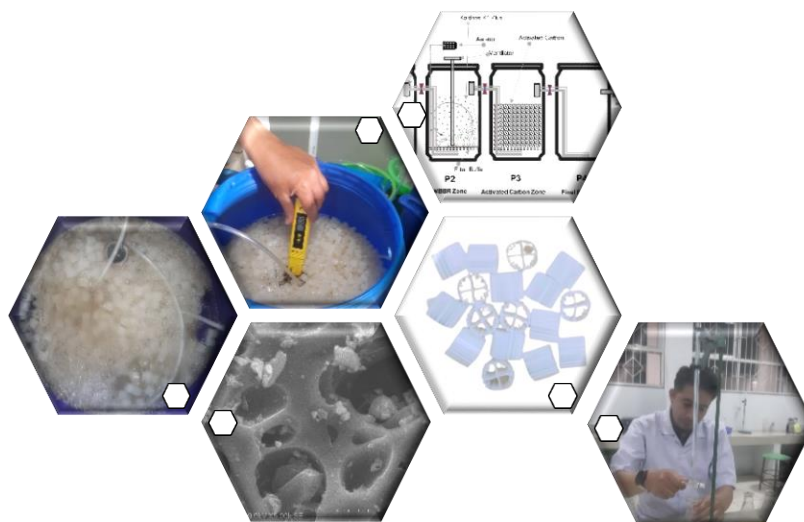


TESIS**EFEKTIFITAS PENGGUNAAN BIOFILTER TEKNOLOGI *MOVING BED BIOFILM REAKTOR* (MBBR) KOMBINASI KARBON AKTIF DAN KLOORIN DALAM PENGOLAHAN AIR LIMBAH PUSKEMAS DI KOTA MAKASSAR**

EFFECTIVENESS OF USING BIOFILTER TECHNOLOGY *MOVING BED BIOFILM REAKTOR* (MBBR) COMBINATION OF ACTIVATED CARBON AND CHLORINE IN PUSKEMAS WASTEWATER TREATMENT IN MAKASSAR CITY



**BUDIRMAN
(P032221002)**

PROGRAM STUDI PENGELOLAAN LINGKUNGAN HIDUP

SEKOLAH PASCASARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024



**EFEKTIFITAS PENGGUNAAN BIOFILTER TEKNOLOGI *MOVING BED*
BIOFILM REAKTOR (MBBR) KOMBINASI KARBON AKTIF DAN KLORIN
DALAM PENGOLAHAN AIR LIMBAH PUSKEMAS
DI KOTA MAKASSAR**

**BUDIRMAN
P032221002**



**PROGRAM STUDI PENGELOLAAN LINGKUNGAN HIDUP
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**EFFECTIVENESS OF USING BIOFILTER TECHNOLOGY MOVING BED
BIOFILM REAKTOR (MBBR) COMBINATION OF ACTIVATED CARBON
AND CHLORINE IN PUSKEMAS WASTEWATER TREATMENT
IN MAKASSAR CITY**

**BUDIRMAN
P032221002**



**ENVIRONMENTAL MANAGEMENT STUDY PROGRAM
GRADUATE SCHOOL
HASANUDDIN UNIVERSITY
MAKASSAR, INDONESIA
2024**

**EFEKTIFITAS PENGGUNAAN BIOFILTER TEKNOLOGI *MOVING
BED BIOFILM REAKTOR* (MBBR) KOMBINASI KARBON AKTIF
DAN KLORIN DALAM PENGOLAHAN AIR LIMBAH
PUSKEMAS DI KOTA MAKASSAR**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Pengelolaan Lingkungan Hidup

Disusun dan Diajukan oleh

BUDIRMAN

P032221002

Kepada

**PROGRAM STUDI PENGELOLAAN LINGKUNGAN HIDUP
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

TESIS

EFEKTIFITAS PENGGUNAAN BIOFILTER TEKNOLOGI MOVING BED BIOFILM
REACTOR (MBBR) KOMBINASI KARBON AKTIF DAN KLORIN DALAM
PENGOLAHAN AIR LIMBAH PUSKEMAS DI KOTA MAKASSAR

BUDIRMAN

P032221002

telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Magister pada tanggal Agustus 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

pada

Program Studi Pengelolaan Lingkungan Hidup
Sekolah Pascasarjana
Universitas Hasanuddin
Makassar

Mengesahkan:

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping,

Dr. Ir. Muhammad Farid Samawi, M.Si.
NIP. 19650810 199103 1 006

Prof. Dr. Fahrudin, M.Si.
NIP. 19650915 199103 1 002

Ketua Program Studi
Pengelolaan Lingkungan Hidup

Dekan Sekolah Pascasarjana
Universitas Hasanuddin,

Dr. Ir. Muhammad Farid Samawi, M.Si.
NIP. 19650810 199103 1 006



Prof. Dr. Budu, Ph.D., Sp.M(K), M.Med.Ed.
NIP. 19661231 199503 1 009

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis berjudul "Efektifitas Penggunaan Biofilter Teknologi Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) Kombinasi Karbon Aktif Dan Klorin Dalam Pengolahan Air Limbah Puskesmas Di Kota Makassar." adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing Dr. Ir. Muh. Farid Samawi., M.Si sebagai pembimbing utama dan Prof. Dr. Fahrudin, M.Si sebagai pembimbing pendamping. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dalam karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di Jurnal *Nature Environment and Pollution Technology* sebagai artikel dengan judul "*Optimizing Community Health Center Effluent Treatment with Moving Bed Biofilm Reaktor Technology Combined with Activated Carbon and Chlorine*". Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis adalah karya orang lain, maka saya bersedia sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.



Makassar, 31 Juli 2024


Budirman
NIM. P032221002

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, penulis berterima kasih kepada Allah SWT, Tuhan semesta alam, yang telah memberinya kekuatan dan kasih sayang untuk menyelesaikan tesis ini. “Efektifitas Penggunaan Biofilter Teknologi *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR) Kombinasi Karbon Aktif Dan Klorin Dalam Pengolahan Air Limbah Puskemas Di Kota Makassar”. Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister dalam Program Studi Pengelolaan Lingkungan Hidup Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin, tesis ini disusun berdasarkan temuan penelitian yang dilakukan. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua orang yang telah membantu dan mendorong proses penyusunan tesis ini hingga selesai, terutama mereka yang telah memberikan bantuan moril dan materil:

1. Bapak Dr. Ir. Muh. Farid Samawi., M.Si Sebagai dosen pembimbing I yang meluangkan waktunya untuk membantu, memberikan masukan, dan mendorong saya untuk menyelesaikan penelitian saya sampai tahap penyelesaian tesis.
2. Bapak Prof. Dr. Fahrudin, M.Si Sebagai dosen pembimbing II yang juga telah memberikan banyak pengetahuan, bantuan, masukan, dorongan, dan inspirasi untuk mendorong saya untuk menyelesaikan penelitian saya sampai tahap penyelesaian tesis.
3. Ibu Prof. Dr. Paulina Taba, M.Phil, Bapak Prof. Dr. Mahatma Lanuru, ST, M.Sc dan Bapak Dr. Agus Bintara, M.Si sebagai penguji yang telah memeriksa tesis ini dan memberikan kritik, saran, dan masukan yang membangun untuk memperbaikinya. Dan juga telah melihat bagaimana tesis penulis berkembang selama proses penulisan dan penyajian.
4. Dekan Sekolah Pascasarjana Bapak Prof. dr. Budu, Ph.D., Sp.M(K).M.MedEd. yang telah membantu dalam proses menyelesaikan tugas akhir.
5. Ketua Prodi S2-Pengelolaan Lingkungan Hidup Bapak Dr. Ir. Muh. Farid Samawi, M.Si., bersama dengan semua dosen dan karyawan yang telah berbagi pengetahuan dan membantu dalam proses menyelesaikan tugas akhir.
6. Seluruh staf akademik Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin yang telah membantu saya dari awal perkuliahan sampai selesai.
7. Bapak Syamsuddin S Selaku Ketua Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Makassar, Bapak Ain Khaer selaku Sekretaris Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Makassar dan Ibu Stientje selaku Pengelola Laboratorium Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Makassar yang telah membantu dalam proses penelitian sehingga penelitian berjalan lancar dan bisa terselesaikan.
8. Bapak Sullam, ibu Vina, Ibu Santi selaku Sanitarian di Puskesmas Antang, Puskesmas Kassi-Kassi, dan Puskesmas Tamamaung yang telah

membantu dalam proses penelitian sehingga penelitian berjalan lancar dan bisa terselesaikan.

