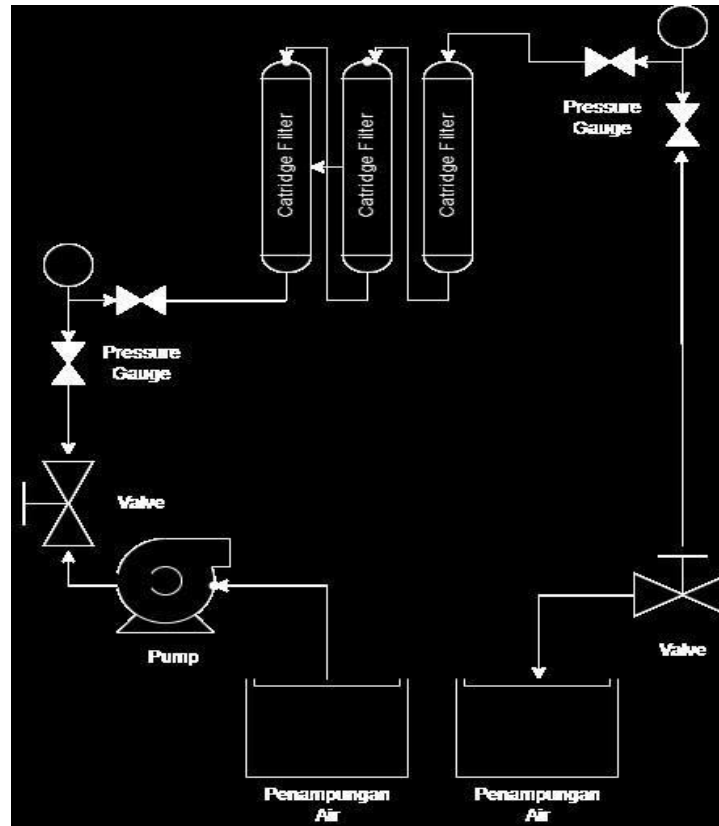
Selain itu, dilakukan uji t-test untuk menentukan apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara konsentrasi awal dan akhir pada setiap titik pengambilan sampel. Kriteria pengujian menggunakan hipotesis berikut:

Jika  $t_{\text{hitung}} \geq t_{\text{tabel}}$ , maka  $H_0$  ditolak, artinya ada perbedaan signifikan antara konsentrasi inlet dan outlet.

Jika  $t_{\text{hitung}} \leq t_{\text{tabel}}$ , maka  $H_0$  diterima, artinya tidak ada perbedaan signifikan antara konsentrasi inlet dan outlet.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain yang diusulkan dalam studi ini mencakup beberapa unit pengolahan utama, yaitu filtrasi menggunakan cartridge, membran keramik, dan tabung UV. Tiap unit memiliki peran penting dalam memastikan air hasil olahan memenuhi standar baku mutu air siap minum sesuai dengan PERMENKES RI No.492/MENKES/PER/IV/2010. Model sistem serupa juga telah dikembangkan oleh Rahayu et al. (2019), yang menunjukkan bahwa kombinasi filtrasi dan desinfeksi UV mampu secara signifikan menurunkan parameter mikrobiologis pada air permukaan, menjadikannya layak konsumsi dalam kondisi darurat.



