MOVING BED BIOFILM REACTOR UNTUK MENURUNKAN BOD DAN NUTRIEN PADA AIR LIMBAH INDUSTRI SUSU

MOVING BED BIOFILM REACTOR TO REDUCE BOD AND NUTRIENTS IN DAIRY INDUSTRY WASTEWATER

Agus Slamet [1], ***Daffa Rayhan*** [1], ***Ali Masduqi*** [1*]
[1]*Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 60111, Indonesia*
[*]*Email: masduqi@its.ac.id*

ABSTRAK

Air limbah industri pengolahan susu terdiri dari proses-proses yang membutuhkan air dengan volume besar seperti pencucian, pembersihan, pemanasan, pendinginan, dan pencucian lantai. Tingginya kandungan COD dan BOD pada air limbah tersebut, serta keberadaan senyawa-senyawa seperti laktosa, protein terlarut, lemak, garam mineral, dan deterjen dapat menyebabkan dampak negatif pada lingkungan, seperti rendahnya oksigen di air dan kematian biota akuatik. Salah satu sistem pengolahan air limbah industri susu yang diusulkan adalah *moving bed biofilm reactor* (MBBR). MBBR yang didesain menggunakan model Modified Ludzack-Ettinger (MBBR-MLE) dengan tiga zona: anoksik, aerobik pertama, dan aerobik kedua. Proses MBBR tidak memerlukan resirkulasi lumpur dan dapat mengurangi kandungan polutan dalam air limbah. Sistem pengolahan ini mampu menurunkan polutan BOD 2.028 mg/L, COD 6.917 mg/L, TSS 2.600 mg/L, dan NH_3 43,15 mg/L menjadi masing-masing 22,8 mg/L, 59,7 mg/L, 1,17 mg/L, dan 1,73 mg/L.

Kata kunci: industri susu, *moving bed biofilm reactor*, nutrien, pengolahan air limbah.

ABSTRACT

Wastewater from the dairy processing industry consists of processes that require large volumes of water such as washing, cleaning, heating, cooling, and floor washing. The high content of COD and BOD in the wastewater, as well as the presence of compounds such as lactose, dissolved protein, fat, mineral salts, and detergents can cause negative impacts on the environment, such as low oxygen in the water and death of aquatic biota. One of the proposed dairy industry wastewater treatment systems is the moving bed biofilm reactor (MBBR). The MBBR is designed using the Modified Ludzack-Ettinger (MBBR-MLE) model with three zones: anoxic, first aerobic, and second aerobic. The MBBR process does not require sludge recirculation and can reduce pollutant content in wastewater. This treatment system can reduce pollutants BOD 2,028 mg/L, COD 6,917 mg/L, TSS 2,600 mg/L, and NH_3 43.15 mg/L to 22.8 mg/L, 59.7 mg/L respectively, 1.17 mg/L, and 1.73 mg/L.

Keywords: *dairy industry, moving bed biofilm reactor, nutrient, wastewater treatment.*

1. PENDAHULUAN

Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2015 tentang Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional (RIPIN) Tahun 2015-2035, industri pengolahan susu termasuk dalam kategori industri prioritas dalam periode 2024 – 2035. Produk-produk yang dihasilkan meliputi susu untuk kesehatan seperti susu cair, bubuk, dan *condensed*, serta produk probiotik dan pangan fungsional lainnya yang berbasis susu. Secara umum, industri pengolahan susu melibatkan proses pengolahan susu mentah menjadi berbagai produk seperti susu, keju, mentega, yogurt, es krim, dan bubuk susu menggunakan berbagai metode pengolahan (Perna dkk., 2013).

Berkembangnya industri pengolahan susu memiliki dampak positif yang signifikan bagi masyarakat, namun di sisi lain, menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Analisis *Environmental Impact of Products* (EIPRO) menunjukkan bahwa susu dan produk olahan susu lainnya berkontribusi sebesar 5% terhadap potensi pemanasan global, 10% terhadap potensi eutrofikasi, dan 4% terhadap potensi pembentukan fotokimia ozon di seluruh Uni Eropa (Foster dkk., 2006). Selain itu, dalam hampir semua kategori, susu cair termasuk dalam 10 besar penyebab dampak negatif terhadap lingkungan, dengan pengecualian penipisan lapisan ozon.

