TEKNOLOGI PENANGANAN LIMBAH CAIR INDUSTRI PENGOLAHAN SUSU SAPI SECARA BIOLOGIS: ARTIKEL REVIEW**BIOLOGICAL TECHNOLOGY FOR WASTEWATER TREATMENT OF COW'S DAIRY INDUSTRY: REVIEW ARTICLE**Novianti Adi Rohmanna^{1)*}, Nurul Azizah²⁾, Nur Hidayat²⁾

Diterima : 09 Maret 2021

Disetujui : 02 Juni 2021

Afiliasi Penulis:¹⁾Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru, Kalimantan Selatan²⁾Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang, Jawa Timur**Email korespondensi:**

*novianti.rohmanna@ulm.ac.id

Cara sitasi:Rohmanna, NA, N Azizah, N Hidayat. 2021. Teknologi penanganan limbah cair industri pengolahan susu sapi secara biologis: Artikel review. *Journal of Tropical Biology* 9 (2): 122-130.**ABSTRAK**

Industri susu merupakan salah satu industri penghasil limbah cair yang cukup besar. Pengolahan produk susu untuk setiap produk yang berbeda menghasilkan limbah cair dengan karakteristik yang berbeda pula dan berdampak pada lingkungan. Hal tersebut membutuhkan perhatian lebih terkait penanganan limbah cair yang sesuai. Tujuan dari naskah ini adalah untuk meninjau tentang teknologi penanganan limbah cair industri pengolahan susu secara biologis dari berbagai penelitian yang telah ada. Sumber dan karakteristik limbah cair industri pengolahan susu, opsi penanganan dan teknologi pengolahannya dideskripsikan. Penanganan secara biologis berupa penanganan aerobik dan anaerobik merupakan teknologi penanganan yang umum dilakukan pada limbah cair industri pengolahan susu dengan kelebihan dan kelemahan masing-masing dijelaskan secara detail. Berdasarkan pendekatan tersebut, pengolahan limbah cair pada industri susu lebih efektif dengan metode anaerob.

Kata kunci: Industri susu, limbah cair, penanganan biologis, aerobik, anaerobik

ABSTRACT

The dairy industry was one of the industries that contribute to much wastewater. The processing of dairy products for each product produced wastewater with different characteristics and would impact the environment. It made attention to the appropriate wastewater treatment. This paper aims to review the technology that can be used in wastewater treatment from the dairy industry by various existing studies. The sources and characteristics of dairy wastewater, treatment options, and technology of treatment were described. Commonly, the biological treatment, both aerobic and anaerobic, was a treatment technology carried out in dairy wastewater, with both their advantages and disadvantages were explained in detail. Based on this approach, wastewater processing in the dairy industry was more effective with the anaerobic method.

Keywords: dairy industry, wastewater, biological treatment, aerobic, anaerobic

PENDAHULUAN

Sektor makanan menjadi salah satu pengguna air tertinggi (terutama dari sistem pendinginan, pemanas, dan proses pembersihan) dan merupakan salah satu penghasil limbah terbesar per unit produksi [1][2]. Di antara industri makanan, industri susu merupakan industri yang sangat mencemari dari sisi volume (menghasilkan 0,2-10 liter efluen per liter susu olahan) dalam hal konsumsi air [2][3]. Industri susu sapi merupakan penyumbang utama nutrisi manusia dan memiliki nilai ekonomi yang tinggi.

Pengolahan produk susu dengan produk yang berbeda seperti, susu cair, yogurt, keju, mentega, es krim, susu bubuk, dan berbagai jenis pencuci mulut [4] akan melalui proses produksi yang berbeda sehingga berpotensi menghasilkan limbah

cair dengan kandungan bahan organik yang berbeda [5]. Secara umum, limbah cair dari industri pengolahan susu mengandung bahan organik seperti protein, karbohidrat dan lipid, BOD, COD, serta padatan tersuspensi dan lemak minyak tersuspensi konsentrasi tinggi [7]. Limbah cair ini banyak dihasilkan dari proses pencucian peralatan, analisis laboratorium, serta dari proses pembuatan whey, keju, dan es krim [4]. Hampir semua konstituen organik dari limbah susu mudah terurai. Sehingga penanganan secara biologis, baik aerobik atau pun anaerobik dapat diaplikasikan [7].

Di sisi lain, besarnya volume limbah cair yang dihasilkan dan tingginya muatan organik membutuhkan manajemen pengolahan yang tepat karena dapat berdampak terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Polutan dan bakteri dalam air limbah dapat menyebabkan kerusakan berat pada

Tabel 1. Karakteristik limbah cair industri pengolahan susu

Type Limbah	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	pH	TSS (mg/l)	TS (mg/l)	Ref.
Pabrik susu dan pengolahan susu	10.251,2	4.840,6	8,34	5.802,6	-	[14]
Efluen pengolahan susu	1.900-2.700	1.200-1.800	7,2-8,8	500-740	900-1.350	[15]
Air limbah pengolahan susu	2.500-3.000	1.300-1.600	7,2-7,5	72.000-80.000	8.000-10.000	[16]
Whey	71.526	20.000	4,1	22.050	56.782	[17]
Whey keju tekan	80.000-90.000	53.333,3-60.000	6	8.000-11.000	1	[18]
Air limbah industri pengolahan susu	2.100	1.040	7-8	1.200	2.500	[19]

sumber daya air, yang kemudian mengakibatkan kerusakan lebih lanjut pada manusia dan hewan lain [10], sehingga penanganan limbah sebelum dibuang ke lingkungan menjadi masalah serius bagi industri [9]. Limbah yang akan dibuang harus memenuhi norma-norma standar pembuangan efluen [7]. Oleh karena itu, industri harus memiliki proses yang tepat terkait pengolahan limbah, karakterisasi air limbah, studi keterjagaan, perencanaan unit yang tepat, dan proses untuk pengolahan limbah [10].