9. Ibunda saya I Marteng serta saudara saudara saya yang selalu mendukung, mendorong, dan memberikan cinta tanpa syarat sepanjang perjalanan hidup saya. Doa, nasihat, dan pengorbanan mereka telah menjadi pendorong utama dalam setiap langkah saya.
10. Istriku tercinta Hasnawati Hasan dan kedua putraku yang tersayang Muhammad Al-Fatih Budirman dan Ehsan Rayyan Budirman dalam segala kondisi yang senantiasa memberikan semangat, doa dan bantuan dari awal perkuliahan sampai penyelesaian tugas akhir.
11. Adik adik alumni Kesehatan lingkungan Poltekkes Kemenkes Makassar yang memberikan semangat dan bantuan dari awal penelitian, dan proses penyusunan sampai penyelesaian tugas akhir.
12. Teman-Teman kelas prodi Pengelolaan Lingkungan Hidup angkatan 2022 ganjil yang senantiasa memberikan semangat, saran dan solusi terhadap proses mulai kuliah sampai tahap penyelesaian tugas akhir.

Semua pihak yang tidak sempat tertulis namanya yang telah memberikan dukungan maupun bantuan kepada penulis. Semoga segala bentuk bantuan, yaitu doa, saran, motivasi dan pengorbanan yang telah diberikan kepada penulis dapat bernilai ibadah dan diganjarkan pahala di sisi Allah Subhanahu wa Ta'ala. Aamiin.

Makassar, 12 Agustus 2024

Penulis

ABSTRAK

BUDIRMAN. Efektifitas Penggunaan Biofilter Teknologi *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR) Kombinasi Karbon Aktif Dan Klorin Dalam Pengolahan Air Limbah Puskesmas Di Kota Makassar. (dibimbing oleh Farid Samawi dan Fahrudin).

Teknologi biofilter, seperti *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR), telah menunjukkan potensi yang signifikan dalam pengolahan air limbah. Namun, efektifitas MBBR dapat berfluktuasi berdasarkan karakteristik spesifik limbah seperti yang dihasilkan oleh puskesmas. Penambahan karbon aktif dan klorin bisa memperkuat efektifitas MBBR. Studi sebelumnya telah mengkaji efektifitas MBBR dalam skala industri dan domestik, namun sedikit yang menjelaskan aplikasinya dalam konteks puskesmas yang memiliki keunikan dalam komposisi limbahnya, termasuk kontaminan biologis yang tinggi. Penelitian ini menggunakan desain eksperimental dengan MBBR yang dilengkapi dengan media *Kaldness K1 Plus* yang diintegrasikan dengan karbon aktif dan sistem klorinasi. Evaluasi dilakukan terhadap parameter fisik, kimia, dan bakteriologis limbah sebelum dan sesudah pengolahan. Reaktor MBBR kombinasi karbon aktif dan klorin berhasil mengurangi TSS, BOD, COD, dan NH_3 dengan efektifitas yang sangat tinggi. Penurunan TSS berkisar antara 80-94%, dengan nilai $p < 0.05$, BOD 73-89%, dengan nilai $p < 0.05$, COD 72-87%, dengan nilai $p < 0.05$, dan NH_3 hampir 100%, dengan nilai $p < 0.05$. Efektivitas pengurangan MPN *Coliform* mencapai 97-98%, dengan nilai $p < 0.05$. Suhu air tidak menunjukkan perubahan signifikan, menandakan stabilitas pada proses pengolahan. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa kombinasi MBBR, karbon aktif, dan klorin menyediakan solusi yang efektif dan efisien untuk peningkatan kualitas pengolahan air limbah di puskesmas. Penelitian ini mengusulkan model yang dapat diadaptasi untuk pengolahan limbah di fasilitas kesehatan lainnya, dengan implikasi langsung terhadap kesehatan masyarakat dan keberlanjutan lingkungan.

Kata kunci: Biofilter, MBBR, Karbon Aktif, Klorin, Pengolahan Air Limbah

 GUGUS PENJAMINAN MUTU (GPM) SEKOLAH PASCASARJANA UNHAS	
Abstrak ini telah diperiksa.	Paraf Ketua / Sekretaris.
Tanggal : _____	

ABSTRACT

BUDIRMAN. Effectiveness Of Using Biofilter Technology *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR) Combination Of Activated Carbon And Chlorine In Puskesmas Wastewater Treatment In Makassar City (supervised by Farid Samawi and Fahrudin).

Biofilter technologies like the *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR) have shown significant potential in wastewater treatment. However, the effectiveness of MBBR may fluctuate based on the specific characteristics of effluents, such as those generated by health centers. The addition of activated carbon and chlorine can strengthen the effectiveness of MBBR. Previous studies have examined the effectiveness of MBBR in industrial and domestic scales. Still, only some have explained its application in the context of puskesmas, which are unique in their effluent composition and include high biological contaminants. This study used an experimental design with MBBR equipped with *Kaldness K1 Plus* media integrated with activated carbon and a chlorination system. Evaluation was conducted on the effluent's physical, chemical, and bacteriological parameters before and after treatment. The MBBR reactor combined with activated carbon and chlorine successfully reduced TSS, BOD, COD, and NH_3 with very high effectiveness. TSS reduction ranged from 80-94%, with a p-value <0.05 ; BOD 73-89%, with a p-value <0.05 ; COD 72-87%, with a p-value <0.05 . And NH_3 is almost 100%, with a p-value <0.05 . The effectiveness of MPN *Coliform* reduction reached 97-98%, with p-value <0.05 . Water temperature showed no significant change, indicating stability in the treatment process. The results of this study confirmed that the combination of MBBR, activated carbon, and chlorine provides an effective and efficient solution for improving wastewater treatment quality in community health centers. This study proposes a model that can be adapted for wastewater treatment in other health facilities, directly impacting public health and environmental sustainability.

Keywords: Biofilter, MBBR, Activated Carbon, Chlorine, Wastewater Treatment



DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	5
1.3. Tujuan Penelitian.....	5
1.4. Manfaat Penelitian.....	5
1.5. Ruang Lingkup Penelitian.....	6
BAB II METODE PENELITIAN.....	7
2.1. Jenis Penelitian.....	7
2.2. Lokasi dan Waktu.....	7
2.3. Sumber Data.....	7
2.4. Alat dan Bahan Penelitian.....	7
2.5. Populasi dan Sampel.....	8
2.6. Karakterisasi Awal Limbah.....	8
2.7. Rancangan Penelitian.....	8
2.8. Reaktor Penelitian.....	9
2.9. Prosedur Penelitian.....	11
2.10. Teknik Pengumpulan Data.....	12
2.11. Metode Analisa Data.....	17
2.12. Hipotesis Penelitian.....	17
2.13. Diagram Alir Penelitian.....	18
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN.....	19
3.1. Karakteristik Air Limbah.....	19
3.2. Hasil Uji Effluent.....	23
3.3. Efektivitas penggunaan biofilter teknologi MBBR kombinasi karbon aktif dan klorin dan Klorin terhadap Parameter Fisik (Suhu dan TSS).....	31
3.4. Efektivitas penggunaan biofilter teknologi MBBR kombinasi karbon aktif dan klorin terhadap Parameter Kimia (pH, BOD ₅ , COD, NH ₃ Bebas).....	33
BAB IV PENUTUP.....	43
4.1. Kesimpulan.....	43
4.2. Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA.....	44

