

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Air Limbah

Air limbah adalah sisa air yang digunakan dalam industri atau rumah tangga yang dapat mengandung zat tersuspensi dan zat terlarut. Air limbah adalah air yang dikeluarkan oleh industri akibat proses produksi dan pada umumnya sulit diolah karena biasanya mengandung beberapa zat seperti: pelarut organik zat padat terlarut, suspended solid, minyak dan logam berat (Metcalf dan Eddy, 2003).

Ditinjau dari sumber penghasilnya, air limbah dapat dibagi menjadi 3, yaitu:

a. Air Limbah Domestik

Sumber utama air limbah rumah tangga dari masyarakat berasal dari perumahan dan daerah perdagangan, daerah perkantoran, daerah fasilitas rekreasi. Buangan manusia sendiri terdiri dari tinja (*faeces*), urine, dan air penggelontor. Baku mutu air limbah domestik di Yogyakarta diatur dalam Peraturan Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta (Perda DIY) Nomor 7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah. Adapun lebih lanjut peraturan tersebut terletak pada nomor 48 tentang Baku Mutu Air Limbah Untuk Kegiatan IPAL Domestik Komunal, IPAL Tinja Komunal.

Tabel 1.1 Baku Mutu Air Limbah Perda DIY Nomor 7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah untuk

Parameter	Kadar Paling Banyak (mg/L)	Bahan Pencemar Paling Banyak (Kg/Ton)	
		IPAL Domestik Komunal	IPAL Tinja Komunal
BOD	75	9	1,5
COD	200	24	4
TDS	2.000	240	40
TSS	75	9	1,5
Minyak dan Lemak Total	10	1,2	0,2
Detergen	5	0,6	0,1
Suhu	3 <sup>0</sup> C terhadap suhu udara		
pH	6,0 - 9,0		
Coliform	10.000 MPN/100 ml	-	-
Debit Limbah Paling Banyak	-	120	120

Selain peraturan tersebut, terdapat Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Permen LHK) Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air

Limbah Domestik. Peraturan tersebut merupakan peraturan terbaru tentang baku mutu air limbah domestik yang diundangkan tanggal 2 September 2016. Oleh sebab itu, peraturan yang digunakan mengacu pada Permen LHK Nomor 68 tahun 2016.

Tabel 2.2 Baku Mutu Air Limbah Domestik Permen LHK Nomor 68 Tahun 2016

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6-9
BOD	mg/l	30
COD	mg/l	100
TSS	mg/l	30
Minyak dan lemak	mg/l	5
Amonia	mg/l	10
<i>Total Coliform</i>	Jumlah/100ml	3000
Debit	L/orang/hari	100

b. Air Limbah Non-Domestik (Air Limbah Industri)

Air limbah industri merupakan air bekas pemakaian yang berasal dari daerah bukan pemukiman seperti wilayah industri, rumah sakit, laboratorium dan lain sebagainya. Air limbah industri berasal dari proses dan operasi industri tersebut.

Jumlah aliran air limbah yang berasal dari industri sangat bervariasi tergantung dari jenis dan besar kecilnya industri, pengawasan pada proses industri, derajat penggunaan air, serta derajat pengolahan air limbah di industri yang bersangkutan. Untuk memperkirakan jumlah air limbah yang dihasilkan oleh industri yang tidak menggunakan proses basah diperkirakan sekitar 50 m<sup>3</sup>/ha/hari. Sebagai patokan dapat dipergunakan pertimbangan 85-95% dari jumlah air yang dipergunakan adalah berupa air limbah apabila industri tersebut tidak menggunakan kembali air limbah. Namun jika sebagian air limbah dimanfaatkan kembali, maka jumlah yang dibuang akan lebih kecil lagi.

c. Air Limbah Tambahan dan Rembesan

Air limbah tambahan merupakan air hujan yang melimpah dari saluran pengering atau saluran air hujan. Air limbah ini disebabkan oleh air hujan yang masuk melebihi daya tampung saluran sehingga limpahan air hujan akan digabung dengan saluran air limbah. Hal ini akan menjadi faktor tambahan yang sangat besar. Sehingga perlu diketahui curah hujan yang ada sehingga banyaknya air yang akan ditampung melalui saluran air hujan atau saluran pengering dan saluran air limbah dapat diperhitungkan (Sugiharto, 1987).

