

PENURUNAN BEBAN PENCEMAR LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT MENGUNAKAN RANCANG MOVING BED BIOFILTER REACTOR (MBBR) SEBAGAI ALTERNATIF PENGOLAHAN LIMBAH MEDIS DI PROVINSI BANTEN

REDUCING HOSPITAL LIQUID WASTE POLLUTANT LOADS USING A MOVING BED BIOFILM REACTOR (MBBR) DESIGN AS AN ALTERNATIVE FOR MEDICAL WASTE PROCESSING IN BANTEN PROVINCE

Anis Masyruroh* & Agung Ramadhan

Prodi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Banten Jaya, Jl. Ciwaru Raya No.07 Kota
Serang, Banten, Indonesia 42117

*Email: anismasyruroh@unbaja.ac.id

disubmit: 28 Mei 2024, direvisi: 26 Juni 2024, diterima: 3 Juli 2024

ABSTRAK

Rumah sakit merupakan fasilitas pelayanan kesehatan yang menghasilkan limbah cair, padat dan limbah B3. Tingginya beban pencemar limbah cair rumah sakit di Indonesia menyebabkan masalah bagi lingkungan dan makhluk hidup lainnya. Untuk menurunkan beban pencemar limbah cair rumah sakit harus menggunakan teknologi yang tepat. Teknologi yang tepat membutuhkan biaya tinggi dalam pembangunan dan pemeliharaannya. Hal ini salah satu faktor rumah sakit enggan membuat IPAL yang sesuai standar. Tujuan dari penelitian ini adalah memberikan alternatif teknologi tepat guna dalam pengolahan limbah rumah sakit dengan merancang IPAL sederhana menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR). Jumlah sampel yang digunakan pada penelitian kali ini sebanyak 3 sampel lokasi rumah sakit. IPAL terbuat dari pipa PVC dengan jumlah sebanyak 5 bak yaitu bak pemisah minyak/lemak, bak ekualisasi, bak anoksik, bak aerasi dan bak sedimentasi. Efisiensi penurunan kualitas limbah cair rumah sakit menggunakan MBBR yaitu pada konsentrasi pH rata-rata sebesar 9%, TSS sebesar 43%, COD sebesar 31%, BOD5 sebesar 29% dan Amoniak sebesar 25%. Hasil uji perbedaan *influent* dan *effluent* limbah cair rumah sakit menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan konsentrasi COD dan BOD5 yang signifikan. Sedangkan Amoniak saja yang perbedaannya signifikan, sedangkan konsentrasi pH dan TSS tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Dari hasil penelitian dari tiga rumah sakit Pemerintah dan rumah sakit swasta di Provinsi Banten Menunjukkan Sistem Pengolahan Limbah Cair Menggunakan MBBR dapat berhasil menurunkan karakteristik limbahnya.

Kata Kunci: Beban pencemar, IPAL, limbah cair rumah sakit, reaktor biofilter

ABSTRACT

Masyruroh, A. & A. Ramadhan. (2024). JURNAL KEBIJAKAN PEMBANGUNAN DAERAH: Jurnal Penelitian dan Pengembangan Kebijakan Pembangunan Daerah, 08(01), page 60 – 77. <https://doi.org/10.56945/jkpd.v8i1.299>

© The Author(s)



Published by Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Provinsi Banten

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Hospitals are health care facilities that produce liquid, solid and B3 waste. The high pollutant load of hospital wastewater in Indonesia causes problems for the environment and other living things. Appropriate technology requires high costs (high cost) in manufacture and maintenance, this is one of the factors that hospitals are reluctant to make WWTP according to standards. This study aims to design a simple WWTP using a Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) and determine the reduction efficiency of hospital wastewater. The number of samples used in this study were 3 samples. WWTP tubs are made of PVC pipes with a total of 5 tanks, namely oil/fat separator tanks, equalization tanks, anoxic tanks, aeration tanks and sedimentation tanks. The efficiency of reducing the quality of hospital wastewater using MBBR is at an average concentration of pH of 9%, TSS of 43%, COD of 31%, BOD5 of 29% and Ammonia of 25%. The results of the influent and effluent differences test in hospital wastewater using SPSS software showed that only the concentrations of COD, BOD5 and Ammonia were significantly different, while there were no significant differences in the concentrations of pH and TSS. From the results of research from three government hospitals and private hospitals in Banten Province, it shows that the liquid waste processing system using MBBR can be successful in reducing waste characteristics.

Key word: Pollutan load, hospital liquid waste, reactor biofilter, WWTP

PENDAHULUAN

Pengelolaan limbah rumah sakit saat ini menjadi perbincangan dunia internasional, oleh karena itu lembaga yang menangani *Solid Hazardous Waste* melaksanakan kegiatan *High Level Meeting on Environmental and Health South-East and East Asean Contries* di Bangkok pada tanggal 18 Oktober 2013. Hasil dari pertemuan tersebut akan menindaklanjuti penanganan limbah domestik dan medis di rumah sakit (Sukadewi & Astuti, 2020).

Potensi dampak limbah cair rumah sakit terhadap kesehatan manusia sangat besar sehingga rumah sakit yang menghasilkan limbah cair harus melakukan pengolahan sesuai dengan standar yang ditetapkan (Permenkes RI No. 7 Tahun 2019). Pada dasarnya limbah cair rumah sakit mengandung polutan yang

tinggi yang ditandai oleh tingginya parameter-parameter berikut: COD, BOD, nutrisi, TSS, TDS, klorida, coliform total, tinja dan mikroba (Werkneh, & Islam, 2023). Dari semua parameter tersebut dapat membahayakan ekosistem perairan jika nilainya melebihi baku mutu yang telah ditetapkan pemerintah. Polutan BOD, COD, TSS pada limbah cair rumah sakit perlu diperhatikan jika nilainya melebihi standar lingkungan hidup.

Penyebab kekeruhan pada badan air adalah karena banyaknya padatan tersuspensi sehingga menurunkan laju fotosintesis fitoplanton dan tumbuhan air. Selain itu, kadar oksigen dalam air menurun disebabkan oleh tingginya nilai BOD dan COD pada badan air (Sukadewi, dan Astuti, 2020). Salah satu cara menurunkan senyawa organik dan padatan tersuspensi tersebut dapat menggunakan

unit pengolahan biologis yang memanfaatkan biofilm dimana mikroorganisme tumbuh dan berkembang biak pada media dengan sistem *fluidized attached growth*.

Salah satu alasan rumah sakit membangun IPAL yakni karena kepatuhan terhadap regulasi yang dibuat oleh pemerintah sehingga mewajibkan rumah sakit mengolah air limbahnya sampai kadar maksimum yang ditetapkan, namun hal ini menjadi kendala karena penggunaan teknologi yang cukup mahal. Sampai saat ini rumah sakit tipe kecil atau klinik tidak dilakukan proses pengolahan sehingga masih membuang limbah cairnya ke parit (Sukadewi, dan Astuti, 2020).