Air limbah industri pengolahan susu berasal dari serangkaian proses yang memerlukan volume air yang besar (Falvey dkk., 1999;), seperti pencucian, pembersihan, pemanasan, pendinginan, dan pencucian lantai (Sarkar dkk., 2006, Kushwaha dkk., 2011). Sekitar 2% dari total susu yang diproses diperkirakan terbuang ke saluran pembuangan (Munavalli & Saler, 2009). Rata-rata, industri pengolahan susu menghasilkan 2,5 liter air limbah per liter susu yang diolah (Ramasamy dkk., 2004).

Karakteristik air limbah industri pengolahan susu tergantung pada jumlah susu yang diolah, jenis produk dan peralatan yang digunakan, metode produksi, sistem manajemen, dan metode pencucian (Sarkar dkk., 2006). Semua senyawa dalam air limbah pengolahan susu umumnya dapat terdegradasi secara biologi, kecuali protein dan lemak yang sulit terurai (Omil dkk., 2003). Komponen utama dalam air limbah pengolahan susu meliputi laktosa, protein terlarut, lemak, garam mineral, dan deterjen (Perna dkk., 2013, Shete & Shinkar, 2013; USDA-SCS, 1992). Air limbah pengolahan susu memiliki ciri-ciri padatan susu, berwarna putih, bersifat alkali, dan memiliki konsentrasi BOD (*biochemical oxygen demand*) dan COD (*chemical oxygen demand*) yang tinggi (Shete & Shinkar, 2013; USDA-SCS, 1992). Sifat alkali air limbah ini dapat berubah menjadi asam karena fermentasi gula susu menjadi asam laktat.

Berdasarkan beberapa penelitian, diketahui bahwa kandungan COD pada air limbah industri pengolahan susu sangat bervariasi, berkisar antara 80 hingga 95.000 mg/l, kandungan BOD berkisar antara 40 hingga 48.000 mg/l (Kushwaha dkk., 2011). Nilai pH dalam kisaran antara 4,7 hingga 11, kandungan padatan tersuspensi berkisar antara 24 hingga 4.500 mg/l (Passeggi dkk., 2009). Nutrien seperti total nitrogen memiliki konsentrasi antara 14 hingga 830 mg/l (Gutiérrez dkk., 1991), sementara total fosfor berkisar antara 9 hingga 280 mg/l (Gavala dkk., 1999).

Tingginya kandungan COD dan BOD dalam air limbah pengolahan susu dapat menimbulkan dampak negatif pada lingkungan, seperti menyebabkan rendahnya kandungan oksigen dalam air dan mengakibatkan kematian biota akuatik (Greenberg dkk., 1992; Soukotta dkk., 2019). Kandungan nutrien dalam limbah dapat menyebabkan eutrofikasi pada perairan penerima, sedangkan deterjen

dapat mengganggu kelangsungan hidup biota air. Oleh karena itu, air limbah industri susu harus diolah untuk menurunkan kadar polutannya.

Salah satu metode biologis dalam pengolahan air limbah industri susu adalah *moving bed biofilm reactor* (MBBR). Teknologi ini pertama kali dikembangkan dan ditemukan pada akhir tahun 1980 di *Norwegian University of Science and Technology*. Sejak saat itu, MBBR telah mengalami perkembangan pesat dan tersebar luas. Hingga tahun 2014, sekitar 50 negara telah menerapkan teknologi MBBR, dengan total 800 unit MBBR yang telah dibangun untuk mengolah air limbah domestik dan sebagai tahap pertama pada pengolahan air limbah industri.

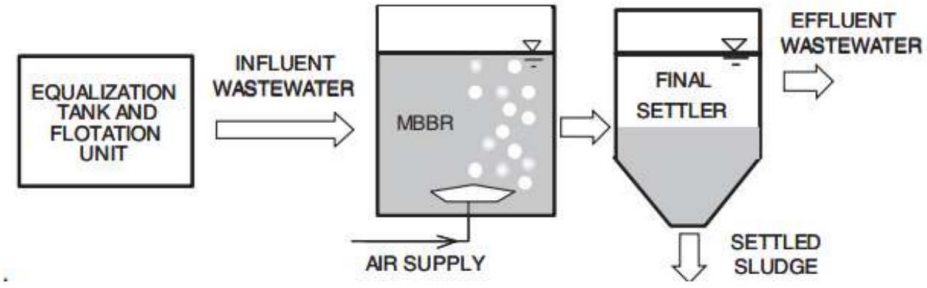
Proses MBBR merupakan metode pengolahan air limbah yang melibatkan pertumbuhan mikroba terlekat (*attached growth*) pada media, mirip dengan sistem *trickling filter* (TF) dan *rotating-biological contactor* (RBC). Pada sistem konvensional seperti TF dan RBC, mikroba melekat pada media dengan posisi yang tetap dan membutuhkan media dengan luas permukaan yang besar. Namun, dalam sistem MBBR, media tetap terendam dan bergerak dalam air limbah dengan bantuan diffuser atau mixer. Reaktor MBBR umumnya memiliki bentuk yang serupa dengan reaktor lumpur aktif konvensional. Proses MBBR tidak memerlukan resirkulasi lumpur, tetapi resirkulasi nitrit dapat dilakukan jika diperlukan dalam proses denitrifikasi.

