

Pengolahan Limbah Cair Rumah Makan dengan Kombinasi Metode *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dan Membran Filtrasi

Vina Meliana¹, Isna Apriani^{1*}, dan Winardi¹

¹Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia; email: isnaapriani@teknik.untan.ac.id

ABSTRAK

Limbah cair rumah makan mengandung bahan organik tinggi yang dapat merusak kesehatan, ekosistem, dan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi penurunan parameter pencemar BOD, TSS, kekeruhan serta perbaikan pH dan suhu menggunakan dua perlakuan yang berbeda, yaitu metode MBBR dan kombinasi metode MBBR dan membran filtrasi, serta untuk mengetahui pengaruh perlakuan pada pengujian sampel limbah cair sebelum dan sesudah perlakuan menggunakan metode analisis statistik t-Test. Penelitian ini menggunakan metode pengendapan selama 24 jam, pengolahan MBBR dengan seeding selama 20 hari dan running selama 8 jam, kemudian dilanjutkan dengan filtrasi menggunakan membran selama 1 jam, pengujian parameter dalam skala laboratorium. Metode statistik t-Test menggunakan software SPSS versi 25.0 dengan tujuan membandingkan sampel sebelum dan sesudah pengolahan (2 sampel). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengolahan limbah dengan MBBR berhasil menurunkan BOD sebesar 90%, TSS sebesar 96%, serta memperbaiki pH dari 6,4 menjadi 7,8. Kombinasi MBBR dan membran filtrasi berhasil menurunkan kekeruhan sebesar 100%, pH dari 6,4 menjadi 7,7 serta menurunkan suhu dari 29,5°C menjadi 28,3°C. Pengolahan limbah dengan MBBR berhasil menurunkan parameter BOD, TSS, dan perbaikan pH sesuai dengan standar baku mutu Permen LHK Nomor 68 Tahun 2016, sementara kombinasi MBBR dan membran filtrasi berhasil menurunkan kekeruhan serta perbaikan pH dan suhu sesuai dengan standar Permenkes Nomor 2 Tahun 2023. Perlakuan MBBR memberikan pengaruh signifikan terhadap penurunan pH, BOD, dan TSS, sementara kombinasi MBBR dan membran filtrasi juga memberikan pengaruh signifikan terhadap penurunan pH dan kekeruhan, tetapi tidak terhadap parameter suhu.

Kata kunci: limbah cair, membran filtrasi, MBBR, rumah makan, pencemaran lingkungan, parameter pencemar

ABSTRACT

Wastewater from restaurants contains high levels of organic materials that can harm health, ecosystems, and the environment. This study aims to determine the efficiency of reducing pollutant parameters such as BOD, TSS, and turbidity, as well as improving pH and temperature using two different treatments: the MBBR method and a combination of the MBBR method with membrane filtration. It also aims to examine the effect of these treatments on wastewater samples before and after treatment using the statistical t-Test method. This study employed a 24-hour sedimentation process, MBBR treatment with a 20-day seeding period and an 8-hour running time, followed by membrane filtration for 1 hour, parameter testing on a laboratory scale. The statistical t-Test was conducted using SPSS version 25.0 untuk membandingkan sampel sebelum dan sesudah pengolahan (2 sampel). The results showed that wastewater treatment using MBBR successfully reduced BOD by 90%, TSS by 96%, and improved the pH from 6.4 to 7.8. The combination of MBBR and membrane filtration successfully reduced turbidity by 100%, adjusted the pH from 6.4 to 7.7, and decreased the temperature from 29.5°C to 28.3°C. MBBR treatment met the quality standards of Regulation of the Minister of Environment and Forestry (Permen LHK) Number 68 of 2016 for BOD, TSS, and pH parameters. Meanwhile, the combination of MBBR and membrane filtration complied with the standards of the Ministry of Health Regulation (Permenkes) Number 2 of 2023 for turbidity, pH, and temperature parameters. The MBBR treatment had a significant effect on reducing pH, BOD, and TSS, while the combination of MBBR and membrane filtration significantly affected the reduction of pH and turbidity, but not temperature parameter.

Keywords: environmental pollution, filtration membrane, MBBR, pollutant parameters, restaurant, wastewater

Citation: Meliana, V., Apriani, I., dan Winardi. (2025). Pengolahan Limbah Cair Rumah Makan dengan Kombinasi Metode *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dan Membran Filtrasi. Jurnal Ilmu Lingkungan, 23(6), 1454-1463, doi:10.14710/jil.23.6.1454-1463

1. PENDAHULUAN

Limbah cair rumah makan adalah jenis air limbah yang sebagian besar terdiri dari air dan padatan tersuspensi. Air limbah rumah makan cenderung berwarna keruh dan disertai lapisan minyak di pemukaan limbah cair. Secara kimiawi, air limbah rumah makan lebih banyak mengandung zat-zat organik dari proses pencucian alat masak dan alat makan. Beberapa rumah makan menghasilkan air limbah yang mengandung minyak dan lemak lebih banyak dari pada rumah makan yang lain, tergantung dari jenis menu makanan yang ditawarkan (Fadhilah, 2022). Hal ini sejalan dengan Penelitian Kataren 2005 dimana kandungan organic di dalam limbah rumah makan terdiri dari protein, lemak dan karbohidrat.

Rumah Makan Bang Doel merupakan salah satu rumah makan yang terletak di Jalan Sepakat 2, berada di wilayah Universitas Tanjungpura (Untan) dan berada disekitar kost mahasiswa yang berkontribusi sebagai penghasil limbah cair, dimana limbah cair yang dihasilkan akan meningkat pada saat jam makan siang. Kontaminan utama limbah cair Rumah Makan Bang Doel berasal dari bahan makanan, proses memasak, dan pembersihan peralatan. Aktivitas tersebut merupakan bagian yang berkontribusi dalam menimbulkan pencemaran lingkungan. Rumah Makan Bang Doel tidak memiliki IPAL dan limbah cair yang dihasilkan langsung dibuang ke saluran drainase yang terletak dibelakang rumah makan, kemudian aliran airnya menuju ke parit di Jalan Sepakat 2. Kurangnya pengolahan terhadap limbah cair yang dihasilkan oleh Rumah Makan Bang Doel yang berpotensi meningkatkan kadar BOD yang menunjukkan bahwa ada banyak bahan organik yang dapat menyebabkan pengurangan oksigen terlarut di air dan dapat merugikan kehidupan akuatik. Limbah cair rumah makan dengan TSS yang tinggi dapat menyebabkan kekeruhan pada air, mengurangi penetrasi cahaya, dan mengganggu kehidupan akuatik (Andiese, 2011).

