

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

2.1.1 Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik (SPALD)

Sistem pengelolaan air limbah domestik atau SPALD merupakan serangkaian kegiatan pengelolaan air limbah domestik dalam satu kesatuan dengan sarana dan prasarananya. Air limbah domestik terdiri atas air limbah kaku (black water) dan air limbah non kaku (grey water). SPALD terdiri dari Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Setempat (SPALD-S) dan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat (SPALD-T) (Kementerian PUPR, 2018).

2.1.2 Lumpur Tinja

Lumpur tinja (septage/faecal sludge) merupakan kumpulan lumpur, busa, dan cairan yang disedot dari sistem pengolahan secara on-site sanitation. Lumpur tinja ialah padatan dari hasil penyimpanan black water dan tinja dari berbagai konsentrasi padatan yang mengendap atau materi non-feses lainnya (Putri, 2015). Berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, lumpur tinja adalah isi tangki septik dan endapan lumpur yang berasal dari bangunan pengolahan air limbah rumah tangga yang pembersihannya menggunakan mobil atau truk tinja.

Lumpur tinja terdiri atas campuran lumpur dari toilet umum yang tidak mempunyai saluran pembuangan dan lumpur tinja dari tangki septik dengan perbandingan 1:2. Lumpur tinja dari toilet umum memiliki kondisi agak segar dikarenakan penyimpanan sebelum pengumpulan (dari beberapa hari hingga 2 minggu), menunjukkan konsentrasi organik dan padatannya yang tinggi. Tinja terdiri atas sebagian besar pasir dan minyak yang bersifat bau yang tajam, berbusa jika diaduk, konsentrasi zat padat dan organik tinggi, sukar mengendap dan dipisahkan cairannya (Putri, 2015).

2.1.3 Karakteristik Lumpur Tinja

Karakteristik lumpur tinja sangat bervariasi, ini dapat disebabkan antara lain jumlah pemakai, kebiasaan makan dan minum pemakai, sumber lumpur tinja

(tangki septik/cubluk), desain dan ukuran tangki septik, kondisi cuaca dan iklim, dan lain-lain (Putri, 2015). Berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2018), hasil pengambilan sampel lumpur tinja beberapa lokasi di Indonesia, lumpur tinja di Indonesia mempunyai karakteristik seperti yang ditunjukkan pada table 2.1.

Tabel 2.1 Karakteristik Limbah Tinja

Parameter	Besaran
pH	7 - 7,5
BOD (mg/l)	2.000 - 5.000
COD (mg/l)	6.000 - 15.000
Total Solid	14.000 - 24.000
Total Suspend Solid	10.000 - 20.000
Sludge Volume Index	31 - 40
Ammonia	100 - 250
Minyak Lemak	1.000 - 2.000
Total koliform	1.600.000 - 5.000.000
Fosfat	8 s/d 20

Sumber: Kementerian PUPR, 2018

Sedangkan sebagai pembanding lumpur tinja dan air limbah, didapatkan data hasil pengujian karakteristik lumpur tinja di Asia Tenggara, Asia Selatan, dan Afrika selama 30 tahun seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Karakteristik Limbah Tinja Didunia

Karakteristik	Tipe A (Konsentrasi Tinggi)	Tipe B (Konsentrasi Pencemar Rendah)	Air Limbah Domestik (Sebagai Perbandingan)
COD (mg/l)	20.000 - 50.000	<15.000	500 - 2.500
COD/BOD	05:01	10:01	02:01
NH ₄ -N (mg/l)	2.000 - 5.000	<1.000	30 – 70
Total Solid (mg/l)	≥3,5%	< 3%	<1%
Total suspend Solid	≥ 30.000	≥ 7.000	200 – 700

Sumber: Kementerian PUPR, 2018.

Untuk parameter lumpur tinja yang berasal dari IPLT keputih Surabaya didapatkan hasil setelah melakukan uji parameter awal yang bersumber langsung dari iplt keputih Surabaya pada tahun 2020. Ditunjukkan pada tabel 2.3 (IPLT Keputih Surabaya, 2020)

Tabel 2.3 Karakteristik Limbah Tinja IPLT Keputih

No	Parameter Uji	Satuan	Hasil Uji
1.	BOD ₅	Mg/L	466,8
2.	COD	Mg/L	1162
3.	TSS	Mg/L	170
4.	Minyak dan Lemak	Mg/L	7,97
5.	pH	-	6,67

Sumber: IPLT Surabaya, 2020.