Parameter desain utama dalam proses MBBR adalah *surface area removal flux* (SARF) atau *surface area loading rate* (SALR) yang diukur dalam satuan massa per luas per waktu (misal g/m^2.hari). Debit pengolahan air limbah akan dibagi dengan SARF untuk menentukan luas permukaan media yang diperlukan. Luas permukaan media ini mewakili jumlah media yang dibutuhkan. Luas permukaan media akan dibagi dengan luas spesifik untuk menghitung volume reaktor yang diperlukan.

Pada tulisan ini akan dibahas perancangan MBBR di industri susu di Kabupaten Bogor Jawa Barat yang merupakan industri pengolahan susu yang menghasilkan berbagai produk seperti susu segar, yogurt, dan makanan beku. Dalam perancangan ini, MBBR merupakan unit utama yang mengolah air limbah secara biologis. Pengolahan pendahuluan terdiri atas bak ekualisasi dan dissolved air flotation. Setelah pengolahan biologis terdapat clarifier yang merupakan bagian tak terpisahkan dari pengolahan biologis untuk mengendapkan biomassa yang dihasilkan oleh MBBR.

2. METODE

Perencanaan pengolahan air limbah industri susu mengacu pada Andreottola dkk. (2002), yang terdiri atas bak ekualisasi, flotasi, MBBR, dan clarifier. Rangkaian unit pengolahan dapat dilihat pada diagram alir yang ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir pengolahan air limbah industri susu (Andreottola dkk., 2002)

Kegiatan perencanaan di atas membutuhkan data yang harus dikumpulkan. Data kualitas air diperoleh dengan pengambilan sampel dan pemeriksaan laboratorium yang meliputi parameter COD, BOD, TSS, minyak dan lemak, pH, dan amonia. Data kualitas air juga diperoleh dari manajemen perusahaan yang telah dilakukan pemeriksaan secara periodik. Data lainnya adalah data debit air limbah, situasi lahan, dan kebutuhan air industri susu (untuk proses produksi dan kebutuhan domestik).

2.1. Perencanaan Bak Ekualisasi

Perhitungan bak ekualisasi menggunakan metoda tabulasi yang merupakan perhitungan keseimbangan debit masuk dan debit keluar. Debit masuk adalah debit inlet bak ekualisasi yang biasanya berfluktuasi terhadap waktu, sementara debit keluar adalah debit outlet bak ekualisasi yang diatur debitnya konstan.

2.2. Perencanaan Unit Flotasi

Persamaan yang digunakan untuk menentukan dimensi tangki flotasi adalah:

$$\text{Luas permukaan tangki (As)} = \frac{[Q \times (TSS_{in} + M\&L_{in})]}{SLR} \quad (1)$$

Rasio massa udara terhadap massa solid (A/S) dihitung dengan persamaan:

$$\frac{A}{S} = \frac{1.3 a_s (fP-1)}{S_s} \quad (2)$$

dengan Q = debit, *SLR* adalah *solid loading rate* (kg/m^2.jam), a_s adalah kelarutan udara (mL/L), f adalah fraksi udara yang dilarutkan pada tekanan yang diberikan (biasanya 0,5 – 0,8), P adalah tekanan absolut di atmosfer (atm), dan S_s adalah kadar *suspended solid* (mg/L).