Limbah cair rumah sakit dapat diolah dengan proses biologi dengan menerapkan sistem aerobik dan anerobik. Sistem aerobik yang banyak diterapkan yakni sistem lumpur aktif, sistem filtrasi membran dan bioreaktor lumpur aliran atas. Meskipun sudah banyak diterapkan tentu saja sistem tersebut memiliki kekurangan. Sistem lumpur aktif merupakan metode konvensional yang paling banyak diterapkan untuk mengolah limbah cair industri, namun kekurangannya harus ada proses pengembalian lumpur, sehingga akan menambah biaya operasional dan biasanya hasil penyisihan bahan organik air limbahnya tidak optimal disebabkan kompleksitas

penggunaan bahan kimia (Sukadewi, 2022)

Sistem MBR (Membran bioreaktor) pada prosesnya perlu dilakukan pembersihan secara berkala sehingga menyebabkan pemborosan waktu, sedangkan sistem lainnya kurang efisien dari aspek biaya dan waktu. Dengan demikian, *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) menjadi pilihan sistem inovatif dan hemat biaya dengan efisiensi penyisihan yang tinggi (Majid, 2019). *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) merupakan sistem pengolahan limbah cair secara biologis dimana bakteri berkembang sebagai biofilm yang melekat pada media. Secara konvensional, MBBR dirancang berdasarkan luas permukaan pembawa, operasi reaktor dan karakteristik biofilm, seperti struktur dan komposisi kumpulan mikroba (Kotwal, 2018). Media yang diterapkan pada sistem ini yaitu media kaldness K1 atau kaldness K3.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Ulfah (2019). presentase penurunan kadar nitrogen pada air limbah domestik sebanyak 80,9% sedangkan kadar amoniak sebesar 99,72% pada limbah artifisial dengan konsentrasi COD 500 mg/L. Kinerja *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) menunjukkan bahwa *removal* COD dapat mencapai 97,73% dan *removal* TSS mencapai 63,04%. reaktor dengan volume media K1 sebesar 60% dapat menurunkan kandungan COD sampai di

bawah baku mutu, sedangkan untuk TSS kurang optimal (Laksana, 2021). Pada proses pengolahan limbah cair tahu menggunakan MBBR penurunan untuk BOD₅ mencapai 85.48%, TSS sebesar 91.01% dan Total N mencapai 83.2% (Rinawati, 2016).

Penelitian ini bertujuan untuk merancang instalasi pengolahan air limbah sederhana (*prototype*) menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dan mengetahui efisiensi penurunan beban pencemar limbah cair rumah sakit menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor*.

Pengolahan air limbah cair merupakan salah satu pengolahan lingkungan hidup yang terintegrasi pada program program pemerintah dalam rangka menjaga keberlangsungan kualitas lingkungan hidup yang aman untuk masyarakatnya. Hal ini memerlukan pengembangan berbagai instrumen kebijakan dan program aksi yang didukung oleh sistem pendukung pengelolaan lingkungan lainnya. Sistem pengolahan ini mencakup stabilitas kelembagaan, sumber daya manusia dan kemitraan lingkungan hidup, serta perangkat hukum dan peraturan, informasi dan pembiayaan

Sifat lingkungan yang saling berhubungan dan holistik berarti bahwa pengelolaan lingkungan hidup, termasuk sistem pendukungnya, tidak dapat dilakukan secara terpisah, dan penting bagi

keseluruhan pelaksanaan pembangunan sektoral dan regional untuk dilakukan secara terpadu.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan di dalam perancangan pengolahan limbah ini yaitu; Aerator 3,5 liter/menit, pompa Submersible Filter mini, pipa PVC, accessories pipa, pH meter, thermometer, spektrofotometer, beaker glass, pipet tetes, drigen 5-10 liter.

Jenis bahan-bahan yang digunakan adalah; limbah cair rumah sakit sebanyak 20 Liter, lumpur aktif, dan media Kaldness K3.

Prosedur Perancangan

Analisis Karakteristik Awal

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar konsentrasi beban pencemar pada air limbah yang akan dijadikan sampel penelitian dan diolah sehingga ketika penelitian dilakukan dapat memudahkan dalam penentuan variasi konsentrasi yang digunakan. Parameter yang diuji dalam analisis awal ini adalah parameter yang digunakan sebagai parameter utama selama dilakukannya penelitian yaitu pH, TSS, COD, BOD dan Amoniak. Dari kelima parameter tersebut masuk pada daftar baku mutu lingkungan hidup yang tercantum pada PermenLHK

RI No. P68 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Domestik.

Tahap Pengoperasian Alat

Pada tahapan ini sampel limbah cair yang berasal dari tiga Rumah Sakit dengan kapasitas 20 liter/hari di pompakan kedalam bak pemisah lemak/minyak, selanjutnya limbah cair mengalir secara kontinu hingga bak *effluent* bergantung pada waktu tinggal yang telah ditetapkan. Di dalam bak aerasi yang telah diisi oleh media kaldness K3, limbah cair akan mengalami proses pengadukan karena adanya proses aerasi yang merata dengan bantuan aerator, keberhasilan penurunan limbah cair ini sebetulnya bergantung penetapan waktu tinggal di setiap bak, terutama bak aerasi (Ravichandran dan Joshua, 2012)

Di dalam reaktor MBBR, mikroorganisme pendegradasi zat polutan limbah cair akan terdapat pada dua tempat yakni bakteri akan tersuspensi di dalam limbah cair dan sebagian lagi melekat pada media *Kaldness* K3 sehingga akan membentuk biofilm. Pada akhirnya pada reaktor MBBR tersebut akan terjadi dua proses yaitu pengolahan biologis tersuspensi dan pengolahan biologis melekat. Proses pengolahan akan dilakukan setelah dilakukan proses *seeding* dan aklimatisasi. Proses ini bertujuan untuk mengembangbiakan bakteri. Proses ini dilakukan pemberian nutrisi sebanyak 1

sendok selama 2 hari. Setelah proses *seeding* dilakukan proses aklimatisasi selama satu hari untuk proses adaptasi bakteri terhadap limbah cair. Jika kedua proses ini dilaku Pada tahapan ini sampel limbah cair yang berasal dari Rumah Sakit dengan kapasitas 25 liter/hari dipompakan ke dalam bak pemisah lemak/minyak, selanjutnya limbah cair mengalir secara kontinu hingga bak *effluent* bergantung pada waktu tinggal yang telah ditetapkan. Di dalam bak aerasi yang telah diisi oleh media kaldness K3, limbah cair akan mengalami proses pengadukan karena adanya proses aerasi yang merata dengan bantuan aerator, keberhasilan penurunan limbah cair ini sebetulnya bergantung penetapan waktu tinggal di setiap bak, terutama bak aerasi. Di dalam reaktor MBBR, mikroorganisme pendegradasi zat polutan limbah cair akan terdapat pada dua tempat yakni bakteri akan tersuspensi di dalam limbah cair dan sebagian lagi melekat pada media *Kaldness* K3 sehingga akan membentuk biofilm. Pada akhirnya pada reaktor MBBR tersebut akan terjadi dua proses yaitu pengolahan biologis tersuspensi dan pengolahan biologis melekat. Proses pengolahan akan dilakukan setelah dilakukan proses *seeding* dan aklimatisasi. Proses ini bertujuan untuk mengembangbiakan bakteri. Proses ini dilakukan pemberian nutrisi sebanyak 1 sendok selama 2 hari. Setelah proses *seeding* dilakukan proses aklimatisasi