Sumber dan Karakteristik Limbah Cair Industri Susu

Limbah cair pada industri pengolahan susu dapat dibedakan menjadi tiga kategori utama, yaitu [11]:

- 1) Air pengolahan, meliputi air yang digunakan dalam proses pendinginan dan pemanasan. Limbah ini biasanya bebas dari polusi dan dengan penanganan minimal dapat digunakan kembali atau hanya dibuang ke saluran air yang digunakan untuk aliran air hujan.
- 2) Air limbah pembersihan, terutama berasal dari pembersihan peralatan yang telah kontak dengan susu atau produk susu, tumpahan susu dan produk susu, *whey*, hasil penekanan (perasan) dan air garam, opsi pembersihan *cleaning in place* (CIP), dan air dari peralatan yang rusak dan atau kesalahan operasional.
- 3) Air limbah sanitasi, biasanya disalurkan langsung ke saluran air kotor (selokan).

Sebagian besar limbah cair yang dihasilkan pada industri susu berasal dari proses manufaktur. Limbah cair yang dihasilkan, termasuk hasil dari kegiatan sanitasi, mencapai 50–80% dari total air yang dikonsumsi. Diperkirakan bahwa jumlah limbah cair yang dihasilkan sekitar 2,5 kali lebih tinggi dari susu olahan dalam satuan volume [12].

Limbah cair pengolahan susu mengandung senyawa organik terlarut, padatan tersuspensi, dan jejak organik. Hal tersebut mengakibatkan tingginya *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD). Limbah susu bersifat basa dan dapat berubah menjadi asam dengan cepat. Hal tersebut dikarenakan adanya

proses fermentasi gula susu menjadi asam laktat [13]. Sedangkan limbah cair dari proses sanitasi selain mengandung deterjen dan pembersih juga mengandung susu seperti kasein dan garam anorganik, serta natrium yang tinggi dari penggunaan soda kaustik untuk pembersihan [7]. Karakteristik spesifik dari limbah cair industri pengolahan susu yang diperoleh dari beberapa penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

Karakteristik limbah cair industri pengolahan susu berdasarkan tipenya memiliki nilai COD, BOD, pH, *Total Suspended Solid* (TSS), dan *Total Solid* (TS) yang berbeda-beda. Karakteristik tersebut sangat tergantung pada jumlah susu yang diproses dan jenis produk yang diproduksi [7]. Pada umumnya, limbah cair hasil dari pengolahan susu berwarna putih (*whey*) berwarna hijau kekuningan) dan memiliki bau yang tidak sedap dan karakter keruh. Terdapat beberapa metode pengolahan limbah cair susu, yaitu secara kimia, fisika, dan biologis. Dari ketiga metode tersebut, pengolahan limbah cair secara biologi memberikan dampak yang aman bagi lingkungan serta membutuhkan biaya yang lebih murah dibandingkan secara kimia maupun fisika [20]. Syarat penting pengolahan limbah cair susu secara biologis adalah harus memiliki nilai pH antara 6 sampai 9. Paparan limbah cair yang berkepanjangan pada kondisi anaerob (dalam jaringan selokan dengan genangan air) menyebabkan pengasaman cair oleh fermentasi asam laktat sehingga menurunkan pH [12].

Penanganan Limbah Cair Industri Susu

Air limbah pengolahan susu sangat mudah terurai, sehingga dapat ditangani secara efektif dengan sistem penanganan secara biologis [7] [20]. Metode ini membutuhkan biaya yang relatif rendah, mudah diterapkan, dan menawarkan kemungkinan dihasilkan produk baru [20].

Beberapa penelitian berkaitan dengan penanganan utama terhadap limbah cair industri pengolahan susu antara lain sebagai berikut:

- 1) Pembuangan langsung ke tempat pengolahan limbah

Fasilitas pengolahan limbah umum (kota) mampu menangani limbah organik pada jumlah tertentu dan harus dapat mengatasi peningkatan jumlah limbah. Akan tetapi, komponen tertentu seperti lemak pada aliran limbah dapat menimbulkan masalah karena lemak akan melekat dan menyebabkan timbulnya endapan pada tangki pengendapan [23]. Industri pengolahan susu biasanya dikenakan peraturan tentang pembuangan, di mana peraturan tersebut tergantung pada praktik dan kapasitas buangan dari pengolahan limbah kota. Biaya saluran didasarkan pada laju aliran limbah, jumlah BOD, padatan tersuspensi atau *suspended solid* (SS), dan total P yang terbuang per hari [11]. Polutan utama dalam air limbah pengolahan susu adalah *whey* karena tingginya muatan organik dan volumetrik. Polutan tersebut mewakili sekitar 85-95% volume susu dan 55% dari komponen susu. *Whey* terdiri dari karbohidrat (4-5%), umumnya laktosa. Jumlah protein dan asam laktat kurang dari 1%, lemak menjadi sekitar 0,4-0,5%, sedangkan garam bervariasi dari 1 sampai 3% [12].

2) Pengolahan air limbah di dalam pabrik (*onsite pretreatment*)

Pengolahan air limbah di dalam pabrik atau disebut *onsite pretreatment* dapat dilakukan dengan beberapa cara seperti berikut [11]:

- Penyaringan secara fisik, bertujuan untuk menghilangkan partikel yang dapat menyebabkan kerusakan pompa dan penyumbatan aliran serta untuk mencegah peningkatan konsentrasi COD akibat kelarutan padatan.

Pengendalian pH dapat dilakukan dengan penggunaan deterjen alkalin untuk penyabunan (saponifikasi) lemak dan penghilangan protein akan memiliki pH 10-14. Selain itu, penggunaan pembersih asam untuk menghilangkan cadangan mineral dan sanitasi berbasis asam akan memiliki pH 1,5-6,0. Rentang pH optimum untuk *treatment* secara biologi antara 6,5-8,5, di mana nilai pH yang ekstrim dapat merugikan fasilitas penanganan limbah seperti berefek negatif pada komunitas mikroba dan akan meningkatkan korosi pipa pada pH di bawah 6,5 dan di atas 10.