2.3. Perencanaan MBBR

Perencanaan MBBR menggunakan beberapa persamaan berikut:

$$\text{Resirkulasi nitrat (IR)} = \left(\frac{[NO_3\text{–}N]in}{[NO_3\text{–}N]out}\right) - 1 - R \quad (3)$$

$$\text{Debit influen anoksik (Qnox)} = Q(IR+R) \quad (4)$$

$$\text{Beban } NO_3\text{-N} = Qnox \times [NO_3\text{-Ni}] \quad (5)$$

$$\text{Luas media } (A_M) = \frac{Beban\ NO_3\text{–}N}{SARF} \quad (6)$$

$$\text{Volume media } (V_M) = \frac{AM}{Am} \quad (7)$$

$$\text{Volume bak (Vol)} = \frac{VM}{fm} \quad (8)$$

$$\text{Luas permukaan bak } (A_s) = \frac{Vol}{H} \quad (9)$$

$$\text{HRT} = \frac{Vnox}{Q} \quad (10)$$

Desain MBBR mengacu pada kriteria desain seperti ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Desain MBBR

Parameter	Nilai	Satuan
Anox-MBBR (zona 1)		
HRT	30	menit
Kedalaman reactor	4–6	m
SARF predenitrifikasi	0,2–1	gNO_3-N/m^2.hari
Resirkulasi nitrat (IR)	400–600	%
MBBR (zona 2 dan zona 3)		
Surface area removal flux (SARF)		
Penyisihan BOD	5–20	$gBOD_5/m^2$.hari
Penyisihan BOD sebelum nitrifikasi	1–1,2	$kgBOD_5/m^3$/hari
Hydraulic retention time (HRT)	1,5–6	jam
Packing media:		
Luas permukaan spesifik (Am)	250–500	m^2/m^3
Volume media : volume total reaktor (fm)	50–60	%

Sumber: Metcalf & Eddy (2014); Qasim & Zhu (2018)

2.4. Perencanaan Bak Clarifier

Desain MBBR mengacu pada kriteria desain seperti ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kriteria Desain Bak Clarifier

Parameter	Nilai	Satuan
Solid loading rate (SLR)	4–6	kg/m^2 jam
Surface overflow rate (SOR)	16–24	m^3/m^2.hari
Hydraulic retention time (HRT)	1,8–2,2	jam
Tinggi bak (H)	3–5	m
Diameter bak (D)	3–60	m
Slope dasar bak (SL)	1/16–1/6	-
Freeboard (fb)	0,5–0,7	m

Sumber: Qasim & Zhu (2018)

Perencanaan *clarifier* menggunakan beberapa persamaan berikut:

$$A_{SOR} = \frac{Q}{SOR} \quad (11)$$

$$A_{SLR} = \frac{Load\ TSS}{SLR} \quad (12)$$

$$\text{Load TSS} = Q \times X \quad (13)$$

dengan A_{SOR} adalah luas permukaan bak (m^2) yang dihitung berdasarkan *SOR*, A_{SLR} adalah luas permukaan bak (m^2) yang dihitung berdasarkan *SLR*, dan *X* adalah MLSS (mixed liquor suspended solid, mg/L).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Instalasi pengolahan air limbah (IPAL) produksi susu di Bogor direncanakan dengan debit tertentu yang mengacu pada data debit air limbah yang dihasilkan oleh industri susu. Data debit yang diperoleh berdasarkan data sekunder tahun 2021 adalah 1.500 m^3/hari. Kualitas air limbah dari industri pengolahan susu di Bogor berdasarkan data sekunder dan data primer diperoleh nilai sebagaimana pada Tabel 3.

Tabel 3. Kualitas Air Limbah Industri Susu di Bogor

Parameter	Konsentrasi	Satuan
pH	4,75	-
COD	6.917	mg/L
BOD5	2.028	mg/L
TSS	2.600	mg/L
Minyak & Lemak	< 1,4	mg/L
Amonia	43,15	mg/L

3.1. Bak Ekualisasi

Bak ekualisasi berfungsi untuk menyeragamkan debit dan kandungan polutan air limbah agar tidak terjadi *hydraulic shock load* maupun *organic shock load*. Dalam merencanakan bak ekualisasi, diperlukan data fluktuasi debit air limbah selama 24 jam. Data fluktuasi debit dapat dilihat pada Tabel 4, yang mengacu pada industri makanan lain.

Besarnya volume bak ekualisasi diperoleh dari selisih kumulatif terkecil (umumnya bernilai negatif) dan kumulatif terbesar (bernilai positif). Volume yang didapatkan adalah 484,1 m^3, dengan kedalaman 4 m dan luas permukaan 133 m.