2.1.4 Parameter Lumpur Tinja

Karakteristik air limbah domestik terdiri atas fisik, kimia, dan biologis. Parameter analisis kualitas lumpur tinja merupakan parameter dari air limbah domestik. Parameter ini dimaksudkan sebagai acuan untuk melihat kualitas lumpur tinja yang telah diolah melalui IPLT (Sulistia & Septisya, 2020). Adapun beberapa parameter dari lumpur tinja antara lain:

1. Derajat Keasaman (pH)

pH merupakan ukuran untuk menentukan sifat asam dan basa dari suatu larutan (Purwatiningrum, 2018). pH adalah parameter yang penting dalam pemeriksaan lumpur tinja karena dapat mempengaruhi stabilisasi biologi. pH pada lumpur tinja berkisar 6,5 - 8 (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2018).

2. Chemical Oxygen Demand (COD)

COD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik dalam 1 liter sampel air menggunakan oksidator K₂Cr₂O₇ sebagai sumber oksigen (Metcalf & Eddy, 2014). Berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum &

Perumahan Rakyat (2018), parameter COD mengindikasikan kandungan organik pada lumpur tinja baik terdegradasi secara biologis maupun non-biologis.

3. Biochemical Oxygen Demand (BOD)

BOD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme untuk mendegradasi bahan organik dalam air limbah (Putra, 2020). Parameter BOD adalah parameter yang mengindikasi terdegradasinya senyawa organik secara biologis dan paling banyak digunakan dalam uji air limbah dan permukaan. Lumpur tinja umumnya memiliki konsentrasi BOD lebih tinggi dari air limbah domestik (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2018).

4. Minyak dan Lemak

Menurut Purwatiningrum (2018), minyak dan lemak adalah zat pencemar padatan yang bersifat mengapung di atas permukaan air. Lumpur tinja mengandung minyak dan lemak yang berasal dari minyak rumah tangga, daging, dan lain-lain yang dapat menurunkan kemampuan mikroba dalam mendegradasi senyawa organik (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2018). Menurut Sulistia & Septisya (2020), minyak dan lemak memiliki berat jenis lebih kecil dari air sehingga dapat mengurangi konsentrasi oksigen terlarut dalam air.

5. Padatan Total (*Total Solid*)

Konsentrasi padatan total pada lumpur tinja merupakan parameter fisik berupa kandungan bahan padatan dalam air limbah, mulai dari yang mengapung, mengendap, tersuspensi dan terlarut (Putra, 2020). Keberadaan padatan dalam air limbah berasal dari padatan pada sumber limbah yang terbawa dan dinyatakan dalam satuan massa padatan per satuan volume air (Putra, 2020).

6. Bakteri Coliform

Berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2018), bakteri koliform termasuk organisme patogen yang terkandung dalam lumpur tinja berupa bakteri yang ditemukan dalam saluran pencernaan manusia. Dinyatakan pula nilai total koliform sebagai indikator karena berbanding lurus dengan

pencemaran air, artinya semakin sedikit kandungan koliform maka kualitas air semakin baik (Sulistia & Septisya, 2020).

2.1.5 Parameter Pencemar yang Akan Diturunkan dalam Penelitian

Parameter pencemar yang akan diturunkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Chemical Oxygen Demand (COD)

COD yaitu jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi secara kimiawi bahan organik dan juga anorganik dalam air atau air limbah, biasanya dinyatakan dalam mg/L. Selisih nilai COD dan BOD menggambarkan besarnya bahan organik yang sulit terurai di perairan. Nilai BOD tidak bisa lebih besar dari COD, namun nilai BOD bisa sama dengan COD (Metcalf & Eddy, 2014). Berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 73 Tahun 2013 Lampiran V Baku Mutu Bagi Kegiatan Lain Kelas II, untuk kandungan COD adalah sebesar 300 mg/L.