- Keseimbangan aliran dan komposisi, syarat utama untuk pelaksanaan proses biologi lanjutan secara efisien karena pembuangan air limbah sangat bervariasi berkaitan dengan volume, kekuatan, suhu, pH, dan tingkat gizi.
- Penghilangan lemak, minyak, dan *grease* (FOG) karena keberadaannya dalam air limbah pengolahan susu menyebabkan berbagai masalah dalam sistem pengolahan

limbah secara biologis *onsite* dan pengolahan limbah umum. FOG tersebut harus dihapuskan secara keseluruhan. Sistem penghilangan FOG umumnya dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu perangkap *gravity* (*gravity traps*), *air flotation* dan *dissolved air flotation* (DAF), dan hidrolisis enzimatis.

3) Pembuangan bahan semi padat (lumpur)

Terdapat beberapa jenis lumpur yang berasal dari air limbah pengolahan susu, yaitu [11]:

- Lumpur yang dihasilkan selama sedimentasi utama limbah mentah (jumlahnya biasanya sedikit)
- Lumpur yang dihasilkan selama pengendapan padatan tersuspensi setelah penanganan air limbah secara kimia
- Lumpur yang dihasilkan dari proses pengolahan secara biologis, dapat berupa aerob atau anaerob
- Lumpur yang dihasilkan selama pengolahan tersier dari limbah cair untuk padatan tersuspensi akhir atau penghilangan nutrisi setelah penanganan biologis.
- Lumpur hasil pengolahan susu dapat diaplikasikan sebagai pupuk dan lebih baik jika dibandingkan dengan lumpur kota (umum) [2]. Lumpur hasil pengolahan susu merupakan sumber nitrogen dan fosfor, meskipun perlu penambahan kalium (potasium) untuk keseimbangan nutrisi [24]. Lumpur pengolahan susu jarang mengandung bakteri patogen yang sama seperti lumpur domestik [24] dan memiliki konsentrasi logam berat yang jauh lebih rendah dari lumpur domestik [26].

Teknologi Penanganan Limbah Cair

Teknologi penanganan limbah cair pada industri pengolahan susu umumnya dilakukan secara biologis (*biological treatment*). Hal tersebut dikarenakan limbah cair pengolahan susu sangat mudah terurai sehingga dapat ditangani secara efektif dengan sistem penanganan secara biologis [7][20]. Degradasi biologis merupakan salah satu teknologi penanganan limbah yang paling menjanjikan untuk menghilangkan bahan organik dari limbah cair pengolahan susu. Namun, lumpur yang terbentuk, terutama selama proses biodegradasi aerob, dapat menyebabkan masalah pembuangan yang serius dan mahal. Selain itu juga dapat diperburuk oleh kemampuan lumpur untuk menyerap senyawa organik tertentu dan bahkan logam berat beracun. Akan tetapi sistem biologis memiliki keuntungan dari transformasi mikroba organik kompleks dan kemungkinan adsorpsi logam berat oleh mikroba yang sesuai [26].

Gambar 1. Sistem lumpur aktif konvensional

Sistem Biologi Aerob

Sistem biologi aerob merupakan suatu metode penanganan limbah secara biologis aerob merupakan proses yang bergantung pada pertumbuhan mikroorganisme di lingkungan yang kaya oksigen untuk mengoksidasi komponen organik menjadi karbon dioksida, air, dan bahan yang lebih kecil (*cellular*) [28].

Kelemahan dari metode ini adalah terbentuknya busa selama proses dan buruknya pemisahan antara padatan dan cairan. Sistem biologi aerob dapat dibedakan menjadi beberapa proses seperti berikut:

1) Penyaringan aerob

Penyaringan aerob seperti peresapan konvensional (*conventional trickling*) dan saringan penyaring (*percolating filter*) merupakan salah satu metode *treatment* biologis yang paling tua [28]. Media pembawa (diameter 20-100 mm) dapat terdiri dari potongan batu apung, karang, kerikil, atau plastik yang diisi beragam mikroba. Air limbah dari tangki penyimpanan biasanya diletakkan di ketinggian medium dan kemudian menetes ke dasar dengan kedalaman 2 m. Mikroba aerob akan menyerap komponen organik dari limbah cair dan menguraikannya secara aerob. Kondisi aerob dihasilkan dari perbedaan suhu antara udara dengan air limbah yang ditambahkan. Endapan lumpur harus dihilangkan setiap saat. Kekurangan dari metode ini adalah saringan dapat terhalang oleh endapan besi hidroksida dan karbonat selama aktivitas mikroba. Jika beban air limbah tinggi maka akan terhalang oleh komponen biologis yang berat dan lapisan lemak. Umumnya beban organik air limbah pengolahan susu direkomendasikan tidak lebih dari 0,28-0,30 kg BOD/m³ [11]. Penelitian [30] menggunakan metode penyaringan aerob berupa *biological trickling filter* untuk penanganan 15 L limbah cair pengolahan susu. Hasilnya menunjukkan bahwa rata-rata COD menurun dari 2.750 mg/L menjadi 98 mg/L pada HRT 7 jam dan efisiensi penghilangan TKN mencapai lebih dari 70%. Mikroorganisme yang dikembangkan dalam

filter *bio-trickling* secara efisien mampu menghilangkan kadar COD hingga 2.750 mg/L, dalam kondisi aerobik pada pH 6,8-7,2 dan pada kondisi suhu rendah, yaitu 10-13 °C.