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Jumlah Kunjungan Pasien Puskesmas Tahun 2023.....	19
Tabel 2 Data 10 Penyakit Tertinggi di Puskesmas Tahun 2023.....	20
Tabel 3 Karakteristik air limbah Puskesmas Antang Tahun 2024	21
Tabel 4 Karakteristik air limbah Puskesmas Kassi-Kassi Tahun 2024.....	21
Tabel 5 Karakteristik air limbah Puskesmas Tamamaung Tahun 2024.....	22
Tabel 6 Hasil Pemeriksaan Kondisi pH dan Suhu Selama Proses Penumbuhan Mikroorganisme Pada Media.....	22
Tabel 7 Rata-rata kandungan Ammoniak dan persentase penurunan setelah pengolahan.....	29
Tabel 8 Rata-rata pH setelah pengolahan	54
Tabel 9 Rata-rata Suhu setelah pengolahan.....	54
Tabel 10 Rata-rata kandungan BOD ₅ dan persentase penurunan setelah pengolahan.....	54
Tabel 11 Rata-rata kandungan COD dan persentase penurunan setelah pengolahan.....	55
Tabel 12 Rata-rata kandungan TSS dan persentase penurunan setelah pengolahan.....	55
Tabel 13 Rata-rata kandungan Ammoniak dan persentase penurunan setelah pengolahan.....	55
Tabel 14 Rata-rata kandungan MPN <i>Coliform</i> dan persentase penurunan setelah pengolahan.....	56
Tabel 15 hasil uji statistic multivariat.....	56
Tabel 16 hasil uji statistic Multiple Comparisons	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Prototype Rancangan Pengolahan Air Limbah Puskesmas	9
Gambar 2 Diagram alir penelitian	18
Gambar 3 Nilai Perubahan pH Air Limbah Puskesmas setelah Pengolahan	23
Gambar 4 Nilai Perubahan Suhu Air Limbah Puskesmas Setelah Pengolahan .	24
Gambar 5 Nilai Penurunan Kandungan BOD ₅ Air Limbah Puskesmas Setelah Pengolahan.....	25
Gambar 6 Nilai Penurunan Kandungan COD Air Limbah Puskesmas Setelah Pengolahan.....	26
Gambar 7 Nilai Penurunan Kandungan TSS Air Limbah Puskesmas Setelah Pengolahan.....	27
Gambar 8 Nilai Penurunan Kandungan Total <i>Coliform</i> Air Limbah Puskesmas Setelah Pengolahan	30
Gambar 9 Morfologi permukaan (a) karbon aktif pembesaran 5000x dan (b) karbon aktif karbon aktif pembesaran 10000x.....	40

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Hasil Penelitian	54
Lampiran 2 Dokumentasi Penelitian	60
Lampiran 3 Izin Penelitian	63
Lampiran 4 Hasil Pemeriksaan Laboratorium	68

DAFTAR ARTI SIMBOL DAN SINGKATAN

Simbol/Singkatan	Arti
MBBR	<i>Moving Bed Biofilm Reaktors</i>
BOD	<i>Biological Oxygen Demand</i>
COD	Chemical Oxygen Demand
TSS	Total Suspended Solid
NH ₃	Amoniak
MPN	Most Probable Number
pH	Power Hydrogen
mg	Miligram
m ³	Meter Kubik
TOM	Total Organik Matter
BOT	Beban Organik Total
RPALP	Rancangan Pengolahan Air Limbah Puskesmas
τ	Waktu tinggal
V	Volume
Q	Laju aliran
mL	Mililiter
L	Liter
Mg/L	Miligram per Liter
DO	Dissolved Oxygen
KOK	Kebutuhan Oksigen Kimiawi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Puskesmas adalah salah satu Unit Kesehatan Masyarakat tingkat pertama. Upaya Kesehatan Masyarakat (UKM) didefinisikan sebagai setiap kegiatan yang bertujuan untuk memelihara dan meningkatkan kesehatan serta mencegah dan mengatasi masalah kesehatan dengan fokus pada keluarga, kelompok, dan masyarakat berdasarkan Permenkes 43 tahun 2019 tentang Puskesmas. Upaya Kesehatan Perorangan (UKP) adalah setiap kegiatan dan/atau serangkaian kegiatan pelayanan kesehatan yang dilakukan oleh Puskesmas yang bertujuan untuk meningkatkan, mencegah, dan mengatasi masalah kesehatan.

Puskesmas adalah fasilitas sosial yang tidak dapat dipisahkan dari masyarakat. Puskesmas memberikan layanan kesehatan kepada masyarakat di suatu wilayah, jadi keberadaannya sangat diharapkan oleh masyarakat. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa keberadaan puskesmas sangat terkait dengan keberadaan masyarakat tersebut.

Fasilitas kesehatan mengalami peningkatan pengunjung setiap hari karena pertumbuhan populasi di kota-kota besar. Karena tingginya kadar bahan kimia organik, senyawa kimia lainnya, dan mikroba patogen yang berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan manusia, limbah cair, atau efluen, yang dihasilkan oleh pusat kesehatan merupakan salah satu sumber potensial pencemaran air.

Air limbah fasilitas kesehatan dapat berkontribusi secara signifikan terhadap kontaminasi habitat akuatik dan terestrial (Ramírez-Coronel et al., 2023). Air limbah fasilitas kesehatan sering kali mengandung konsentrasi residu farmasi yang signifikan, termasuk antibiotik dan hormon, yang dapat dicerna oleh tanaman dan menumpuk di dalam tanah. Obat-obatan ini dapat mempengaruhi mikroorganisme tanah, mengganggu proses ekologi, dan mungkin mencemari tanaman dalam pertanian. Lebih jauh lagi, air limbah dari fasilitas kesehatan mengandung logam berat di dalamnya, yang dapat berasal dari peralatan dan barang medis, yang menimbulkan ancaman bagi kehidupan manusia, tanaman dan hewan selain menyebabkan pencemaran tanah dalam jangka Panjang (Patel et al., 2019).

Berdasarkan data Profil Kota Makassar tahun 2021, Rumah Sakit di Kota Makassar saat ini berjumlah 50 unit, 29 Rumah Sakit Umum dan

Khusus, 21 Rumah Sakit Bersalin, Poliklinik sebanyak 51, dari data Kementerian Kesehatan RI jumlah Puskesmas di Provinsi Sulawesi Selatan sebanyak 476 Puskesmas yang terbagi menjadi Puskesmas non rawat inap sebanyak 156 Puskesmas dan rawat inap sebanyak 316 Puskesmas, terkhusus di Kota Makassar ada 35 Puskesmas non rawat inap dan 12 Puskesmas rawat inap (Kemenkes RI., 2023). Jumlah puskesmas di Kota Makassar sebanyak 47 puskesmas dan puskesmas pembantu sebanyak 33 puskesmas, sehingga ratio puskesmas dan puskesmas pembantu terhadap jumlah penduduk yang dilayani adalah : 80 puskesmas dan puskesmas pembantu : 1.484.912 penduduk 1 puskesmas dan puskesmas pembantu : 18.561 penduduk

Menurut Kementerian Kesehatan Republik Indonesia tentang Pengamanan Limbah Fasilitas Pelayanan Kesehatan, total volume limbah cair yang dihasilkan oleh puskesmas di Indonesia pada tahun 2020 adalah 22,99 m³/bed/har per tempat tidur per hari, meningkat dari 3,96 m³/bed/har per tempat tidur per hari pada tahun 2019. Proporsi puskesmas yang memenuhi persyaratan kualitas adalah 54,9%, sedangkan 45,1% tidak memenuhi persyaratan (Kemenkes RI., 2020). Puskesmas berpotensi untuk mencemari lingkungan dan kemungkinannya menimbulkan kecelakaan serta penularan penyakit jika IPAL Puskesmas yang tidak memenuhi standar atau bahkan belum memiliki IPAL sama sekali. Untuk itu perlu langkah konkrit dalam mengatasi hal tersebut dengan mengembangkan teknologi pengolahan limbah cair puskesmas yang murah, mudah dioperasikan serta efektif untuk menurunkan bahan pencemar limbah, sehingga dapat membantu puskesmas dalam pengolahan limbahnya

Pengolahan limbah cair secara biologis sistem biofilter anaerob aerob saat ini tengah banyak dikembangkan mengingat biaya relatif murah serta teknologi yang digunakan sangat sederhana dan mudah dioperasikan. Pertimbangan lingkungan juga mendasari berkembangnya pengolahan limbah cair secara biologis, dimana efek negatif terhadap lingkungan jauh lebih minim dibandingkan pengolahan secara kimiawi. Beberapa penelitian sebelumnya tentang pengolahan limbah cair rumah sakit dengan sistem biofilter, menunjukkan bahwa efisiensi penurunan polutan-polutan organik cukup signifikan.