Penanganan limbah cair dapat dilakukan dengan pengolahan fisik maupun biologi. Pretreatment sedimentasi adalah pengolahan fisik limbah rumah makan yang bertujuan untuk menurunkan parameter TSS pada air limbah. Secara biologis pengolahan ini menggunakan mikroorganisme untuk menghancurkan bahan kimia dan biologi di air limbah rumah makan. Salah satu unit pengolahan biologis, yaitu *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) yang memanfaatkan biofilm dengan sistem pertumbuhan terikat fluida (mikroorganisme yang tumbuh dan berkembang biak pada media). Metode tersebut dapat diterapkan dalam pengolahan limbah cair rumah makan seperti yang ditetapkan dalam Permen LHK No 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Penelitian yang telah dilakukan dengan metode *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) menggunakan media kaldness K5 mampu menurunkan parameter TSS sebesar 98,08% dan Amoniak dari 0,14 mg/l menjadi 2,27 mg/l (Subagyo et al., 2022). Kemampuan penyisihan beban pencemar COD dari limbah air domestic rumah makan oleh

reaktor MBBR menggunakan media kaldness K1 dengan volume media 60% dan debit 15 ml/menit sangat efektif. Reaktor ini mampu menurunkan nilai COD hingga 97,73% dan untuk TSS hanya sebesar 63,04% karena pada penelitian ini tidak menggunakan bak pengendap akhir sehingga nilai penyisihan TSS tidak terlalu besar (Farahdiba et al., 2021).

Kegiatan operasional Rumah Makan Bang Doel memerlukan pasokan air bersih yang signifikan, yang selama ini dipenuhi melalui layanan air dari Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM). Namun, penggunaan air PDAM yang terus meningkat dapat berdampak pada pembiayaan operasional rumah makan dan berkontribusi pada tingginya konsumsi air bersih, yang merupakan sumber daya yang semakin terbatas. Selain itu, limbah cair yang dihasilkan oleh aktivitas rumah makan memiliki potensi untuk diolah kembali sebagai bentuk konservasi air. Penggunaan air PDAM mungkin tampak lebih murah karena tidak memerlukan biaya instalasi awal. Namun, biaya penggunaan air PDAM bersifat rutin dan meningkat sesuai dengan konsumsi air serta tarif yang berlaku, sehingga pengeluaran yang stabil tetapi terus meningkat dalam jangka panjang. Pengolahan limbah cair dengan membran filtrasi memiliki potensi untuk menjadi opsi yang lebih ekonomis dan berkelanjutan, terutama jika sistem dirancang untuk memaksimalkan efisiensi pengolahan dan penggunaan kembali air meskipun memerlukan investasi awal untuk instalasi peralatan, termasuk membran, pompa, dan sistem pendukung lainnya. Namun, biaya operasionalnya dapat lebih rendah setelah sistem berjalan, terutama jika volume limbah cair cukup besar untuk memenuhi kebutuhan air daur ulang dan dapat dimanfaatkan kembali untuk siram tanaman, siram toilet dan air pencucian sebagai salah satu upaya untuk menjaga keberlanjutan sumber daya air dan memenuhi standar baku mutu air untuk keperluan higiene dan sanitasi berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan. Penelitian dalam beberapa tahun terakhir yang menggunakan metode gabungan saringan bertingkat dan ultrafiltrasi membran PES (*polyethersulfone*) terhadap pengolahan limbah cair rumah makan mampu menurunkan parameter TSS sebesar 98,37%, parameter BOD sebesar 88,14%, nilai kekeruhan mencapai 97,03% dan pH sebesar 6,9 (Fadhilah, 2022).

Kombinasi metode *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dan Membran filtrasi dilakukan untuk menangani dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh limbah. Limbah cair rumah makan yang mengandung kadar bahan organik dan padatan tersuspensi yang tinggi dapat mencemari sumber air dan merusak ekosistem jika tidak diolah dengan benar sehingga melalui penelitian ini ditemukan solusi pengolahan limbah yang efektif, berkelanjutan, dan dapat diterapkan secara luas. Selain aspek

lingkungan, penelitian ini juga dilakukan untuk menjawab tantangan ekonomi dan regulasi. Pengolahan limbah secara efektif, rumah makan dapat mengurangi biaya operasional yang terkait dengan penggunaan air dan pembuangan limbah, serta memastikan kepatuhan terhadap standar lingkungan yang semakin ketat. Penelitian bertujuan untuk mengetahui efisiensi penurunan parameter Biological Oxygen Demand (BOD), Total Suspended Solid (TSS) dan perbaikan pH pada pengolahan limbah cair Rumah Makan Bang Doel dengan metode Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) sesuai dengan standar baku mutu air limbah domestik, mengetahui efisiensi penurunan parameter kekeruhan serta perbaikan pH dan suhu pada pengolahan limbah cair Rumah Makan Bang Doel dengan kombinasi metode Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) dan membran filtrasi sesuai dengan standar baku mutu air untuk keperluan higiene dan sanitasi, serta mengetahui pengaruh perlakuan (MBBR dan kombinasi MBBR dan membran filtrasi) terhadap penurunan parameter pencemar menggunakan metode analisis statistik t-Test. Penelitian ini belum diterapkan pada pengolahan limbah cair rumah makan menjadi air bersih. Sebelum metode ini diaplikasikan dalam skala besar, terlebih dahulu perlu dilakukan penelitian dalam skala kecil untuk melihat efektivitas dan kekurangannya.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi pengambilan sampel limbah cair rumah makan di Rumah Makan Bang Doel, Jalan Sepakat 2, Bansir Laut, Pontianak Tenggara, Kalimantan Barat, yang berada pada titik koordinat 00°03'39.15"S 109°20'59.66"E. Rumah Makan Bang Doel berada di wilayah Universitas Tanjungpura, Politeknik Negeri Pontianak, Universitas Muhammadiyah Pontianak dan dibelakang rumah makan terdapat beberapa pemukiman dan kost mahasiswa. Penelitian ini dilakukan selama kurang lebih 1 bulan, yang terhitung dari bulan Desember 2024. Penelitian ini dilakukan di belakang Workshop Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura.