Gambar 1. Desain Pengembangan Unit Instalasi Portabel Pengolahan Air Minum

### Kebutuhan Operasional dan Kinerja

Unit instalasi pengolahan air yang dikembangkan dalam penelitian ini dirancang untuk beroperasi selama 5 jam setiap hari, dengan sumber air baku berasal dari aliran sungai terdekat. Kapasitas pengolahan ditetapkan berdasarkan estimasi kebutuhan air bersih dan air minum bagi populasi penghuni, yaitu sebesar 17,5 liter per orang per hari untuk keperluan kebersihan dan sanitasi, serta 2,5 liter per orang per hari untuk kebutuhan konsumsi langsung. Untuk mendukung suplai air baku ke unit pengolahan, digunakan generator set sebagai sumber energi untuk mengoperasikan pompa air. Hasil pengujian lapangan menunjukkan bahwa pompa air yang digunakan mampu bekerja secara stabil selama 5 jam per hari tanpa gangguan operasional, dengan total debit air yang dipompa mencapai sekitar 1.000 liter per hari. Temuan ini menunjukkan bahwa penggunaan pompa bertenaga generator set merupakan solusi yang efektif dan dapat diandalkan dalam menjamin ketersediaan air baku, terutama dalam situasi darurat di mana akses terhadap jaringan listrik konvensional sangat terbatas. Temuan ini sejalan dengan studi oleh Trifunovic (2006) dan Prasetyo et al.

(2021), yang menekankan bahwa sistem pengolahan air berbasis genset portabel sangat penting di area terdampak bencana yang tidak memiliki akses listrik.

### **Kinerja Membran Keramik pada pH**

Nilai derajat keasaman (pH) menunjukkan tren penurunan seiring dengan bertambahnya waktu operasi sistem filtrasi. Pada menit ke-15, pH tercatat sebesar 6,88, kemudian menurun menjadi 6,86 pada menit ke-30, 6,85 pada menit ke-45, dan mencapai 6,83 setelah 60 menit operasi. Penurunan ini diduga disebabkan oleh interaksi antara air dan permukaan membran keramik yang mengandung komponen aktif seperti silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), dan senyawa logam lain yang berasal dari fly ash. Selama proses filtrasi, ion-ion dari air dapat berinteraksi dengan gugus fungsional pada permukaan membran, menghasilkan reaksi pembentukan senyawa asam lemah. Selain itu, akumulasi partikel terlarut dan zat organik selama proses penyaringan juga dapat meningkatkan konsentrasi senyawa asam organik, yang secara bertahap menurunkan nilai pH. Mekanisme ini menunjukkan bahwa meskipun perubahan pH relatif kecil, namun kecenderungan penurunan pH yang konsisten perlu diperhatikan, terutama dalam konteks keberlanjutan pemakaian dan kesesuaian dengan standar kualitas air minum. Temuan ini sesuai dengan hasil penelitian oleh Rahmawati et al. (2021), yang menunjukkan bahwa membran berbahan fly ash memiliki efek terhadap penurunan pH akibat aktivitas permukaan adsorptif dan pelepasan ion dari komponen mineral aktif.

### **Kinerja Membran Keramik pada Kekeruhan**

Penurunan kekeruhan air yang signifikan diamati dalam penelitian ini, baik pada filtrasi tanpa maupun dengan pretreatment. Pada filtrasi tanpa pretreatment, kekeruhan menurun sekitar 30%, sedangkan pada filtrasi dengan pretreatment, penurunan mencapai 90%. Perbedaan yang mencolok ini menunjukkan bahwa tahap pretreatment memiliki peran penting dalam meningkatkan efisiensi sistem filtrasi. Pretreatment, seperti proses koagulasi atau sedimentasi awal, membantu mengendapkan partikel tersuspensi berukuran besar yang dapat menyumbat pori-pori membran. Dengan demikian, beban filtrasi pada membran berkurang, dan proses penyaringan partikel halus menjadi lebih optimal. Selain itu, pretreatment juga mencegah fouling dini pada permukaan membran, sehingga kinerja penyaringan tetap stabil selama waktu operasi. Penurunan kekeruhan hingga 90% menunjukkan bahwa kombinasi antara pretreatment dan filtrasi membran keramik sangat efektif dalam menghasilkan air dengan kejernihan yang sesuai standar air minum. Hal ini juga diperkuat oleh studi Pertiwi & Nugroho (2020), yang menunjukkan bahwa penerapan pretreatment sebelum filtrasi dapat meningkatkan efisiensi penurunan kekeruhan lebih dari dua kali lipat dibandingkan tanpa pretreatment.

