

# Penerapan Teknologi Membran untuk Mengolah Limbah Cair Industri Tahu (Studi Kasus: UKM Sari Bumi, Kabupaten

Moh. Risky Maulana dan Bowo Djoko Marsono  
Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
e-mail: bowodjok@enviro.its.ac.id

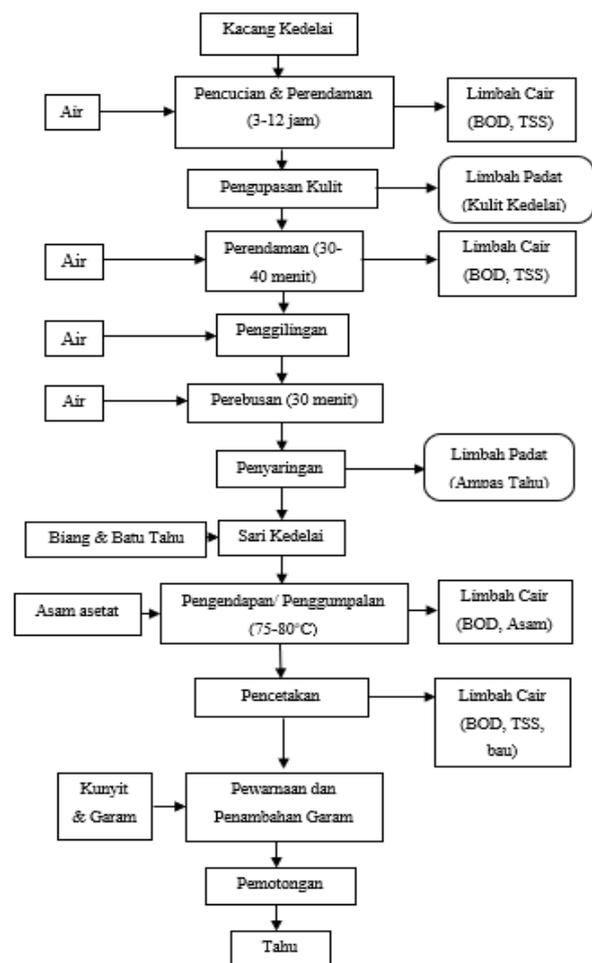
**Abstrak**—Limbah cair industri tahu hingga saat ini masih sering dibuang ke badan air tanpa melalui proses pengolahan sebelumnya. Limbah cair ini mengandung zat organik (BOD, COD, TSS) yang sangat tinggi. Hal ini dapat mencemari badan air dan merusak biota perairan. IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) industri tahu pada umumnya menggunakan sistem pengolahan konvensional antara lain secara biologis yaitu aerobik, anaerobik, kombinasi aerob dan anaerob, gabungan fisik kimiawi dan fitoremediasi. Kekurangan sistem konvensional adalah membutuhkan lahan yang sangat luas. Saat ini penggunaan teknologi membran sedang populer dalam pengolahan air limbah baik domestik maupun industri. Teknologi membran memiliki keunggulan seperti rendah konsumsi energi, tidak membutuhkan tambahan bahan kimia dalam pengoperasiannya sehingga tidak menghasilkan limbah lainnya, pengoperasian dan perawatan cukup mudah, dan tidak membutuhkan lahan yang luas. Hasil kajian pada Industri Tahu Sari Bumi di Kabupaten Sumedang menunjukkan bahwa untuk mengolah limbah cair tahu menggunakan teknologi membran harus didahului dengan pra-pengolahan. Pada studi kasus ini digunakan opsi pra-pengolahan menggunakan biofiltrasi anaerobik dengan efisiensi mencapai 70%. Teknologi membran yang diterapkan sendiri menggunakan MBR dengan konfigurasi membran terendam menggunakan jenis ultrafiltrasi. Rangkaian pengolahan ini dapat memiliki efisiensi sampai 90%.

**Kata Kunci**—Limbah Cair Tahu, Pengolahan Limbah Cair Tahu, Membran.

## I. PENDAHULUAN

**T**AHU merupakan salah satu jenis panganan yang sudah tidak asing bagi masyarakat Indonesia. Produksi tahu di Indonesia sendiri masih banyak dilakukan oleh masyarakat menengah kebawah dalam skala rumahan (*home industry*) dimana ada sekitar 84.000 industri tahu saat ini [1]. Hal inipun memunculkan masalah lain dari buangan limbah hasil produksi tahu yang cukup besar dan tidak diolah dikarenakan biaya yang cukup mahal dan kurangnya pengetahuan dalam pengolahan limbah oleh produsen tahu itu sendiri [2].

Industri tahu di Indonesia menggunakan sekitar 2,56 juta ton kacang kedelai setiap tahunnya untuk membuat tahu dimana dari jumlah ini dihasilkan limbah cair tahu rata-rata 20 juta m<sup>3</sup>/tahun dan limbah padat tahu sekitar 1,024 juta ton [3]. Apabila limbah padat tahu masih banyak memiliki manfaat seperti menjadi pakan ternak atau dijadikan tempe gembus, berbeda dengan limbah cair tahu yang sampai saat ini masih sering dibuang langsung ke badan air dan tidak pernah diolah sehingga menimbulkan masalah baru di lingkungan khususnya pada badan air. Limbah cair tahu ini dihasilkan dari beberapa proses antara lain pencucian, perebusan, pengepresan dan pencetakan tahu. Karena berasal dari beberapa proses itulah limbah cair tahu memiliki



Gambar 1. Diagram Alir Limbah Cair Tahu.