2.2. Alat dan Bahan

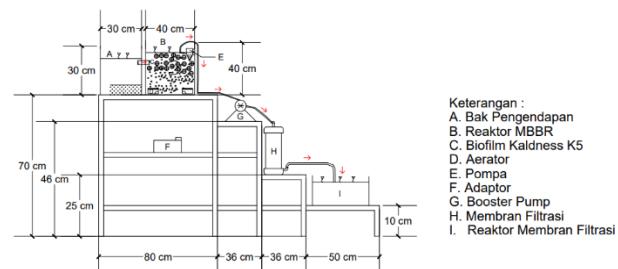
Alat-alat yang digunakan adalah 2 buah akuarium berukuran 40 cm x 40 cm x 40 cm dan 1 buah akuarium berukuran 30 cm x 30 cm x 30 cm, 2 buah bak plastik, 20 liter kaldness K5, booster pump merek pure trex dengan minimal pressure sebesar 30 PSI dan working pressure sebesar 80 PSI, housing membran, membran filtrasi turbular kapasitas 100 gpd dan ukuran pori 1/1000 micron, pH meter, aerator, 2 buah botol winkler, 2 buah botol kaca berukuran 469 mL dan 2 buah botol plastik berukuran 200 mL. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah 30 liter limbah cair Rumah Makan Bang Doel. Pemilihan membran berukuran pori 1/1000 mikron ($\approx 1 \text{ nm}$) didasarkan pada kemampuannya menyaring zat terlarut berukuran sangat kecil, termasuk senyawa organik, nutrien, dan mikroorganisme, 1456

sehingga menghasilkan air olahan dengan kualitas sangat tinggi dan aman untuk digunakan kembali. Meskipun ukuran pori sekecil ini berisiko tinggi terhadap fouling, pemilihan ini bersifat teknis dan terarah untuk mencapai standar kualitas air daur ulang tertinggi. Risiko fouling dapat diminimalkan melalui pra-pengolahan biologis dengan MBBR, pengaturan tekanan operasi, serta pembersihan berkala membran. Dengan demikian, ukuran pori 1 nm tetap layak digunakan karena menawarkan efisiensi pemisahan maksimal ketika dikombinasikan dengan sistem biologis pendukung.

2.3. Prosedur Penelitian

2.3.1. Rancangan Alat

Persiapan alat terdiri dari 2 bak reaktor yang berukuran 40 cm x 40 cm x 40 cm dan 1 buah reaktor berukuran 30 cm x 30 cm x 30 cm. Reaktor yang berukuran 30 cm x 30 cm x 30 cm digunakan untuk pretreatment yaitu pengendapan, 2 reaktor yang berukuran 40 cm x 40 cm x 40 cm digunakan untuk pengolahan moving bed biofilm reactor (MBBR), dan 2 buah bak plastik digunakan untuk pengolahan limbah cair Rumah Makan Bang Doel dengan metode membran filtrasi. Reaktor MBBR dihubungkan ke seperangkat alat membran filtrasi.



Gambar 1. Rancangan Alat

2.3.2. Preatreatment

Sebelum masuk ke dalam reaktor MBBR, limbah cair Rumah Makan Bang Doel sebanyak 30 liter terlebih dahulu diendapkan untuk memisahkan sisa-sisa makanan serta minyak dan lemak selama 24 jam di dalam bak pengolahan awal. Setelah itu, limbah cair Rumah Makan Bang Doel yang telah diendapkan dialirkan ke dalam reaktor MBBR sebanyak 10 liter.

2.3.3. Seeding

Proses seeding bertujuan agar mikroorganisme yang digunakan dalam proses degradasi beradaptasi terlebih dahulu dengan limbah yang akan diolah, sehingga mikroorganisme akan bekerja secara maksimal (Ananda et al., 2017). *Seeding* dilakukan secara alami yaitu dengan mengalirkan air limbah ke dalam reaktor yang telah terisi media kaldness K5 hingga terbentuknya lapisan biofilm pada media biofilter selama ± 20 hari. Perbandingan sampel limbah cair dengan media lekat Kaldness K5 yaitu 1:1 atau 10 liter sampel limbah cair Rumah Makan Bang Doel dan 10 liter media lekat Kaldness K5.

2.3.4. Running

Proses running pada pengolahan MBBR dilakukan dengan cara limbah cair Rumah Makan Bang Doel dari proses seeding diganti dengan sampel limbah cair Rumah Makan Bang Doel yang baru, pengolahan ini dilakukan selama 8 jam dan diberi aerasi secara terus menerus (Kusuma, et al. 2019), kemudian air limbah yang sudah diolah menggunakan MBBR disedot menggunakan booster pump, lalu dialirkan melalui membran filtrasi selama 1 jam dengan *working pressure* sebesar 80 PSI, *operating current* sebesar ≤ 1.5 A, *working flow* sebesar ≥ 60 LPH dan *rated flow* sebesar 120 LPH. Pengolahan limbah cair rumah makan dilakukan sebanyak 2 kali pengulangan.

2.3.5. Analisis Data

Perhitungan efisiensi dari pengolahan dapat dilihat dari persamaan dengan rumus efektivitas sebagai berikut (Kusuma, et al. 2019).

$$\sum P = \frac{A - B}{A} \times 100\%$$

Keterangan:

- $\sum P$: Efisiensi pengolahan
- A : Sampel sebelum pengolahan
- B : Sampel setelah pengolahan

Tabel 1. Metode Analisis Sampel

Parameter	Satuan	Metode
BOD	mg/L	Potentiometric (DO Meter)
TSS	mg/L	Gravimetri
Kekaruhan	NTU	Nephelometric
pH	-	pH meter
Suhu	°C	Termometri

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan uji statistik t-Test yang bertujuan untuk mengetahui apakah ada pengaruh perlakuan terhadap penurunan parameter pencemar. Tingkat signifikansi dalam analisis ini sebesar 5% dengan probabilitas kebenaran sebesar 95%, dengan menggunakan program komputer spss versi 25.0, dengan interpretasi hasil sebagai berikut (Situmorang, 2019):

1. Jika nilai signifikan (2-tailed) $< 0,05$, maka terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil treatment pada data sebelum dan sesudah.
2. Jika nilai signifikan (2-tailed) $> 0,05$, maka tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil treatment pada data sebelum dan sesudah.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik Air Limbah

Secara fisik, limbah cair Rumah Makan Bang Doel memiliki bau yang menyengat, berwarna cokelat keruh, dan permukaannya dilapisi oleh lapisan minyak. Karakteristik limbah cair Rumah Makan Bang Doel dapat diketahui dengan cara mengukur parameter, seperti pH, BOD, dan TSS, serta hasil uji laboratorium dengan baku mutu air limbah domestik. Parameter yang dianalisis pada pengujian awal dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Limbah Cair Rumah Makan Bang Doel

Parameter	Satuan	Konsentrasi Awal	Baku Mutu	Keterangan
pH	-	6,4	6-9	Tidak Melebihi Baku Mutu
BOD	mg/L	160,07	30	Melebihi Baku Mutu
TSS	mg/L	423	30	Melebihi Baku Mutu

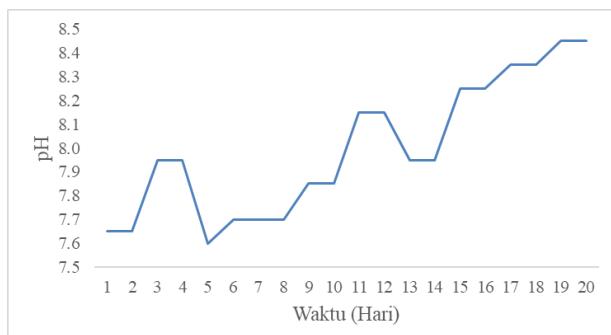
*Baku Mutu Berdasarkan Permen LHK No 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa parameter BOD dan TSS telah melebihi baku mutu yang diperbolehkan sehingga diperlukan proses pengolahan terlebih dahulu sebelum limbah tersebut dibuang ke lingkungan.