### **Efektivitas Media Filtrasi**

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kombinasi media filtrasi yang terdiri dari pasir silika, ijuk, arang aktif, dan zeolit memiliki efektivitas tinggi dalam menurunkan kekeruhan air banjir. Sampel air sungai yang digunakan sebagai air baku memiliki tingkat kekeruhan awal sebesar 169 NTU (Nephelometric Turbidity Unit), dan berhasil diturunkan menjadi 4,4 NTU setelah melalui proses filtrasi dalam unit instalasi. Penurunan ini mencerminkan efisiensi lebih dari 97%, yang menunjukkan bahwa media tersebut bekerja secara sinergis dalam menyaring partikel tersuspensi. Pasir silika berfungsi sebagai penyaring mekanis utama untuk menghilangkan partikel berukuran besar, sementara ijuk bertindak sebagai penyangga yang memperlambat laju aliran air dan membantu distribusi aliran agar lebih merata. Arang aktif berperan dalam menyerap senyawa organik dan bahan pencemar yang menyebabkan warna dan bau, serta sebagian logam berat. Zeolit, yang memiliki sifat pertukaran ion, berkontribusi dalam penyerapan ion logam dan amonia,

sekaligus meningkatkan kejernihan air. Kombinasi media ini menciptakan sistem penyaringan berlapis yang tidak hanya mengandalkan mekanisme fisik, tetapi juga kimia dan adsorptif, sehingga sangat efektif dalam mengolah air banjir menjadi air yang secara visual dan secara parameter kekeruhan mendekati standar air minum. Penelitian oleh Herlina et al. (2020) juga menunjukkan bahwa kombinasi media serupa dapat menurunkan kekeruhan air limbah hingga lebih dari 95% dengan efektivitas berlapis yang mirip.

### **Kinerja Membran Keramik Dalam Menurunkan TDS**

Proses filtrasi menunjukkan adanya penurunan konsentrasi Total Dissolved Solids (TDS) yang cukup signifikan. Pada filtrasi tanpa pretreatment, penurunan rata-rata TDS tercatat sekitar 21%, sedangkan dengan pretreatment, penurunan meningkat hingga rata-rata 40%. Efektivitas membran keramik dengan komposisi fly ash 7,5% terhadap TDS diuji dalam interval waktu 30 menit selama 3 jam, dengan hasil efisiensi berturut-turut sebesar 25,31%, 35,99%, 34,44%, 46,98%, 48,42%, dan 49,66%. Meskipun terjadi fluktuasi, tren umumnya menunjukkan peningkatan efisiensi seiring waktu. Hasil uji statistik menunjukkan bahwa perbedaan konsentrasi TDS antara inlet dan outlet signifikan secara statistik, ditunjukkan oleh nilai  $t$  hitung sebesar 6,83 yang lebih besar dari  $t$  tabel (1,812) pada derajat kebebasan tertentu. Temuan ini konsisten dengan studi oleh Nasution et al. (2022), yang menunjukkan bahwa membran keramik berbasis fly ash mampu menurunkan kadar TDS secara signifikan pada pengolahan air permukaan dan air limbah domestik.

Namun demikian, penurunan TDS tidak berlangsung secara stabil. Variasi ini diduga disebabkan oleh menurunnya efisiensi media pretreatment, khususnya karbon aktif dalam sandfilter, yang pori-porinya mungkin telah mengalami kejenuhan atau tidak lagi rapat. Kondisi ini menyebabkan sebagian partikel terlarut tidak tersaring optimal pada tahap awal, sehingga fluks air menuju membran menjadi tidak stabil. Ketidakstabilan fluks ini turut mempengaruhi tekanan operasi dan durasi kontak dengan membran, yang akhirnya berdampak pada konsistensi penurunan TDS. Temuan ini menunjukkan pentingnya menjaga performa media pretreatment dan melakukan pemeliharaan berkala untuk menjaga efisiensi sistem secara keseluruhan. Kesimpulan ini sejalan dengan temuan oleh Oktaviani & Yusuf (2019) bahwa saturasi media adsorpsi seperti karbon aktif berdampak langsung pada kestabilan output filtrasi.