2. Total Dissolve Solid (TDS)

Total Dissolved Solid atau benda padat yang terlarut di air, contohnya : mineral, garam, logam, kation dan anion. Unsur mineral dalam air, misalnya, besi, timah, zat kapur, magnesium, tembaga, sodium, klorida, klorin, dan lain-lain. (Nugroho dan Purwoto, 2015). TDS berupa bahan-bahan terlarut (berdiameter $< 10^4$ mm) dan koloid (berdiameter 10^{-6} 10^{-3} mm). TDS merupakan padatan yang memiliki ukuran lebih kecil dibandingkan dengan padatan tersuspensi. Zat padatan terlarut terdiri atas zat organik, garam organik, dan gas terlarut. Sumber anorganik berasal dari batuan dan udara yang mengandung kalsium bikarbonat, nitrogen, besi, fosfor, sulfur, dan mineral lain. Semua benda ini berentuk garam, yang merupakan kandungannya perpaduan antara logam dan non logam. Garam-garam ini biasanya terlarut di dalam air dalam bentuk ion, yang merupakan partikel yang memiliki kandungan positif dan negatif. Air juga mengangkut logam seperti timah dan tembaga saat perjalanannya di dalam pipa distribusi air minum.

3. Amonia (NH₃-N)

Amonia (NH₃) yang disebut juga nitrogen amonia dihasilkan dari pembusukan zat-zat organik oleh bakteri. Setiap amonia yang dibebaskan ke suatu lingkungan akan membentuk reaksi keseimbangan dengan ion amonium (NH₄⁺). Amonium ini yang kemudian mengalami proses nitrifikasi membentuk nitrit dan nitrat. Nitrifikasi adalah proses pengkonversian amonia menjadi nitrit oleh bakteri nitrosomonas dan kemudian menjadi nitrat oleh bakteri nitrobacter (Nusa & Muhammad, 2014). Proses nitrifikasi terjadi dalam dua tahap, yaitu tahap nitritasi dan tahap nitrasi, yaitu sebagai berikut:

Tahap nitritasi (amonia menjadi nitrit)

Nitrosomonas



Tahap nitrasi (nitrit menjadi nitrat)

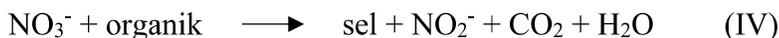


Secara keseluruhan, proses nitrifikasi sebagai berikut:



Sedangkan denitrifikasi adalah proses nitrat diubah menjadi nitrit dan kemudian gas nitrogen. Reaksi penguraian nitrit dan nitrat dapat dilihat sebagai berikut:

Pseudomonas



Pseudomonas



Berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 73 Tahun 2013 Lampiran V Baku Mutu Bagi Kegiatan Lain Kelas II, untuk kandungan ammonia adalah sebesar 5 mg/L.

2.1.6 Baku Mutu Lumpur Tinja

Baku mutu adalah batas kadar dan jumlah unsur pencemar dalam limbah cair untuk dibuang ke lingkungan dari suatu kegiatan tertentu. Artinya, sebelum dibuang ke lingkungan, air limbah harus diolah hingga memenuhi baku mutu sesuai

yang diacukan supaya menghindari pencemaran lingkungan (Putra, 2020). Baku mutu lumpur tinja skala Indonesia terdapat pada Tabel 2.4, menunjukkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68 Tahun 2016.

Tabel 2.4 Baku Mutu Limbah Tinja

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6 s/d 9
BOD (mg/l)	mg/l	30
COD (mg/l)	mg/l	100
TSS	mg/l	30
Minyak Lemak	mg/l	5
Ammonia	mg/l	10
Total koliform	jumlah/100 ml	3000

Sumber: Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup, 2016

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Proses Pengolahan Biologis

Pengolahan air limbah secara biologis digunakan untuk menurunkan atau menyisihkan bahan pencemar yang terkandung dalam air limbah dengan cara memanfaatkan aktivitas mikroorganisme dalam melakukan perombakan atau mendegradasi bahan pencemar. Menurut Nusa (2015) pada proses pengolahan air limbah secara biologis dapat berlangsung dalam tiga kondisi yaitu sebagai berikut:

1. Kondisi oxic, yaitu lingkungan dengan kandungan oksigen terlarut (DO) di dalam air cukup banyak.
2. Kondisi anoxic, yaitu lingkungan dengan kandungan oksigen terlarut (DO) di dalam air dengan konsentrasi rendah.
3. Kondisi anaerob, yaitu kebalikan dari lingkungan aerob, dimana kandungan oksigen terlarut (DO) di dalam air tidak ada.