3.2. Operasional Reaktor MBBR

3.2.1. Proses Seeding

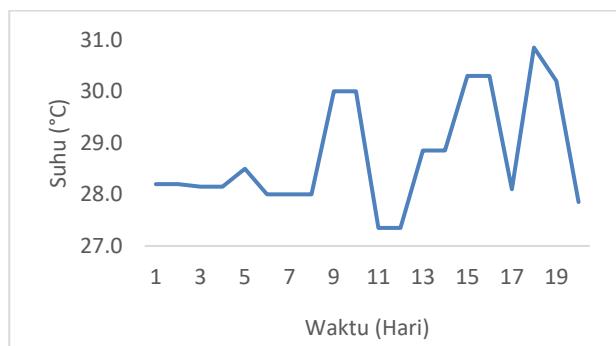
Selama proses seeding, dilakukan pengukuran pH dan suhu setiap hari, besarnya nilai pH dan suhu selama seeding 20 hari dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Pengukuran pH Selama Proses Seeding

Nilai pH yang belum stabil pada hari ke-3 dan hari ke-5 mengindikasikan mikroorganisme yang ada dalam air limbah masih mengalami fase adaptasi. Penurunan pH dari 8,2 menjadi 8,0 pada hari ke-13 dan ke-14 selama proses seeding disebabkan oleh peningkatan aktivitas mikroorganisme dalam mendegradasi bahan organik di air limbah. Proses ini menghasilkan senyawa asam, yang sementara waktu menurunkan pH. Meskipun penurunan ini relatif kecil, hal ini menunjukkan bahwa akumulasi senyawa asam mulai memengaruhi keseimbangan pH dalam sistem (Farahdiba et al., 2021). Setelah itu, nilai pH pada hari ke-15 sampai hari ke-20 mengalami kenaikan secara konsisten tanpa terjadi penurunan, hal ini mengindikasikan bahwa ekosistem mikroba mulai mencapai keseimbangan, dan proses biologis dalam pengolahan limbah menjadi lebih efektif. Peningkatan nilai pH terjadi karena proses penguraian yang dilakukan oleh mikroorganisme yang terdapat di dalam air limbah. Proses respirasi sel yang dilakukan secara aerob akan menghasilkan amoniak (Putri et al., 2021).

Jika pada penelitian ini nilai pH yang diperoleh selama 20 hari proses seeding mengalami peningkatan yang berada pada rentang pH 7-8, berbeda dengan penelitian Kusuma et al. (2019), dimana selama proses seeding 15 hari pada pengolahan limbah laundry menggunakan metode MBBR terjadi penurunan pH yang berkisar di angka pH 8,9 – 7,1. Penurunan nilai pH di dalam reaktor dapat disebabkan arena terjadinya proses pembentukan nitrat oleh bakteri nitrobacter, hal ini menandakan mikroorganisme yang telah tumbuh dan membentuk biofilm mampu menurunkan pH limbah laundry oleh aktivitas metabolisme mikroorganisme aerob (Kusuma et al., 2019). Selain dilakukan pengukuran nilai pH, proses seeding juga dilakukan pengukuran suhu, dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Pengukuran Suhu Selama Proses Seeding

Rentang suhu selama pengolahan pada proses seeding berada pada rentang 27,4-30,9°C. Perubahan nilai suhu dipengaruhi oleh kadar oksigen dan kondisi lingkungan yang menyebabkan nilai suhu tersebut mengalami naik turun (Nurasia, 2019). Selama proses pengolahan, suhu air limbah cukup fluaktif, hal ini disebabkan oleh pengaruh cuaca disekitar lingkungan, dimana selama proses penelitian, lokasi penelitian berada pada ruangan terbuka sehingga fluktuasi suhu dipengaruhi oleh kondisi cuaca selama proses pengolahan. Akan tetapi, bakteri dapat hidup dan berkembang biak optimal pada suhu 25°C-35°C (Tchobanoglous et al., 2003), sehingga dapat dikatakan bahwa suhu pada proses seeding berada pada kondisi optimal, dan pada kondisi tersebut mendukung pertumbuhan mikroorganisme dalam menurunkan kadar pencemar. Suhu tidak berubah secara signifikan pada pengolahan MBBR karena sistem ini umumnya tertutup, sehingga minim pertukaran panas dengan lingkungan. Volume air yang besar membuat perubahan suhu berjalan lambat, sementara proses biologis di dalamnya tidak menghasilkan panas dalam jumlah besar. Selain itu, MBBR biasanya beroperasi secara kontinu tanpa sistem pemanas atau pendingin, sehingga suhu cenderung stabil mengikuti suhu air limbah yang masuk.

3.2.2. Hasil Pengolahan MBBR

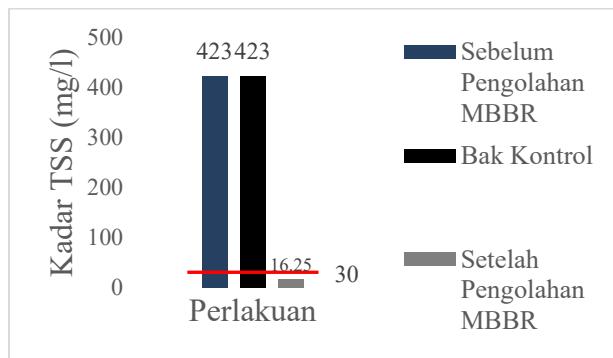
Penurunan (rata-rata) parameter pencemar dengan dua kali pengulangan pada pengolahan limbah cair rumah makan Bang Doel menggunakan metode MBBR dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengolahan Metode MBBR

Parameter	Satuan	Baku	Sampel	Hasil Pengolahan	
		Mutu	Awal	Kontrol (tanpa perlakuan)	MBBR
pH	-	6-9	6,4	6,4	7,8
BOD	mg/l	30	160,07	160,07	14,6
TSS	mg/l	30	423	423	16,25

*Baku Mutu Berdasarkan Permen LHK No 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik

Berdasarkan pengolahan menggunakan metode MBBR, nilai penurunan parameter BOD sebelum dan sesudah pengolahan dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