## 2.2 Gambaran Umum Perusahaan

Penelitian ini dilakukan di PT X yang terletak di Pajangan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Perusahaan ini memproduksi perangkat pengolahan limbah cair dan pembangunan sanitasi bersih untuk masyarakat Indonesia. Perusahaan yang berdiri sejak 2011 tersebut memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) domestic yang terletak di dalam perusahaan yang mana limbahnya bersumber dari

toilet dan dapur dari operasional perusahaan. Perusahaan ini memiliki jumlah karyawan sebanyak 50 orang dengan waktu operasi senin hingga jum'at dari pukul 08.00 hingga 17.00.

IPAL di PT X mulai beroperasi pada Februari 2016 dengan unit terdiri dari *Inlet*, biogas, bak pengumpul, *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR), dan *Horizontal Gravel Filter* (HGF). Pada April 2018, unit HGF sebagai pengolahan lanjutan setelah ABR digantikan dengan penggunaan *Membrane Bio Reactor* (MBR). Pengolahan utama MBR terdiri dari *anoxic tank*, *pre-aeration tank* dan bak unit MBR. MBR yang digunakan adalah jenis MBR tercelup yang menggunakan membran lembaran datar atau *flat-sheet*. Untuk lebih jelas mengenai unit pengolahan pada IPAL PT X, dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut.

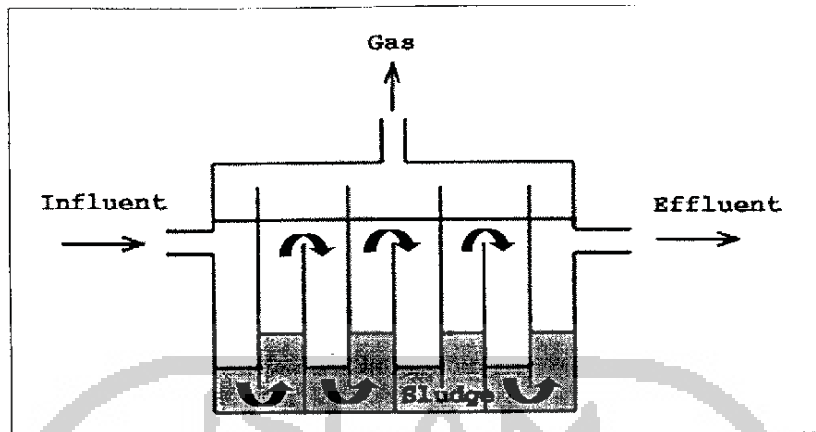
Tabel 2.3 Unit IPAL pada PT X

Unit IPAL	Jumlah	Dimensi (Meter)	Volume (m <sup>3</sup> )	HRT (Jam)
<i>Anaerobic Baffled Reactor</i>	1	Tinggi = 1,8 Tinggi air = 1,65 Lebar = 1,4 Panjang = 2,7	6,5	24
<i>Pre-Aeration Tank</i>	4	Tinggi = 1,2 Tinggi air = 0,84 Lebar alas = 0,6 Lebar atas = 1,02	2,89	10
<i>Membrane Bio Reactor</i>	1	Tinggi = 2,8 Tinggi air = 2,55 Lebar alas = 1,4 Lebar atas = 1,9	8,73	24

### 2.3 *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR)

ABR merupakan bioreaktor anaerob yang memiliki kompartemen-kompartemen yang dibatasi oleh sekat-sekat vertikal. ABR mampu mengolah berbagai macam jenis influen. Umumnya sebuah ABR terdiri dari kompartemen-kompartemen yang tersusun seri. Rangkaian kompartemen pada ABR secara seri memiliki keuntungan dalam membantu mengolah substansi yang sulit didegradasi (Sasse, 1998).