3.2. Dissolved Air Flotation (DAF)

Sebelum masuk ke proses DAF, air limbah akan melalui serangkaian proses fisik-kimia yang terdiri dari proses netralisasi dan koagulasi. Air limbah dengan pH 4,75 harus diubah menjadi netral terlebih dahulu agar memenuhi standar kualitas air limbah (pH = 6-9), serta untuk memastikan proses koagulasi berjalan dengan optimal. Dalam proses ini, digunakan bahan kimia seperti soda kaustik (NaOH) untuk netralisasi, PAC untuk koagulasi, dan polimer anionik sebagai bantuan koagulan. Bahan kimia tersebut dilarutkan terlebih dahulu menggunakan bak pencampur, dan kemudian larutan kimia dipompa melalui pompa dosing ke dalam mixer statis.

Langkah selanjutnya adalah menyediakan suplai udara bertekanan yang dihasilkan melalui proses kompresi dan saturasi menggunakan kompresor dan air saturator. Tujuannya adalah untuk mendorong padatan agar mengapung ke permukaan air dalam tangki flotasi. Dalam perencanaan ini, tangki DAF berupa kontainer yang terbuat dari baja. Jenis DAF yang direncanakan adalah DAF tanpa resirkulasi.

Perhitungan dimensi tangki DAF menggunakan persamaan (1). Luas permukaan tangki diperoleh 13,5 m^2 dengan lebar 2,6 m dan panjang 4 m. Sementara itu, tekanan pada saturator dihitung dengan

persamaan (2), diperoleh 1680,7 kPa pada perbandingan massa udara per massa solid (A/S) sebesar 0,05 mg/mg.

Selain tangki flotasi, juga direncanakan *scum box* yang berfungsi untuk menampung lumpur hasil proses flotasi. *Box* ini ditetakkan di bagian akhir (downstream) dari tangki flotasi. Dimensi *scum box* mengikuti lebar tangki flotasi.

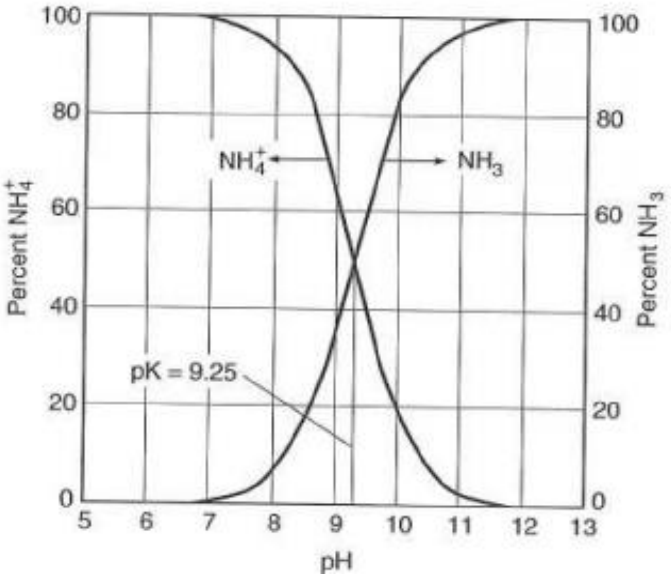
Tabel 4. Fluktuasi Debit untuk Penentuan Volume Bak Ekualisasi