### **T-Test untuk Analisa TDS pada Komposisi FlyAsh 10%**

Dari hasil perhitungan menggunakan Excel, diperoleh hasil sebagai berikut: rata-rata  $X_1 = 608,83$ ;  $X_2 = 333$ ; standar deviasi:  $S_1 = 24,15$ ;  $S_2 = 2,59$ ; varians:  $S_1^2 = 583,37$ ;  $S_2^2 = 1062$ ; korelasi:  $r = 0,9531$ ;  $t$  hitung = 16,83. Dengan  $\alpha = 0,05$  dan derajat kebebasan = 10, maka  $t$  tabel = 1,812. Karena  $t$  hitung jauh lebih besar dari  $t$  tabel, maka disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara konsentrasi TDS pada inlet dan outlet air limbah domestik. Hasil ini diperkuat oleh penelitian Dewi & Hamzah (2020), yang menyatakan bahwa penggunaan membran keramik berbahan abu terbang (fly ash) pada konsentrasi 10% sangat efektif dalam menyisahkan zat terlarut, dengan hasil statistik yang signifikan pada uji  $t$  dua arah.

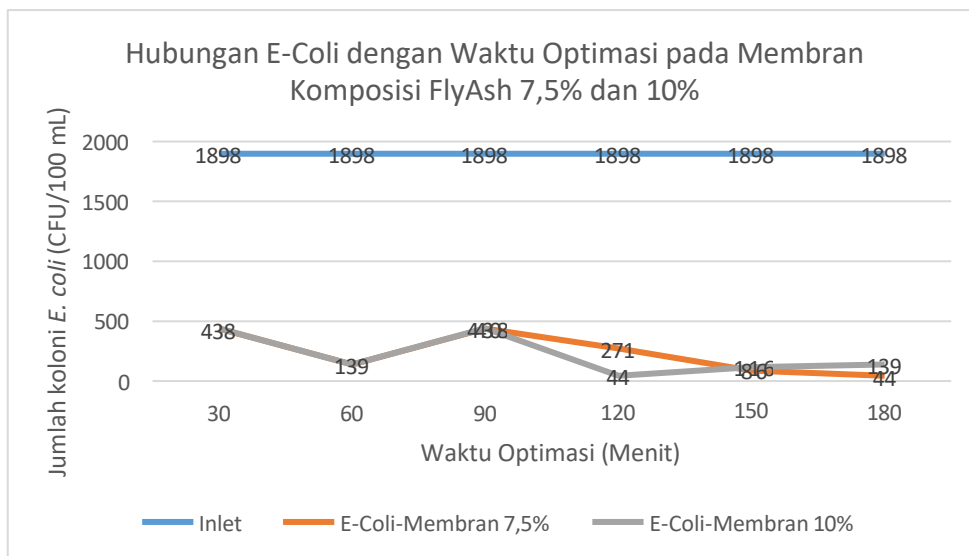
### **Kinerja Membran Keramik dalam Menurunkan TSS**

Penurunan konsentrasi Total Suspended Solids (TSS) dalam air hasil filtrasi merupakan hasil dari kombinasi proses filtrasi mekanis dan adsorpsi pada permukaan membran keramik. Fly ash yang dicampurkan dalam material membran berperan sebagai agen penyaring sekaligus adsorben, karena mengandung komponen aktif seperti silika dan alumina yang mampu menahan partikel tersuspensi secara efektif. Hasil pengujian menunjukkan bahwa membran keramik dengan komposisi fly ash 7,5% mampu menurunkan konsentrasi TSS dari 102 mg/L menjadi 28 mg/L pada menit ke-180, yang setara dengan efisiensi sebesar 72,55%.