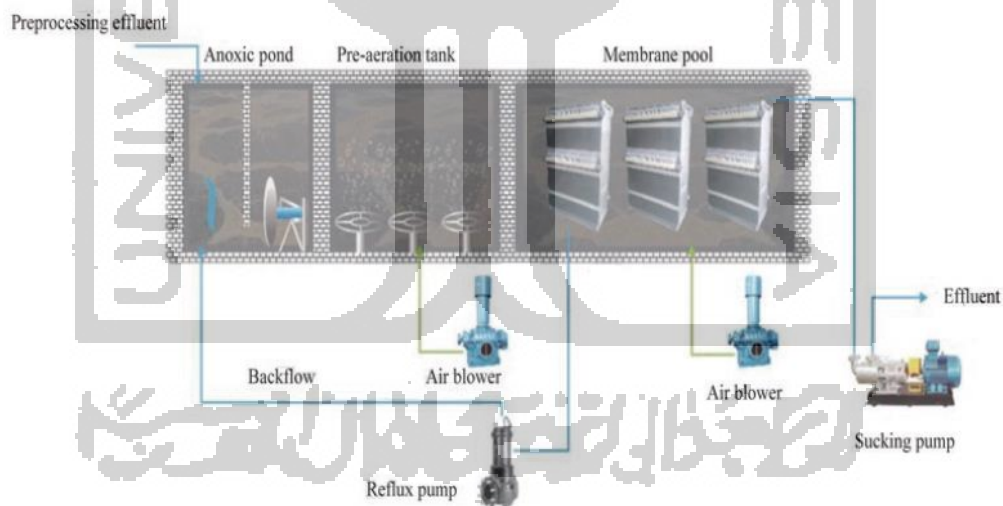
Sistem ABR mempunyai keunggulan, diantaranya kesederhanaan sistem, kebutuhan biaya yang rendah, waktu retensi lumpur yang panjang, waktu retensi hidraulik yang rendah, tidak diperlukan karakteristik biomassa khusus, kemudahan di dalam pengoperasian, timbulan lumpur yang rendah, stabil terhadap *shock loading*, serta dapat mengolah air limbah dengan variasi karakteristik air limbah. Mikroorganisme di dalam reaktor secara perlahan meningkat dan mengendap selama karakteristik aliran dan produksi gas. Meskipun demikian laju pergerakan sepanjang reaktor rendah. Laju dorong utama di belakang reaktor desain diperkaya oleh kapasitas retensi padatan (Foxon *et al.*, 2006).



Gambar 2.1 ABR dengan 4 kompartemen (Sumber: Tanaka, 2005)

#### 2.4 Membrane Bio Reactor (MBR)

MBR pertama kali diperkenalkan oleh akhir 1960-an setelah ultrafiltrasi komersial (UF) dan mikrofiltrasi (MF) membran dikembangkan. Proses MBR awalnya diperkenalkan oleh Dorr - Oliver Inc. dan merupakan kombinasi penggunaan bioreaktor berisi lumpur yang diaktifkan dengan *loop* filtrasi membran *crossflow*. Membran lembaran plat digunakan dalam proses ini adalah berupa polimer yang berukuran pori berkisar 0,003-0,01  $\mu\text{m}$  (Judd, 2006).

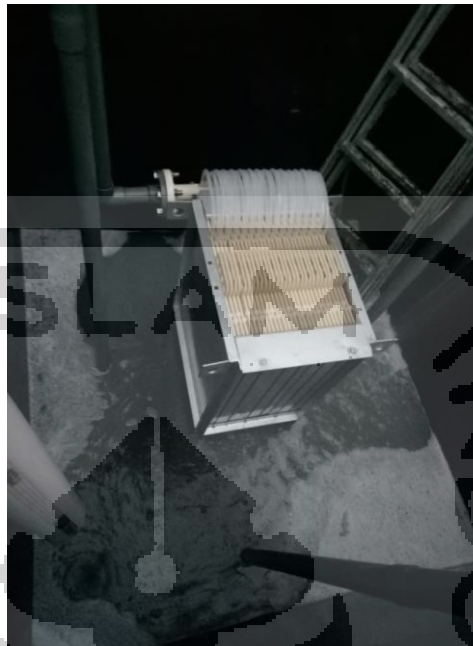


Gambar 2.2 Proses Utama dalam Membrane Bio Reactor

Sumber: (JIHUI Engineering Manual, 2018)