Jam	Debit influen (m^3/jam)	Debit efluen (m^3/jam)	Debit influen kumulatif (m^3/jam)	Debit efluen kumulatif (m^3/jam)	Selisih kumulatif (m^3/jam)
00.00-01.00	65,7	62,5	65,70	62,5	3,2
01.00-02.00	77,4	62,5	143,10	125,0	21,3
02.00-03.00	46,8	62,5	189,90	187,5	23,7
03.00-04.00	33,8	62,5	223,65	250,0	-2,6
04.00-05.00	56,3	62,5	279,90	312,5	-35,2
05.00-06.00	42,3	62,5	322,20	375,0	-88,0
06.00-07.00	54,3	62,5	376,50	437,5	-149,1
07.00-08.00	96,9	62,5	473,40	500,0	-175,7
08.00-09.00	53,1	62,5	526,50	562,5	-211,7
09.00-10.00	56,3	62,5	582,75	625,0	-253,9
10.00-11.00	100,1	62,5	682,80	687,5	-258,6
11.00-12.00	65,0	62,5	747,75	750,0	-260,8
12.00-13.00	99,6	62,5	847,35	812,5	-226,0
13.00-14.00	65,7	62,5	913,05	875,0	-187,9
14.00-15.00	58,1	62,5	971,10	937,5	-154,3
15.00-16.00	60,8	62,5	1031,85	1000,0	-122,5
16.00-17.00	84,6	62,5	1116,45	1062,5	-68,5
17.00-18.00	61,5	62,5	1177,95	1125,0	-15,6
18.00-19.00	68,4	62,5	1246,35	1187,5	43,3
19.00-20.00	41,3	62,5	1287,60	1250,0	80,9
20.00-21.00	77,4	62,5	1365,00	1312,5	133,4
21.00-22.00	65,4	62,5	1430,40	1375,0	188,8
22.00-23.00	41,6	62,5	1471,95	1437,5	223,2
23.00-24.00	27,8	62,5	1499,70	1500,0	222,9

3.3. Moving Bed Biofilm Reactor

Perencanaan *moving bed biofilm reactor* menggunakan model *Modified Ludzack-Ettinger* (MBBR-MLE). MBBR-MLE terdiri dari tiga zona yang disusun secara berurutan, yaitu 1) zona anoksik (Anox-MBBR) untuk proses denitrifikasi, 2) zona aerobik untuk penyisihan BOD dan nitrifikasi, dan 3) zona aerobik untuk penyisihan BOD. Pada zona anoksik, terjadi proses pradenitrifikasi yang merupakan proses awal dalam denitrifikasi. Denitrifikasi adalah proses di mana nitrat (NO3-) direduksi menjadi gas nitrogen (N_2 dan N_2O). Gas nitrogen tersebut kemudian dilepaskan ke lingkungan, sehingga kandungan nitrogen dalam air limbah berkurang. Zona aerobik pertama ditujukan untuk penyisihan BOD sebesar 75% dan proses nitrifikasi, yaitu oksidasi amonia (NH_3) menjadi nitrat (NO_3^-). Sementara itu, zona aerobik kedua ditujukan untuk optimalisasi penyisihan BOD sebesar 90%.

Sejatinya, keberadaan amonia di dalam air dalam wujud ion amonium (NH_4^+). Namun, perubahan NH_3 menjadi NH_4^+ sangat dipengaruhi oleh pH, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh pH terhadap persentase NH_3 dan NH_4^+ di dalam air (Metcalf & Eddy, 2014)

Air limbah yang masuk ke MBBR memiliki pH netral setelah melalui proses netralisasi sebelumnya, sehingga amonia dalam air limbah hadir dalam bentuk NH_4^+ secara keseluruhan. Untuk mengevaluasi kinerja denitrifikasi dan menghitung kebutuhan oksigen, data konsentrasi NO_3^- dan TKN (*Total Kjeldahl Nitrogen*) diperlukan. Secara prinsip, TKN dapat dihitung dengan rumus berikut: TKN = N-organik + NH_3 + NH_4.

Berdasarkan penelitian Hena dkk. (2015), kandungan NH_4-N berkisar antara 162,76 hingga 201,14 mg/L, TKN berkisar antara 215,65 hingga 305,81 mg/L, dan NO_3-N berkisar antara 35,65 hingga 47,88 mg/L. Data ini kemudian digunakan dalam perencanaan, sehingga diperoleh $[TKN]_{in}$ sebesar 48,3 mg/L (sekitar 140% dari [NH_4-N]) dan [NO3-]i_n sebesar 8 mg/L (sekitar 17% dari [TKN]).

Selain data tentang kandungan pencemar, spesifikasi media carrier juga merupakan parameter desain yang penting. Dalam perencanaan ini, media Kaldnes K1 (Gambar 3) digunakan dengan spesifikasi yang tercantum dalam Tabel 3.