selama satu hari untuk proses adaptasi bakteri terhadap limbah cair. Jika kedua proses ini dilakukan, selanjutnya dapat dilakukan proses pengolahan sesuai perencanaan instalasi pengolahan air limbah sederhana yang telah dibuatkan, selanjutnya dapat dilakukan proses pengolahan sesuai perencanaan instalasi pengolahan air limbah sederhana yang telah dibuat. Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) adalah salah satu unit pengolahan biologis yang memanfaatkan biofilm yaitu dengan sistem fluidized attached growth atau pertumbuhan yang melekat terfluidisasi (mikroorganisme yang tumbuh kemudian berkembang biak pada media (Jusepa & Herumurti, 2017)

Tahap Pelaksanaan Rancangan

Santos et al., (2018) mengatakan bahwa perancangan limbah rumah sakit dapat menggunakan Alat penelitian ini semuanya terbuat dari pipa PVC dilengkapi dengan penutup pipa (dop). Reaktor aerasi dibuat dari pipa PVC dengan kapasitas 7,5 liter dengan waktu tinggal 7,2 jam. Di dalam bak aerasi ditambah media kaldnes K3 sebanyak 20-30% dari volume bak dengan bantuan aerator guna menyuplai oksigen. Pada bak pemisah lemak/minyak memiliki kapasitas 2 liter/hari dengan waktu tinggal 2 jam. Bak ini bertujuan untuk memisahkan partikel kasar dan minyak. Bak ekualisasi bertujuan untuk menghomogenkan antara

kualitas dan kuantitas air limbah. Volume bak ini yaitu 7 liter/hari dengan waktu tinggal 7 jam, kemudian ditambahkan aerator.

Pada bak ketiga adalah bak anoksik. Bak ini digunakan untuk proses perubahan nitrat menjadi nitrit atau bisa disebut proses denitrifikasi sehingga akan menghasilkan gas nitrogen yang langsung keluar. Kapasitas bak anoxic yaitu sebesar 5 liter/hari dengan *retention time* selama 5 jam. Pada bak sedimentasi ditambah sambungan (*increaser*) dengan volume bak sebesar 4,6 liter/hari dan waktu tinggal 4,5 jam. Lumpur yang sudah diendapkan selanjutnya dipompa kedalam bak anoxic.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perhitungan Dimensi Rancangan MBBR

Sebelum dilakukan penelitian, diperlukan rancangan alat sederhana untuk memudahkan dalam pengambilan data penelitian. Adapun hasil dari perhitungan rancangan alat pengolahan limbah cair rumah sakit menggunakan MBBR dapat

Tabel 1. Dimensi Rancangan MBBR

No	Unit Bak	V (m ³)	r (m ²)	T	
1	Bak Pemisah Lemak/Minyak	0,002	0,057	2	
2	Bak Ekualisasi	0,007	0,057	0,7	7
3	Bak Anoksik	0,005	0,057	0,5	4,8
4	Bak Aerasi	0,007	0,057	0,7	7
5	Bak Sedimentasi	0,004	0,057	0,4	4,5
Jumlah		0,025		25	

Sumber: Hasil perhitungan rancangan

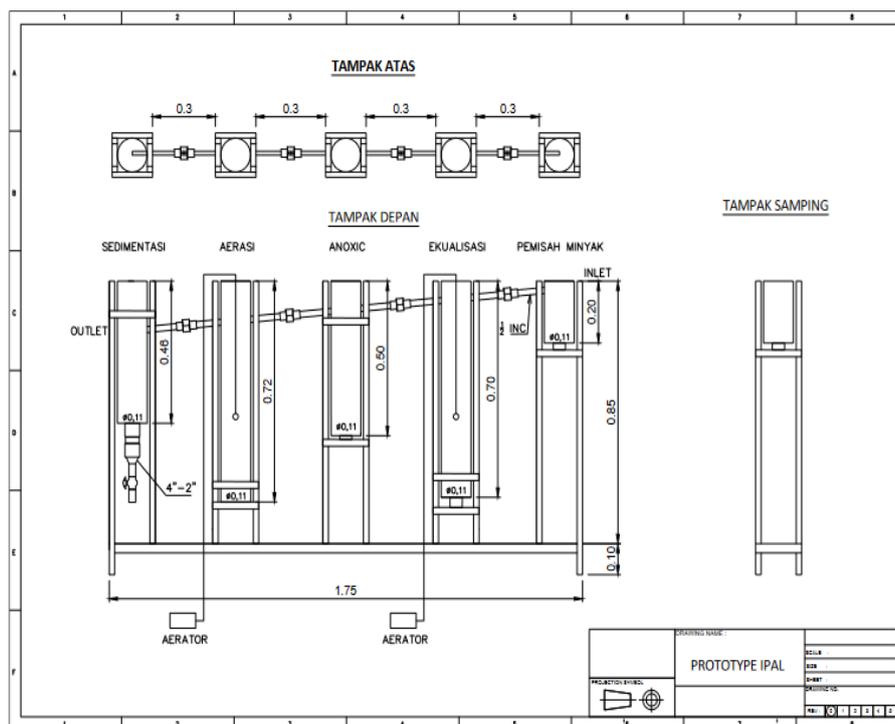
disajikan pada tabel 1. mengenai dimensi dan waktu tinggal unit bak.

homogenitas antara kualitas dan kuantitas air limbah. Sedangkan menurut (Anisa,

Tabel 2. Hasil Analisis Karakteristik Awal

No	Parameter	Satuan	RSA	Kadar RSB	RSC	Kadar max
1	pH	-	6,8	7,7	7,9	6-9
2	TSS	mg/l	74	111	127	30
3	BOD ₅	mg/l	75,96	53,12	119,84	30
4	COD	mg/l	104,96	73,78	166,45	100
5	Amoniak	mg/l	48	64	58	10
Jumlah		0,025				

Sumber: Sumber: Hasil Uji lab



Gambar 1. Desain Rancangan IPAL Limbah Cair Rumah Sakit
 Sumber: Hasil Rancangan

Adapun Gambar rancangan IPAL Limbah Cair Rumah Sakit tersebut dapat dilihat pada gambar 1.

Berdasarkan hasil perhitungan volume bak pemisah lemak sebesar 0,002 m³ dan waktu tinggal yang direncanakan yaitu selama 2 jam. Pada bak ekualisasi selain berfungsi untuk mengatur debit air limbah, bak ini juga terjadi reaksi

(Anisa 2017) bak ekualisasi berfungsi untuk menstabilkan aliran air limbah yang selanjutnya akan diproses secara fisik – kimia

Hasil analisis kandungan pencemar limbah cair rumah sakit pada sampel dapat dilihat pada tabel 2.