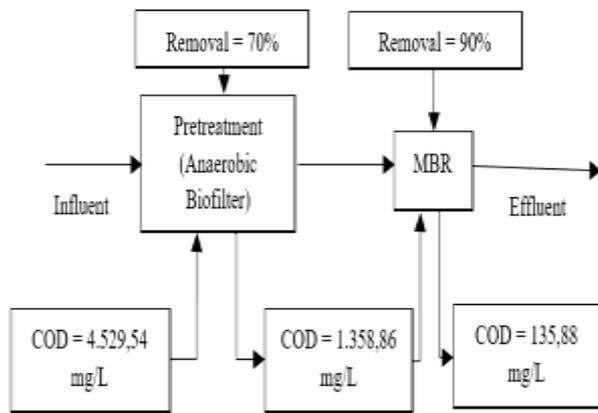
kandungan *Total Suspended Solid* (TSS), *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) yang sangat tinggi [4]. Beberapa penelitian juga menyebutkan bahwa kandungan limbah cair tahu juga memiliki kadar NH<sub>4</sub> (amonia) dan PO<sub>4</sub> (phosphat) yang cukup tinggi. Amonia dan phosphat sendiri merupakan salah satu agen penyebab eutrikasi pada badan air [5].

Penelitian pada kandungan organik limbah cair tahu sendiri sudah pernah dilakukan dan didapatkan range COD antara 6.870-10.800 mg/L, BOD antara 5.643-6.870 mg/L, TSS antara 400-700 mg/L, NH<sub>4</sub> antara 44-59,3 mg/L dan PO<sub>4</sub> antara 80,5-82,6 mg/L [6]. Kandungan organik ini masih sangat jauh dari baku mutu limbah cair industri tahu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI No. 5 Tahun 2014 dimana nilai maksimum untuk BOD adalah 150 mg/L, COD 300 mg/L dan TSS 200 mg/L agar diperbolehkan dibuang ke badan air.

Penelitian terkait pengolahan limbah cair industri tahu

Tabel 1.  
Baku Mutu Limbah Cair Industri Tahu

Parameter	Kadar (mg/L)	Beban (kg/ton)
BOD	150	3
COD	300	6
TSS	200	4
pH	6-9	
Kuantitas air limbah paling tinggi (m <sup>3</sup> /ton)	20	



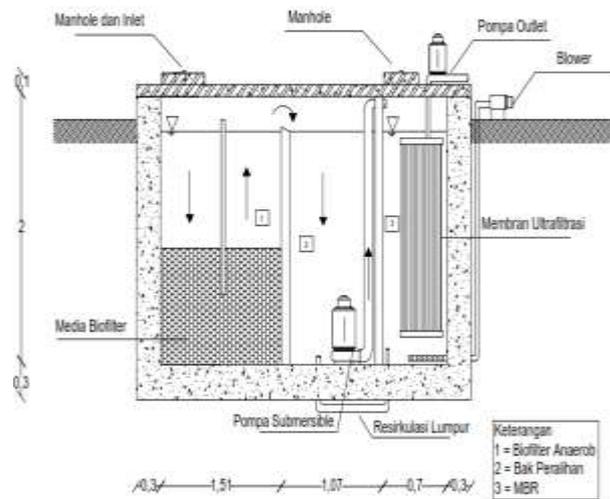
Gambar 2. Skenario Pengolahan Limbah Tahu UKM Sari Bumi.

telah banyak dilakukan sebelumnya dari yang menggunakan konvensional seperti sistem biologis menggunakan aerob, anaerob dan kombinasi aerob-anaerob, menggunakan gabungan fisik kimiawi dengan pembubuhan koagulan, menggunakan tumbuhan melalui mekanisme *phytoremediation*, dan menggunakan teknologi membran [7–10].

Saat ini penggunaan teknologi membran menjadi sangat populer dalam pengolahan air limbah domestik. Hal ini dikarenakan teknologi ini mampu mengurangi kadar polutan pada air limbah dengan efisiensi yang cukup tinggi [11]. Selain itu beberapa kelebihan teknologi membran seperti rendah konsumsi energi, tidak membutuhkan tambahan bahan kimia dalam pengoperasiannya sehingga tidak menghasilkan limbah lainnya, pengoperasian dan perawatan cukup mudah, dan tidak membutuhkan lahan yang luas [12]. Kelebihan pada teknologi membran ini sangat menjanjikan dalam pengolahan air limbah domestik secara luas kedepannya.

Jenis-jenis teknologi membran yang sering digunakan adalah *microfiltration*, *ultrafiltration*, *nanofiltration*, *reverse osmosis*, *electrodialysis*, *osmotic evaporation*, *liquid membran* dan *pervaporation* [13]. Berbagai jenis macam membran ini dipilih sesuai kebutuhan pengolahan air limbahnya. Pada beberapa penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa efisiensi pengolahan limbah cair tahu menggunakan membran ultrafiltrasi mencapai 91,68 % [10]. Sedangkan kombinasi membran ultrafiltrasi dengan *reverse osmosis* menunjukkan efisiensi pengolahan yang cukup besar yaitu 99,28 % [14].

Beberapa penjelasan diatas dapat kita ketahui bahwa pengolahan limbah cair tahu menggunakan teknologi membran dapat menjadi salah satu alternatif yang cukup efektif dalam mengurangi zat pencemar pada limbah cair tahu. Analisis literatur secara mendalam diperlukan guna mengetahui kemampuan teknologi membran dalam



Gambar 3. Skema Alur Pengolahan.

mengurangi zat pencemar dalam limbah cair tahu. Setelah dilakukan studi literatur, diambil studi kasus atas kajian yang telah dilakukan sebagai pemecahan masalah terhadap permasalahan yang ada.