- 2) Pengolahan lumpur aktif (ASP) konvensional
Proses ini dikembangkan di Inggris pada tahun 1914 oleh Ardern dan Lockett. Dinamakan *Activated sludge process* (ASP) karena melibatkan produksi massa mikroorganisme yang diaktifkan yang mampu menstabilkan limbah secara aerobik [27]. ASP menggunakan mikroba yang tersuspensi dalam air limbah di tangki aerasi untuk menyerap dan mengurai polusi organik. Bagian dari komposisi organik akan teroksidasi menjadi produk akhir yang tidak berbahaya dan zat anorganik lainnya untuk menyediakan energi yang menopang pertumbuhan mikroba dan pembentukan gumpalan. Gumpalan disimpan dalam bentuk suspensi baik dengan cara aliran udara ke bagian bawah tangki (sistem penyebaran udara) atau dengan aerasi mekanik [11]. Hasil penelitian [31] menunjukkan bahwa proses lumpur aktif pada pengolahan limbah cair pengolahan susu paling baik dioperasikan pada waktu retensi 5 hari dengan efisiensi penghilangan baik BOD maupun COD sebesar 95%. Perubahan besar dalam persentase penghilangan *soluble solid* (SS) adalah pada waktu penahanan (*detention time*) 5-7 hari, yaitu meningkat dari 84% menjadi 97%.
- 3) *Sequencing batch reactor* (SBR)

SBR merupakan tangki tunggal unit *fill-and-draw* dengan memanfaatkan tangki yang sama untuk aerasi, mengendapkan, menarik limbah, dan mendaur ulang padatan [11]. Di antara proses pengolahan biologis, proses SBR telah banyak diterapkan untuk penanganan limbah kota dan limbah berbahaya [32]. Metode ini sangat efektif untuk mendegradasi senyawa nitrogen dan fosfor yang terdapat pada limbah [11]. Metodenya, tangki diisi air limbah dan dicampur tanpa aerasi untuk memungkinkan metabolisme senyawa yang difermentasi. Selanjutnya adalah proses aerasi untuk

meningkatkan oksidasi dan pembentukan gumpalan. Lumpur kemudian mengendap dan limbah dihilangkan pada akhir siklus. Sistem SBR sangat bergantung pada operator untuk menyesuaikan durasi waktu pada setiap tahapan sehingga menunjukkan fluktuasi dari komposisi air limbah. Pemurnian limbah cair pengolahan susu dengan metode ini menunjukkan bahwa COD berkurang sebesar 91–97%, TS sebesar 63%, *volatile solid* (VS) sebesar 66%, *total Kjeldahl nitrogen* (TKN) sebesar 75%, dan *total nitrogen* (TN) sebesar 38% [11]. Penelitian lain oleh [33] dengan menggunakan SBR yang dikombinasikan dengan granulasi lumpur aktif untuk pengolahan limbah cair pengolahan susu menunjukkan bahwa hingga 90% dari total COD, 80% dari TN dan 67% dari *total phosphorus* (TP) dicapai dalam siklus 8 jam dan rasio pertukaran volume 50%.

4) *Rotating biological contactors* (RBC)

Proses RBC digunakan di seluruh dunia untuk pengolahan air limbah kota dan industri. Unit RBC dapat dirancang baik untuk penghilangan karbon organik maupun nitrifikasi [33]. Desain sistem RBC berisi cakram melingkar yang terbuat dari plastik berdensitas tinggi atau bahan ringan lainnya. Cakram (berputar 1-3 rpm) ditempatkan pada poros horisontal sehingga sekitar 40-60% permukaannya menjorok keluar tangki sehingga memungkinkan oksigen ditransfer dari atmosfer ke lapisan (*film*) terbuka. Lapisan *biofilm* ditempatkan pada permukaan cakram. Ketika *biofilm* terlalu tebal, maka harus dirobek dan dihilangkan dari tangki sedimentasi [11]. Proses RBC memiliki beberapa keunggulan dibanding proses lumpur aktif dalam penanganan air limbah susu. Keuntungan utamanya adalah kebutuhan energi untuk input rendah, relatif mudah dalam pengoperasian, dan pemeliharaan rendah [27]. Hasil penelitian [35] dengan menggunakan RBC sistem tiga tahap menunjukkan efisiensi penghilangan COD sebesar 80% pada HRT 16 jam dan penghilangan COD sebesar 83% dicapai pada HRT 24 jam. Sementara itu, ketika HRT ditingkatkan menjadi 36 jam, efisiensi penghilangan COD juga meningkat menjadi 92%. Kelebihan dari metode ini adalah input daya yang diperlukan rendah, pengoperasian yang relative mudah, dan perawatan yang rendah [11].

Gambar 2. Ilustrasi pengolahan limbah cair dengan: SBR (atas) dan RBC (bawah) [11]

5) Penanganan dengan laguna (*lagoon*) atau kolam (*pond*)

Laguna merupakan metode yang diunggulkan untuk efektivitas pengolahan air limbah karena sistemnya sederhana dan tidak memiliki fasilitas daur ulang lumpur. Sistem ini tidak menggunakan perangkat mekanis kecuali kolam aerasi, dan aliran biasanya terjadi karena gravitasi [22]. Namun, lingkungan yang kurang terkendali akan memperlambat waktu reaksi sehingga menghasilkan waktu retensi lama sampai 60 hari. Kolam aerasi umumnya memiliki kedalaman 0,5-4,0 m. Pengosongan pada bagian yang diberi lapisan merupakan metode sederhana pada konstruksi laguna dan membutuhkan perhatian yang relatif tidak terampil. Pengembangan aerator dapat digunakan untuk penetrasi oksigen dan sinar matahari. Kolam fakultatif juga sering digunakan untuk limbah susu berkekuatan tinggi. Meskipun kolam/laguna mudah dioperasikan, tetapi merupakan sistem yang paling kompleks dibanding semua sistem rekayasa degradasi biologis. Penggunaan kolam aerobik menunjukkan bahwa waktu 5 hari sudah cukup untuk pengurangan atau penghilangan 85% BOD limbah cair pengolahan susu pada suhu 20 °C [11]. [36] melakukan pengolahan limbah cair peternakan susu dengan membandingkan dua metode, yaitu kolam tradisional dan sistem kolam yang lebih canggih atau *advanced pond system* (APS). Hasilnya, kualitas efluen APS jauh lebih tinggi dibandingkan kolam tradisional, yaitu BOD rata-rata adalah 43 g/m³ berbanding 98 g/m³, TSS 87 g/m³ berbanding 198 g/m³, nitrogen amoniak 39 g/m³ berbanding 106 g/m³, dan TP 19 g/m³ berbanding 27 g/m³.