2.2.2 Proses Biakan Tersuspensi (*Suspended Growth*)

Proses biologis dengan biakan tersuspensi (*suspended growth*) adalah system pengolahan dengan menggunakan mikroorganisme untuk menguraikan polutan yang ada dalam air limbah, dimana mikroorganisme yang ada dibiakan secara tersuspensi di dalam reaktor (Said, 2014). Pada proses *suspended growth*, mikroorganisme yang berperan untuk pengolahan dipelihara di dalam *suspended liquid* dengan metode pencampuran yang sesuai. Banyak proses *suspended growth* yang digunakan pada pengolahan air limbah domestik dan industri yang dioperasikan dengan adanya konsentrasi oksigen terlarut (aerobik), tetapi terdapat juga aplikasi proses *suspended growth* yang digunakan tanpa adanya oksigen (anaerobik). Proses *suspended growth* yang paling umum digunakan untuk air limbah domestik adalah proses *activated sludge* (Tchobanoglous dkk., 2003).

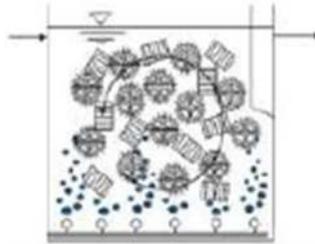
2.2.3 Proses Biakan Melekat (*Attached Growth*)

Proses pengolahan air limbah secara biologis dengan sistem biakan melekat (*attached growth*) adalah proses dimana mikroorganisme yang digunakan dibiakan pada suatu media. Pada proses *attached growth*, mikroorganisme yang berperan dalam konversi materi organik atau nutrient melekat pada materi packing inert. Materi organik atau nutrient yang akan dihilangkan dari air limbah dialirkan melalui *attached growth* yang juga disebut *biofilm*. Materi packing yang digunakan pada proses *attached growth* dapat berupa batuan, pasir, bermacam – macam plastik, dan materi sintesis lainnya. Proses *attached growth* juga dapat dioperasikan secara aerobik maupun anaerobik. Proses *attached growth* yang paling sering digunakan adalah *trickling filter* yang pada prinsipnya air limbah didistribusikan ke seluruh area bagian atas dari suatu pipa yang terdiri dari materi packing *non-submerged* (Tchobanoglous dkk., 2003).

2.2.4 Proses Aerobik/*Oxic*

Proses pengolahan secara aerobik/*oxic* adalah proses pengolahan limbah dengan memanfaatkan mikroorganisme aerob, dengan menggunakan oksigen sebagai energi untuk metabolisme dari bakteri tersebut. Polutan-polutan organik

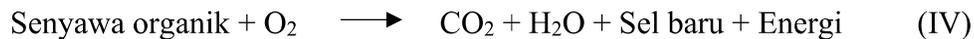
akan diurai oleh bakteri aerob menjadi zat-zat yang relatif stabil seperti karbon dioksida, air, energi, serta sel baru yang berbentuk biomassa, dan energi yang akan digunakan atau dimanfaatkan untuk proses metabolisme mikroorganisme seperti respirasi, oksidasi, serta pertumbuhan (Nusa & Teguh, 2015).



Gambar 2.1 Reaktor pada proses *oxic*

Menurut Nusa (2017) proses penguraian secara *oxic* adalah sebagai berikut :

Mikroba



Efisiensi proses biologis sangat ditentukan oleh jumlah bakteri yang bekerja mendegradasi polutan dalam air limbah. Pada proses biakan melekat, jumlah bakteri dikontrol melalui media, sedangkan pada biakan tersuspensi, jumlah bakteri dikontrol dengan melakukan pemantauan secara rutin padatan tersuspensi yang ada dalam air. Untuk proses biakan melekat, apabila menginginkan jumlah bakteri yang banyak, maka luas permukaan media yang dipilih harus besar (Nusa & Dinda, 2015).

Faktor-faktor yang berpengaruh pada proses *oxic* adalah sebagai berikut :

- DO

Pada kondisi *oxic* jumlah DO sangat berpengaruh, karena oksigen dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan-bahan organik dan anorganik (Salmin, 2005). Jumlah oksigen terlarut dalam kondisi *oxic* tidak boleh kurang dari 2 mg/L (Nusa, 2015).

- pH

Nilai pH berpengaruh terhadap pertumbuhan bakteri. Bakteri bisa hidup pada pH di atas 9,5 dan di bawah 4, sedangkan pH optimum agar mikroorganisme dapat tumbuh dan berkembang biak yaitu sekitar 6,5 – 7,5 (Nusa, 2015).

- Suhu

Nilai suhu pada kondisi oxic berfungsi dengan baik pada 25 C – 40 C (kondisi mesofilik) dan 55 C – 65 C (kondisi termofilik). Suhu dapat berpengaruh terhadap kecepatan pertumbuhan mikroorganisme yang ada pada reaktor (Nusa, 2015).