Selain itu, membran dengan konsentrasi fly ash 10% menunjukkan efisiensi yang bahkan lebih tinggi dalam menurunkan TSS. Hal ini dapat dijelaskan oleh struktur membran yang lebih permeabel dengan distribusi pori yang lebih optimal. Penelitian oleh Hermawan et al. (2021) menyebutkan bahwa peningkatan kandungan fly ash dalam material membran hingga 10% mampu meningkatkan luas permukaan aktif dan efisiensi penyisihan partikel tersuspensi tanpa mengorbankan kekuatan mekanis membran.

### Kinerja Membran Keramik dalam Menurunkan E. Coli

Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa membran keramik yang dikembangkan mampu menurunkan kadar bakteri *Escherichia coli* secara signifikan pada air permukaan. Dua variasi komposisi yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu membran dengan kandungan fly ash sebesar 7,5% dan 10%, menunjukkan performa yang efektif dalam proses penyisihan mikrobiologis. Efisiensi penurunan *E. coli* mencapai 98% pada kedua komposisi tersebut. Kemampuan filtrasi ini disebabkan oleh struktur pori mikro pada permukaan membran yang memiliki ukuran lebih kecil atau setara dengan ukuran bakteri koliform (0,5–5  $\mu\text{m}$ ). Studi Lestari et al. (2020) juga menemukan bahwa membran keramik dengan pori <1  $\mu\text{m}$  efektif menyaring bakteri koliform hingga lebih dari 95%. Gambar 2 menunjukkan hubungan antara waktu optimasi dan efisiensi penurunan *E. coli* pada kedua jenis membran, dengan tren penurunan yang signifikan dalam tiga jam pertama proses filtrasi.



Gambar 2. Hubungan Penurunan E-Coli dengan Waktu Optimasi pada Membran Komposisi FlyAsh 7,5% dan 10%

Secara umum, filter keramik menunjukkan efisiensi penyisihan bakteri koliform dalam rentang 77–98% pada berbagai variasi komposisi material. Hal ini memperkuat temuan sebelumnya bahwa membran keramik, terutama dengan komposisi *fly ash* optimal, dapat digunakan sebagai sistem pengolahan air sederhana namun efektif dalam mengurangi risiko mikrobiologis pada air permukaan, khususnya dalam situasi darurat atau keterbatasan infrastruktur pengolahan air minum.

## KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem pengolahan air minum portabel berbasis teknologi membran keramik, yang dikombinasikan dengan unit koagulasi, flokulasi, cartridge filter, dan desinfeksi, mampu menghasilkan air yang memenuhi standar kualitas air minum sesuai Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 492/MENKES/PER/IV/2010. Dalam simulasi kondisi darurat akibat luapan air sungai di kawasan Perumahan Griya Saka, sistem ini terbukti efektif menurunkan kekeruhan air dari 169 NTU menjadi 0,488 NTU, serta menghilangkan total *Escherichia coli* dari konsentrasi awal hingga 0 per mL. Kandungan klor bebas sebesar 0,3 mg/L menunjukkan efektivitas proses desinfeksi akhir. Penurunan kekeruhan secara drastis terjadi karena kombinasi pretreatment (koagulasi dan flokulasi) berhasil menggumpalkan partikel halus menjadi flok yang lebih besar, sehingga dapat tersaring secara efisien oleh cartridge filter dan membran keramik. Penggunaan membran keramik dengan komposisi fly ash 7,5% dan 10% memberikan kontribusi penting terhadap penurunan TDS dan TSS. Efisiensi penyisihan TDS mencapai hingga 49,6% berkat adanya pori mikro dan permukaan aktif pada material membran, yang memungkinkan penyerapan dan penyaringan sebagian besar zat terlarut. Penurunan TSS hingga 72,55% dicapai karena sifat filtrasi fisik membran yang mampu menahan partikel tersuspensi lebih besar, serta dukungan dari media pendahulu seperti pasir silika dan arang aktif yang mengurangi beban partikel sebelum mencapai tahap akhir penyaringan. Efisiensi penyisihan *E. coli* oleh membran mencapai hingga 98%, yang didukung oleh ukuran pori membran yang lebih kecil daripada ukuran bakteri koliform, serta karakter permukaan keramik yang bersifat adsorptif dan memungkinkan penahanan mikroorganisme secara efektif. Selain itu, proses desinfeksi klorin akhir memastikan tidak adanya pertumbuhan kembali mikroba pada air hasil olahan. Sistem ini dirancang untuk beroperasi selama 5 jam per hari dengan dukungan pompa air berbasis generator set dan mampu menyuplai air bersih hingga 1.000 liter per hari. Kapasitas ini mencukupi untuk memenuhi kebutuhan dasar air minum dan sanitasi bagi kelompok pengungsi dalam situasi darurat. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa unit pengolahan air portabel yang dikembangkan tidak hanya efektif dari sisi performa penyisihan kontaminan, tetapi juga praktis, hemat energi, dan adaptif terhadap kondisi darurat, terutama di wilayah rawan banjir dan krisis air bersih.