Sistem MBR telah digunakan untuk pengolahan limbah skala kecil ketika sistem pengolahan utama sedang berhenti dan limbah di-*bypass* selama waktu perawatan. Akan tetapi, sistem MBR kini banyak digunakan untuk pengolahan secara keseluruhan. Instalasi MBR direkomendasikan untuk selalu menambah satu unit membran lebih dari desain awal. Konsep ini merupakan perpaduan antara lumpur aktif konvensional dan proses membran (Crawford *et al*, 2000). MBR juga

menawarkan beberapa keuntungan, termasuk efisiensi yang tinggi, kualitas efluen yang sangat baik, serta produksi lumpur rendah (Le-Clech *et al*, 2006).



Gambar 2.3 Proses Instalasi MBR Ke Dalam Bioreaktor  
Sumber: (Dok. Pribadi)

Dalam kinerjanya, membran pada MBR yang berukuran kecil dihadapkan pada tertutupnya lapisan membran yang diakibatkan oleh penumpukan biomassa atau *fouling*. Cara mengatasi terjadinya *fouling* salah satunya adalah dengan melakukan pencuciandengan arah balik atau sering disebut *backwash*. Frekuensi banyaknya dan durasi lamanya *backwash* dapat dilakukan bervariasi disesuaikan dengan kebutuhan dari pengolahan tersebut. Hanya saja *backwash* yang dilakukan akan mempengaruhi kinerja membran sehingga dapat mempengaruhi pengolahan yang dilakukannya (Meng *et al*, 2007).

Tabel 2.4 Deskripsi MBR Flat-Sheet

Keterangan	Satuan	Kondisi operasi
Merk	-	Shandong Jinhui
MLSS	mg/l	8.000~15.000
Sludge Viscidity	Mpa	di bawah 250
DO	mg/L	di atas 1,0
pH	-	6-9
Suhu	°C	15-40
Ukuran Pori Membran	µm	0,1
Material	-	Poliviniliden flourida (PVDF)

Membran *fouling* dapat dikontrol melalui pembilasan dengan penggunaan kimia dan pemeliharaan membersihkan secara periodik di tempat (Le-Clech *et al* 2006). Back wash dapat dilakukan dengan pembilasan air serta aliran udara atau melalui membran untuk membersihkan pori-pori (Layson, 2003).

Selain itu, untuk mengukur kinerja MBR berjalan maksimal atau tidak dapat dilakukan dengan pengujian nilai fluks. Nilai fluks dan rejeksi merupakan parameter utama dalam menilai kinerja membran. Permeabilitas merupakan kecepatan permeasi, yang diartikan sebagai volume yang melewati membran persatuan luas dalam satuan waktu tertentu dengan gaya penggerak berupa tekanan. Nilai koefisien permeabilitas air murni menunjukkan kemudahan molekul air untuk melewati membran. Semakin tinggi nilai koefisien permeabilitas, menunjukkan semakin mudah air untuk melewati membran. Permeabilitas membran dilihat dari nilai fluks (Wenten, 1999).

Rumus Fluks :

$$J=Q/S = (V/t)/S$$

Keterangan:

J= filtrate flux (L/h.m<sup>2</sup>)

V= Volume (L)

Q=filtrate flow (L/h)

S= luas area membran (m<sup>2</sup>)

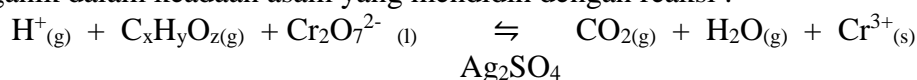
## 2.5 Chemical Oxygen Demand (COD)

COD adalah jumlah oksigen (mg/O<sub>2</sub>) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam 1 liter sampel air, dimana pengoksidasi K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> digunakan sebagai sumber oksigen. Dengan mengukur nilai COD diperoleh nilai yang menyatakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk proses oksidasi terhadap total senyawa organik baik yang mudah diuraikan secara biologis maupun terhadap senyawa yang sukar/ tidak bisa diuraikan secara biologis (Barus, 2004).