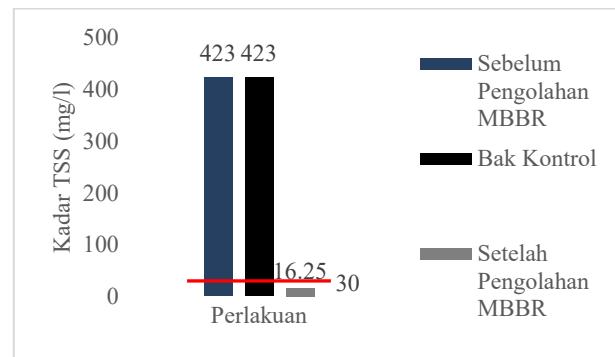
Gambar 5. Grafik Perubahan Nilai BOD

Pengolahan limbah cair Rumah Makan Bang Doe menggunakan metode Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) berhasil menurunkan parameter BOD dari 160.07 mg/L menjadi 14,6 mg/L dengan efisiensi penurunan sebesar 90%, sehingga hasil pengolahan tersebut memenuhi baku mutu air limbah domestik yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.68/Menlhk-Setjen/2016, yaitu 30 mg/L. Pengolahan yang dilakukan tanpa penambahan aerasi dan tanpa menggunakan media kaldness K5 pada bak kontrol, tidak terdapat perubahan pada nilai BOD. Hal ini menunjukkan bahwa aerasi sangat penting dalam mengoptimalkan proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme dalam metode MBBR, sehingga lebih efektif menurunkan nilai BOD.

Tingginya nilai penurunan kadar BOD pada limbah cair Rumah Makan Bang Doe dikarenakan media kaldness K5 memiliki pori yang cukup banyak sehingga mikroorganisme pengurai limbah banyak yang menempel dan ditunjang waktu tinggal selama proses seeding berlangsung yaitu selama 20 hari. Faktor penurunan konsentrasi BOD yaitu meningkatnya biomassa mikroorganisme, sehingga menyebabkan turunnya konsentrasi bahan organik pada limbah. Ketika limbah cair yang masuk ke dalam sistem mengandung bahan organik, mikroorganisme pada biofilm akan memanfaatkan bahan organik tersebut sebagai sumber energi dan karbon. Seiring berjalanannya waktu, bahan organik dalam limbah cair akan berkurang konsentrasinya karena telah diurai oleh mikroorganisme. Turunnya konsentrasi organik ini biasanya terjadi seiring dengan meningkatnya jumlah biomassa mikroorganisme, karena mikroorganisme akan berkembang biak untuk menyesuaikan diri dengan ketersediaan sumber makanan yang ada. Proses ini mengarah pada peningkatan biomassa mikroorganisme karena mereka membutuhkan waktu untuk mengadaptasi diri terhadap penurunan bahan organik yang tersedia, dengan berkurangnya bahan organik mikroorganisme dalam pengolahan akan cenderung bertumbuh dan berkembang dalam jumlah yang lebih besar, karena mereka akan memaksimalkan pemanfaatan sisa bahan organik yang masih ada dan mengadaptasi diri untuk menggunakan sumber-sumber karbon lain yang ada, seperti senyawa-senyawa organik yang

lebih kompleks. Peningkatan biomassa disebabkan oleh pertumbuhan mikroorganisme yang melekat pada rongga-rongga media filter bioball yang digunakan sebagai tempat mikroorganisme tumbuh dan berkembang biak sehingga mikroorganisme tersebut dapat tumbuh dalam jumlah besar meskipun sumber bahan organik berkurang (Halim et al., 2023).

Berdasarkan pengolahan menggunakan metode MBBR, nilai penurunan parameter TSS sebelum dan sesudah pengolahan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Perubahan Nilai TSS

Pengolahan limbah cair Rumah Makan Bang Doe menggunakan metode Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) berhasil menurunkan parameter TSS dari 423 mg/L menjadi 16.25 mg/L dengan efisiensi penurunan sebesar 96%, sehingga hasil pengolahan tersebut memenuhi baku mutu air limbah domestik yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.68/Menlhk-Setjen/2016, yaitu 30 mg/L. Nilai TSS limbah cair tersebut berada di bawah ambang batas yang diperbolehkan, sehingga limbah tersebut dinyatakan aman untuk dibuang ke badan air tanpa membahayakan kualitas lingkungan. Namun, pada bak kontrol, dimana pengolahan dilakukan tanpa penambahan aerasi dan tanpa menggunakan media kaldness K5, tidak ada perubahan pada nilai TSS. Hal ini disebabkan oleh partikel-partikel dalam air tidak dapat diolah dengan baik, karena tanpa aerasi, air menjadi tenang sehingga partikel kecil tetap melayang dan tidak mengendap. Selain itu, tanpa media kaldness K5, mikroorganisme tidak memiliki tempat untuk menempel dan membantu memecah padatan.

Penurunan pada parameter TSS disebabkan oleh pengaruh dari aerasi. Proses masuknya oksigen pada air limbah domestik dapat menghancurkan partikel endapan yang menggumpal sehingga mempermudah proses penyerapan oksigen oleh bakteri aerob. Semakin banyak bakteri pengurai tumbuh dengan baik maka semakin banyak endapan yang dapat terurai, sehingga nilai TSS juga akan ikut menurun (Aniriani, et al. 2022). Pengolahan dengan metode MBBR hanya dapat mendegradasi TSS yang berupa zat organik. Zat organik tersebut yang akan direduksi oleh mikroorganisme yang menempel pada media.

Penurunan konsentrasi TSS disebabkan oleh melekatnya padatan tersuspensi pada permukaan

biofilm menjadi terurai dan terlarut dalam air. Penyisihan konsentrasi TSS juga dipengaruhi oleh proses fisik yaitu filtrasi oleh media yang digunakan, sehingga kaldness K5 menjadi media yang lebih baik karena jumlah sekat yang lebih banyak dan rapat mengakibatkan filtrasi yang terjadi oleh media cenderung lebih baik. Selain itu, adanya proses pretreatment sedimentasi juga memengaruhi penurunan nilai TSS karena adanya gaya gravitasi. Padatan-padatan yang terdapat pada air limbah akan turun ke dasar bak sedimentasi sehingga terpisah dari air limbah yang akan diolah (Subagyo et al., 2022). Efisiensi penurunan parameter TSS yang sudah dilakukan tidak sejalan dengan penelitian Farahdiba, et al (2021), dimana tingkat efisiensi penurunan parameter TSS pada penelitian ini sebesar 96%, sedangkan pada penelitian Farahdiba et al (2021) untuk efisiensi penurunan parameter TSS sebesar 63,04% karena pada penelitian ini tidak menggunakan bak pengendap sehingga nilai penyisihan TSS tidak terlalu besar. TSS yang berupa zat organik akan dioksidasi oleh mikroorganisme di reaktor. TSS yang berupa flok akan diendapkan di bak pendengap (Laksana & Purnomo, 2021).