Gambar 3. Media Kaldnes 1
(Sumber: http://www.hyggedam.dk/Kaldnes_K1-test-2007.htm)

Tabel 5. Spesifikasi media carrier Kaldnes K1

Spesifikasi	Keterangan
Material	Plastik PE
Diameter	10 mm
Ketebalan	0,5–0,8 mm
Bentuk	Silinder
Densitas	0,123 g/ml
Luas permukaan media	500 m^2/m^3

Dengan menggunakan persamaan (3) sampai persamaan (10), mengaacu kriteria desain MBBR (Tabel 1), dan data debit air limbah (Q) sebesar 1.500 m^3/hari, $[BOD]_{in}$ 912,6 mg/L, $[NH_4^+]_{in}$ = 34,5 mg/L, $[NO_3\text{-}N]_{in}$ = 8 mg/L, $[TKN]_{in}$ = 48,3 mg/L, dan $[TSS]_{in}$ = 52 mg/L, serta SARF zona 1 = 0,2–1 $gNO_3\text{-}N/m^2$.hari dan SARF zona 2 dan zona 3 = 16 $gBOD/m^2$.hari, diperoleh dimensi MBBR di 3 zona, seperti ditampilkan pada Tabel 4. Selain dimensi, hal lain yang harus didesain adalah kebutuhan oksigen (termasuk peralatan diffuser), Produksi lumpur, struktur inlet, dan outlet.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Desain MBBR

Keterangan	Nilai	Satuan
Zona 1 (anoksik/pradenitrifikasi)		
Jumlah	1	unit
Tinggi efektif	4	m
Freeboard	0,5	m
Lebar	2	m
Panjang	5	m

Keterangan	Nilai	Satuan
Zona 2 (penyisihan BOD 75% dan nitrifikasi)		
Jumlah	1	unit
Tinggi efektif	4	m
Freeboard	0,5	m
Lebar	5	m
Panjang	10	m
Zona 3 (penyisihan BOD 90%)		
Jumlah	1	unit
Tinggi efektif	4	m
Freeboard	0,5	m
Lebar	3,5	m
Panjang	5	m

3.4. Clarifier

Direncanakan 2 unit clarifier berbentuk sirkular untuk mengendapkan lumpur biologis yang dihasilkan oleh proses di MBBR. Dengan mengacu kriteria desain Clarifier pada Tabel 2 dan perhitungan dengan persamaan (11) hingga persamaan (13), diperoleh luas permukaan satu bak berdasarkan SOR = 34,1 m^2 dan luas berdasarkan SLR = 21,9 m^2. Luas yang digunakan adalah yang nilainya lebih besar, yaitu 34,1 m^2. Diameter yang diperoleh adalah diameter 6,5 m dan kedalaman total 6 m.

3.5. Neraca Massa

Neraca massa memberikan gambaran bagaimana setiap unit pengolahan mampu menyisihkan polutan dalam air limbah. Prinsip utama neraca massa adalah hukum kekekalan massa, sehingga massa yang masuk ke dalam sistem harus sama dengan massa yang keluar dari sistem dan bertahan di dalam sistem. Secara garis besar, hasil perhitungan neraca massa menunjukkan kadar polutan yang keluar dari clarifier adalah:

- [BOD]out = 22,8 mg/L
- [COD]out = 59,7 mg/L
- [TSS]out = 1,17 mg/L
- [NH_3-N]out = 1,73 mg/L

4. KESIMPULAN

Sistem MBBR yang terdiri atas bak ekualisasi, *dissolved air flotation*, MBBR, dan *clarifier* mampu menurunkan beban polutan BOD, COD, TSS, dan NH_3. Konsentrasi awal masing-masing 2.028 mg/L, 6.917 mg/L, 2.600 mg/L, dan 43,15 mg/L, turun menjadi masing-masing 22,8 mg/L, 59,7 mg/L, 1,17 mg/L, dan 1,73 mg/L. Dimensi setiap unit pengolahan adalah 1 unit bak ekualisasi berbentuk prisma segi lima (1,2 m × 15 m × 6,5 m × 11,5 × 5 m), 1 unit *dissolved air flotation* (4,8 m × 2 m × 2,2 m) dengan *chemical aid*, 1 unit *moving bed biofilm bioreactor* (15,5 m × 5 m × 4,5 m), dan 2 unit *clarifier* (Ø 6,5 m × 6,5 m).

DAFTAR PUSTAKA

Andreottola, G., Foladori, P., Ragazzi, M., and Villa, R. 2002. ”Dairy wastewater treatment in a moving bed biofilm reactor”. *Water Science and Technology*, 45(12), 321–328.