Faktor- faktor yang mempengaruhi COD yaitu oksigen terlarut, zat organik dan sumber pencemar lainnya. Kelarutan oksigen di dalam air, tergantung pada suhu, tekanan oksigen dalam atmosfer, serta kandungan garam dalam air. Kadar COD dalam air limbah akan berkurang seiring dengan berkurangnya konsentrasi bahan organik yang terdapat dalam air limbah (Boyd, 1990).

Pengujian COD digunakan untuk mengukur padanan oksigen dari bahan organik dalam air limbah yang dapat dioksidasi secara kimiawi dengan penggunaan dikromat pada larutan asam. Meskipun diharapkan bahwa nilai BOD tertinggi mendekati COD, namun hal ini jarang sekali terjadi dalam praktek (Linsley dan Franzini , 1991).

Dalam tes COD digunakan larutan K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> untuk mengoksidasikan zat-zat organik dalam keadaan asam yang mendidih dengan reaksi :



Dimana perak sulfat ( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ ) berperan sebagai katalisator yang berfungsi untuk mempercepat reaksi (katalis) sedangkan  $\text{AgSO}_4$ , ditambah untuk menghilangkan ion klorida yang ada dalam air buangan (Barus, 2004)

## 2.6 Amonia ( $\text{NH}_3$ )

Amonia ( $\text{NH}_3$ ) dan garam-garamnya bersifat mudah larut dalam air. Ion ammonium merupakan bentuk transisi dari amonia. Selain terdapat dalam bentuk gas, amonia membentuk kompleks dengan beberapa ion logam. Amonia banyak digunakan dalam proses produksi urea, industri bahan kimia, serta industri bubur kertas dan kertas. Amonia yang terukur di perairan berupa amonia total ( $\text{NH}_3$  dan  $\text{NH}_4^+$ ). Amonia bebas tidak dapat terionisasi, sedangkan amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) dapat terionisasi (Effendi, 2003).

Konsentrasi amonia yang tinggi pada permukaan air menyebabkan kematian ikan pada perairan tersebut. Nilai pH sangat mempengaruhi apa jumlah amonia yang ada akan bersifat racun atau tidak. Pada kondisi pH rendah akan beracun bila jumlah amonia banyak, sedangkan pada pH tinggi hanya dengan jumlah amonia yang rendah sudah bersifat racun (Jenie, 1993).

Gas amonia adalah larut dalam air, bereaksi dengan air membentuk amonium hidroksida. Oleh karena ionisasi ini dalam air membentuk  $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ , pada pH tinggi, gas amonia bebas ada dalam bentuk tak terionisasi. Pada pH dari pasokan air pada umumnya, amonia secara sempurna diionisasi (Effendi, 2003).



(Peningkatan dari  $\text{OH}^-$  mengarahkan reaksi ke kiri).

## 2.7 *Biological Oxygen Demand* (BOD)

BOD atau *Biological Oxygen Demand* adalah suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik (Metcalf dan Eddy, 2003).

BOD adalah suatu ukuran jumlah oksigen yang digunakan oleh populasi mikroba yang terkandung dalam perairan sebagai respon terhadap masuknya bahan organik yang dapat diurai. Dari pengertian-pengertian ini dapat dikatakan bahwa walaupun nilai BOD menyatakan jumlah oksigen, tetapi untuk mudahnya dapat juga diartikan sebagai gambaran jumlah bahan organik mudah urai (*biodegradable organics*) yang ada di perairan (Mays, 1996).