Gambar 3. Ilustrasi pengolahan limbah cair dengan metode kolam [11]

Sistem Biologi Anaerob

Sistem biologi anaerob merupakan suatu teknologi pengolahan limbah dengan memanfaatkan mikroorganisme dalam kondisi sedikit oksigen terlarut, bahkan tidak terdapat oksigen sama sekali [36]. Perlakuan anaerobik cocok untuk diterapkan pada limbah cair dengan kandungan BOD atau COD yang sangat tinggi. Perlakuan ini kemudian dilanjutkan dengan proses degradasi bahan organik yang terdapat pada suspensi yang akan dihasilkan metana dan karbondioksida. Perlakuan anaerobik telah berhasil diterapkan untuk pengolahan air limbah yang tercemar berat dan memiliki keuntungan dari kebutuhan nutrisi yang lebih rendah dan produksi lumpur yang lebih sedikit [4]. Sistem biologi anaerob dapat dibedakan menjadi beberapa proses seperti berikut:

1) *Anaerobic digestion* (AD)

Anaerobic digestion (AD) merupakan proses biologis yang dilakukan oleh konsorsium mikroba aktif tanpa adanya akseptor elektron dari eksogen [11]. AD dikarakterisasikan dengan produksi biogas, terutama metana (70–90%) dan karbon dioksida (10–30%) [23]. AD ditujukan untuk mengurangi efek berbahaya dari limbah pada biosfer [37]. Lebih dari 95% muatan organik dalam aliran limbah dapat dikonversi menjadi biogas dan sisanya digunakan untuk pertumbuhan dan pemeliharaan sel. Sistem anaerob umumnya lebih ekonomis untuk stabilisasi biologis dari limbah pengolahan susu karena tidak membutuhkan energi tinggi dibandingkan aerasi pada sistem aerob. AD juga menghasilkan metana yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber panas atau energi [11]. Penelitian [38] dengan menggunakan *treatment* AD pada limbah cair pengolahan susu memanfaatkan limbah lumpur, efisiensi penghilangan maksimum telah diamati pada suhu 35 °C, 0,5 kg/m³ hari serta OLR dan HRT selama 72 jam. Hasilnya efisiensi penghilangan untuk COD, BOD, TDS dan TSS masing-masing adalah 80%, 88%, 90%, dan 93%. Akan tetapi, kekurangan dari metode ini adalah membutuhkan biaya yang tinggi, waktu pengaturan awal yang lama, membutuhkan control kondisi operasi yang ketat [11].

2) Perluasan dasar (*expanded bed*) atau *fluidized-bed digesters*

Fluidisasi adalah suatu proses di mana fluida atau cairan yang alirannya ke atas menahan *bed* partikel. *Fluidized-bed bioreactor* (FBBR) merupakan aplikasi dari *bed* fluidisasi cair-padat atau *liquid-solid* (LS). Bioreaktor ini dapat dijalankan dalam sistem baik kolom tunggal atau pun ganda, tergantung pada proses penanganan limbah yang sedang dilakukan [8]. Sistem pengolahan dengan laju anaerobik yang tinggi dapat digunakan untuk menangani berbagai jenis air limbah industri karena (a) menghasilkan lebih sedikit lumpur, (b) memiliki kebutuhan energi yang lebih rendah, dan (c) menghasilkan metana yang dapat dibakar sebagai sumber energi tambahan [39]. FBBR merupakan proses pertumbuhan melekat. Mikroba menempel pada media yang difluidisasi dan membentuk *biofilm* di permukaan [8]. Media pembawa tetap disimpan pada suspensi dengan adanya resirkulasi kuat dari fase cair. Media pembawa dapat berupa butiran plastik, partikel pasir, manik-manik kaca, partikel tanah liat, dan fragmen arang aktif. Laju pemuatan organik atau *organic loading rate* (OLR) dari 1-20 kg/m³ per hari dapat dicapai COD dengan efisiensi penghilangan COD 80-87% pada suhu 20-35°C [23][11].

Gambar 4. Ilustrasi pengolahan limbah cair dengan FBR *bioreactor* [40]

3) *Upflow anaerobic sludge blanket* (UASB)

Di antara metode penanganan limbah cair lainnya, UASB telah diakui sebagai metode inti dari teknologi canggih untuk perlindungan lingkungan [40]. UASB memiliki beberapa keuntungan antara lain (a) desain polos, (b) konstruksi dan pemeliharaan yang tidak rumit, (c) kebutuhan lahan yang kecil, (d) biaya konstruksi dan operasi yang rendah, (e) produksi lumpur berlebih yang rendah, (f)

ketahanan dalam hal efisiensi penyisihan COD, (g) kemampuan untuk mengatasi fluktuasi suhu, pH dan konsentrasi influen, (h) pemulihan biomassa cepat setelah *shutdown*, dan (i) pembangkitan energi dalam bentuk biogas atau hidrogen [42]. Desain bioreaktor UASB agak sederhana didasarkan pada sifat pengendapan butiran (granula) lumpur terbaik. Pertumbuhan dan perkembangan butiran merupakan kunci keberhasilan dari UASB *digester*. Keberadaan butiran dalam sistem UASB berfungsi untuk memisahkan waktu retensi hidrolik (HRT) dari waktu retensi padatan (SRT) [22]. Oleh karena itu, granulasi yang baik penting untuk mencapai HRT singkat tanpa penghanyutan biomassa. Air limbah yang disuplai dari bawah dan keluar pada bagian atas melalui sistem penyekat internal untuk pemisahan gas, lumpur, dan fase cair, sehingga butiran lumpur dan biogas dapat dipisahkan [42]. Penelitian [42] menggunakan reaktor UASB untuk mengolah limbah cair pengolahan susu menghasilkan efisiensi penghilangan COD, BOD dan TSS masing-masing sebesar 87,06%, 94,50%, dan 56,54%.