3.3. Hasil Pengolahan Kombinasi Metode MBBR dan Membran Filtrasi

Penurunan (rata-rata) parameter pencemar dengan 2 kali pengulangan pada pengolahan limbah cair rumah makan Bang Doel menggunakan metode MBBR dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengolahan Kombinasi Metode MBBR & Membran Filtrasi

Parameter	Satuan	Baku Mutu	Sampel Awal	Hasil Pengolahan	
				Kontrol	MBBR + Membran
pH	-	6,5-8,5	6,4	6,4	7,7
Suhu	°C	Suhu Udara ± 3	29,5	27,1	28,2
Kekeruhan	NTU	<3	161	161	0

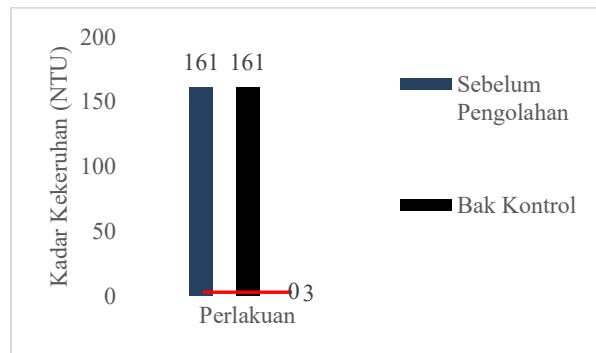
*Baku Mutu Permenkes Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan (Baku Mutu Air untuk keperluan Higiene dan Sanitasi)

Pengolahan pada kombinasi metode MBBR dan membran filtrasi menunjukkan terjadinya kenaikan nilai pH, dimana pH limbah cair hasil pengolahan sebesar 7.7 dan memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023, dimana baku mutu pH air untuk keperluan sanitasi sebesar 6,5-8,5. Kenaikan pH dalam pengolahan limbah cair menggunakan kombinasi metode MBBR dan membran filtrasi disebabkan oleh interaksi kompleks antara proses biologis dan fisikokimia yang berlangsung selama pengolahan. Pada proses pengolahan secara biologis yaitu MBBR, mikroorganisme memecah senyawa organik yang bersifat asam, sehingga menghasilkan senyawa-senyawa yang lebih netral atau bahkan sedikit basa,

sehingga pada pengolahan MBBR nilai pH sudah netral yaitu sebesar 7,8. Setelah melalui tahap biologis di MBBR, air limbah kemudian disaring melalui membran. Proses membran ini berperan dalam menghilangkan partikel-partikel tersuspensi, mikroorganisme, serta sisa-sisa senyawa organik dan anorganik yang mungkin masih tersisa. Penghilangan senyawa-senyawa tersebut, terutama yang bersifat asam atau berkontribusi terhadap keasaman, sehingga nilai pH air menuju kisaran netral.

Nilai awal suhu limbah cair Rumah Makan Bang Doel sebesar 29,5°C, rentang suhu tersebut masih berada dalam kategori baku mutu berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023, dimana baku mutu suhu untuk air keperluan sanitasi sebesar suhu udara ± 3. Nilai suhu hasil pengolahan menggunakan kombinasi metode MBBR dan membran filtrasi sebesar 28,3°C, dimana nilai tersebut masih dalam persyaratan baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023, dimana baku mutu suhu air untuk keperluan sanitasi sebesar suhu udara ± 3. Suhu udara ± 3 yang dimaksud dalam baku mutu air bersih untuk sanitasi menggambarkan kondisi lingkungan disekitar pengolahan, namun terkait suhu air tersebut harus berada dalam rentang suhu 20 - 30°C. Perubahan nilai suhu dipengaruhi oleh kadar oksigen dan kondisi lingkungan yang menyebabkan nilai suhu tersebut mengalami naik turun (Nurasia, 2019). Selama proses pengolahan, suhu air limbah cukup fluaktif, hal ini disebabkan oleh pengaruh cuaca disekitar lingkungan, dimana selama proses penelitian, lokasi penelitian berada pada ruangan terbuka sehingga fluktuasi suhu dipengaruhi oleh kondisi cuaca selama proses pengolahan.

Berdasarkan pengolahan menggunakan kombinasi metode MBBR dan membran filtrasi, nilai penurunan parameter TSS sebelum dan sesudah pengolahan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Perubahan Nilai Kekeruhan

Pengolahan limbah cair Rumah Makan Bang Doel menggunakan kombinasi metode Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) dan membran filtrasi berhasil menurunkan parameter kekeruhan dari 161 NTU menjadi 0 NTU dengan efisiensi penurunan sebesar 100%, yang berarti air hasil olahan sudah sangat

jernih dan bebas dari partikel tersuspensi. Proses ini dimulai dengan tahap MBBR, dimana mikroorganisme yang tumbuh pada media bergerak dalam reaktor ini mendegradasi bahan organik dalam limbah cair, seperti minyak, lemak, dan sisa-sisa makanan sehingga mengurangi beban kekeruhan yang disebabkan oleh zat terlarut dan tersuspensi. Setelah tahap ini, air kemudian diproses lebih lanjut melalui membran filtrasi, yang memiliki kemampuan untuk menyaring partikel penyebab kekeruhan yang sangat halus termasuk mikroorganisme dan koloid yang mungkin terlewatkan pada tahap MBBR. Hasil dari pengolahan tersebut menunjukkan bahwa kekeruhan air yang awalnya tinggi berhasil diturunkan menjadi 0 NTU, jauh di bawah batas maksimum yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023, dimana baku mutu air untuk keperluan sanitasi yaitu kekeruhan sebesar <3 NTU. Nilai kekeruhan hasil pengolahan yang mencapai 0 NTU dan memenuhi standar baku mutu yang berlaku mengindikasikan bahwa air olahan tersebut aman untuk digunakan dalam kegiatan sanitasi seperti pencucian peralatan masak dan makan, serta untuk siram toilet, tanpa risiko kontaminasi atau masalah kebersihan yang dapat memengaruhi kesehatan.



Gambar 8. Perbandingan Sampel Limbah Cair Sebelum dan Sesudah Pengolahan Menggunakan Membran Filtrasi

Kadar TSS biasanya berbanding lurus dengan kadar kekeruhan. Semakin tinggi kadar padatan tersuspensi, maka angka kekeruhan juga akan semakin tinggi (Fadhilah, 2022). Namun, pada penelitian ini nilai TSS dan kekeruhan tidak selalu berbanding lurus sempurna, tetapi keduanya tetap saling berkaitan. Pada limbah cair Rumah Makan Bang Doel, nilai TSS sebesar 423 mg/L menunjukkan bahwa konsentrasi padatan tersuspensi cukup tinggi dan nilai kekeruhan sebesar 161 NTU menunjukkan ukuran seberapa banyak cahaya yang tersebar akibat partikel dalam air. Penelitian ini mencapai efisiensi penurunan TSS sebesar 96%, lebih tinggi dari penelitian Farahdiba et al. (2021) yang hanya 63,04% karena perbedaan metode tanpa bak pengendap. TSS organik akan dioksidasi oleh mikroorganisme, sedangkan TSS berbentuk flok akan mengendap (Laksana & Purnomo, 2021).