Nilai BOD juga didefinisikan sebagai kebutuhan oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme selama penghancuran bahan organik dalam waktu tertentu pada suhu  $20^\circ\text{C}$ . Oksidasi biokimiawi ini merupakan proses yang lambat dan secara teoritis memerlukan reaksi sempurna (95-99%) dalam waktu 20 hari sedangkan dalam waktu 5 (lima) hari seperti yang umum digunakan untuk pengakuran BOD kesempurnaan oksidasinya mencapai 60-70%. Suhu  $20^\circ\text{C}$  digunakan karena merupakan nilai rata-rata untuk daerah perairan arus lambat di daerah iklim sedang (Achmad, 2004).

Berkurangnya oksigen selama oksidasi ini sebenarnya selain digunakan untuk oksidasi bahan organik, juga digunakan dalam proses sintesa sel serta oksidasi sel dari mikroorganisme. Oleh karena itu uji BOD ini tidak dapat

digunakan untuk mengukur jumlah bahan-bahan organik yang sebenarnya terdapat di dalam air, tetapi hanya mengukur secara relatif jumlah konsumsi oksigen yang digunakan untuk mengoksidasi bahan organik tersebut. Semakin banyak oksigen yang dikonsumsi, maka semakin banyak pula kandungan bahan-bahan organik di dalamnya (Kristanto, 2002).

## 2.8 Total Coliform

Bakteri coliform merupakan golongan mikroorganisme yang lazim digunakan sebagai indikator, di mana bakteri ini dapat menjadi sinyal untuk menentukan suatu sumber air telah terkontaminasi oleh patogen atau tidak (Pracoyo, 2006). Contoh mikroba yang tergolong ke dalam *coliform* adalah Streptococcus, Aerobacter, dan Escherichia (Winarno & Fardiaz, 1977).

Bakteri dalam golongan ini menjadi indikator utama dalam pencemaran di dalam air karena kelompok bakteri tersebut mampu hidup dalam air yang sangat kotor serta mampu diidentifikasi secara spesifik sehingga semakin banyak jumlah *Total Coliform* maka kualitas air tersebut semakin buruk (Wahjuningsih, 2001)

Most Probable Number (MPN) adalah metode mikroorganisme yang menggunakan data dari hasil pertumbuhan mikroorganisme pada medium cair spesifik dalam seri tabung yang ditanam dari sampel padat atau cair sehingga dihasilkan kisaran jumlah mikroorganisme dalam jumlah perkiraan terdekat (Harti, 2005).

Metode perhitungan MPN sering digunakan dalam pengamatan untuk menghitung jumlah bakteri yang terdapat di dalam tanah seperti Nitrosomonas dan Nitrobacter. Kedua jenis bakteri ini memegang peranan penting dalam meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman, sehubungan dengan kemampuannya dalam mengikat N<sub>2</sub> dari udara dan mengubah amonium menjadi nitrat (Suriawiria, 2005).

Dalam Buku Dasar-dasar Mikrobiologi (Dwidjoseputro, 2005) langkah pengujian bakteri dalam air adalah sebagai berikut:

### 1. Uji dugaan (*Presumptive Test*)

Pada pengujian ini digunakan tabung reaksi yang berisi media *Lactosa Broth* (LB) ganda dan tunggal dan tabung Durham pada posisi terbalik. Volume inoculum bergantung pada asal-usul sampel, jika diduga sampel banyak mengandung bakteri maka 1 ml dari sampel telah cukup. Pada media ini diinkubasi dalam waktu 48 jam, jika timbulnya gelembung dan keruh pada tabung Durham maka dinyatakan positif. Sedangkan jika tidak terdapat gelembung dan keruh, maka dinyatakan negatif.

### 2. Uji kepastian (*Confirmed Test*)

Sampel yang dinyatakan positif pada uji dugaan, kemudian ditanamkan pada media *Brilliant Green Lactosa Broth* (BGLB). BGLB berguna untuk menghambat pertumbuhan bakteri Gram positif dan meningkatkan pertumbuhan bakteri golongan kolon. Jika timbul gas sebelum waktu inkubasi berakhir atau 48 jam maka tes ini dinyatakan positif. Indeks Metode Most Probable Number (MPN) dapat dilihat di table berikut.