Pengolahan secara biologis pada prinsipnya adalah pemanfaatan aktivitas mikroorganisme seperti bakteri dan protozoa. Mikroba tersebut mengkonsumsi polutan organik biodegradable dan mengkonversi polutan organik tersebut menjadi karbondioksida, air dan energi untuk pertumbuhan dan reproduksinya. Oleh karena itu, sistem pengolahan limbah cair secara biologis harus mampu memberikan kondisi yang

optimum bagi mikroorganisme, sehingga mikroorganisme tersebut dapat menstabilkan polutan organik biodegradable secara optimum. Guna mempertahankan agar mikroorganisme tetap aktif dan produktif, mikroorganisme tersebut harus dipasok dengan oksigen yang cukup, cukup waktu untuk kontak dengan polutan organik, temperatur dan komposisi medium yang sesuai. Beberapa sistem pengolahan limbah cair yang telah diterapkan untuk pengolahan sekunder limbah cair antara lain adalah sistem lumpur aktif (*activated sludge*), trickling filter, Biodisc atau *Rotating Biological Contactor* (RBC), Kolam Oksidasi, dan Sarang tawon akan tetapi pengelolaan limbah cair yang sesuai standar memerlukan biaya mahal dan teknologi yang cukup rumit, untuk itu dibutuhkan sebuah teknik dan metode pengolahan limbah cair Puskesmas yang efektif dan efisien dalam pemenuhan standard kualitas lingkungan dan kesehatan manusia.

Hasil studi pengolahan limbah rumah sakit di Indonesia menunjukkan hanya Hanya 53,4% rumah sakit di Indonesia yang mengolah limbah cair, dan dari mereka yang mengolah limbah cair, 51,1% memasang IPAL dan tangki septik untuk mengolah limbah cair, dan sisanya hanya menggunakan tangki septik. Hanya 57,5% rumah sakit yang melakukan pemeriksaan kualitas limbah cair, dan dari mereka yang melakukannya, 63% rumah sakit telah mencapai standar kualitas yang disyaratkan. (Adisasmito, 2009).

Permasalahan yang banyak dihadapi dalam kedua pengolahan ini diantaranya adalah proses ini memerlukan waktu yang lama dan lahan yang luas untuk memisahkan lumpur dan cairan olahan Beberapa faktor penyebab yang sering ditemui antara lain adalah waktu tinggal terlalu lama, fluktuasi debit limbah yang sangat besar, fungsi aerasi yang kurang baik, penyumbatan yang pada media biofilter, serta yang tidak kalah penting adalah kesalahan operasional akibat pengetahuan operator tentang proses yang tidak memadai.

Berdasarkan hal tersebut maka salah satu teknologi yang merupakan solusi saat ini untuk mengolah limbah cair Puskesmas adalah biofilter teknologi *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR) yang dikombinasikan dengan media Karbon aktif. Menurut Patel dan Vashi (2013), fasilitas pengolahan limbah dengan teknologi MBBR telah digunakan di sekitar 16 negara. Teknik pengolahan limbah ini telah mendapatkan banyak popularitas karena keefektifannya, kapasitasnya yang besar, biaya yang rendah, dan kebutuhan ruang yang kecil. Tanpa mengubah volume reaktor, MBBR adalah prosedur pengolahan berkelanjutan dengan konsentrasi tinggi mikroorganisme yang mengurai

bahan organik. Biofilm dirancang untuk melekat pada carrier yang bergerak bebas dan secara alami menyediakan kondisi aerobik, yang mengarah pada efisiensi proses aerasi (Busch, Cruse, dan Marquardt 2007). Sedangkan Karbon aktif dapat dimanfaatkan sebagai agen penyerap (Gislon et al., 2013), elektroda (Taer et al., 2011). Selain itu karbon aktif juga banyak digunakan dalam proses industri seperti proses produksi air minum maupun pengolahan limbah (Wu et al., 2004). Karbon aktif adalah salah satu bahan yang memiliki sifat penting yaitu daya serap (adsorpsi). Adsorpsi adalah salah satu peristiwa fisika maupun kimia pada permukaan yang dipengaruhi oleh reaksi kimia antara media penyerap (adsorben) dan media terserap (adsorbat) (Rijali et al., 2015).

Beberapa penelitian sebelumnya tentang pengolahan limbah cair dengan metode MBBR, menunjukkan bahwa efisiensi penurunan polutan-polutan organik cukup signifikan. Diantaranya penelitian mengenai Analisis Kinerja Pengolahan Limbah Cair Domestik Dengan Metode MBBR diperoleh nilai BOD awal limbah cair sebesar 22,5 mg/L menurun menjadi 2,15 mg/L, untuk COD 336 mg/L menurun menjadi 35 mg/L. Untuk nilai Amoniak (NH_3), dari 7,42 mg/L menurun menjadi 0.146 mg/L dan untuk nilai TSS sebesar 36.63 mg/L menjadi 20.24 mg/L. (AKBAR, 2020). Sedangkan penelitian (Aniriani et al., 2022) tentang Efektivitas Penambahan *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR) Terhadap Kualitas Limbah cair di Instalasi Pengolahan Limbah cair Pondok Pesantren Mahasiswa Universitas Islam Lamongan diperoleh MBBR dapat menurunkan kadar TSS, COD, BOD dan amonia berturut-turut sebesar 73.57%, 35.50%, 61.75% dan 29.10%.

Biofilter dengan teknologi MBBR menggunakan media berpori sebagai tempat tumbuhnya biofilm, yang menguraikan bahan organik dan mengurangi mikroorganisme patogen dari limbah cair. Pengolahan limbah cair secara biologis sistem biofilter aerob dengan teknologi MBBR saat ini tengah banyak dikembangkan mengingat biaya relatif murah serta teknologi yang digunakan sangat sederhana dan mudah dioperasikan. Pertimbangan lingkungan juga mendasari berkembangnya pengolahan limbah cair secara biologis, dimana efek negatif terhadap lingkungan jauh lebih minim dibandingkan pengolahan secara kimiawi, selain itu penggunaan karbon aktif untuk mentreatment limbah cair dengan karbon aktif juga simple, karena hanya dibutuhkan saringan dengan karbon aktif untuk menghilangkan senyawa organik yang tidak dapat terurai (Hatina & Winoto, 2020). Hal tersebut menjadi dasar pertanyaan mengenai bagaimana kemampuan pengolahan limbah cair dengan teknologi MBBR kombinasi media Karbon aktif diaplikasikan pada limbah cair Puskemas, serta bagaimana kesesuaian proses tersebut dengan mikroorganisme

pengurai pada limbah cair, apakah mampu dalam mengurai zat pencemar limbah cair Puskemas.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah berdasarkan latar belakang penelitian sebagai berikut :

1. Berapa besar efektivitas penggunaan biofilter teknologi MBBR kombinasi karbon aktif dan klorin dalam menurunkan konsentrasi parameter fisik (Suhu dan TSS) air limbah puskesmas di Kota Makassar?
2. Berapa besar efektivitas penggunaan biofilter teknologi MBBR kombinasi karbon aktif dan klorin dalam menurunkan konsentrasi parameter kimia, seperti pH, BOD₅ (Biochemical Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand), NH₃ Bebas (Ammonia).
3. Apakah penggunaan biofilter teknologi MBBR kombinasi karbon aktif dan klorin dapat menurunkan populasi pertumbuhan bakteri *Coliform* dalam air limbah puskesmas di Kota Makassar?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilaksanakannya penelitian ini sebagai berikut :