2.2.5 Proses *Anoxic*

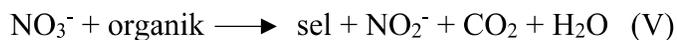
Proses yang terjadi di anoksik yaitu denitrifikasi. Denitrifikasi adalah proses reduksi nitrat dan nitrit. Produk akhir yang dihasilkan dari penguraian nitrat dan nitrit adalah gas nitrogen (N₂) atau nitrogen oksida (N₂O), kedua gas bersifat inert dan dapat menguap di udara (Nusa & Muhammad, 2014).



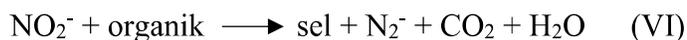
Gambar 2.2 Reaktor pada proses *anoxic*

Reaksi penguraian nitrat dan nitrit dijabarkan sebagai berikut (Metcalf & Eddy, 2014) :

Pseudomonas



Pseudomonas



Faktor-faktor yang berpengaruh pada proses anoxic adalah sebagai berikut :

- DO
Jumlah oksigen terlarut pada kondisi anoksik yaitu bisa mendekati nol dan < 2 mg/L (Ravika, 2017).
- pH
Menurut Grady & Lim (1980) pada proses denitrifikasi pH bekerja cukup baik pada pH 7 – 7,5.
- Suhu
Nilai suhu pada kondisi anoksik yaitu 25 C – 30 C

2.2.6 Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)

Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) merupakan pengolahan biologis kombinasi yang memanfaatkan dua bentuk biomassa, yaitu flok tersuspensi dan terlekat. MBBR adalah reaktor biofilm dimana mikroorganisme menempel pada media (*carrier*) dan terus bergerak bersama dengan aliran air di dalam reaktor. Pergerakan media di dalam reaktor dibantu oleh mekanis, hidrolis, atau udara. Dalam kondisi oxic dibantu oleh aerasi, sedangkan dalam kondisi anoxic media digerakkan oleh pengadukan mekanis. Reaktor MBBR dioperasikan pada kondisi aerobik dan anoksik. Kondisi aerobik digunakan untuk menurunkan kadar organik dan menjaga kelangsungan proses nitrifikasi, sedangkan kondisi anoksik untuk denitrifikasi (Chen et al., 2007).

Keutamaan MBBR adalah mikroorganisme yang ada melekat pada media. Setiap media memiliki karakteristik luas permukaan spesifik yang berbeda-beda. Dengan luas permukaan spesifik yang besar tentunya mikroorganisme dapat melekat dalam jumlah besar. Luas permukaan spesifik media merefleksikan jumlah luas permukaan yang tersedia untuk pertumbuhan biofilm per-unit volume media (Metcalf & Eddy, 2003). Dengan demikian memungkinkan untuk pengolahan air limbah dengan beban konsentrasi yang tinggi serta efisiensi pengolahan yang cukup besar.

Pada sistem ini, bahan pencemar (substrat) yang terkandung dalam air limbah akan tercampur di dalam sebuah reaktor, dimana mikroorganisme yang hidup di dalam limbah akan tumbuh melekat di media plastik (biocarrier) dan membentuk lapisan biomassa (biofilm) pada permukaan media. Jumlah biocarrier yang dimasukkan ke dalam reaktor tergantung dari kualitas dan kuantitas influent yang akan diolah, maximum filling sebesar $\pm 70\%$. Luas permukaan spesifik media didefinisikan sebagai total luas permukaan media yang tersedia untuk biofilm per satuan volume reaktor (Sya'bani, 2013).

2.2.7 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Proses MBBR

Pengolahan *moving bed biofilm reactor* memiliki lima hal yang mempengaruhi dan dianggap penting selama prosesnya, diantaranya yaitu (Said dan Syabani, 2014) :

1. *Organic Loading Rate*, yaitu kadar organik polutan yang dapat diukur dengan jumlah kg BOD₅, dihitung per satuan volume dalam sehari (kg BOD/m³.hari)
2. *Fill Medium Loading Rate*, ini adalah jumlah mikroorganisme yang menempel di media biocarrier per satuan luas dalam satuan waktu (kg/m².hari)
3. *Oxygen Dissolved*, yaitu kadar kadar oksigen terlarut di dalam air di hitung berdasarkan satuan gr/m³
4. *Hydraulic Loading Rate*, adalah waktu tinggal yang dibutuhkan air limbah di dalam reaktor yang dipenuhi media biocarrier.
5. *Spesific Surface Area*, adalah jumlah luas permukaan media biocarrier yang tersedia untuk biofilm per volume unit media (m² media/m³)