Tabel 2.5 Indeks Metode MPN per 100 ml Sampel dengan tiga jenis pengenceran

Jumlah TB. (+) Gas pd penanaman			Index MPN per 100 ml	Jumlah TB. (+) Gas pd penanaman			Index MPN per 100 ml
$\times 10$ ml	$\times 1$ ml	$\times 10$ ml		$\times 10$ ml	$\times 1$ ml	$\times 0,1$ ml	
0	0	0	0	2	0	0	10
0	0	1	3	2	0	1	14
0	0	2	6	2	0	2	19
0	0	3	9	2	0	3	24
0	1	0	3	2	1	0	15
0	1	1	6	2	1	1	20
0	1	2	9	2	1	2	25
0	1	3	12	2	1	3	30
0	2	0	6	2	2	0	21
0	2	1	9	2	2	1	26
0	2	2	12	2	2	2	31
0	2	3	16	2	2	3	37
0	3	0	9	2	3	0	27
0	3	1	13	2	3	1	33
0	3	2	16	2	3	2	38
0	3	3	19	2	3	3	44
1	0	0	4	3	0	0	29
1	0	1	7	3	0	1	39
1	0	2	11	3	0	2	49
1	0	3	14	3	0	3	60
1	1	0	7	3	1	0	46
1	1	1	11	3	1	1	58
1	1	2	15	3	1	2	72
1	1	3	18	3	1	3	86
1	2	0	11	3	2	0	76
1	2	1	15	3	2	1	95
1	2	2	19	3	2	2	116
1	2	3	23	3	2	3	139
1	3	0	15	3	3	0	190
1	3	1	19	3	3	1	271
1	3	2	23	3	3	2	438
1	3	3	27	3	3	3	1898

## 2.9 Penelitian Sebelumnya

Tabel 2.6 memberikan gambaran mengenai penelitian-penelitian terdahulu yang terdiri nama peneliti dan tahun penelitian, metode dan hasil penelitian.

Tabel 2.6 Penelitian Sebelumnya

Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
P Grélot <i>et al</i> (2010)	<i>Performances and fouling control of a flat sheet membrane in a MBR pilot-plant</i>	Efisiensi dari <i>MBR Flat sheet</i> ini ditinjau dari parameter TSS adalah 100%; COD adalah 96,6%, TN adalah 54%, TP adalah 31% dan <i>Total Coliform</i> adalah 6,9 log
Aryanti <i>et al</i> (2013)	Kinerja Membran Ultrafiltrasi Untuk Pengolahan Limbah Emulsi Minyak-Air Sintesis	Efisiensi COD membran <i>polyethersulfone</i> sebesar 98% dan minyak sebesar 98%. Untuk emulsi minyak pelumas, 94% COD dan. Sedangkan untuk emulsi minyak solar, rejeksi COD sebesar 90% dan rejeksi minyak sebesar 98%
Sari dan Sirait (2014)	Studi Perbandingan Kinerja Membran Bioreaktor (MBR) dan Submerged Membran Bioreaktor (SMBR) Pada Pengolahan Limbah Cair	Removal COD pada MBR diantara 68,5-93,6% dan SMBR diantara 60-92%

Dalam Tabel 2.6 di atas dapat diketahui bahwa penggunaan MBR untuk menurunkan parameter air limbah telah dilakukan dalam beberapa penelitian sebelumnya seperti yang disebutkan di atas. Efisiensi penggunaan MBR ditinjau dari parameter COD, TSS, dan *Total Coliform* memiliki efisiensi yang tinggi. Sedangkan untuk *Total Nitrogen* dan *Total Phosphorus* efisiensinya tergolong rendah.

Tingginya efisiensi tersebut diakibatkan oleh ukuran pori membran yang kecil serta kemampuan MBR dalam menjaga nilai fluks. Sehingga konsentrasi terlarut dalam air limbah dapat berkurang dengan maksimal. Pada parameter *Total Nitrogen* dan *Total Phosphorus*, efisiensi MBR tergolong rendah karena MBR tidak didesain untuk mengoptimalkan proses nitrifikasi/denitrifikasi.