## DAFTAR PUSTAKA

- BNPB. (2021). *Data banjir tahun 2021*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana. Retrieved from <https://bnpb.go.id/berita/bnpb-verifikasi-5-402-kejadian-bencana-sepanjang-tahun-2021>
- Dewi, M. R., & Hamzah, A. (2020). Efektivitas membran keramik berbahan fly ash dalam menyisihkan TDS pada air permukaan. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 8(2), 123–130.
- Djana, M., Rizka Mayasari, Rosalia Dwi Werena, & Hasrul Anwar. (2024). Desain Sistem Pengolahan Air Layak Konsumsi Dengan Aplikasi Membran Ultrafiltrasi Termodifikasi. *Jurnal Redoks*, 9(1), 1–10. <https://doi.org/10.31851/redoks.v9i1.13208>
- Herlina, S., Nugroho, D., & Sari, N. M. (2020). Efektivitas kombinasi media filtrasi dalam menurunkan kekeruhan air limbah domestik. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 21(1), 45–53.
- Hermawan, R., Setiawan, A., & Kurniawan, B. (2021). Pengaruh komposisi fly ash terhadap karakteristik membran keramik dan kemampuannya dalam menyisihkan TSS. *Jurnal Rekayasa Proses*, 15(3), 78–85.

- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2010). *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum*. Jakarta: Kementerian Kesehatan RI.
- Lestari, I. R., Putra, W. A., & Rinaldi, M. (2020). Penyisihan bakteri *E. coli* menggunakan membran keramik pada pengolahan air permukaan. *Jurnal Air dan Sanitasi Lingkungan*, 9(2), 112–119.
- Nasution, D., Wahyuni, S., & Pradana, D. (2022). Penggunaan membran keramik berbasis fly ash untuk penurunan TDS dan parameter fisik air sungai. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 10(1), 1–9.
- Oktaviani, D., & Yusuf, R. (2019). Studi stabilitas fluks filtrasi dan adsorpsi TDS menggunakan karbon aktif sebagai pretreatment. *Jurnal Teknik Pengolahan Air*, 6(2), 89–96.
- Pertiwi, D. R., & Nugroho, H. (2020). Efektivitas pretreatment dalam menurunkan kekeruhan pada sistem filtrasi air bersih. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(4), 233–241.
- Prasetyo, Y. A., Hidayat, M., & Laksana, T. (2021). Perancangan unit portabel pengolahan air darurat berbasis pompa genset. *Jurnal Teknik Infrastruktur*, 7(1), 22–29.
- Rahmawati, N., Sutrisno, E., & Aditya, M. (2021). Karakteristik kimia permukaan membran fly ash dan pengaruhnya terhadap nilai pH air filtrasi. *Jurnal Material dan Lingkungan*, 13(3), 55–61.
- Rahayu, T., Siregar, M. L., & Putri, A. S. (2019). Sistem filtrasi air berbasis UV untuk kebutuhan air minum dalam situasi darurat. *Jurnal Teknik Lingkungan dan Bencana*, 5(2), 144–151.
- Trifunovic, N. (2006). *Introduction to urban water distribution*. UNESCO-IHE Delft.