## II. METODE PENULISAN

Metode penulisan menggunakan kaidah penulisan studi literatur dengan mengumpulkan dan mengkaji berbagai pustaka. Studi literatur dilakukan dengan menelusuri berbagai referensi yang berkaitan dengan masalah limbah cair tahu, penggunaan teknologi membran, serta pemilihan membran ultrafiltrasi dalam pengolahan limbah cair tahu. Dari hasil penelusuran referensi ini kemudian disusun kembali dengan bahasa penulis sendiri. Setelah dikumpulkan dan dikaji kemudian dilakukan studi kasus pada suatu industri tahu. Studi kasus dilakukan pada UKM (Usaha Kecil Menengah) Sari Bumi yang terletak di Kabupaten Sumedang, Jawa Barat. Studi kasus dalam penulisan ini adalah tinjauan kasus pencemaran badan air yang disebabkan oleh pembuangan limbah cair tahu tanpa melalui pengolahan terlebih dahulu dengan referensi dari berbagai literatur yang telah dipelajari. Data yang diambil mengenai kasus pencemaran akibat pembuangan limbah cair tahu merupakan data sekunder. Data yang didapat dianalisa dengan studi literatur yang telah dipelajari sebelumnya.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Limbah Industri Tahu

Proses produksi tahu dibutuhkan bahan utama yaitu kacang kedelai yang mudah didapatkan di pasaran sehingga tidak heran jika industri ini banyak berasal dari masyarakat golongan menengah ke bawah. Selain itu, proses pembuatan tahu yang cukup mudah serta tidak dibutuhkan keterampilan khusus dan permintaan konsumen tahu yang cukup tinggi menjadikan industri ini sebuah peluang usaha yang menjanjikan. Prinsip utama dalam proses pembuatan tahu adalah penggumpalan (pengendapan) protein susu kedelai dengan bantuan agen penggumpal yaitu batu tahu (CaSO<sub>4</sub>), asam cuka (CH<sub>3</sub>COOH) dan biang/kecutan (sisa cairan dari tahap penggumpalan), kunyit dan garam [7]. Proses pembuatan tahu sendiri terdiri dari beberapa tahapan antara lain perendaman, penggilingan, pemasakan, penyaringan,

Tabel 2.  
Neraca Massa Pembuatan Tahu UKM Sari Bumi

Proses	Bahan Masuk (kg)			Bahan Keluar (kg)			Efisiensi (%)
	Produk	Air	Jumlah	Produk	Limbah	Jumlah	
Perendaman	10	18,2	28,2	14,7	13,5	28,2	52,13
Pencucian	14,7	18,2	32,9	14,7	18,2	32,9	44,68
Penggilangan	14,7	28	42,7	42,7	0	42,7	100
Pemasakan bubur	42,7	209,1	251,8	247,3	0*	247,3	98,21
Penyaringan	247,3	76,8	324,1	307,7	16,4	324,1	94,94
Penggumpalan	307,7	50,9	358,6	194,3	163,6	358,6	54,18
Pencetakan	194,3	0	194,3	33,8	160,5	194,3	17,4
Jumlah	831,5	401,7	1.232,6	855,2	372,9	1.228,1	69,38

Keterangan:

\* = selisih input dan output sebesar 4,5 kg adalah air yang teruapkan selama proses pemasakan

pengasaman, penggumpalan, pencetakan/pengerasan, pewarnaan dan pemotongan. Dari beberapa tahapan ini dihasilkan limbah tahu yang terdiri dari 2 jenis yaitu limbah padat dan limbah cair. Gambar 1 akan menjelaskan proses penghasilan limbah pada industri tahu [7-8].

### B. Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu

Secara umum karakteristik limbah cair dapat digolongkan menjadi 3 sifat yaitu fisika, kimia dan biologi. Akan tetapi pada limbah cair industri biasanya hanya terdiri dari karakteristik fisik dan kimia saja. Pada limbah cair tahu sendiri parameter yang menunjukkan karakteristik limbah cair adalah sebagai berikut:

#### 1) Padatan Tersuspensi

Padatan tersuspensi pada proses pembuatan tahu ini terjadi ketika air bersih membawa zat yang terkandung dalam proses perendaman, pencucian, dan pencetakan. Range nilai TSS pada limbah cair tahu adalah 380-700 mg/L [1], [6], [9].

#### 2) Derajat Keasaman

Nilai pH sendiri sangat berpengaruh dalam proses pengolahan air limbah khususnya pada proses biologis. Nilai pH limbah cair tahu cenderung asam pada range 3,9-5,53 karena pada prosesnya banyak menggunakan cairan asam untuk agen penggumpalannya [1], [9].

#### 3) Biochemical Oxygen Demand

BOD merupakan parameter yang sering digunakan dalam pengolahan air limbah. BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi seluruh zat organik yang ada pada air limbah [15]. Biasanya BOD diekspresikan sebagai BOD<sub>5</sub> atau pengukuran BOD selama 5 hari. Pada limbah cair tahu nilai BOD sangatlah tinggi karena pada proses pembuatan tahu sendiri melibatkan banyak bahan-bahan organik. Nilai BOD pada limbah tahu berkisar antara 5.643-6.870 mg/L [6].

#### 4) Chemical Oxygen Demand

COD merupakan parameter yang menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi seluruh material organik dan anorganik pada air limbah. Perbandingan nilai BOD dan COD sangat berpengaruh dalam pemilihan proses pengolahan pada air limbah. Nilai COD pada limbah cair tahu berkisar antara 6.870-10.500 mg/L [6].

#### 5) Total Nitrogen

Parameter N-Total merupakan campuran senyawa kompleks antara lain asam amino, gula amino dan protein (polimer asam amino). Senyawa organik pada limbah cair tahu akan mengalami penguraian oleh mikroorganisme

menjadi karbondioksida (CO<sub>2</sub>), air (H<sub>2</sub>O) dan ammonium (NH<sub>3</sub>). Kadar NH<sub>3</sub> pada limbah cair tahu berkisar antara 44 - 59,3 mg/L [6]. Sedangkan kadar N-total pada limbah cair tahu berkisar antara 223,06-434,78 mg/L [16].