Gambar 5. Ilustrasi pengolahan limbah cair dengan UASB *reactor* [44]

4) Laguna atau kolam anaerob (*anaerobic lagoon/pond*)

Laguna anaerob merupakan jenis *digester* anaerob yang paling sederhana [11]. Laguna anaerob digunakan untuk penyimpanan dan pengolahan limbah dan air limbah dengan perlakuan yang meliputi (a) pengendapan dan pemecahan mikrobial dan (b) stabilisasi bahan organik dalam limbah [43]. Laguna terdiri dari kolam yang tertutup agar tidak ada udara dan mencegah kehilangan metana ke atmosfer. Laguna jauh lebih mudah dibangun dibanding tipe *digester* vertikal. Tetapi kelemahan terbesarnya adalah memerlukan area yang luas [11]. Contoh penerapan laguna anaerob di Selandia Baru, laguna yang ditutupi dengan karet butil digunakan untuk mengolah limbah susu. Laguna tersebut memiliki volume 26.000 m³ dan total beban sebesar 40 000 kg COD per hari. Temperatur dikontrol pada 35 °C dan pH

6,8 - 7,2. Tingkat pemuatan organik 1,5 kg COD/m³ hari berada di sisi rendah. Efisiensi sistem total mencapai pengurangan 99% dalam COD [44].

5) *Continuous stirred tank reactor* (CSTR)

CSTR atau *digester* konvensional adalah tipe *digester* anaerob paling sederhana, selain laguna. Reaktor ini biasanya digunakan untuk limbah terkonsentrasi, terutama terkait polusi yang muncul sebagai padatan tersuspensi dan memiliki nilai COD lebih dari 30.000 mg/L [11]. Meskipun CSTR merupakan pilihan yang baik untuk penelitian ilmiah sistem campuran lengkap, tetapi sulit untuk menggunakannya pada skala industri karena pembatasan HRT. Reaktor ini dipelajari dengan menggunakan cairan keju yang terdiri dari rasio air pencuci dan whey 4:1 dengan 17 g/L COD. Namun, masalah dengan hilangnya lumpur akan muncul jika HRT turun hingga sekitar 9 hari [12]. Dalam CSTR tidak ada retensi biomassa sehingga HRT dan SRT tidak dipisahkan. Oleh karena itu, diperlukan waktu retensi yang lama tergantung pada laju pertumbuhan bakteri paling lambat yang terlibat dalam proses pencernaan. HRT dari *digester* konvensional sama dengan SRT dan biasanya berkisar 15-20 hari [11].

6) *Contact digester*

Proses kontak anaerob atau *contact digester* merupakan proses aktivasi lumpur anaerob yang terdiri dari reaktor pencampur anaerob yang diikuti oleh beberapa bentuk pemisahan biomassa [11]. Proses aktivasi tersebut adalah proses laju tinggi yang mempertahankan biomassa bakteri dengan memisahkan dan memekatkan padatan dalam reaktor terpisah dan mengembalikan padatan ke influen [45]. Biomassa kemudian didaur ulang ke reaktor, sehingga mengurangi waktu retensi dari waktu konvensional 20-30 hari menjadi <1,0 hari. Beban tingkat organik dapat bervariasi antara 1-6 kg/m³ dengan suhu berkisar 30-40°C. Kendala utama penggunaan proses ini adalah buruknya sifat pengendapan biomassa anaerob dari limbah *digester* [11]. *Digester* kontak anaerobik dapat mencapai degradasi COD lebih dari 80-95% di bawah kondisi mesofilik. Kekurangan utama dari teknologi ini adalah sulitnya endapan lumpur. Namun, teknologi ini diterapkan di seluruh dunia di pabrik susu meskipun sudah cukup tua [12].

7) *Fixed-bed digester*

Fixed-bed digester merupakan sistem yang mengandung bahan berpori tetap yang membawa material dan dengan pembentukan polisakarida ekstraseluler, bakteri dapat menempel pada permukaan kemasan bahan dan

tetap kontak dekat dengan air limbah yang lewat [48]. Air limbah ditambahkan baik di bagian bawah atau atas untuk membuat konfigurasi aliran atas atau aliran bawah. Lapisan tetap pada aliran bawah *digester* digunakan untuk menangani *whey* keju tanpa protein dengan COD rata-rata 59.000 mg/L [11]. Penelitian [47] menunjukkan bahwa dengan HRT pada rentang 1,0-5,5 hari maka diperoleh efisiensi penghilangan COD yang bervariasi antara 28,3% sampai 82,1%. Pada skala pabrik, efisiensi penghilangan COD mencapai 63,6% pada HRT 3 hari.