Penurunan parameter kekeruhan pada limbah cair rumah makan Bang Doel dari nilai 161 NTU menjadi 0 NTU menggunakan membran filtrasi tubular dengan kapasitas 100 GPD dan ukuran pori 1/1000 mikron adalah proses yang sangat efektif untuk menghilangkan partikel-partikel penyebab kekeruhan dalam air. Limbah cair rumah makan tersebut mengandung berbagai jenis partikel tersuspensi, seperti sisa-sisa makanan, minyak dan lemak yang menyebabkan kekeruhan yang cukup tinggi, yaitu sebesar 161 NTU. Proses ini dimulai dengan memompa air keruh yang mengandung partikel tersuspensi melalui sistem filtrasi membran tubular. Membran tubular memiliki bentuk silindris dengan pori-pori yang sangat kecil, yang memungkinkan penyaringan air dalam jumlah besar secara efisien. Menurut Khalif, 2019, penyisihan TSS terjadi disebabkan oleh dua faktor, pertama yaitu karena adanya filtrasi pada media dan yang kedua yaitu karena adanya aktivitas biologis bakteri yang tumbuh pada media.

Penggunaan membran dengan pori yang sangat kecil dan kapasitas yang cukup besar mampu menghilangkan hampir seluruh partikel yang menyebabkan kekeruhan, dimana kekeruhan air akan berangsur-angsor berkurang dengan partikel-partikel penyebab kekeruhan, sehingga kekeruhan dapat turun dari nilai 161 NTU menjadi hampir 0 NTU, yang menandakan bahwa air tersebut hampir sepenuhnya bebas dari partikel tersuspensi. Kombinasi MBBR dan membran memberikan hasil pengolahan air limbah yang lebih efisien dan berkualitas tinggi karena proses biologis penguraian senyawa organik oleh biofilm dipadukan dengan penyaringan fisik oleh membran. Sistem ini mampu menurunkan kadar BOD, TSS, dan kekeruhan secara signifikan, menghasilkan air olahan yang jernih serta bebas padatan halus. Selain itu, desainnya yang kompak dan efisien menjadikannya cocok untuk pengolahan di area terbatas dengan stabilitas proses yang tinggi meskipun beban limbah berfluktuasi. Hal ini sejalan dengan Penelitian Dickdoyo. AT dan Cahyonugroho. O.H (2021) bahwa kinerja reaktor MBBR cukup baik dalam penyisihan konsentrasi TOC dan TSS

Pemeliharaan membran filtrasi penting untuk dilakukan agar tetap dalam kondisi baik. Membran harus dibersihkan secara berkala untuk mencegah penumpukan partikel pada permukaannya yang dapat mengurangi efisiensi filtrasi. Selain itu, pengelolaan kondisi operasional seperti tekanan dan aliran air, juga berperan penting dalam memastikan kinerja membran tetap optimal. Teknologi membran filtrasi dapat mengolah air dengan sangat baik, terutama jika didukung oleh adanya pretreatment seperti pengolahan menggunakan MBBR yang berfungsi untuk mengurangi beban membran filtrasi. Pengolahan menggunakan metode MBBR, air limbah terlebih dahulu sudah mengalami penurunan tingkat kekeruhan, sehingga partikel-partikel besar dan bahan organik yang dapat menyebabkan fouling (penyumbatan membran) sebagian dapat

dihilangkan. Hal ini tidak hanya meningkatkan efisiensi proses filtrasi, tetapi juga memperlambat proses fouling pada membran sehingga memperpanjang umur membran dan mengurangi frekuensi pemeliharaan yang diperlukan. Perawatan membran filtrasi sangat penting untuk menjaga kinerja dan umur pakainya. Perawatan rutin mencakup pencucian (cleaning) secara fisik maupun kimia untuk menghilangkan fouling (penumpukan kotoran) seperti biofilm, kerak, atau endapan organik dan anorganik. Jika tidak dirawat, membran akan mengalami penurunan laju alir (flux), peningkatan tekanan operasi, dan penurunan efisiensi pemisahan. Hal ini memperpendek umur membran dan meningkatkan biaya operasional. Sebaliknya, perawatan yang baik dapat mempertahankan efisiensi filtrasi, menstabilkan performa sistem, dan memperpanjang masa pakai membran secara signifikan.

3.4. Pengaruh Perlakuan (Reaktor MBBR serta Kombinasi MBBR dan Membran Filtrasi) Terhadap Penurunan Parameter Pencemar

Nilai signifikansi yang diperoleh pada analisis statistik t-Test untuk dilakukan uji beda tentang pengaruh perlakuan (MBBR) terhadap kadar pH menunjukkan signifikan 0,047 dan nilai signifikansi yang diperoleh pada analisis statistik t-Test untuk dilakukan uji beda tentang pengaruh perlakuan (kombinasi metode MBBR dan membran filtrasi) terhadap kadar pH menunjukkan signifikan 0,041. Nilai signifikan kadar pH yang diperoleh menunjukkan signifikan < 0,05, sehingga dapat diketahui bahwa H1 diterima dan H0 ditolak. Perlakuan MBBR berpengaruh signifikan terhadap kadar pH air limbah. Artinya, MBBR mampu memperbaiki atau menstabilkan pH dengan cara biologis yang cukup kuat secara statistik. Kombinasi metode MBBR dan membran filtrasi juga berpengaruh signifikan terhadap kadar pH. Jadi, baik MBBR sendiri maupun kombinasinya dengan membran efektif dalam memengaruhi pH.

Nilai signifikansi yang diperoleh pada analisis statistik t-Test untuk dilakukan uji beda tentang

pengaruh perlakuan (kombinasi metode MBBR dan membran filtrasi) terhadap kadar suhu menunjukkan signifikan 0,251, nilai signifikan yang diperoleh menunjukkan signifikan > 0,05, sehingga dapat diketahui bahwa H0 diterima dan H1 ditolak. Perlakuan kombinasi metode MBBR dan membran filtrasi tidak memberikan perubahan suhu yang signifikan. Hal ini normal karena proses pengolahan kombinasi metode MBBR dan membran filtrasi tidak secara langsung memengaruhi suhu.