### C. Baku Mutu Limbah Industri Tahu

Baku mutu limbah cair tahu di Indonesia diatur oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Indonesia No. 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah. Baku mutu limbah industri tahu dijelaskan pada Tabel 1.

### D. Teknologi Membran

Prinsip utama pengolahan menggunakan teknologi membran adalah filtrasi. Influent dari air limbah dilewatkan pada membran kemudian zat pencemar yang mempunyai ukuran lebih besar daripada ukuran pori membran akan tertahan pada membran sehingga air yang melewati membran akan bersih [17]. Istilah yang sering digunakan pada teknologi membran antara lain *feed water*, *permeate* dan *retentate*. *Feed water* adalah influent air limbah yang dimasukkan ke dalam sistem membran untuk kemudian diolah. *Permeate* adalah air limbah yang masuk dan melewati membran sedangkan *retentate* adalah air limbah yang tidak melewati membran (juga disebut *concentrate*, *reject* dan *waste stream*). Selain itu terdapat istilah pada membran yaitu *flux* dimana nilai ini merupakan laju *permeate* melewati membran sebagai L/m<sup>2</sup>.h atau L/m<sup>2</sup>.d. Nilai *flux* ini digunakan untuk mengukur kinerja pada sistem membran. Nilai ini sendiri dapat bersinonim dengan *hydraulic loading rate* (HLR) pada sistem filter [15].

### E. Membrane Bio Reactor

*Membrane Bio Reactor* (MBR) adalah jenis terbaru pengolahan air limbah baik domestik maupun industri yang menggabungkan antara dua pengolahan yaitu lumpur aktif konvensional dan membran [18]. Saat ini pengolahan menggunakan MBR sudah banyak diterapkan di seluruh dunia. Selain menggabungkan antara dua pengolahan tersebut, MBR juga dapat mengganti peran bak pengendap II karena pada reaktor yang sama dapat memisahkan padatan (*sludge*) dan cairan [19]. Berikut adalah keuntungan dari penggunaan MBR.

1. Pengurangan mikroorganisme pada effluent
2. OLR sangat tinggi (2-4 kg COD/m<sup>3</sup>.hari)
3. MLVSS sangat tinggi (10.000-20.000 mg/L)
4. Penggunaan oksigen (aerasi) yang efisien
5. SRT yang lama (30-100 hari)
6. 35-45% produksi lumpur yang lebih sedikit

- 7. Mendukung pertumbuhan bakteri yang lambat
- 8. Mencegah terbentuknya bulking agent

**F. Proses di Industri Tahu UKM Sari Bumi**

Hasil penelitian yang di UKM Tahu Sumedang Sari Bumi menunjukkan bahwa setiap 10 kg kedelai yang diolah diperlukan air untuk proses pengolahan sebanyak 401,2 L atau setara dengan 401,2 kg. Air ini berasal dari 350,3 L air tanah dan 50,9 L biang tahu. Dari hasil pengolahan ini didapatkan produk utama tahu sebanyak 33,8 kg dengan produk sampingan limbah cair sebanyak 305,6 L, limbah padat ampas tahu sebanyak 16,4 kg dan sebagian air biang (dipakai kembali) untuk proses pembuatan tahu selanjutnya sebanyak 50,9 L. Air yang terbuang dalam proses pemasakan sebanyak 4,5 L [20]. Prosentase hasil proses dalam pembuatan tahu ini adalah produk utama tahu sebesar 8,23%, limbah padat (ampas tahu) sebesar 3,99% dan limbah cair tahu sebesar 71,29%. Efisiensi total keseluruhan proses pada pembuatan tahu ini sebesar 69,38%. Pada Tabel 2 akan dijelaskan neraca massa pada proses pengolahan tahu di UKM Tahu Sumedang Sari Bumi beserta efisiensinya.

Berdasarkan kualitas air limbah yang dihasilkan oleh UKM Tahu Sumedang Sari Bumi masih sangat jauh dari baku mutu yang ditetapkan pemerintah khususnya BOD dan COD sehingga dapat menimbulkan pencemaran apabila limbahnya tidak diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke badan air. Pada Tabel 3 akan disajikan kualitas limbah cair UKM Tahu Sumedang Sari Bumi.

**G. Skenario Pengolahan Limbah Cair Tahu**

Industri tahu merupakan industri menengah kebawah sehingga alternatif pengolahan yang dipilih harus memiliki biaya yang paling rendah tetapi cukup efisien dan juga mudah dioperasikan. Pengolahan dengan hanya menggunakan MBR saja tidak akan berjalan optimal dan potensi untuk *fouling* sangat besar sehingga dibutuhkan pra pengolahan. Limbah cair tahu memiliki parameter organik yang sangat tinggi. Sehingga dibutuhkan pra pengolahan yang tepat untuk membantu menurunkan kandungan organik di dalamnya. Pra pengolahan yang digunakan untuk limbah dengan parameter organik tinggi harus didahulukan dengan proses anaerobik.

Skenario pengolahan limbah cair tahu yang dihasilkan industri tahu dialirkan terlebih dahulu kedalam bak biofilter dalam keadaan anaerobik. Setelah itu, limbah akan dimasukkan kedalam MBR dengan membran terendam dalam keadaan aerobik dengan bantuan penambahan udara melalui aerator dan effluent dari MBR akan ditampung pada bak effluent yang kemudian dapat dibuang langsung ke badan sungai. Skenario pengolahan dengan penjelasan neraca massanya disajikan pada Gambar 2.