Menurut Tchobanoglous dkk. (2003), pengoperasian moving bed biofilm reactor dianggap beroperasi dengan baik jika nilai faktor termasuk dalam nilai rentang tipikal desain proses moving bed biofilm reactor. Adapun nilai faktor tipikal desain proses moving bed biofilm reactor dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Tipikal Desain Proses *Moving Bed Biofilm Reactor*

Parameter	Satuan	Rentang Nilai
Anoxic HRT	Hours	0,5 – 2,0
Aerobik HRT	Hours	1 - 4
Biofilm Surface Area of Carrier	m ² /m ³	500 - 1200
Biomass per Units Surface Area	g TS/m ²	5 - 25
BOD SALR	g/m ² .d	7,5 - 25
COD SALR	g/m ² .d	15 - 50
NH ₃ -N SALR	g/m ² .d	0,45 – 1,00
Secondary Clarifier Overflow Rate	Gpd/ft ²	200 - 600

Tipikal luas permukaan media MBBR yaitu 350 – 1200 m²/m³ dan tipikal rasio rongga yaitu 60 – 90%. Kedua hal tersebut dapat digunakan untuk menghitung volume reaktor yang akan digunakan (Bengston, 2017).

2.2.8 Media Biofilm

Media biofilm bisa disebut juga biocarrier. Biofilm merupakan salah satu bentuk teknologi pengolahan limbah cair. Biofilm adalah kumpulan sel mikroorganisme, khususnya bakteri, yang melekat di suatu permukaan dan diselimuti oleh pelekat karbohidrat yang dikeluarkan oleh bakteri.

Biocarrier memiliki peran penting dalam proses biakan melekat, karena jika Biocarrier tidak proporsional maka bakteri akan susah untuk melekat. Hal yang penting yang harus ada pada biocarrier menurut (Nusa, 2011) adalah:

1. Luas permukaan dari biocarrier.

Karena jika luas permukaannya semakin luas maka semakin mudah dan banyak biomassa yang melekat.

2. Luas ruang kosong.

Karena jika semakin besar ruang kosong, maka semakin besar kontak biomassa yang menempel pada media pendukung dengan substrat yang ada dalam air buangan.

Biocarrier yang seringkali digunakan pada sistem MBBR salah satunya adalah bioball dan Kaldness. Bioball memiliki banyak bentuk dan tipenya antara lain, tipe golf, rambutan, dll. Sedangkan kaldnes juga memiliki ukuran permukaan diantaranya Kaldnes K1, K2, K3, K4 dan K5. Media biofilm haruslah memiliki sifat-sifat berikut :

1. Suka air (hydrophilic)
2. Ringan
3. Terbuat dari bahan inert (tidak bereaksi secara kimiawi)
4. Tidak korosi.



Gambar 2.3 Bioball tipe Golf (kiri), Kaldness K5 (Kanan)

Pada penelitian ini media yang digunakan memakai kaldness K5 dikarenakan memiliki luas permukaan spesifik dan mudah ditemukan. MBBR umumnya menggunakan dua media biofilm, yaitu bioball dan Kaldness. Bioball memiliki kelemahan yaitu, tidak bisa leluasa dalam pergerakan perputaran didalam reactor MBBR. Sedangkan kaldness K5 memiliki ukuran yang lebih kecil dari bioball sehingga dapat tersuspensi lebih leluasa. Selain itu Kaldness K5 memiliki luas permukaan spesifik yang lebih besar daripada bioball, yang dimana bakteri yang melekat dapat lebih banyak pula di Kaldness K5 daripada bioball. Perbandingan

luas permukaan spesifik media biofilm yang banyak digunakan pada proses MBBR dapat dilihat pada tabel 2.6.

Tabel 2.6 Spesifikasi Luas Permukaan Media

No.	Jenis Media	Luas Permukaan Spesifik (m^2/m^3)
1.	Bioball	200-240
2.	Kaldnes	500-800
3.	Hydroxyl Media	400
4.	Kaldnes Flat Chip	1200

Sumber: Metcalf & Eddy

Sedangkan untuk media kaldnes sendiri memiliki berbagai macam luas permukaan yang berbeda beda. Berikut spesifikasi luas permukaan media kaldnes dari ukuran K1, K2, K3, dan K5 dapat dilihat pada tabel 2.7.