KESIMPULAN

Industri susu merupakan salah satu sektor pangan yang berkontribusi paling besar dalam volume pencemaran limbah cair karena konsumsi airnya yang besar. Secara umum, limbah cair dari industri pengolahan susu mengandung bahan organik konsentrasi tinggi seperti protein, karbohidrat dan lipid, BOD dan COD yang tinggi, serta padatan tersuspensi dan lemak minyak tersuspensi konsentrasi tinggi. Teknologi penanganan limbah cair pada industri pengolahan susu umumnya dilakukan secara biologis karena limbah cairnya sangat mudah terurai. Teknologi pengolahan biologis yang digunakan terdiri dari pengolahan aerob dan an aerob. Masing-masing teknologi memiliki keunggulan dan tingkat kesulitan penggunaan yang berbeda dalam penanganan limbah cair. Akan tetapi, metode anaerobik diketahui lebih efektif untuk limbah cair dengan karakteristik BOD dan COD yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Brião VB, Tavares CRG (2007) Effluent generation by the dairy industry: Preventive attitudes and opportunities. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 24(4): 487–497. doi: 10.1590/S0104-66322007000400003.
- [2] Suárez A, Fidalgo T, Riera FA (2014) Recovery of dairy industry wastewaters by reverse osmosis. *Production of boiler water. separation and purification technology* 133 204–211. doi: 10.1016/j.seppur.2014.06.041.
- [3] Vourch M, Balannec B, Chaufer B, Dorange G (2008) Treatment of dairy industry wastewater by reverse osmosis for water reuse. *Desalination* 219: 190–202. doi: 10.1016/j.desal.2007.05.013.
- [4] Karadag D, Köroğlu OE, Ozkaya B, Cakmakci M (2015) A review on anaerobic biofilm reactors for the treatment of dairy industry wastewater. *Process Biochemistry* 50 262–271. doi: 10.1016/j.procbio.2014.11.005.
- [5] Sfakianakis P, Tzia C (2014) Conventional and innovative processing of milk for yogurt manufacture; development of texture and flavor: a review. *Foods* 3: 176–193. doi: 10.3390/foods3010176.
- [6] Farizoglu B, Uzuner S (2011) The investigation of dairy industry wastewater treatment in a biological high performance membrane system. *Biochemical Engineering Journal* 57: 46–54. doi: 10.1016/j.bej.2011.08.007.
- [7] Raghunath BV, Punnagaiarasi A, Rajarajan G et al. (2016) Impact of dairy effluent on environment—a review. In: Prashanthi M, Sundaram R eds *Integr. Waste Manag. India*. Switzerland, Springer International Publishing. pp 239–249.
- [8] Nelson MJ, Nakhla G, Zhu J (2017) Fluidized-bed bioreactor applications for biological wastewater treatment: a review of research and developments. *Engineering* 3: 330–342. doi: 10.1016/J.ENG.2017.03.021.
- [9] Martín-Rilo S, Coimbra RN, Martín-Villacorta J, Otero M (2015) Treatment of dairy industry wastewater by oxygen injection: performance and outlay parameters from the full scale implementation. *Journal of Cleaner Production* 86: 15–23. doi: 10.1016/j.jclepro.2014.08.026.
- [10] Chavda P, Rana A (2014) Performance evaluation of effluent treatment plant of dairy industry. *International Journal of Engineering Research and Applications* 4(9): 37–40. doi: 10.12944/CWE.5.2.26.
- [11] Britz TJ, Schalkwyk C van, Hung Y-T (2006) Treatment of dairy processing wastewaters. In: Wang LK, Hung Y-T, Lo HH, Yapijakis C eds *Waste Treat. Food Process. Ind*. Boca Raton, Taylor & Francis Group, LLC. pp 1–28.
- [12] Slavov AK (2017) General characteristics and treatment possibilities of dairy wastewaters – a review. *Food Technology and Biotechnology* 55(1): 14–28. doi: 10.17113/ftb.55.01.17.4520.
- [13] Shete BS, Shinkar NP (2013) Dairy industry wastewater sources, characteristics & its effects on environment. *International Journal of Current Engineering and Technology* ISSN 2277 - 4106 3(5): 1611–1615. doi: 10.1075/target.18.2.05shi.
- [14] Cristian O (2010) Characteristics of the untreated wastewater produced by food industry. *Analele Universității din Oradea* 15: 709–714.
- [15] Deshannavar UB, Basavaraj RK, Naik NM (2012) High rate digestion of dairy industry effluent by upflow anaerobic fixed-bed reactor. *Journal of Chemical and*