**H. Analisis Kebutuhan Lahan**

Analisis kebutuhan lahan berkaitan dengan desain pada instalasi pengolahan limbah cair. Pada studi kasus ini diketahui limbah cair tahu yang dihasilkan sebanyak 305,6 L setiap 10 kg kedelai yang diolah menjadi tahu. UKM Sari Bumi setiap harinya mampu mengolah 50-100 kg kedelai sehingga debit limbah cair tahu tiap harinya berkisar 1.528 – 3.056 L/hari. Proses yang dipakai adalah intermiten. Pada hakikatnya desain reaktor menggunakan  $Q_{rata-rata}$ . Dibawah ini akan dilakukan analisis perhitungan kebutuhan lahan secara

kasar. Analisis dapat dilakukan lebih mendalam dalam Desain Teknik Terinci (*Detail Engineering Design*).

**1) Kebutuhan Lahan Bak Biofilter Anaerob**

Digunakan 2 hari untuk memastikan proses anaerobik berjalan optimal

$$\begin{aligned} \text{Waktu tinggal (td)} &= 48 \text{ jam} \\ &= 2 \text{ hari} \\ \text{Debit pengolahan (Q}_{ave}\text{)} &= 2.292 \text{ L/hari} \\ &= 2,292 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume (V)} &= Q_{ave} \times td \\ \text{Volume (V)} &= 2,292 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 2 \text{ hari} \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume (V)} &= 4,584 \text{ m}^3 \\ H \text{ bak} &= 2 \text{ m} \\ As &= \frac{V}{H \text{ bak}} \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} As &= \frac{4,584}{2} \\ As &= 2,292 \text{ m}^2 \\ L = P &= \sqrt{2,292} \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned} L = P &= 1,51 \text{ m} \\ \text{Penyisihan COD} &= 70\% \\ \text{COD influent} &= 4.529,54 \text{ mg/L} \\ \text{COD effluent} &= 30\% \times 4.529,54 \text{ mg/L} \\ &= 1.358,86 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

**2) Kebutuhan Lahan MBR**

Sebelum memasuki MBR, air limbah dari Bak Biofilter Anaerob memasuki Bak Peralihan antara keduanya dimana ruang ini berfungsi untuk bak ekualisasi sekaligus bak resirkulasi dari MBR agar tidak terjadi lonjakan kematian bakteri dari anaerobik menjadi aerobik.

$$\begin{aligned} \text{Volume (V)} &= Q \times td \\ \text{Volume (V)} &= 2,292 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 1 \text{ hari} \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume (V)} &= 2,292 \text{ m}^3 \\ H \text{ bak} &= 2 \text{ m} \\ As &= \frac{V}{H \text{ bak}} \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned} As &= \frac{2,292}{2} \\ As &= 1,146 \text{ m}^2 \\ L = P &= \sqrt{1,146} \\ L = P &= 1,07 \text{ m} \end{aligned} \tag{6}$$

Perhitungan kebutuhan lahan untuk MBR adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{COD influent} &= 1.358,86 \text{ mg/L} \\ \text{Removal COD} &= 90\% \\ \text{COD effluent} &= 135,88 \text{ mg/L} \\ \text{Konsentrasi lumpur (X)} &= 10.000 \text{ mg/L (direncanakan)} \\ Ns &= 0,3 \text{ g COD/g MLVSS.hari} \end{aligned}$$

$$\text{Volume} = \frac{Q(\text{COD influent} - \text{COD effluent})}{X N_s}$$

$$\text{Volume} = \frac{2,292(1.358,86 - 135,88)}{1000 \times 0,3} \quad (7)$$

$$\text{Volume} = 0,934 \text{ m}^3$$

$$H \text{ bak} = 2\text{m}$$

$$A_s = \frac{V}{H \text{ bak}}$$

$$A_s = \frac{0,934}{2} \quad (8)$$

$$A_s = 0,467 \text{ m}^2$$

$$L = P = \sqrt{0,467} \quad (9)$$

$$L = P = 0,7 \text{ m}$$

$$\text{HRT} = \frac{V}{Q}$$

$$\text{HRT} = \frac{0,934}{2,292} \quad (10)$$

$$\text{HRT} = 0,407 \text{ hari}/9,78 \text{ jam}$$

Untuk perhitungan jumlah membran yang digunakan maka diperlukan spesifikasi membran tertentu. Pada perhitungan ini akan digunakan modul membran *hollow fiber* RENO-16 buatan Hangzhou Reno Membrane Technology Co., Ltd.

$$\text{Flux} = 15 - 25 \text{ L}/\text{m}^2 \text{ jam} \quad (11)$$

$$\text{Flux} = 0,015 - 0,025 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$$

$$\text{Luas membran (A)} = \frac{Q}{24 \times \text{flux}}$$

$$\text{Luas membran (A)} = \frac{2,292}{24 \times 0,015} \quad (12)$$

$$\text{Luas membran (A)} = 6,36 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas tiap membran} = 16 \text{ m}^2/\text{modul}$$

$$\text{Kebutuhan modul} = \frac{6,36}{16} \quad (13)$$

$$\text{Kebutuhan modul} = 0,4 \text{ modul} \sim 1 \text{ modul}$$

### I. Analisis Proses

Bak Biofilter Anaerob merupakan salah satu jenis pengolahan biologis jenis *submerged attached growth processes* [21]. Jenis pengolahan ini memanfaatkan media dimana terdapat biofilm pada permukaannya. Biofilm ini merupakan mikroorganisme yang menempel pada permukaan media dan berfungsi untuk mendekomposisi kandungan organik pada air limbah ketika air limbah mengalami kontak langsung dengan biofilm. Keadaan anaerobik dipilih untuk menurunkan kandungan organik yang sangat tinggi pada air limbah. Sedangkan kombinasi dengan aerobik dapat menurunkan COD sampai 93,54% pada HRT 24 jam [22].