Nilai signifikansi yang diperoleh pada analisis statistic t-Test untuk dilakukan uji beda tentang pengaruh perlakuan (MBBR) terhadap penurunan kadar BOD menunjukkan signifikan 0,028. Nilai signifikan kadar BOD yang diperoleh menunjukkan signifikan < 0,05, sehingga dapat diketahui bahwa H1 diterima dan H0 ditolak. Perlakuan MBBR memberikan pengaruh yang signifikan dalam menurunkan kadar BOD. Secara statistik, MBBR efektif dalam menguraikan bahan organik secara biologis. Kemudian, nilai signifikansi yang diperoleh pada analisis statistik t-Test untuk dilakukan uji beda tentang pengaruh perlakuan (MBBR) terhadap penurunan kadar TSS menunjukkan signifikan 0,021. Nilai signifikan kadar TSS yang diperoleh menunjukkan signifikan < 0,05, sehingga dapat diketahui bahwa H1 diterima dan H0 ditolak. MBBR memberikan pengaruh yang signifikan dalam menurunkan TSS, hal ini menunjukkan bahwa secara statistic sistem ini mampu menangkap atau mengendapkan partikel tersuspensi. Nilai signifikansi yang diperoleh pada analisis statistik t-Test untuk dilakukan uji beda tentang pengaruh perlakuan (kombinasi metode MBBR dan membran filtrasi) terhadap penurunan kadar kekeruhan menunjukkan signifikan 0,006. Nilai signifikan penurunan kadar kekeruhan yang diperoleh menunjukkan signifikan < 0,05, sehingga dapat diketahui bahwa H1 diterima dan H0 ditolak. Secara statistik, kombinasi MBBR dan membran filtrasi sangat efektif menurunkan kekeruhan air limbah karena membran bekerja sangat baik dalam menyaring partikel halus dan meningkatkan kejernihan air.

Tabel 5. Hasil Uji Statistik

	Paired Differences						t	dt	Sig (2-tailed)			
	Mean	Std Deviation	Std Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference								
				Lower	Upper							
Pair 1 pH MBBR - Reaktor Kontrol	-502.500	.53033	37500	-9.78983	-26071	-13400	1	.047				
Pair 2 pH Kombinasi MBBR & Membran-Reaktor Kontrol	-5.07500	.45962	32500	-9.20452	-94548	-15.615	1	.041				
Pair 3 Suhu Kombinasi MBBR & Membran - Reaktor Kontrol	-1.20000	.70711	50000	-7.55310	5.15310	-2.400	1	.251				
Pair 4 BOD MBBR - Reaktor Kontrol	145.46500	9.18532	6.49500	-227.99180	-62.93820	-22396	1	.028				
Pair 5 TSS MBBR - Reaktor Kontrol	406.75000	18.73833	13.25000	-575.10721	-238.39279	-30699	1	.021				
Pair 6 Kekeruhan Kombinasi MBBR & Membran Reaktor Kontrol	147.50000	2.12132	1.50000	-16655931	-128.44069	-98.333	1	.006				

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian Daur Ulang Limbah Cair Rumah Makan dengan Kombinasi Metode Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) adalah sebagai berikut. Pengolahan limbah cair Rumah Makan Bang Doel menggunakan metode Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) mampu menurunkan parameter BOD dan TSS sebesar 90%, dan 96% dengan nilai pH awal sebesar 6,4 menjadi 7,8. Pengolahan dengan kombinasi MBBR dan membran filtrasi mampu menurunkan parameter kekeruhan sebesar 100%, dengan pH awal sebesar 6,4 menjadi 7,7 dan suhu awal sebesar 29,5°C menjadi 28,3°C.

DAFTAR PUSTAKA

- Ananda, R. A., Hartati, E., & Salafudin. (2017). Seeding dan Aklimatisasi pada Proses Anaerob Two Stage System menggunakan Reaktor Fixed Bed. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 6(1), 1–9.
- Andiese.V.W, 2011. Pengolahan Limbah Cair Rumah Tangga dengan Metode Kaldness Oksidasi. *Jurnal Infrastruktur*. Vol. 1, No.2 103-110.
- Aniriani, G.W., Putri, M.S.A., Nengseh, Trisnawati. 2022. Efektivitas Penambahan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) Terhadap Kualitas Air Limbah di Instalasi Pengolahan Air Limbah Pondok Pesantren Mahasiswa Universitas Islam Lamongan. *Jurnal Ilmiah Sains*, April 2022, 22(1): 67-74
- Dickdoyo. AT dan Cahyonugroho. O.H. 2021. Pengolahan Limbah Domestik Rumah Makan Dengan Moving Bed Biofilm Reactor (Mbbr). *Jurnal Envirotek VOL 13 NO 1 (2021)* . 2623-1336
- Fadhilah, I. (2022). Pengolahan Limbah Cair Rumah Makan Menjadi Air Bersih dengan Metode Kombinasi Saringan Pasir Bertingkat-Ultrafiltrasi Membran Polyethersulfone(PES). Skripsi : Universitas Islam Negeri.
- Farahdiba, A. U., Purnomo, Y. S., Sakti, S. N., Muhammad, & Kamal, F. (2021). Pengolahan Limbah Domestik Rumah Makan Dengan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR). *Jurnal Envirotek*,13(1), 33–36. <https://doi.org/10.33005/envirotek.v13i1.116>
- Halim, M.A., Hendrarianti, Evy., Setyobudiarso, Hery. 2023. Pengaruh Waktu Terhadap Penurunan Bod, Cod, Dan Tss Limbah Rumah Makan Menggunakan Biofilter Anaerob. *Jurnal Enviro*, Prodi Teknik Lingkungan - ITN Malang, 2(2), 1-9
- Ketaren, S., 2005, Teknologi Minyak dan Lemak Pangan, UI, Jakarta.
- Kholif, M. A. 2019. Penerapan Teknologi Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) Bermedia Kaldness dalam Menurunkan Pencemar Air Lindi. *Jurnal Teknik Lingkungan Volume 2 Nomor 1*. Halaman 1-12
- Kusuma, Dhimas Aji., Fitria, Laili., Kadaria, Ulli. 2019. Pengolahan Limbah Laundry dengan Metode Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR). *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, Vol. 02, No. 1, 2019: 001 - 010
- Laksana, Dewa Gede Arya Sekar., Purnomo, Yayok Suryo. Penurunan BOD, TSS dan Total-N Menggunakan Mikroorganisme Indigen Limbah Cair Tahu Dengan Proses MBBR. *Jurnal Enviro*,Vol 1 No 2 (2021)
- Nurasia. 2019. Analisis Kualitas pH, suhu, warna, dan TDS Air PDAM Kota Palopo. *Jurnal Dinamika*, 10 (1) : 16 – 21.
- Putri, F. M., Sasmita, A., & Asmura, J. (2021). Pengaruh pH terhadap Evesiensi Air Limbah Grey Water dengan Media Honeycomb. Vol 41. Hlm. 141–148.
- Subagyo, A., Arifin, A., & Kadaria, U. (2022). Perbandingan Jenis Media Kaldness terhadap Effisiensi Limbah Rumah Makan dengan Metode MBBR. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 10(2), 239. <https://doi.org/10.26418/jtllb.v10i2.56415>
- Tchobanoglous, G. dan F.L Burton. 1991. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse*. 3rd Ed. McGrawHill.Inc. Singapore.