Hasil Pengujian dan dilanjutkan dengan proses biologis (Anisa 2017).

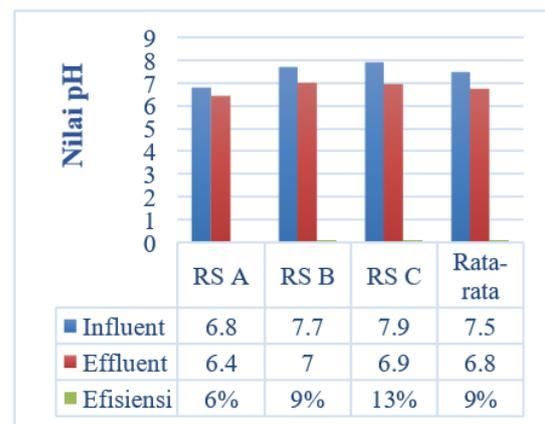
Berdasarkan perancangan alat sederhana, didapatkan volume bak ekualisasi sebesar 0,007 dan waktu tinggalnya selama 7 jam. Bak ketiga yang direncanakan pada alat penelitian kali ini yaitu bak anoksik. Bak ini memiliki volume 0,005 m³ dengan waktu tinggal selama 4,8 jam. Volume bak aerasi direncanakan sebesar 0,007 dengan waktu tinggal di dalam bak yaitu 7 jam. Bak terakhir yang direncanakan adalah bak sedimentasi yang berfungsi untuk mengendapkan lumpur di dalam limbah cair setelah proses aerasi selama 7 jam. Adapun volume bak sedimentasi pada perancangan alat ini sebesar 0,004 m³ dan waktu tinggalnya selama 4,5 jam. Dengan demikian total volume seluruh bak pada perancangan alat ini yaitu sebesar 0,025 m³ dengan total waktu tinggal selama 25 jam

Analisis Awal Karakteristik Limbah Cair

Karakteristik limbah cair rumah sakit yang dianalisis yaitu rumah sakit tipe A, B dan C. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar konsentrasi beban pencemar limbah cair rumah sakit. Analisis karakteristik limbah cair ini menguji parameter utama yang dilakukan pada penelitian kali ini yaitu pH, TSS, BOD₅, COD, Amoniak.

Hasil Penurunan Kualitas Limbah Cair *Konsentrasi pH*

Selama penelitian dilakukan pengamatan konsentrasi pH influent dan pH effluent. Berdasarkan hasil pengukuran pH yang sebelum masuk dan sesudah masuk ke reaktor memiliki nilai pH netral (6-8). Hasil pengukuran pH limbah cair rumah Kelas A, B dan C sebelum dan sesudah pengolahan dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Konsentrasi pH Sebelum dan Sesudah Pengolahan
Sumber: Hasil Pengolahan Data

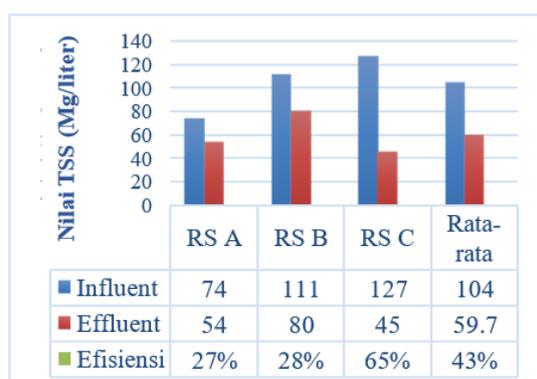
Gambar 2 menunjukkan bahwa pH limbah cair rumah sakit tersebut memenuhi baku mutu limbah cair yang ditetapkan pada range 6-9. Pengukuran pH dilakukan menggunakan metode spektrofotometri, sehingga hasil pengolahan limbah cair rumah sakit menggunakan MBBR konsentrasi pH mengalami penurunan rata-rata sebesar 9%. Karena nilai pada parameter pH masih dibawah kadar maksimum, maka kualitas air pada parameter pH masih bagus dan tidak akan merusak lingkungan atau badan air, namun sebaliknya jika nilainya lebih tinggi dari kadar maksimum maka terjadi

penurunan kualitas badan air. Penurunan konsentrasi pH disebabkan oleh proses nitrifikasi di dalam bak aerob. Nitrifikasi merupakan reaksi perubahan ammonia menjadi nitrat oleh bakteri chemoautotrophic (Wicheisa, F 2018).

Menurut (Said & Santoso, 2018) bakteri di dalam air limbah akan dipengaruhi oleh konsentrasi pH. Bakteri-bakteri tersebut melekat pada permukaan media sebagai tempat tinggal kemudian akan mengurai polutan air limbah. Bakteri dapat hidup dalam air limbah dengan berbagai konsentrasi pH, diantaranya bakteri asidofil yang dapat hidup dengan konsentrasi pH 6 – 8, bakteri mesofil dengan konsentrasi pH 2-5 dan bakteri alkafil dapat hidup pada air limbah yang konsentrasi pH nya 8,4 – 9,5 (Aniriani, 2022).

Konsentrasi TSS

Konsentrasi TSS influent dan effluent serta efisiensi penurunan TSS di



Gambar 3. Konsentrasi TSS Sebelum dan Sesudah Pengolahan
 Sumber: Hasil Pengolahan Data

dalam reaktor MBBR dapat dilihat pada gambar 3.

Total Suspended Solid merupakan buangan dari padatan keseluruhan (total) yang tidak akan tersaring oleh saringan yang memiliki ukuran partikel maksimum μm atau ukurannya lebih besar dair partikel koloid. TSS memiliki kategori antara lain jamur, bakteri, ganggang, sulfida, logam oksida, lumpur dan tanah liat. Cara umum menghilangkan TSS yaitu dengan metode koagulasi flokulasi dan filtrasi. TSS menyumbang kekeruhan dengan membatasi penetrasi cahaya untuk fotosintesis dan visibilitas di perairan (Sudarman, 2020)

Berdasarkan gambar 2. terlihat nilai konsentrasi TSS dari tiga sampel limbah cair rumah sakit berada diatas nilai kadar maksimum menurut Permen LHK No. P68 Tahun 2016 yaitu 30 mg/liter. Pada sampel RS A terlihat konsentrasi TSS sebesar 74 mg/liter, sedangkan sampel limbah cair RS B lebih besar hingga mencapai 111 mg/liter dan pada sampel limbah cair RS C pun sama halnya bahkan dua kali lebih besar dengan kadar sebesar 127 mg/liter. Penyebab tingginya TSS karena banyaknya kotoran dari berbagai aktivitas Rumah Sakit misalnya laundry, toilet dan bekas cucian piring (Arum, 2019)