Falvey, L., Chantalakana, C., Schelhaas, H., Leeuw, P. D., Boer, J. D., Vercoe, J., V.K. Taneja, Professor V.D. Mudgal, S.K. Ranjhan, E. Zerbini, Alemu Gebre Wold, I. Made Nitis, Humphreys, R., Leng, R., Suneerat Aiumlamai, B.M.A. Oswin Perera, Canagasaby Devendra, Gilmour, D., Thirapong Thirapatsakun, Egan, A. R. 1999. *Smallholder Dairying in the Tropics*. International Livestock Research Institute, Nairobi.

Foster, C., Green, K., Bleda, M., Dewick, P., Evans, B., Flynn, A., and Mylan, J. 2006. *Environmental Impacts of Food Production and Consumption: A report to the Departement for Environment, Food and Rural Affairs*. Defra, London. Manchester Business School.

Gavala, H. N., Kopsinis, H., Skiadas, I. V., Stamatelatou, K., and Lyberatos, G. 1999. “Treatment of Dairy Wastewater Using an Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor”. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 73(1), 59–63.

Greenberg, A. E., Clesceri, L. S., Eaton, A. D., and Franson, M. A. H. 1992. *Standard methods for the examination of water and wastewater (18th ed)*. Washington. American public health association.

Gutiérrez, J. L. R., Encina, P. A. G., and Fdz-Polanco, F. 1991. “Anaerobic treatment of cheese-production wastewater using a UASB reactor”. *Bioresource Technology*, 37(3), 271–276.

Hena, S., Fatimah, S., and Tabassum, S. 2015. “Cultivation of algae consortium in a dairy farm wastewater for biodiesel production”. *Water Resources and Industry*, 10, 1–14.

http://www.hyggedam.dk/Kaldnes_K1-test-2007.htm

Kushwaha, J. P., Srivastava, V. C., and Mall, I. D. 2011. ”An Overview of Various Technologies for the Treatment of Dairy Wastewaters”. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(5), 442–452.

Metcalf and Eddy. 2014. *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery*. (G. Tchobanoglous, H. D. Stensel, R. Tsuchihashi, F. L. Burton, M. Abu-Orf, G. Bowden, & W. Pfrang, Eds.; Fifth edition). McGraw-Hill Education.

Munavalli, G. R., and Saler, P. S. 2009. “Treatment of dairy wastewater by water hyacinth”. *Water Science and Technology*, 59(4), 713–722.

Omil, F., Garrido, J. M., Arrojo, B., and Méndez, R. 2003. “Anaerobic filter reactor performance for the treatment of complex dairy wastewater at industrial scale”. *Water Research*, 37(17), 4099–4108.

Passeggi, M., López, I., and Borzacconi, L. 2009. “Integrated anaerobic treatment of dairy industrial wastewater and sludge”. *Water Science and Technology*, 59(3), 501–506.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2015 tentang Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional (RIPIN) Tahun 2015-2035

Perna, V., Castelló, E., Wenzel, J., Zampol, C., Fontes Lima, D. M., Borzacconi, L., Varesche, M. B., Zaiat, M., and Etchebehere, C. 2013. “Hydrogen production in an upflow anaerobic packed bed reactor used to treat cheese whey”. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(1), 54–62.

Qasim, S. R., and Zhu, G. 2018. *Wastewater treatment and reuse: Theory and design examples. volume 1: Principles and basic treatment*. Boca Raton London New York. CRC Press, Taylor & Francis Group.

Ramasamy, E. V., Gajalakshmi, S., Sanjeevi, R., Jithesh, M. N., and Abbasi, S. A. 2004. “Feasibility studies on the treatment of dairy wastewaters with upflow anaerobic sludge blanket reactors”. *Bioresource Technology*, 93(2), 209–212.

Sarkar, B., Chakrabarti, P. P., Vijaykumar, A., and Kale, V. 2006. ”Wastewater treatment in dairy industries—Possibility of reuse”. *Desalination*, 195(1–3), 141–152.

Shete, B. S., and Shinkar, N. P. 2013. “Dairy Industry Wastewater Sources, Characteristics & its Effects on Environment”. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 3(5).

Soukotta, E., Ozsaer, R., and Latuamury, B. 2019. “Analisis Kualitas Kimia Air Sungai Riuapa dan Dampaknya terhadap Lingkungan”. *Jurnal Hutan Pulau-Pulau Kecil*, 3(1), 86–96.

USDA-SCS. 1992. *Agricultural Waste Management Field Handbook*. Washington, DC.