- Pharmaceutical Research 4(6): 2895–2899.
- [16] Qazi JI, Nadeem M, Baig SS et al. (2011) Anaerobic fixed film biotreatment of dairy wastewater. *Middle-East Journal of Scientific Research* 8(3): 590–593.
- [17] Deshpande DP, Patil PJ, Anekar SV (2012) Biomethanation of dairy waste. *Research Journal of Chemical Sciences* 2(4): 35–39.
- [18] Kabbout R, Baroudi M, Dabboussi F et al. (2011) Characterization, Physicochemical and Biological Treatment of Sweet Whey (Major Pollutant in Dairy Effluent). In: *Int. Conf. Biol. Environ. Chem. Singapore, IACSIT Press*. pp 123–127.
- [19] Arumugam A, Sabarethinam PL (2008) Performance of a three-phase fluidized bed reactor with different support particles in treatment of dairy wastewater. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences* 3(5): 42–44.
- [20] Juodeikiene G, Cizeikiene D, Glasner C et al. (2017) Evaluation of the potential of utilizing lactic acid bacteria and dairy wastewaters for methane production. *Energy Exploration & Exploitation* 35(3): 388–402. doi: 10.1177/0144598717698081.
- [21] Gil-Pulido B, Tarpey E, Almeida EL et al. (2018) Evaluation of dairy processing wastewater biotreatment in an IASBR System: aeration rate impacts on performance and microbial ecology. *Biotechnology Reports* 19: 1–8. doi: 10.1016/j.btre.2018.e00263.
- [22] Britz TJ, Lamprecht C, Sigge GO (2008) Dealing with Environmental Issues. In: Britz TJ, Robinson RK eds *Adv. Dairy Sci. Technol.* Oxford, UK, Blackwell Publishing Ltd. pp 262–293.
- [23] Cela S, Ketterings QM, Czymmek K et al. (2014) Characterization of nitrogen, phosphorus, and potassium mass balances of dairy farms in New York State. *Journal of Dairy Science* 97(12): 7614–7632. doi: 10.3168/jds.2014-8467.
- [24] Zhang W, Alvarez-Gaitan JP, Dastyar W et al. (2018) Value-added products derived from waste activated sludge: a biorefinery perspective. *Water* 10(545): 1–20. doi: 10.3390/w10050545.
- [25] Li Y, McCrory DF, Powell JM et al. (2005) A survey of selected heavy metal concentrations in Wisconsin dairy feeds. *Journal of Dairy Science* 88: 2911–2922. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(05)72972-6.
- [26] Alturkmani A (2007) Dairy industry effluents treatment: thesis summary. UTCB University
- [27] Judal AL, Bhadania AG, Upadhyay JB (2015) Biological unit operation for waste water treatment: aerobic process. *International conference of Advance Research and Innovation* 3(4): 716–721.
- [28] Mittal A (2011) *Biological Wastewater Treatment*. Fulltide 2–9.
- [29] Mehrdadi N, Bidhendi GRN, Shokouhi M (2012) Determination of dairy wastewater treatability by bio-trickling filter packed with lava rocks - Case study PEGAH dairy factory. *Water Science and Technology* 65 (8): 1441–1447. doi: 10.2166/wst.2012.032.
- [30] Lateef A, Chaudhry MN, Ilyas S (2013) Biological treatment of dairy wastewater using activated sludge. *ScienceAsia* 39: 179–185. doi: 10.2306/scienceasia1513-1874.2013.39.179.
- [31] Neczaj E, Kacprzak M, Kamizela T et al. (2008) Sequencing batch reactor system for the co-treatment of landfill leachate and dairy wastewater. *Desalination* 222 404–409. doi: 10.1016/j.desal.2007.01.133.
- [32] Abdulgader M, Yu QJ, Zinatizadeh A, Williams P (2009) Biological treatment of milk processing wastewater in a sequencing batch flexible fibre biofilm reactor. *Asia-Pac J Chem Eng* 4: 698–703. doi: 10.1002/apj.
- [33] Mba D, Bannister R (2007) Ensuring effluent standards by improving the design of rotating biological contactors. *Desalination* 208: 204–215. doi: 10.1016/j.desal.2006.04.079.
- [34] Ebrahimi A, Asadi M, Najafpour GD (2009) Dairy wastewater treatment using three-stage rotating biological contractor (NRBC). *International Journal of Engineering Transactions B: Applications* 22(2): 107–114.
- [35] Craggs RJ, Sukias JP, Tanner CT, Davies-Colley RJ (2004) Advanced pond system for dairy-farm effluent treatment. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 47: 449–460. doi: 10.1080/00288233.2004.9513613.
- [36] Indriyati I (2018) Pengolahan limbah cair organik secara biologi menggunakan reaktor anaerobik lekat diam. *Jurnal Air Indonesia* 1 (3): 340–343. doi: 10.29122/jai.v1i3.2361.
- [37] Shah FA, Mahmood Q, Shah MM et al. (2014) Microbial ecology of anaerobic digesters: the key players of anaerobiosis. *The Scientific World Journal* 1–21. doi: 10.1155/2017/3852369.
- [38] Ali AH, Jasem NA, Attia HG (2012) The use of Anaerobic digestion process in the treatment of dairy wastewater by microorganisms derived from sewage wasted sludge. *Journal of Engineering and Development* 16(4): 181–194.
- [39] Okonkwo P., Okoli C. (2013) Treatment of brewery waste water in a fluidized bed digester. *Chemical and Process Engineering*

Research 13: 36–46.

- [40] Özkaya B, Kaksonen AH, Sahinkaya E, Puhakka JA (2019) Fluidized bed bioreactor for multiple environmental engineering solutions. *Water Research* 150 (November): 452–465. doi: 10.1016/j.watres.2018.11.061.
- [41] Latif MA, Ghufuran R, Wahid ZA, Ahmad A (2011) Integrated application of upflow anaerobic sludge blanket reactor for the treatment of wastewaters. *Water Research* 45: 4683–4699. doi: 10.1016/j.watres.2011.05.049.
- [42] Daud MK, Rizvi H, Akram MF et al. (2018) Review of upflow anaerobic sludge blanket reactor technology: effect of different parameters and developments for domestic wastewater treatment. *Journal of Chemistry* 1–13. doi: 10.1155/2018/1596319.
- [43] Gotmare M, Dhoble RM, Pittule AP (2011) Biomethanation of dairy waste water through uasb at mesophilic temperature range. *IJAEST* 8(1): 1–9.
- [44] C AS, Azreen N, Jamil M et al. (2017) Aerobic and anaerobic sewage biodegradable processes: the gap analysis. *Int J Res Environ Sci*. doi: 10.20431/2454-9444.0303002
- [45] Hawkins GL, Raman DR, Burns RT et al. (2001) Enhancing dairy lagoon performance with high-rate anaerobic digester. *American Society of Agricultural Engineers* 44(6): 1825–1831.
- [46] Strydom JP, Mostert JF, Britz TJ (2001) Anaerobic digestion of dairy factory effluents. *Stellenbosch*.
- [47] Dennis A, Burke PE (2001) *Dairy waste anaerobic digestion handbook: options for recovering beneficial products from dairy manure*. Olympia, Washington.
- [48] Jawaheri R Al (2011) The use of constructed wetlands for the treatment of dairy processing wastewater. *Högskolan i Halmstad*. doi: 10.1515/jwld-2017-0058
- [49] Nikolaeva S, Sánchez E, Borja R (2013) Dairy Wastewater treatment by anaerobic fixed bed reactors from laboratory to pilot-scale plant: a case study in Costa Rica operating at ambient temperature. *Int J Environ Res* 7(3): 759–766.