Proses *attached growth* membutuhkan sejumlah mikroorganisme yang besar untuk membentuk biofilm pada media sehingga menjadi aspek yang sangat krusial dalam pengolahan [23]. Debit dan konsentrasi nutrien di dalam air

limbah menjadi faktor kunci yang sangat mempengaruhi ketebalan biofilm. Selain itu luas permukaan media, porositas dan kekasaran permukaan media menjadi faktor lain dalam pembentukan biofilm [24]. Untuk membentuk biofilm pada media, reaktor tidak dapat dioperasikan secara langsung tetapi membutuhkan proses seeding dan aklimatisasi. Seeding adalah proses untuk memperbanyak mikroorganisme pada reaktor sedangkan aklimatisasi merupakan proses adaptasi mikroorganisme pada air limbah yang akan diolahnya. Pada proses seeding diberikan penambahan glukosa sebagai sumber karbon selama 24 jam. Tujuan selama itu agar mikroorganisme memiliki waktu kontak yang cukup dengan media untuk membentuk biofilm.

Aklimatisasi dilakukan dengan mengganti seeding dengan limbah cair tahu yang sebenarnya. Penggantian dilakukan secara bertahap dari rasio limbah cair tahu sebanyak 10% terhadap seeding lalu dilanjutkan sampai 90%. Proses aklimatisasi selesai ketika limbah cair tahu yang ditambahkan sebanyak 100%. Kedua proses ini diamati terus-menerus sampai efisiensi removal COD stabil (fluktuasi 5%) dan limbah cair tergantikan dengan 100% limbah cair tahu. Hasil penelitian pada seeding dan aklimatisasi berakhir pada minggu ke 5 atau hari ke 34 dengan removal COD sebesar 90,3% pada HRT 24 jam [22].

Untuk Desain MBR yang digunakan pada pengolahan ini adalah jenis terendam (*submerged*) karena jenis konfigurasi ini sangat ekonomis dari segi modal dan operasinya. Selain itu jenis ini juga banyak terdapat di pasaran. Pada pengolahan ini akan dilakukan pengolahan dalam keadaan aerobik. Oleh karena itu dibutuhkan sistem aerasi di dalam reaktor. Sistem aerasi pada reaktor ini dibutuhkan untuk pembentukan lumpur dan memberikan oksigen terlarut (DO) untuk menjaga jumlah mikroorganisme yang terdapat di dalam reaktor. Selain itu, fungsi aerasi ini dapat mencegah terbentuknya padatan pada permukaan membran (*scouring*) [18]. Terdapat 3 tipe aerasi yang dapat digunakan pada MBR yaitu *coarse-bubble aeration*, *fine-bubble aeration*, dan *jet aeration* [15]. Proses aerasi membutuhkan blower untuk memasukkan udara yang mengandung oksigen ke dalam reaktor. Blower yang digunakan dapat disesuaikan dengan jenis aerasi. Skema alur pengolahan di dalam Biofilter Anaerob dan MBR disajikan pada Gambar 3.

Sebelum memasuki MBR, air limbah dari Bak Biofilter Anaerob akan masuk ke dalam Bak Peralihan. Bak ini berfungsi sebagai tempat resirkulasi lumpur dari MBR agar tidak terjadi lonjakan kematian bakteri dari anaerobik menjadi aerobik. Pada proses di dalam MBR, semua parameter pencemar organik dapat hilang dengan bantuan mikroorganisme dan rejeksi pada membran meningkatkan efisiensi penyisihannya. Penelitian menunjukkan penyisihan COD, BOD dan SS menggunakan sistem MBR pada air limbah domestik mencapai diatas 90% [18]. Kandungan SS pada air limbah yang diolah menggunakan MBR hampir keseluruhannya tersisihkan. Konsekuensi dari keadaan ini adalah logam berat maupun zat mikro yang menempel pada SS juga akan ikut tersisihkan. Selain itu, proses pada MBR ini dapat menyisihkan bakteri dan virus yang mungkin terkandung dalam air limbah. Ukuran membran sangat berperan penting dalam menyisihkan bakteri dan virus.

Pada proses pemisahan ini permeate yang melewati membran tidak semua zat pencemar akan ikut ke dalamnya

Tabel 3.

Hasil Analisa Limbah Cair Tahu UKM Sari Bumi		
No	Parameter	Hasil Analisa
1.	pH	5,29
2.	BOD (ppm)	3.207,89
3.	COD (ppm)	4.529,54
4.	TSS (ppm)	0,946
5.	TDS (ppm)	6,9

akan tetapi sebagian besar tertahan pada permukaan membran. Pada bagian inilah yang disebut kemampuan rejeksi membran. Zat yang terlarut dan terakumulasi pada permukaan membran ini akan kembali kepada aliran umpan (feed) dengan cara difusi balik. Konsentrasi zat terlarut pada permukaan membran jauh lebih besar daripada konsentrasi pada permeate ataupun aliran umpan. Fenomena inilah yang disebut polarisasi konsentrasi [25].

Konsentrasi pada permukaan membran ini tergantung pada fluks rejeksi membran, koefisien dan difusi dari zat terlarut tersebut. Cara yang dapat dipilih untuk mengurangi polarisasi konsentrasi adalah dengan memodifikasi permukaan menjadi lebih hidrofilik, meningkatkan kecepatan aliran umpan (untuk mekanisme cross flow), membentuk aliran menjadi turbulen, dan desain modul. Polarisasi konsentrasi dapat menjadi penyebab terjadinya fouling pada membran apabila terjadi terus menerus. Apabila pada proses operasi fluks permeate menurun sekitar 10-15% dan tekanan menurun bervariasi sekitar 10-15% maka membran perlu dilakukan pencucian untuk mencegah terjadinya fouling lebih besar [26].