Tabel 2.7 Spesifikasi Media Kaldnes

Spesifik	Media Kaldnes			
	K1	K2	K3	K5
Diameter (mm)	7,1	15	25	25
Height (mm)	7,2	15	10	3,5
Bulk density (kg/m^3)	150	95	100	-
Biofilm Surface area (m^2/m^3)	500	350	500	800

2.2.9 Microbubble pump

Microbubble generator/pump adalah suatu solusi yang mampu mengatasi permasalahan air limbah dengan menerapkan teknologi yang lebih ramah lingkungan. Microbubble generator memiliki desain konstruksi yang lebih sederhana, dan terbukti lebih efektif di bandingkan teknologi pengolahan air limbah lainnya. Teknologi Microbubble generator ini difokuskan pada proses biologis, yaitu proses pengolahan air limbah dengan menggunakan bantuan bakteri aerob dalam menguraikan senyawa berbahaya yang terkandung di dalamnya.

Microbubble generator (MBG) adalah salah satu alat yang mampu meningkatkan oksigen terlarut dalam air (*Dissolve oxygen*) sehingga bakteri aerob dapat berkembangbiak dan melaksanakan tugasnya dalam menguraikan senyawa organik (Pradana dkk, 2016).

2.3 Hipotesis

Peneliti akan meneliti apakah metode *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR) mampu menurunkan COD, TDS dan $\text{NH}_3\text{-N}$ pada limbah tinja dengan konsentrasi zat organik yang tinggi berdasarkan jenis media kaldnes K5. Maka hipotesis pada penelitian ini adalah :

H0 = Tidak terjadi penyisihan COD, TDS, dan $\text{NH}_3\text{-N}$ limbah tinja pada metode *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR) menggunakan media kaldnes K5 dengan variasi waktu sampling dan volume isian media.

H1 = penurunan kadar COD, TDS, dan $\text{NH}_3\text{-N}$ limbah tinja pada metode *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR) menggunakan media kaldnes K5 dengan variasi waktu sampling dan volume isian media.

Pada penelitian ini ditandai dengan menempelnya biofilm pada media kaldnes K5. Dengan proses *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR) ini akan diketahui efisiensi penyisihan COD, TDS dan $\text{NH}_3\text{-N}$ yang prosesnya bergantung pada kinerja mikroorganisme yang akan menempel pada permukaan media Kaldnes K5.

2.4 Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang MBBR sebelumnya telah banyak dilakukan, diantaranya seperti pada Tabel 2.4 berikut :

Peneliti	Judul	Hasil Penelitian
Jusepa dan Herimurti (2017)	Pengolahan Lindi Menggunakan Moving Bed Biofilm Reactor dengan Proses Anaerobik-Aerobik-Anoksik	Efisiensi penyisihan optimum senyawa nitrogen mencapai 72% pada proses anoksik, 71% proses anaerobik, dan 68% proses aerobik. Efisiensi penyisihan optimum senyawa organik mencapai 88% pada proses anaerobik dan anoksik serta 87% pada proses aerobik.
Zizka Layly Ramadhanti dan Yayok Suryo Purnomo (2020)	Penurunan Kadar BOD, TSS, dan NH ₃ -N pada Air Limbah Rumah Potong Hewan dengan Menggunakan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)	Berdasarkan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa reaktor MBBR dengan volume media 60% dari volume limbah, dan jenis aerator halus pada waktu sampling 12 jam sangat efisien. Reaktor tersebut dapat menurunkan BOD sebesar 93,97%; TSS sebesar 86,09% NH ₃ -N sebesar 87,52%.
Imania dan Herumurti (2018)	Pengolahan Lindi Menggunakan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) dengan Pre-treatment Ozon untuk Menurunkan Konsentrasi COD	Pre-treatment dengan ozon optimum pada variasi waktu operasi 48 jam dengan reduksi mencapai 53,85%. Sedangkan, pengolahan lindi dengan MBBR optimum mereduksi COD pada variasi durasi proses aerobik 36 jam dan anoksik 9 jam dengan besar reduksi 92%.