1. Untuk menganalisis efektivitas pengolahan limbah cair Puskemas dengan teknologi *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR) kombinasi karbon aktif dan klorin dalam menurunkan konsentrasi parameter fisik yaitu Suhu, TSS pada limbah cair Puskemas
2. Untuk menganalisis efektivitas pengolahan limbah cair Puskemas dengan teknologi *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR) kombinasi karbon aktif dan klorin dalam menurunkan konsentrasi parameter kimia yaitu pH, BOD₅, COD, NH₃ Bebas pada limbah cair Puskemas
3. Untuk menentukan populasi pertumbuhan bakteri *Coliform* limbah cair Puskemas pada Pengolahan Limbah Cair Puskemas dengan teknologi *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR) kombinasi karbon aktif dan klorin.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini akan meningkatkan pemahaman Peneliti tentang penggunaan dan efisiensi MBBR dalam pengolahan air limbah. Peneliti akan mempelajari teori dan praktik biofilter media dan reaktor

- yang menggunakan MBBR kombinasi karbon aktif dan klorin, serta aspek teknis dan prosedur operasional yang terkait dengan penggunaan MBBR kombinasi karbon aktif dan klorin
2. Penelitian ini dapat menghasilkan solusi baru untuk masalah pengolahan air limbah di Puskesmas dimana Penemuan penelitian ini dapat digunakan oleh institusi untuk mengembangkan teknik atau teknologi yang lebih efisien untuk menangani air limbah di lingkungan fasilitas kesehatan.
 3. Hasil penelitian ini dapat membantu meningkatkan kualitas air limbah Puskesmas di Kota Makassar. Dengan menggunakan MBBR dan karbon aktif yang efektif, air limbah dapat diolah lebih baik sebelum dibuang ke lingkungan, mengurangi dampak buruknya terhadap ekosistem air.

1.5. Ruang Lingkup Penelitian

1. Parameter yang diukur adalah Suhu, TSS, pH, BOD₅, COD, NH₃ dan *Coliform*
2. Efektifitas alat diukur menggunakan skala laboratorium

BAB II METODE PENELITIAN

2.1. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian Pra Eksperimen untuk mengetahui Efektifitas Biofilter Media *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR) kombinasi karbon aktif dan klorin dalam mereduksi parameter fisik (Suhu, TSS), parameter kimia (pH, BOD₅, COD, NH₃ Bebas) dan parameter Bakteriologis (MPN *Coliform*) air limbah Puskemas.

2.2. Lokasi dan Waktu

Lokasi penelitian bertempat di laboratorium terapan dan Teknologi Kesehatan Lingkungan, dan di analisis di Laboratorium Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Makassar jurusan Kesehatan Lingkungan, sedangkan sampel effluent diambil berdasarkan sumber limbah (black water, gray water, clean water) dari Puskemas di Kota Makassar. Penelitian dilaksanakan selama dua bulan yaitu pada bulan Oktober sampai November 2023.

2.3. Sumber Data

Sumber data penelitian ini adalah limbah cair Puskemas rawat inap yang ada di Kota Makassar. Data yang diperoleh berupa data parameter fisik (Suhu, TSS), parameter kimia (pH, BOD₅, COD, NH₃ Bebas) dan parameter Bakteriologis (MPN *Coliform*) pada limbah kondisi awal dan kondisi akhir setelah melalui eksperimen sistem MBBR Kombinasi karbon aktif dan klorin. Pengumpulan data dilakukan dengan pengambilan sampel pada limbah kondisi awal dan akhir, kemudian dilakukan pengukuran nilai parameter fisik (Suhu, TSS), parameter kimia (pH, BOD₅, COD, NH₃ Bebas) dan parameter Bakteriologis (MPN *Coliform*).

2.4. Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut : Reaktor Biofilter Teknologi MBBR, Reaktor Media Karbon aktif, pH meter, termometer, cawan gooch, kertas saring berpori 0,45 µm, penjepit cawan (gegep), oven pemanas, desikator dan neraca analitik (kapasitas 200 gr dan ketelitian 0,1 mg), botol winkler, inkubator, statif dan clamp,

buret, bunsen, erlenmeyer, karet pengisap, gelas ukur, labu refluks, dispenser, kondensor, pipet, spektrofotometer, kuvet, labu takar 50 mL, beaker glass, pipet, pipet tetes, tabung reaksi, tabung durham, inkubator, jerigen dan gayung.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: Air Limbah Puskesmas, *Kaldness* model K1 Plus, Karbon aktif, klorin, Starter bakteri aerob, air suling, kertas saring, larutan mangan sulfat, larutan alkali-iodida-azida, larutan asam sulfat pekat, larutan natrium tiosulfat 0,025 N, larutan amilum 0,5%, merkuri sulfat, larutan kalium dikromat 0,25 N, larutan asam sulfat, aquades, larutan indikator ferroin, larutan baku ferro amonium sulfat (FAS), 0,1005 N, Reagen Nessler, Larutan standar ammonium, larutan asam sulfat, larutan pengencer, medium laktosa broth, BGLB dan aquades steril

2.5. Populasi dan Sampel

Dalam penelitian ini, populasi yang dimaksud adalah limbah cair Puskesmas di Kota Makassar. Sedangkan sampelnya adalah limbah cair Puskesmas diambil dari 3 wilayah berbeda antara lain wilayah I : Puskesmas Antang, wilayah II: Puskesmas Kassi-Kassi, dan wilayah III: Puskesmas Tamamaung baik sebelum diuji maupun setelah melalui eksperimen biofilter teknologi MBBR kombinasi karbon aktif dan klorin

2.6. Karakterisasi Awal Limbah

Karakterisasi awal limbah dilakukan untuk mengetahui kondisi awal pada air limbah Puskesmas sebelum dilakukan pengolahan dengan biofilter teknologi MBBR kombinasi karbon aktif dan klorin meliputi: Beban Organik Total (BOT) pada air limbah

2.7. Rancangan Penelitian

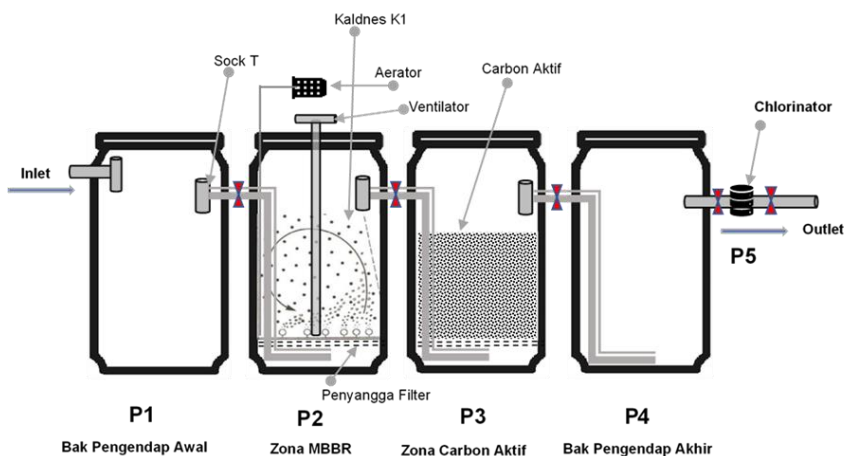
Penelitian ini dilakukan dengan instrumen dalam skala laboratorium, yang diukur yaitu efektivitas teknologi MBBR kombinasi karbon aktif dan klorin dengan menggunakan waktu tinggal. efektivitas tersebut diukur berdasarkan nilai penurunan polutan materi organik yang dilihat dari nilai parameter fisik (Suhu, TSS), parameter kimia (pH, BOD₅, COD, NH₃ Bebas) dan parameter Bakteriologis (MPN *Coliform*). Pada penelitian ini peneliti berfungsi sebagai pengamat penuh terhadap penelitian yang dilakukan. Peneliti berperan dalam merancang dan membangun Rancangan Pengolahan Air Limbah Puskesmas (RPALP), serta menganalisa kadar polutan materi organik yang dilihat dari nilai

parameter fisik (Suhu, TSS), parameter kimia (pH, BOD₅, COD, NH₃ Bebas) dan parameter Bakteriologis (MPN *Coliform*) limbah cair Puskesmas.