*J. Analisis Kebutuhan Biaya*

Perhitungan kebutuhan biaya modal atau *capital expenditure* (CAPEX) untuk penelitian ini sangat terbatas karena membutuhkan banyak data untuk mendukung perhitungannya. Produsen membran pada studi kasus ini mematok harga membran per modul yang sudah lengkap dan langsung pasang dengan harga 200 USD atau setara dengan Rp.2.859.360. Biaya ini hanya kisaran kasar saja. Dibutuhkan analisis lebih mendalam melalui Desain Teknik Terinci (*Detail Engineering Design*) sehingga dapat ditarik kebutuhan biaya sebenarnya.

Selain biaya modal terdapat juga biaya operasi. Biaya operasi yang dimaksud adalah biaya kebutuhan berbagai faktor yang mendukung operasi MBR. Dalam hal ini salah satunya adalah energi listrik karena penggunaan pompa, blower dan motor membutuhkan listrik untuk menjalankannya. Industri tahu dikategorikan sebagai tarif listrik bisnis besar (6.600 VA – 220kVA) dimana harga listriknya adalah Rp.1.447,70 per kWh. Sedangkan itu, biaya operasi juga meliputi biaya perawatan membran yaitu sekitar 79,16 \$/m<sup>2</sup> atau Rp.1.147.820/m<sup>2</sup> [27].

Analisis biaya operasional atau biasa disebut *operational expenditure* (OPEX) dapat dihitung melalui pendekatan kebutuhan biaya energi, komponen penggantian membran, kebutuhan bahan kimia, manajemen pengolahan dan sumber daya manusia sebagai operatornya [28]. Pendekatan tersebut diformulasikan menjadi persamaan berikut.

$$OPEX = L_E E_{tot} + \frac{365L_M}{Jt_{mem}} + L_C + L_W + L_L \quad (14)$$

Keterangan:

- $L_E$  = biaya kebutuhan energi (\$/kWh)
- $L_M$  = biaya membran (\$/m<sup>2</sup>)
- $J$  = flux (m/hari)
- $t_{mem}$  = umur membran (tahun)
- $L_C, L_W, L_L$  = biaya kebutuhan spesifik (\$/m<sup>3</sup>)

Nilai Etot menunjukkan total kebutuhan energi spesifik (dalam satuan kWh/m<sup>3</sup>) dapat dihitung melalui persamaan berikut.

$$E_{tot} = \sum_{Q_p}^{24 W \tau} \quad (15)$$

Keterangan:

- $W$  = kebutuhan energi tiap komponen (kW)
- $\tau$  = fraksi waktu (jam/hari)
- $Q_p$  = debit permeate (m<sup>3</sup>/hari)

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan uraian yang dipaparkan pada hasil dan pembahasan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut: (1) Industri tahu menghasilkan 2 jenis limbah yaitu limbah padat dan limbah cair. Limbah cair industri tahu didominasi oleh kandungan BOD, COD, TSS tinggi dengan pH yang rendah. Hal ini dapat menyebabkan pencemaran berupa bau yang tidak sedap disekitar industri dan apabila limbahnya dibuang ke sungai maka akan menimbulkan pencemaran yang sama sepanjang sungai. (2) Teknologi membran yang diterapkan pada pengolahan air limbah salah satunya menggunakan MBR (*Membrane Bio Reactor*) dimana pengolahan air limbah baik domestik maupun industri yang menggabungkan antara dua pengolahan yaitu lumpur aktif konvensional dan membran. (3) Hasil studi kasus pengolahan limbah cair tahu di UKM Sari Bumi menunjukkan bahwa pengolahan menggunakan MBR dapat menjadi alternatif pada pengolahan limbah cair tahu di Indonesia. Karakteristik limbah cair tahu UKM ini adalah COD sebesar 4.529,54 mg/L, BOD 3.207,89 mg/L, TSS 0,946 mg/L. Pra-pengolahan menggunakan biofilter anaerobik mampu menurunkan beban organik sebesar 70% dilanjutkan dengan pengolahan menggunakan MBR dapat menurunkan sampai 90%. Efluent akhir pengolahan ini menghasilkan COD sebesar 135,88 mg/L yang mana telah memenuhi baku mutu limbah cair tahu di Indonesia diatur oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Indonesia No. 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah sebesar 300 mg/L.

B. Saran

Saran dari studi literatur dengan studi kasus ini adalah berikut: (1) Perlu dilakukan penelitian dan pengaplikasian lebih lanjut untuk pengolahan limbah cair tahu menggunakan MBR. (2) Alternatif pengolahan menggunakan MBR dapat dimodifikasi sesuai dengan karakteristik limbah cair tahu. (3) Pengolahan menggunakan MBR membutuhkan operator yang terampil sehingga penyuluhan dan edukasi diperlukan agar umur MBR dapat lebih lama.

DAFTAR PUSTAKA

[1] M. Faisal, A. Gani, F. Mulana, and H. Daimon, "Treatment and utilization of industrial tofu waste in Indonesia," *Asian J. Chem.*, vol. 28, no. 3, p. 501, 2016.  
 [2] B. Yudisthira, "Karakterisasi: Limbah Cair Industri Tahu dengan