Konsentrasi TSS sesudah pengolahan (*effluent*) pada sampel limbah cair RS A sebesar 54 mg/liter, dalam hal ini dapat dikatakan mengalami penurunan

sebesar 27%. Begitu pula dengan *effluent* dari sampel limbah cair RS mengalami penurunan sebesar 28% dengan nilai konsentrasi sebesar 80 mg/liter. Bukan hanya *effluent* limbah cair RS A dan RS B yang mengalami penurunan, *effluent* limbah cair RS C pun mengalami penurunan yang amat signifikan dengan nilai efisiensi mencapai 65% dari 127 mg/liter hingga 45 mg/liter. Meskipun sudah mengalami penurunan yang cukup baik dengan efisiensi rata-rata sebesar 43%, namun pada percobaan ini nilainya masih diatas kadar maksimum yang telah diatur dalam Permen LHK RI No. P68 Tahun 2016 yaitu 30 mg/liter. Kadar Total Suspended Solid (TSS) yang tinggi pada air sungai akan menyebabkan air sungai tersebut menjadi keruh. Kekeruhan akan menghalangi masuknya sinar matahari ke dasar sungai. Terhalangnya sinar matahari untuk masuk ke dasar sungai menyebabkan proses fotosintesis terganggu. Proses fotosintesis yang terganggu mengakibatkan turunnya kadar oksigen terlarut yang dilepas ke dalam air sungai oleh tanaman. Turunnya kadar oksigen terlarut dalam air sungai akan mengganggu ekosistem sungai tersebut. Kadar oksigen terlarut di dalam air sungai yang menurun secara terus menerus akan mengakibatkan tanaman serta organisme yang berada di sungai tersebut lama-lama akan mengalami kematian (Aniriani, 2022).

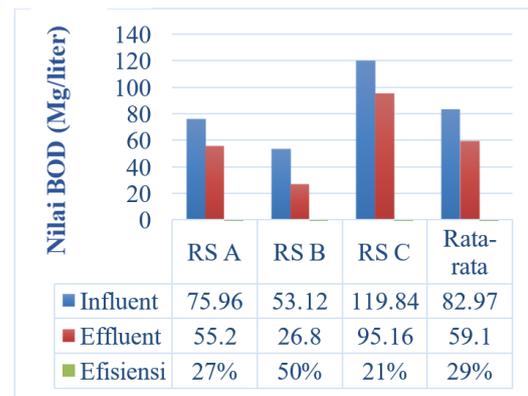
Penurunan TSS terjadi karena bertambahnya waktu saat sampling. Zat organik dan anorganik seperti lumpur termasuk dalam kategori TSS yang kemudian akan dikonsumsi oleh bakteri di dalam reaktor. Selain zat organik, flok-flok yang berada di dalam air akan diendapkan melalui bak pengendap, sehingga terjadinya penyisihan TSS. Penyisihan TSS terjadi di dua tempat antara lain reaktor dan bak pengendap, dimana zat organik akan dikonsumsi oleh bakteri di bak aerasi sedangkan flok lumpur akan diendapkan dibak sedimentasi (Aniriani, 2022). (Al Kholif, 2018) menjelaskan, penyebab konsentrasi TSS masih tinggi karena waktu tinggal dalam reaktor, dimana semakin lama waktu tinggal limbah cair di dalam reaktor maka TSS akan mengalami degradasi yang signifikan oleh biofilm yang menempel pada media. Sehingga dari waktu tinggal yang dihasilkan tersebut mengakibatkan efisiensi penurunan konsentrasi TSS semakin tinggi (Kholif, 2018) Selain itu, pada rancangan alat penelitian kali ini memang tidak dibuat bak koagulasi flokulasi dan filtrasi sehingga menyebabkan masih tingginya konsentrasi TSS. Hal ini sejalan dengan penelitian yang pernah dilakukan oleh (Rinawati et al., 2016) bahwa TSS memiliki kategori antara lain jamur, bakteri, ganggang, sulfida, logam oksida, lumpur dan tanah liat. Cara umum menghilangkan TSS yaitu

dengan metode koagulasi flokulasi dan filtrasi. TSS menyumbang kekeruhan dengan membatasi penetrasi cahaya untuk fotosintesis dan visibilitas di perairan (Arum, 2019)

Konsentrasi COD

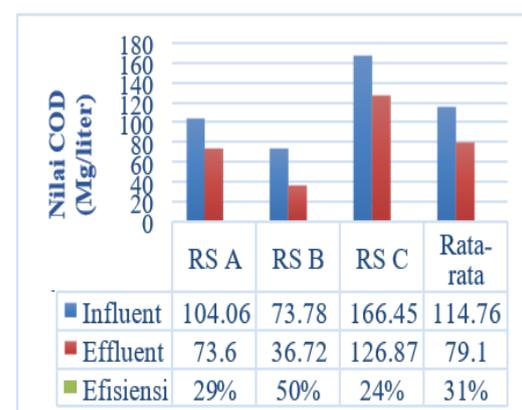
Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, berikut disajikan gambar 4. diagram nilai konsentrasi COD *influent* dan *effluent* tiga rumah sakit.

Gambar 4 menyajikan konsentrasi COD *influent* dari tiga sampel limbah cair rumah sakit relatif rendah dengan rata-rata konsentrasi sebesar 114,76 mg/liter. Pengujian kadar COD tersebut menggunakan metode reflux. Oksidasi pada metode ini yaitu $K_2Cr_2O_7$ dalam kondisi asam kuat yaitu H_2SO_4 yang mendidih dan larutan Ag_2SO_4 sebagai katalisator. Hasil pengujian pada *influent* limbah cair RS A mencapai 104,06 mg/liter, sedangkan pada limbah cair RS B nilainya lebih rendah dibandingkan nilai *influent* limbah cair RS A yaitu 73,78 mg/liter dan hasil pengujian yang paling besar nilainya ada pada *influent* limbah cair RS C mencapai angka 166,45 mg/liter. Konsentrasi COD pada *influent* limbah cair RS B nilainya dibawah baku mutu lingkungan hidup yaitu 100 mg/liter. Salah satu faktor rendahnya kadar COD limbah cair rumah sakit adalah pemisahan air limbah dari aktivitas laundry. Hal ini sejalan dengan penjelasan (Wicheisa,



Gambar 5. Konsentrasi BOD₅ Sebelum dan Sesudah Pengolahan
 Sumber: Hasil Pengolahan data

2018) bahwa Kadar COD yang tinggi pada limbah cair dapat disebabkan oleh adanya bahan – bahan kimia yang terdapat di dalam detergen yang digunakan dalam proses pencucian. Secara umum komponen penyusun detergen adalah surfaktan, pembersih (*builders*), pengisi (*filler*), dan bahan tambahan (*additives*). Surfaktan memiliki peranan sebagai komponen utama dalam detergen dan memiliki rantai kimia yang susah diuraikan oleh alam.