Sampel air limbah Puskesmas yang diuji akan diambil pada inlet tempat air limbah memasuki sistem pengolahan, dan titik outlet, tempat air yang telah melalui proses pengolahan dilepaskan pada Rancangan Pengolahan Air Limbah Puskesmas. Kondisi kontrol dalam penelitian ini adalah sampel limbah yang tidak diolah dengan sistem MBBR, karbon aktif, dan klorin. Sampel kontrol digunakan untuk membandingkan perubahan parameter fisik, kimia, dan bakteriologis setelah pengolahan.

2.8. Reaktor Penelitian

Rancangan Pengolahan Air Limbah Puskesmas (RPALP) menggunakan material palastik berbentuk tong yang memiliki kapasitas pengolahan 60 liter. Media yang digunakan yaitu tipe *Kaldnes K1* Plus dan karbon aktif, untuk reaktor Aerob menggunakan teknologi *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR) dan reaktor ini dikombinasi dengan reaktor media karbon aktif dan klorinator. Proses aerobik yang terjadi dibuat dengan menyalakan aerator sedangkan reaktor karbon aktif sebagai media adsorben dan klorinator berfungsi sebagai reaktor desinfektan. Pada penelitian ini digunakan reaktor control sebagai reaktor pembanding dengan proses yang terjadi di dalam reaktor uji. RPALP dibuat dengan desain yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Prototype Rancangan Pengolahan Air Limbah Puskesmas

Perencanaan prototipe reaktor RPALP meliputi:

- a. Bak 1 (P1): Merupakan bak pengendapan effluent awal yang berasal dari air limbah, selanjutnya bak pengendapan awal dihubungkan ke reaktor MBBR Metode aerob dengan pengaliran secara *down flow*
- b. Bak 2 (P2): Merupakan bak pengolahan dengan mekanisme aerob yang menggunakan teknologi MBBR dimana pada bak ini dilengkapi dengan aerator sebagai penggerak. biofilm akan tumbuh pada media bergerak (*Kaldness K1 Plus*) di dalam reaktor sehingga penguraian bahan organik yang terkandung dalam air limbah menjadi lebih efisien, bagian pada reaktor biofilter ini dihubungkan dengan reaktor carbon aktif oleh pipa dengan sistem aliran dari atas kebawah (*Down Flow System*) sebagaimana terlihat pada gambar 5.
- c. Bak 3 (P3): Merupakan bak pengolahan dengan karbon aktif dimana pada bak ini diharapkan dapat berkontribusi pada penguraian zat-zat organik yang tidak terurai oleh bakteri aerob. Bagian pada reaktor karbon aktif ini dihubungkan dengan reaktor bak penampungan akhir oleh pipa dengan sistem aliran dari atas kebawah (*down flow system*) sebagaimana terlihat pada gambar 5.
- d. Bak 4 (P4): Merupakan bak penampungan akhir hasil dari pengolahan bak aerob teknologi MBBR dan karbon aktif, Selanjutnya bak penampungan akhir ini dihubungkan ke klorinator dengan system aliran *down flow*
- e. Chlorinator (P5): Sebelum air limbah yang telah melalui proses pengolahan dengan metode aerob dan karbon aktif dibuang ke lingkungan akan dialirkan melalui reaktor chlorinator sebagai proses pengolahan akhir. sistem ini digunakan untuk mengolah air dengan menambahkan klorin atau senyawa klorin ke dalamnya. Fungsi utama klorinator adalah untuk melakukan desinfeksi air dengan cara membunuh atau menghilangkan mikroorganisme patogen, seperti bakteri, virus, dan parasit agar limbah aman dibuang ke badan air.

Desain prototipe Rancangan Pengolahan Air Limbah Puskesmas (RPALP) teknologi biofilter MBBR kombinasi karbon aktif dan klorin dibuat untuk melakukan pengolahan air limbah Puskesmas sebesar 35m³/hari. Untuk pengolahan air limbah waktu tinggal yang digunakan dihitung dengan perhitungan sebagai berikut (Cruz-Salomón et al., 2017):

Laju Aliran = 350 liter/hari

Konversi ke jam = 350 liter/hari x 1 hari/24 jam = 14,58 liter/jam

- Waktu tinggal maksimal untuk Bak 2 (P2) bak Aerob dengan efisiensi 40% (telah diisi carrier sebanyak 40% dari volume reaktor)

$$\begin{aligned}
 V_{\text{reaktor}} &= 40\% \times \text{Volume reaktor} \\
 &= 40\% \times 60 \text{ liter} \\
 &= 24 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tau &= \frac{V_{\text{reaktor P2}}}{Q} \\
 &= \frac{24 \text{ liter}}{14,58 \text{ liter/jam}}
 \end{aligned}$$

$$\tau = 1,64 \text{ jam dibulatkan menjadi } 2 \text{ Jam}$$

Jadi waktu tinggal yang digunakan pada pengolahan bak 2 (P2) ini adalah 2 jam

- Waktu tinggal maksimal untuk Bak 3 (P3) bak media karbon aktif dengan efisiensi 40% (telah diisi carrier sebanyak 40% dari volume reaktor)

$$\begin{aligned}
 V_{\text{reaktor}} &= 40\% \times \text{Volume reaktor} \\
 &= 40\% \times 60 \text{ liter} \\
 &= 24 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tau &= \frac{V_{\text{reaktor P2}}}{Q} \\
 &= \frac{24 \text{ liter}}{14,58 \text{ liter/jam}}
 \end{aligned}$$

$$\tau = 1,64 \text{ jam dibulatkan menjadi } 2 \text{ Jam}$$

Jadi waktu tinggal yang digunakan pada pengolahan bak 3 (P3) ini adalah 2 jam

Keterangan

τ = Waktu tinggal

V_{reaktor} = Volume reaktor (dalam liter)

Q = Laju aliran limbah ke dalam reaktor (dalam liter per hari)

2.9. Prosedur Penelitian

1. Proses Seeding (Preparasi MBBR)

Sebelum melakukan pengujian air limbah, terlebih dahulu melakukan penumbuhan bakteri pada reaktor biofilter dengan menambahkan bakteri starter aerob untuk memaksimalkan pertumbuhan bakteri dengan jumlah Media MBBR sebanyak 40% dari jumlah volume reaktor, dalam proses ini jika telah terbentuk lapisan biofilm yang menyelimuti media MBBR, maka akan dilakukan uji sebenarnya dengan kombinasi aerob dan karbon aktif dan durasi proses

2. Perlakuan Pada Reaktor

Setiap reaktor akan diisi 40% carrier dari total volume tiap reaktor, reaktor yang digunakan adalah tabung dengan volume 60 L maka jumlah Carrier (kaldnes) yang digunakan adalah 24L. Range efektif adalah 40-70%, berdasarkan pengamatan penelitian-penelitian sebelumnya. Penelitian-penelitian yang ada sebelumnya memiliki waktu proses yang berlainan dan bervariasi. Untuk klorinator diisi dengan klorin kadar 90% dengan berat 100 gram.

2.10. Teknik Pengumpulan Data

1. Cara Pengambilan Sampel

Sampel air limbah di Puskemas diambil pada bak penampungan air limbah pada waktu jam 10.00 pagi. Sampel air limbah Puskesmas dimasukkan pada wadah plastik atau pada botol sampel yang telah diberi label untuk selanjutnya diperlakukan pada reaktor.

2. Pengukuran Suhu

- a. termometer dicelupkan kedalam reactor untuk pembacaan yang betul.
- b. Catat (baca) suhu sampai angka pecahan derajat celcius yang terdekat.

3. Pengukuran pH

Pengamatan pH dilakukan berdasarkan pengukuran aktifitas ion hidrogen secara potensiometri/elektrometri dengan menggunakan pH meter. Prosedur pengukuran pH berdasarkan SNI: 06-6989.11-2004 adalah sebagai berikut:

a) Persiapan pengujian

Alat pH-meter dikalibrasi dengan larutan penyangga sesuai instruksi kerja alat setiap kali akan melakukan pengukuran. Sampel yang mempunyai suhu tinggi dikondisikan sampai suhu kamar.

b) Prosedur

Alat pH-meter dikeringkan dengan kertas tisu selanjutnya elektroda dibilas dengan air suling. Elektroda dibilas dengan sampel, lalu elektroda dicelupkan ke dalam sampel sampai pH meter menunjukkan pembacaan yang tetap. Hasil pembacaan skala atau angka pada tampilan dari pH meter dicatat.