- Koagulan yang Berbeda (Asam Asetat dan Kalsium Sulfat),” Universitas Sebelas Maret, 2010.
- [3] N. Sintawardani, “Socio-economic problem on reducing the waste water pollution from tofu processing in the Cibuntu area, Indonesia,” *Res. Cent. Phys. Indones. Insitute Sci.*, 2011.
- [4] T. D. Pradana, S. Suharno, and A. Apriansyah, “Pengolahan limbah cair tahu untuk menurunkan kadar TSS dan BOD,” *J. Vokasi Kesehat.*, vol. 4, no. 2, p. 56, 2018.
- [5] A. W. Tungka, H. Haeruddin, and C. Ain, “Konsentrasi nitrat dan ortofosfat di muara sungai banjir kanal barat dan kaitannya dengan kelimpahan fitoplanton harmful alga blooms (HABs) concentration of nitrate and orthophosphate at banjir kanal barat estuary and their relationship with the abundance,” *SAINTEK Perikan. Indones. J. Fish. Sci. Technol.*, vol. 12, no. 1, pp. 40–46, 2016.
- [6] A. Alimsyah and A. Damayanti, “Penggunaan arang tempurung kelapa dan eceng gondok untuk pengolahan air limbah tahu dengan variasi konsentrasi,” *J. Tek. ITS*, vol. 2, no. 1, pp. D6--D9, 2013.
- [7] F. Kaswinarni, “Kajian Teknis Pengolahan Limbah Padat dan Cair Industri Tahu Studi Kasus Industri Tahu Tandang Semarang, Sederhana Kendal dan Gagak Sipat Boyolali,” Universitas Diponegoro, 2007.
- [8] S. Satyanarayan, A. P. Venerkar, and Ramakant, “Organic removals from highly proteinous wastewater from soya milk and tofu manufacturing plant,” *J. Environ. Sci. Heal. Part A*, vol. 39, no. 3, pp. 759–771, 2004.
- [9] R. Seroja, H. Effendi, and S. Hariyadi, “Tofu wastewater treatment using vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) and zeliac,” *Appl. water Sci.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–6, 2018.
- [10] A. A. Said, D. Noviyandika, and Y. Ramadhan, “Optimasi kinerja membran pada pengolahan limbah cair tahu secara ultrafiltrasi,” *Saintek ITM*, vol. 32, no. 1, 2019.
- [11] S. M. K. Sadr and D. P. Saroj, “Membrane Technologies for Municipal Wastewater Treatment,” in *Advances in Membrane Technologies for Water Treatment*, Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2015, pp. 443–463.
- [12] J. Gao, “Membrane Separation Technology for Wastewater Treatment and its Study Progress and Development Trend,” in *4th International Conference on Mechanical Materials and Manufacturing Engineering*, 2016, pp. 5–8.
- [13] E. Obotey Ezugbe and S. Rathilal, “Membrane technologies in wastewater treatment: a review,” *Membranes (Basel)*, vol. 10, no. 5, p. 89, 2020.
- [14] N. Fathia and S. Kartohardjono, “Effects of Trans-Membrane-Pressure on Tofu Industry Wastewater Treatment Through Ultrafiltration and Reverse Osmosis Processes,” in *AIP Conference Proceedings*, 2020, vol. 2230, no. 1, p. 30009.
- [15] Metcalf & Eddy Inc. *et al.*, *Wastewater engineering: treatment and resource recovery*. McGraw-Hill, 2003.
- [16] E. Erawati, “Rekayasa Teknologi untuk Perbaikan Proses Produksi Tahu yang Ramah Lingkungan,” Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2013.
- [17] S.-H. Yoon, *Membrane Bioreactor Processes: Principles and Applications*. New York: CRC press, 2015.
- [18] G. Wen, J. Ma, L. Zhang, and G. Yu, “Membrane bioreactor in water treatment,” *Compr. Membr. Sci. Eng.*, pp. 195–209, 2010.
- [19] T. Hernaningsih, “Aplikasi membran bioreaktor (MBR) untuk proses daur ulang air limbah,” *J. Air Indones.*, vol. 7, no. 2, 2014.
- [20] D. A. Darmajana, *Pemanfaatan Teknologi Tepat Guna dalam Penerapan Cleaner Production di Industri Kecil Pengolahan Tahu di Subang dan Sumedang*. Jakarta: LIPI Press, 2015.
- [21] S. R. Qasim and G. Zhu, *Wastewater Treatment and Reuse Theory and Design Examples, Volume 2:: Post-Treatment, Reuse, and Disposal*. United States: CRC Press, 2017.
- [22] A. D. Astuti and D. I. Ayu, “Treatment of tofu industry wastewater using bioreaktor anaerobic-aerobic and bioball as media with variation of hydraulic retention time,” *Reaktor*, vol. 19, no. 1, pp. 18–25, 2019.
- [23] X. B. Hu, Z. Wang, K. Xu, and H. Q. Ren, “Biofilm regeneration on carriers in MBBR used for vitamin C wastewater treatment,” *Water Sci. Technol.*, vol. 67, no. 6, pp. 1310–1316, 2013.
- [24] P. Stoodley, I. Dodds, J. D. Boyle, and H. M. Lappin-Scott, “Influence of hydrodynamics and nutrients on biofilm structure,” *J. Appl. Microbiol.*, vol. 85, no. S1, pp. 19S--28S, 1998.
- [25] M. Mahmud, “Kinetika fouling membran ultrafiltrasi (UF) pada pengolahan air berwarna: pengaruh interval dan lamanya pencucian balik (backwashing) membran,” *INFO-TEKNIK*, vol. 6, no. 1, pp. 62–69, 2005.
- [26] I. G. Wenten, A. N. Hakim, A. Khoiruddin, and D. K. PTP, “Polarisasi konsentrasi dan fouling pada membran,” *J. Tek. Kim. Insitut Teknol. Bandung*, 2013.
- [27] C. H. Lo, E. McAdam, and S. Judd, “The cost of a small membrane bioreactor,” *Water Sci. Technol.*, vol. 72, no. 10, pp. 1739–1746, 2015.
- [28] P. Krzeminski, J. H. J. M. van der Graaf, and J. B. van Lier, “Specific energy consumption of membrane bioreaktor (MBR) for sewage treatment,” *Water Sci. Technol.*, vol. 65, no. 2, pp. 380–392, 2012.