Gambar 4 Konsentrasi COD Sebelum dan Sesudah Pengolahan
 Sumber: Hasil Pengolahan Data

Dari pengolahan yang telah dilakukan terdapat efisiensi pengolahan yang paling besar pada RS Kelas B yaitu 50% dengan rata-rata efisiensi sebesar 31%. Keberadaan COD dalam konsentrasi tinggi dan melebihi baku mutu yang telah ditetapkan di badan air dapat menyebabkan terjadinya pencemaran dan kematian terhadap organisme air. Kandungan COD yang tinggi akan mengurangi kemampuan badan air dalam menjaga ekosistem yang ada. Namun berbeda halnya dengan penelitian yang telah dilakukan oleh (Wicheisa, 2018) bahwa COD mengalami penurunan yang signifikan, yaitu rata-rata 68%. Namun hal ini sejalan dengan penelitian (Aniriani, 2022). bahwa Persentase limbah cair domestik menggunakan MBBR dapat menurunkan COD hingga 45.81%. Hasil pengujian *effluent* limbah cair Rumah Sakit A dan B sudah dibawah baku mutu yakni 73,6 mg/liter dan 36,72 mg/liter dan *effluent* limbah cair RS C masih diatas baku mutu lingkungan hidup yaitu 126,87 mg/liter.

Konsentrasi BOD₅

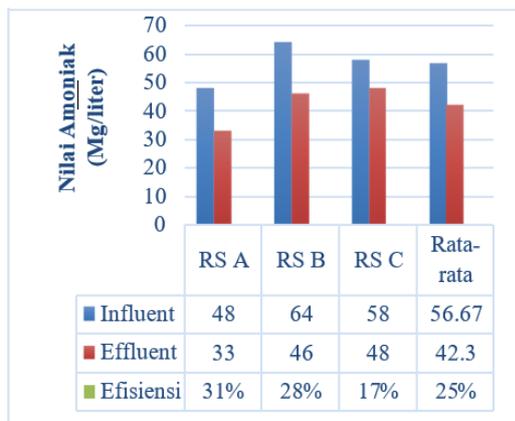
Pengaruh media Kaldness K3 terhadap penurunan beban pencemar konsentrasi BOD₅ dapat dilihat setelah bak aerasi beroperasi. Dari hasil pengujian *influent* dan *effluent* limbah cair RS A, B dan C mengalami penurunan meskipun semua hasil pengujian belum dibawah

baku mutu. Hasil penurunan BOD₅ dijelaskan pada gambar 5.

Gambar di atas memperlihatkan bahwa *influent* limbah cair rumah sakit A, B dan C nilai nya masih diatas baku mutu lingkungan hidup yang diatur dalam permen LHK RI No. P68 Tahun 2016 yaitu sebesar 30 mg/liter.. Berdasarkan hasil pengujian nilai *influent* limbah cair Rumah Sakit tertinggi yaitu pada RS C dengan mencapai 119,84 mg/liter dan paling rendah pada *influent* limbah cair RS B sebesar 53,12 mg/liter. Sehingga rata-rata *influent* limbah cair tersebut sebesar 82,97 mg/liter.

Tingginya hasil pengujian *influent* limbah cair semua RS tersebut menyebabkan terjadinya pencemaran limbah cair, sehingga setelah dilakukan percobaan menggunakan MBBR maka kadar BOD *effluent* limbah cair tersebut mengalami penurunan. Rata-rata efisiensi penurunan pada kadar BOD mencapai 29%. Air limbah dengan BOD yang tinggi tidak dapat mendukung kehidupan organisme yang membutuhkan oksigen. BOD yang lebih tinggi juga dapat mengakibatkan penipisan oksigen dari air limbah dan kondisi anaerobik dalam air limbah (Astuti, 2022).

Nilai efisiensi penurunan *effluent* paling tinggi yaitu pada RS B mencapai 50%, sehingga hasilnya dibawah baku mutu lingkungan hidup yakni sebesar 26,8 mg/liter. Tingginya nilai efisiensi



Gambar 6. Konsentrasi Amoniak Sebelum dan Sesudah Pengolahan
Sumber: Hasil Pengolahan Data

penurunan kadar BOD_5 pada media kaldness dikarenakan media kaldness memiliki pori yang cukup banyak sehingga mikroorganisme pengurai limbah banyak yang menempel dan ditunjangi waktu tinggal selama satu hari (Ningtias dan Moersidik, 2018)

Konsentrasi Amoniak

Penurunan konsentrasi amoniak pada limbah cair Rumah Sakit menggunakan MBBR dapat dilihat pada gambar 6.

Pada gambar 6 diatas menunjukkan hasil uji parameter amoniak pada influent limbah cair RS A yaitu sebesar 48 mg/liter, setelah dilakukan pengolahan menggunakan MBBR dengan waktu tinggal 24 jam terjadi penurunan sebesar 33 mg/liter. Selanjutnya pada influent limbah cair RS B juga terjadi penurunan kadar amoniak dari 64 mg/liter menjadi 46 mg/liter. Selain influent limbah cair RS A dan RS B saja yang terjadi penurunan,

begitu pula influent limbah cair RS C mengalami penurunan nilai dari 58 mg/liter menjadi 48 mg/liter. Sehingga jika di rataratakan dari ketiga influent limbah cair RS tersebut nilai nya sebesar 56,67 mg/liter.

Efisiensi pengolahan menggunakan MBBR yang disajikan pada gambar diatas menunjukkan rata-rata efisiensi penurunan konsentrasi amoniak sebesar 25%. Keberadaan amonia dalam air sungai yang melebihi ambang batas dapat mengganggu ekosistem perairan dan makluk hidup lainnya. Amonia sangat beracun bagi hampir semua organisme. Amonia dapat bersifat racun pada manusia jika jumlah yang masuk tubuh melebihi jumlah yang dapat didetoksifikasi oleh tubuh. Pada limbah cair RS A efisiensi penurunan paling tinggi yaitu sebesar 31%, sedangkan efisiensi pengolahannya paling rendah yaitu pada sampel limbah cair RS C dengan efisiensi penurunan sebesar 17%.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh (Aniriani, 2022) bahwa konsentrasi amoniak mengalami penurunan setelah ditambahkan dengan MBBR dengan persentase penurunan sebesar 30,30%. Sedangkan menurut penelitian (Wikaningrum, 2020) efisiensi pengolahan air limbah domestik menggunakan MBBR dapat menurunkan konsentrasi amonia hingga 46.4%. Meskipun hasil pengujian menunjukkan nilai konsentrasi amoniaknya menurun, namun nilai

tersebut masih diatas baku mutu lingkungan hidup yang diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. P 68 tahun 2016 yaitu 10 mg/liter. Penurunan nilai konsentrasi amoniak ini bergantung pada waktu tinggal di dalam reaktor, terutama di dalam bak aerasi.