Said dan Santoso (2015)	Penghilangan Polutan Organik Dan Padatan Tersuspensi Di Dalam Air Limbah Domestik Dengan Proses Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)	Efisiensi penyisihan COD sebesar 81,37%, BOD sebesar 82,4%, TSS sebesar 90,05%. Pada WTH 8 jam efisiensi penyisihan COD sebesar 88,72%, BOD sebesar 89,7%, TSS sebesar 92,06%. Pada WTH 6 jam efisiensi penyisihan COD sebesar 85,48%, BOD sebesar 80,15%, TSS sebesar 94,85%. Pada WTH 4 jam efisiensi penyisihan COD sebesar 81,07%, BOD sebesar 87,88%, TSS sebesar 94,86%.
Muhammad Al Kholif dan Erviana Febrianti (2019)	Penerapan Teknologi Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) Bermedia Kaldness dalam Menurunkan Pencemar Air Lindi	Penelitian dengan perbandingan 80% lindi: 20% air (Reaktor A) dan 60% lindi: 40% air (Reaktor B). Diperoleh nilai COD pada Reaktor A sebesar 73% dan Reaktor B sebesar 66%. Sedangkan nilai TSS pada Reaktor A sebesar 81% dan Reaktor B sebesar 92%.

Tabel 2.8 Penelitian Terdahulu

- Penelitian pengolahan senyawa nitrogen dan senyawa organik menggunakan MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) dan SBR (Sequencing Batch Reactor) dengan proses anaerobik, aerobik, dan anoksik menghasilkan kesimpulan bahwa efisiensi penyisihan optimum senyawa nitrogen mencapai 72% pada proses anoksik, 71% proses anaerobik, dan 68% proses aerobik. Proses anoksik memiliki efisiensi yang paling besar dikarenakan proses penyisihan nitrogen pada reaktor anoksik sampai pada pelepasan N₂ gas ke atmosfer. Efisiensi penyisihan optimum senyawa organik mencapai 88% pada proses anaerobik dan anoksik serta 87% pada proses aerobik (Jusepa dan Welly Herumurti, 2017).
- Efisiensi penurunan BOD, TSS dan NH₃-N dengan menggunakan MBBR pada air limbah rumah potong hewan. Media yang digunakan pada penelitian ini adalah media Kaldness K3 dengan variasi volume media yaitu kontrol, 15%, 30%, 45% dan 60%. Variasi kedua yaitu jenis aerator, aerator kasar dan aerator halus. Berdasarkan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa reaktor MBBR dengan volume media 60% dari volume limbah, dan jenis aerator halus pada waktu sampling 12 jam sangat efisien. Reaktor tersebut dapat menurunkan BOD sebesar 93,97%; TSS sebesar 86,09% NH₃-N sebesar 87,52% (Zizka dan Purnomo, 2020)
- Hasil penelitian menunjukkan bahwa pre-treatment dengan ozon dan MBBR optimum dalam mengoksidasi zat organik. Pre-treatment dengan ozon optimum pada variasi waktu operasi 48 jam dengan reduksi mencapai 53,85%. Sedangkan, pengolahan lindi dengan MBBR optimum mereduksi COD pada variasi durasi proses aerobik 36 jam dan anoksik 9 jam dengan besar reduksi 92% (Imania dan Welly, 2018).
- Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan waktu tinggal hidro (WTH) alam tangki aerasi 12 jam efisiensi penyisihan COD sebesar 81,37%, BOD sebesar 82,4%, TSS sebesar 90,05%. Pada WTH 8 jam efisiensi penyisihan COD

sebesar 88,72%, BOD sebesar 89,7%, TSS sebesar 92,06%. Pada WTH 6 jam efisiensi penyisihan COD sebesar 85,48%, BOD sebesar 80,15%, TSS sebesar 94,85%. Pada WTH 4 jam efisiensi penyisihan COD sebesar 81,07%, BOD sebesar 87,88%, TSS sebesar 94,86% (Said dan Santoso, 2015).

- Efisiensi penurunan beban pencemar limbah lindi menggunakan MBBR. Konsentrasi limbah lindi yang digunakan pada penelitian ini yaitu dengan perbandingan 80% lindi: 20% air (Reaktor A) dan 60% lindi: 40% air (Reaktor B). Desain reaktor MBBR yang digunakan yaitu skala laboratorium bervolume 0,012 m dengan debit rancangan 10 L/hari. Setelah dilakukan pengolahan dengan MBBR diperoleh nilai COD pada Reaktor A sebesar 73% dan Reaktor B sebesar 66%. Sedangkan nilai TSS pada Reaktor A sebesar 81% dan Reaktor B sebesar 92% (al Kholif, M., & Febrianti, D. E., 2019).