4. Metode pengukuran TSS (Alaerts dan Santika, 1987)

Pengamatan kadar padatan tersuspensi (TSS) atau padatan terlarut dalam sampel air limbah adalah untuk membantu dalam mengukur jumlah padatan yang tersuspensi dalam air limbah. Hal ini memberikan gambaran tentang tingkat kekeruhan air dan sejauh mana partikel-partikel

padatan mampu tetap terapung atau tersuspensi di dalamnya. Prosedur pengukuran padatan tersuspensi (TSS) adalah sebagai berikut:

Dalam langkah awal, filter kertas dipanaskan dalam oven pada suhu sekitar 105°C selama 1 jam. Setelah itu, filter kertas didinginkan dalam desikator selama 15 menit dan ditimbang dengan cepat. Pemanasan ini dapat diulang sampai diperoleh berat yang konstan atau berkurangnya berat setelah pemanasan ulang kurang dari 0,5 mg. Pada tahap selanjutnya, sampel yang telah diaduk merata, sebanyak 50 mL, dipindahkan ke alat penyaringan atau cawan Gooch yang sudah berisi filter kertas. Proses penyaringan dilakukan dengan menggunakan sistem vakum. Filter kertas kemudian diambil dengan hati-hati dari alat penyaringan, ditempatkan di atas jaring-jaring yang diletakkan di dalam cawan, dan dimasukkan ke dalam oven. Pemanasan dilakukan pada suhu 105°C selama 1 jam. Setelah didinginkan dalam desikator, filter kertas tersebut ditimbang dengan cepat. Langkah pemanasan dan penimbangan diulang hingga diperoleh berat yang konstan atau berkurangnya berat setelah pemanasan ulang kurang dari 0,5 mg. Biasanya, pemanasan selama 1 sampai 2 jam sudah memadai untuk mencapai hasil yang diinginkan.

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{(A - B) \times 1000}{V}$$

Keterangan :

A = Berat kertas saring berisi residu tersuspensi dalam mg.

B = Berat kertas saring kosong dalam mg.

V = Volume sampel dalam mL

5. Pengukuran BOD (Alaerts dan Santika, 1987)

Pengamatan BOD digunakan untuk menentukan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroba untuk mengoksidasi bahan organik karbon dalam sampel air limbah, efluen atau air yang tercemar yang tidak mengandung atau yang telah dihilangkan zat-zat toksik dan zat-zat pengganggu lainnya. Prosedur pengukuran konsentrasi BOD adalah sebagai berikut:

Pertama-tama 2 mL mangan sulfat ditambahkan di bawah permukaan cairan dalam botol Winkler, diikuti dengan penambahan 2 mL larutan alkali-iodida-azida menggunakan pipet lain. Botol ditutup rapat, dikocok lembut, dan dibiarkan mengendap selama 10 menit. Setelah itu, 2 mL H₂SO₄ pekat ditambahkan pada sisa larutan yang mengendap, diikuti dengan pengocokan hingga larut sepenuhnya. Sampel air sebanyak 200 ml dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan dititrasi dengan larutan tiosulfat

($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0,025 N hingga terjadi perubahan warna menjadi kuning muda, kemudian ditambahkan 1 mL amilum dan dilanjutkan titrasi hingga warna biru hampir hilang. Langkah serupa diulang untuk sisa sampel yang tersisa dalam botol. Proses yang sama diterapkan pada sampel yang diinkubasi selama 5 hari pada suhu 20 derajat Celsius.

Untuk menghitung BOD dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{BOD}_{5,20} = \frac{(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)(1 - P)}{P}$$

Keterangan :

$\text{BOD}_{5,20}$:	sebagai mg O_2/l
X_0	:	DO sampel pada saat $t = 0$ (mg O_2/L)
X_5	:	DO sampel pada saat $t = 5$ hari (mg O_2/L)
B_0	:	DO blanko pada saat $t = 0$ (mg O_2/l)
B_5	:	DO sampel pada saat $t = 5$ hari (mg O_2/L)
P	:	Derajat pengenceran

6. Metode Pengukuran COD (Alaerts dan Santika, 1987)

Pengamatan COD digunakan untuk penentuan konsentrasi kebutuhan oksigen kimiawi (KOK) dalam air dan air limbah secara refluk terbuka dengan kisaran konsentrasi KOK antara 50 mg/L O_2 sampai dengan 900 mg/L O_2 . Metode ini tidak berlaku bagi sampel air yang mengandung ion klorida lebih besar dari 2000 mg/L. Prosedur pengukuran konsentrasi COD berdasarkan SNI 06-6989.15-2004 adalah sebagai berikut :

Sampel diaduk hingga homogen dan segera dilakukan analisis. Kemudian sampel diawetkan dengan menambahkan H_2SO_4 sampai pH lebih kecil dari 2,0 dan sampel disimpan pada pendingin 4°C dengan waktu simpan 7 hari.

Sampel dipipet sebanyak 10 mL, kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL. Setelah itu, 0,2 g serbuk HgSO_4 dan beberapa batu didih ditambahkan, lalu ditambahkan 5 mL larutan kalium dikromat, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,25 N. Selanjutnya, 15 mL pereaksi asam sulfat-perak sulfat ditambahkan secara perlahan-lahan sambil didinginkan dalam air pendingin, lalu dihubungkan dengan pendingin Liebig dan dididihkan di atas hot plate selama 2 jam. Bagian dalam dari pendingin didinginkan dan dicuci dengan air suling hingga volume sampel menjadi lebih kurang 70 mL. Proses pendinginan dilakukan sampai temperatur kamar, kemudian ditambahkan indikator ferroin 2 sampai dengan 3 tetes, lalu dititrasi dengan

larutan FAS 0,1 N sampai warna merah kecoklatan dan dicatat kebutuhan larutan FAS. Larutan blanko terdiri dari 50 mL aquades, dianalisa sama seperti di atas. Setelah itu, kebutuhan larutan FAS dicatat. COD dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$COD = \frac{(a - b) \times N \times 8000}{ml \text{ sampel}}$$

Keterangan :

a = ml FAS yang digunakan untuk titrasi blanko

b = ml FAS yang digunakan untuk titrasi sampel

N = Normalitas larutan FAS (0,1005).

7. Pengukuran Amoniak

Pengamatan kandungan ammonia adalah untuk mendeteksi dan mengukur kandungan ammonia dalam sampel air limbah berdasarkan reaksi pembentukan kompleks berwarna antara ammonia dan reagen Nessler (kalium merkuri-iodida). Adapun prosedur pengukurannya adalah sebagai berikut:

Saring sebanyak 25-50 ml air sample dengan kertas saring Millipore 0,45 μ m atau yang setara, Pipet 2 mL larutan Fenol 5%, aduk. Tambahkan 2 mL Natrium nitroprusside, aduk. Tambahkan 3,0 ml larutan pengoksid Alkalin (campuran antara Bayclin 10 mL, 50 mL Larutan Natrium hidroksida + 50 mL tri-Natrium citrate), Biarkan satu jam, agar terjadi reaksi yang sempurna. Ukur kadar Amonium dengan menggunakan Spektrofotometer DREL 2800 dalam satuan mg/L pada panjang gelombang 640 nm. Catat nilai Amonium yg tertera di layar Spektrofotometer DREL 2800. Buat larutan blanko dari 25 ml akuades. Lakukan prosedur dengan Pipet 2 mL larutan Fenol 5% kemudian aduk, 4 lanjut dengan menambahkan 3,0 ml larutan pengoksid Alkalin (campuran antara Bayclin 10 mL, 50 mL Larutan Natrium hidroksida + 50 mL tri-Natrium citrate).