Menurut (Sudarman, 2020) Aerasi berpengaruh positif terhadap efisiensi penyisihan kadar amoniak yaitu nilai efisiensi penyisihan kadar amoniak menggunakan aerasi mampu dicapai lebih tinggi dibandingkan dengan pengadukan. Pengaruh waktu tinggal di bak aerasi terhadap penurunan kadar amoniak pun berbanding lurus dengan penelitian (Ningtias, 2018). bahwa semakin lama waktu tinggal pengolahan air limbah, maka semakin meningkat persentase penyisihan konsentrasi amonia yang diasumsikan/perkirakan penyebabnya oleh waktu tinggal 20 jam pengolahan ini akan stabil dengan kondisi limbah dan mikroorganisme yang *mature*. MBBR adalah metode biologi yang mengandalkan mikroorganisme untuk menguraikan limbah organik, sehingga lebih ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi gas beracun dibandingkan dengan system yang lain yang banyak menghasilkan lumpur

Analisis Kebijakan Pengolahan Limbah Rumah Sakit

Analisis data dan pembahasan dalam penelitian ini mencakup kemampuan MBBR untuk menurunkan beban pencemar limbah. Pengolahan limbah cair rumah sakit adalah salah satu masalah yang penting dan sensitif yang dihadapi oleh pemerintah dan rumah sakit. Limbah cair rumah sakit dapat mengandung berbagai macam bakteri, virus, dan mikroorganisme lainnya yang dapat membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan. Berikut ini adalah analisis kebijakan pemerintah dalam pengolahan limbah cair rumah sakit:

Pemerintah telah mengeluarkan beberapa peraturan yang terkait dengan pengolahan limbah cair rumah sakit, seperti Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 51 tahun 2004 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 75 tahun 2006 tentang Tata Cara Pengelolaan Limbah Cair Rumah Sakit, dan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 63 tahun 2010 tentang Pedoman Teknis Pengelolaan Limbah Cair Rumah Sakit.

Standar Pengolahan Pemerintah telah menetapkan standar pengolahan limbah cair rumah sakit yang harus dipenuhi oleh rumah sakit, seperti standar kualitas air limbah yang diperbolehkan, standar treatment yang harus dilakukan, dan standar monitoring kualitas air limbah.

Dalam Permenkes Nomor 18 Tahun 2020 mengenai pengelolaan Infrastruktur Pemerintah telah menerbitkan kebijakan pengelolaan infrastruktur pengolahan limbah cair rumah sakit, seperti pembangunan instalasi pengolahan limbah cair yang memenuhi standar kualitas air limbah. Walaupun kebijakan pemerintah sudah dituangkan dalam bentuk aturan-aturan, namun dalam implementasinya masih terdapat tantangan sebagai berikut..

Keterbatasan Infrastruktur Rumah sakit di Indonesia masih banyak yang belum memiliki instalasi pengolahan limbah cair yang memenuhi standar kualitas air limbah, sehingga masih banyak limbah cair rumah sakit yang dibuang ke lingkungan tanpa melalui proses pengolahan.

Tantangan Sumber Daya Manusia Rumah sakit di Indonesia masih kurang memiliki sumber daya manusia yang terlatih untuk mengelola limbah cair rumah sakit secara efektif. Dalam kesimpulan, kebijakan pemerintah dalam pengolahan limbah cair rumah sakit masih memiliki beberapa tantangan dan kelemahan, namun dengan koordinasi, investasi infrastruktur, pemberdayaan sumber daya manusia, dan biaya efektif, maka dapat meningkatkan kesadaran dan kemampuan dalam mengelola limbah cair rumah sakit secara efektif dan berkelanjutan. Biaya pengelolaan limbah cair rumah sakit dapat sangat mahal, sehingga beberapa rumah

sakit tidak memiliki sumber daya untuk membiayai biaya tersebut.

Upaya yang perlu dilakukan adalah, koordinasi pemerintah dengan rumah sakit dan masyarakat untuk meningkatkan kesadaran dan kemampuan dalam mengelola limbah cair rumah sakit; investasi Infrastruktur Pemerintah harus meningkatkan investasi infrastruktur pengolahan limbah cair rumah sakit, sehingga rumah sakit dapat memiliki instalasi pengolahan limbah cair yang memenuhi standar kualitas air limbah; pemberdayaan Sumber Daya Manusia. Pemerintah harus meningkatkan pendidikan dan pelatihan sumber daya manusia di rumah sakit untuk mengelola limbah cair rumah sakit secara efektif; dan Pemerintah harus mencari cara biaya efektif untuk mengelola limbah cair rumah sakit, seperti dengan menggunakan teknologi tingkat tinggi atau kerjasama dengan pihak swasta.

SIMPULAN DAN REKOMENDASI

Simpulan

Dari hasil penelitian tentang penurunan beban pencemar limbah cair rumah sakit menggunakan rancangan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dapat diambil kesimpulan:

1. Proses IPAL menggunakan MBBR dengan lima bak/reaktor: minyak/lemak, ekualisasi, anoksik,

- aerasi, dan sedimentasi. Minyak bak volume 0.002 m³, ekualisi adalah 0.007 m³, anoksik adalah 0,005 m³, aerasi adalah 0,001 m³, dan sedimentasi adalah 0.001 m³. Setiap bak memiliki volume 0,025 m³, dengan setiap bak bervariasi dengan 2 jam, 7 jam, 4,8 jam, 7, 4,5 jam, dan 25 jam..
2. Efisiensi penurunan kualitas limbah cair rumah sakit menggunakan MBBR yaitu pada parameter pH rata-rata, TSS, COD, BOD₅, dan Amoniak berturut-turut 9%, 43%, 31%, 29% dan 25%.
 3. Sistem Pengolahan secara MBBR dapat menjadi rujukan proses pengolahan limbah cair pelayanan Kesehatan yang sederhana

Rekomendasi

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, penulis ingin memberikan saran pada penulisan ini atau pada obyek penelitian yang mungkin dapat bermanfaat sebagai bahan pertimbangan, antara lain:

1. Hendaknya dilakukan pengujian semua parameter limbah cair rumah sakit yang telah diatur dalam lampiran Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. P68 tahun 2016, tidak hanya lima parameter.
2. Penelitian selanjutnya hendaknya dilakukan analisis hubungan waktu tinggal, dosis bakteri terhadap penurunan kualitas limbah cair menggunakan MBBR. Sehingga dapat

diketahui waktu tinggal yang efektif dalam pengolahan limbah cair menggunakan MBBR.

3. Penerapan MBBR dalam pengolahan limbah rumah sakit dapat menjadi contoh inovasi teknologi yang berkelanjutan di Provinsi Banten. Dengan mempromosikan penggunaan teknologi ini, Banten dapat menjadi pusat penelitian dan pengembangan dalam bidang pengelolaan limbah, menarik investasi dan kolaborasi dengan pihak-pihak terkait baik dari dalam maupun luar negeri.
4. Diperlukan sinergitas instansi pemerintah, swasta dan masyarakat khususnya dalam implementasi kebijakan pengelolaan lingkungan hidup daerah

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. 2021. Hasil Sensus Penduduk Indonesia 2020. Jakarta Pusat: Badan Pusat Statistik.
- Permenkes. 2018. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2018 Tentang Kewajiban Rumah Sakit dan Pasien. Jakarta: Kementrian Kesehatan Republik Indonesia Indonesia.
- Azwari, F., Hadidjah, K., Benedicta, C. E., Wahyuni, R., D3, P. S., Lingkungan, P., Pertanian, P., & Samarinda, N. (2023).
- Analisis Parameter pH, BOD, TSS, Minyak Dan Lemak Serta Total Coliform Pada Limbah Cair Rumah Sakit Gerbang Sehat Long Bagun Mahakam Ulu.

- Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, 5(1).
- Werkneh, A. A., & Islam, M. A. (2023). Post-treatment disinfection technologies for sustainable removal of antibiotic residues and antimicrobial resistance bacteria from hospital wastewater. *Heliyon*, 9(4), e15360.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15360>
- Sukadewi, N. M. T. E., Astuti, N. P. W., & Sumadewi, N. L. U. (2020). Efektivitas Sistem Pengolahan Limbah Cair di Rumah Sakit Bali Med Denpasar Tahun 2020. *HIGIENE: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 6(2017), 113–120.
- Majid, A. (2019). Application of Lab-Scale MBBR to Treat Industrial Wastewater using K3 Carriers: Effects of HRT, High COD Influent, and Temperature. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 20(2).
<https://doi.org/10.19080/ijesnr.2019.2.0.556031>
- Mane, S., Kotwal, R., Mandave, S., Landge, N., Kedari, H., & Mane, P. S. (2018). Performance evolution of different MBBR media in wastewater treatment. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 05(June), 209–212.
- Anisa, A., Lingkungan, D. T., Teknik, F., Teknologi, I., & Nopember, S. (2017). 25166-56520-1-Pb. 6(2).
- Ulfah Farahdiba, A., Suryo Purnomo, Y., Nugraha Sakti, S., & Muhammad Firdaus Kamal, dan. (2019). Pengolahan Limbah Domestik Rumah Makan Dengan Proses Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR). *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, 5(1), 65–74.
- Laksana, D. G. A. S., & Purnomo, S. Y. (2021). Mikroorganisme Indigen Limbah Cair Tahu Dengan Proses MBBR. *Jurnal ENVIROUS*, 1(2), 3–8.
- Chen, W. F. (2013). The Civil Engineering Handbook Second Edition.
- Said, N. I. (2018). Paket Teknologi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit Yang Murah Dan Efisien. *Jurnal Air Indonesia*, 2(1), 52–65.
<https://doi.org/10.29122/jai.v2i1.2289>
- Rinawati, Hidayat, D., Suprianto, R., & Dewi, P. S. (2016). Penentuan Kandungan Zat Padat (Total Dissolve Solid Dan Total Suspended Solid) Di Perairan Teluk Lampung. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 1(1), 36–46.
- Ningsih. (2011). Pengaruh Pembubuhan Tawas Dalam Menurunkan Tss Pada Air Limbah Rumah Sakit. *KESMAS - Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 6(2), 79–86.
<https://doi.org/10.15294/kemas.v6i2.1756>
- Al Kholif, M. (2018). Penurunan Beban Pencemar Pada Limbah Domestik Dengan Menggunakan Moving Bed Biofilter Reaktor (Mbbbr). *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*, 4(1), 1–8.
- Wicheisa, F. V., Hanani, Y., & Astorina, N. (2018). Penurunan Kadar Chemical Oxygen Demand (COD) Pada Limbah Laundry Orens Tembalang Dengan Berbagai Variasi Dosis Karbon Aktif Tempurung Kelapa. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 6(6), 2356–3346.
- Aniriani, G. W., Putri, M. S. A., & Nengseh, T. (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*, 22(1), 67.

- Wikaningrum, T., & Hakiki, R. (2020). Reduksi Energi Pengolahan Air Limbah di Kawasan Industri Dengan Implementasi Teknologi Food Chain Reactor (Studi Kasus: Kawasan Industri Jababeka Bekasi). *Jurnal Serambi Engineering*, 5(3), 1146–1154.
<https://doi.org/10.32672/jse.v5i3.2078>
- Sudarman, R., Budiastuti, H., Djenar, N. S., Panggalo, E. S., & Nurhasyim, A. (2020). Penyisihan Kadar Amoniak dalam Limbah Cair Industri Pupuk Menggunakan Sequencing Batch Reactor. *Fluida*, 13(2), 65–72.
<https://doi.org/10.35313/fluida.v13i2.2264>.
- Ningtias, B. C., Moersidik, S. S., Priadi, C. R., & Said, N. I. (2018). Pengolahan Air Limbah Domestik Dengan Anoksik-Aerobik Moving Bed Biofilm Reactor (Studi Kasus: Penyisihan Amonia Dan Karbon Dalam Air Limbah Domestik). *Jurnal Air Indonesia*, 8(2), 177–188.
<https://doi.org/10.29122/jai.v8i2.2377>
- Arum, D.Y. (2019). Kadar Total Suspended Solid pada Air Sungai Nguneng Sebelum dan Sesudah Tercemar Limbah Cair Tahu. *aringan Laboratorium Medis* E-ISSN 2685-8495. Vol. 01 No. 01.
- Astuti & Indri. (2022). Review: Penurunan BOD (*Biological Oxygen Demand*) Limbah Cair Domestik dengan Teknik Fitoremediasi. *Jurnal Unitek*. Vol.15 No.1. e-ISSN : 2580-2582, p-ISSN: 2089-3957.
- Astuti & Indri. (2022). Review: Penurunan BOD (*Biological Oxygen Demand*) Limbah Cair Domestik dengan Teknik Fitoremediasi. *Jurnal Unitek*. Vol.15 No.1. e-ISSN : 2580-2582, p-ISSN: 2089-3957
- Santos, L.H.M.L.M., Gros, M., Rodriguez Mozaz, S., Delerue-Matos, C., Pena, A., Barcelo, D., Montenegro, M.C.B.S.M., 2018, “Contribution of hospital effluents to the load of pharmaceuticals in urban wastewaters: identification of ecologically relevant pharmaceuticals”, *Sci. Total Environ.*, Vol. 461-462, hlm. 302-316
- Ravichandran.M and Joshua Amarnath.D. 2012. Performance Evaluation of Moving Bed Bio-Film Reactor Technology for Treatment of Domestic Waste Water in Industrial Area at MEPZ (Madras Exports Processing Zone), Tambaram, Chennai, India. *Elixir Pollution* 53 (2012) 11741-11744
- Anisa, A. & Herumurti, W. 2017. Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) dengan Proses Aerobik-Anoksik untuk Menurunkan Konsentrasi Senyawa Organik dan Nitrogen. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2): F361–F366.
- Jusepa, N.R. & Herumurti, W. 2016. Pengolahan Lindi Menggunakan Moving Bed Biofilm Reactor dengan Proses Anaerobik-Aerobik-Anoksik. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2): F254-F259