8. Pengukuran Koliform (Suendra, 1991)

Pemeriksaan kuman golongan Koli (*Coliform*) dapat dilakukan dengan cara *the multiple tube fermentation technique* yang meliputi dua tahap pemeriksaan yaitu :

a. *Presumptive test* / test perkiraan

Presumptive test didasarkan atas kenyataan bahwa Dalam tabung lactose yang berisi medium laktosa dan tabung Durham yang terbalik,

dituangkan contoh air yang akan diperiksa. Kemudian tabung-tabung ini diinkubasi selama 2 x 24 jam pada suhu 35°C-37°C. Jika dalam waktu 2 x 24 jam terbentuk gas pada tabung Durham, maka presumptive test dinyatakan positif, mengindikasikan adanya bakteri Koliform dalam sampel air. Sebaliknya, jika tidak terbentuk gas, presumptive test dinyatakan negatif, menunjukkan ketiadaan Koliform dalam air. Jika terjadi hasil positif pada tahap ini, proses dilanjutkan dengan tahap confirmed test untuk memastikan keberadaan Koliform dalam sampel air.

b. *Confirmed test* / tes penegasan

Pada tahap confirmed test, contoh air yang menghasilkan gas baik dalam 24 jam pertama maupun dalam 48 jam, diteruskan untuk uji penegasan. Dari masing-masing tabung yang menghasilkan gas pada tahap presumptif, diambil contoh sebanyak 1-2 ose (wire loop atau kawat platina) steril. Contoh ini dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi media Brilliant Green Lactose Bile Broth (BGLB). Tabung-tabung ini kemudian diinkubasi selama 24 jam pada suhu 35°C ± 0,5°C. Gas yang terbentuk dalam tabung Durham diamati. Tabung yang mengandung gas dicatat sebagai contoh yang mengandung bakteri golongan Koliform. Tabung yang tidak menghasilkan gas akan diperpanjang pengamatannya selama 24 jam tambahan. Jika dalam waktu total 2 x 24 jam tidak terbentuk gas, maka hasil uji presumptif dinyatakan negatif dan tidak perlu dilanjutkan ke tahap pengujian selengkapya.

9. Pengukuran Organik Total

Adapun prosedur analisis TOM dapat dilakukan dengan cara air sampel diambil sebanyak 25 mL kemudian dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 250 mL. Ditambahkan 4,75 mL KMnO₄ langsung dari buret. Lalu ditambahkan 5 mL H₂SO₄ [1:4], Kemudian dipanaskan menggunakan hot plate sampai suhu 70-80°C dan diangkat. Bila suhu telah turun menjadi 60°C langsung ditambahkan Na-oxalate 0,01 N secara perlahan sampai tidak berwarna. Dititrasi dengan KMnO₄ 0,01 N sampai berubah warna (merah jambu/pink) dan volume yang terpakai dicatat sebagai mL titran (x ml). Dipipet 50 mL akuades, lalu dilakukan prosedur (1-6), dicatat titran yang digunakan (y mL). Berikut rumus perhitungan TOM:

$$\text{KMnO}_4 \text{ (mg/L)} = \frac{(x-y) \times 31,6 \times 0,01 \times 1000}{\text{ml sampel}}$$

Keterangan:

- X : Volume KMnO_4 0,01 N yang dibutuhkan pada titrasi air sampel;
 Y : mL titran untuk aquades (larutan blanko);
 0,01 : Normalitas asam oksalat (KMnO_4);
 31,6 : 1/5 dari BM KMnO_4 , karena tiap mol KMnO_4 melepaskan 5 oksigen dalam reaksi ini;
 1000 : Konversi dari mL ke Liter

2.11. Metode Analisa Data

Data hasil penelitian diperoleh dari pemeriksaan laboratorium sebelum dan setelah pengolahan dengan tiga kali pengulangan, Untuk analisis data dan pembahasan yang dilakukan pada penelitian ini mencakup: Kemampuan MBBR kombinasi karbon aktif dan klorin untuk menurunkan konsentrasi parameter fisik (Suhu, TSS), parameter kimia (pH, BOD_5 , COD, NH_3 Bebas) dan parameter Bakteriologis (*Coliform*) air limbah Puskesmas. Analisis dan pembahasan dalam penelitian ini akan dibuat dalam bentuk tabel, grafik dan interpretasi yang diperkuat dengan analisis statistic yang berupa Uji ANNOVA. Untuk mengetahui seberapa besar efesiensi penyisihan parameter dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

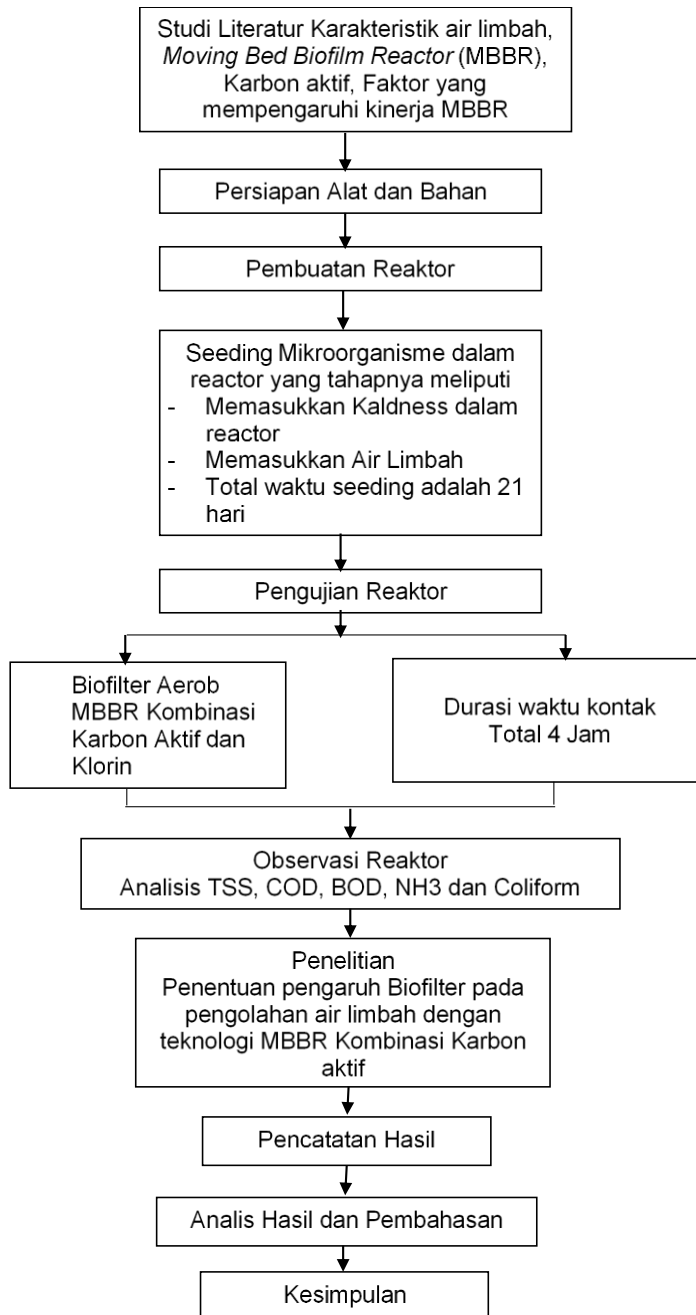
$$\text{Penyisihan} = \frac{\bar{X} \text{ Sebelum pengolahan} - \bar{X} \text{ Setelah Pengolahan}}{X \text{ Sebelum pengolahan}} 100\%$$

2.12. Hipotesis Penelitian

Adapun hipotesis yang dapat diajukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan MBBR kombinasi Karbon aktif dan Klorin dikatakan efektif dalam menurunkan parameter air limbah Puskesmas apabila presentase penurunan parameter uji $\geq 50\%$
2. Penggunaan MBBR kombinasi Karbon aktif dan Klorin dikatakan tidak efektif dalam menurunkan parameter air limbah Puskesmas apabila presentase penurunan parameter uji $\leq 50\%$

2.13. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2 Diagram alir penelitian