

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

2.1.1. Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu

Industri tahu menghasilkan dua jenis limbah, yaitu limbah padat dan juga limbah cair. Limbah ini merupakan hasil sampingan dari proses pembuatan tahu. Limbah cair tahu biasanya disebut air dadih atau 'whey' (Pohan, 2008). Limbah cair industri tahu dihasilkan dari proses pencucian, perebusan, pengepresan, dan pencetakan tahu. (Rossiana, 2006). Karakteristik limbah cair tahu adalah mengandung bahan organik tinggi dan mempunyai derajat keasaman yang rendah. Tingginya zat organik pada limbah tahu dapat menyebabkan pesatnya pertumbuhan mikroba dalam air. Hal tersebut akan mengakibatkan kadar oksigen dalam air menurun (Jenie, 1995). Senyawa – senyawa organik yang terkandung pada limbah tahu adalah protein sebesar 40-60%, karbohidrat sebesar 25-50%, lemak berkisar 8-12%, dan sisanya berupa kalsium, besi, fosfor, dan vitamin (Ratnani, 2010).

Selain itu suhu limbah cair tahu pada umumnya lebih tinggi dari air bakunya, yaitu 40°C sampai 46°C. Tingginya suhu buangan tersebut akan mempengaruhi lingkungan perairan yang selanjutnya akan berpengaruh terhadap kehidupan biologis, kelarutan oksigen dan gas lain, kerapatan air, viskositas, dan tegangan permukaan. Berdasarkan kondisi tersebut, maka air limbah cair tahu merupakan salah satu sumber pencemaran air apabila langsung dibuang ke badan air. Parameter air limbah tahu yang biasanya diukur antara lain pH, TSS, dan kebutuhan oksigen berupa BOD₅ dan COD.

Senyawa industri yang terkandung dalam limbah cair tahu sangat tinggi dan sedikit mengandung senyawa anorganik. Proses peruraian bahan industri oleh mikroorganisme aerob memerlukan energi sehingga memerlukan oksigen dalam jumlah besar. Hal itu menyebabkan terjadinya penurunan konsentrasi oksigen terlarut di dalam air. Penurunan konsentrasi

oksigen terlarut yang melewati ambang batas akan mengakibatkan kematian biota air disebabkan kekurangan oksigen (Ratnani, 2010).

2.1.2. Standar Baku Mutu Air Limbah Industri Tahu

Menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur No 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan / atau Kegiatan usaha Lainnya. Berikut merupakan Baku Mutu air limbah industri tahu berdasarkan Pergub Jatim No 72. Tahun 2013 :

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah Cair Industri Tahu

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
BOD ₅	mg/L	150
COD	mg/L	300
TSS	mg/L	100
pH	mg/L	6,0 – 9,0
Volume Air Limbah Maksimum (M ³ / ton kedelai)		20

(Sumber ; Pergub Jatim No. 72 Tahun 2013)

2.1.3. Parameter Pencemaran Limbah

A. BOD

Biochemical Oxygen Demand (BOD) adalah ketentuan untuk menghitung kebutuhan oksigen yang digunakan oleh mikroorganisme untuk mendegradasi zat organik melalui proses biokimia (Metcalf dan Eddy, 2015). BOD sebagai suatu ukuran jumlah oksigen yang digunakan oleh populasi mikroba yang terkandung dalam perairan sebagai respon terhadap masuknya bahan organik yang dapat diurai. Nilai BOD menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme pada waktu penguraian. Nilai BOD bermanfaat untuk mengetahui apakah air limbah tersebut mengalami biodegradasi atau tidak.

Metode pengukuran BOD cukup sederhana, yaitu mengukur kandungan oksigen terlarut awal (DO_i) dari sampel pada awal pengambilan sampel, kemudian mengukur kandungan oksigen terlarut kembali setelah sampel diinkubasi selama 5 hari pada kondisi gelap dan suhu tetap yang sering disebut dengan DO₅. Selisih DO_i dan DO₅ (DO_i - DO₅) merupakan nilai BOD yang dinyatakan dalam miligram oksigen

per liter (mg/L). Ketika diinkubasi pada suhu 20°C dan periode tetap selama 5 hari itu adalah ukuran organik polusi air yang dapat terdegradasi secara biologis, hal ini biasanya dinyatakan dalam miligram per liter. (Indriyati, 2017).

B. COD

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan jumlah kebutuhan oksigen yang dibutuhkan agar zat organik dalam limbah dapat teroksidasi melalui reaksi kimiawi menjadi CO₂ dan H₂O. Jika nilai COD besar, maka dapat diketahui bahwa pencemaran pada perairan tersebut juga besar. Nilai COD akan selalu lebih besar daripada BOD karena kebanyakan senyawa lebih mudah teroksidasi secara kimia daripada secara biologi. Pengukuran COD membutuhkan waktu yang jauh lebih cepat, yakni dapat dilakukan selama 3 jam, sedangkan pengukuran BOD paling tidak memerlukan waktu 5 hari. Jika korelasi antara BOD dan COD sudah diketahui, kondisi air limbah dapat diketahui.

C. TSS

Total Suspended Solid (TSS) merupakan padatan yang mempunyai ukuran 2µm atau lebih besar dari ukuran partikel koloid. Pengamatan TSS dilakukan untuk mengetahui tingkat pencemaran suatu perairan. Semakin tingginya nilai TSS suatu perairan maka semakin tinggi pula tingkat pencemaran diperairan tersebut, sehingga akan menghambat sinar matahari masuk kedalam air (Andini et al., 2015). Padatan tersuspensi adalah padatan yang menyebabkan kekeruhan air, tidak terlarut, dan tidak dapat mengendap langsung.

2.2 Landasan Teori

2.2.1. Pengolahan Biologis

Pengolahan air limbah secara biologis adalah suatu pengolahan untuk menurunkan atau menyisihkan bahan pencemar (substrat) yang terkandung dalam air limbah dengan memanfaatkan mikroorganisma untuk mendegrasi bahan pencemar (substrat) tersebut (Said, 2001). Pada proses pengolahan air limbah secara biologis dapat berlangsung pada tiga

lingkungan utama , yaitu sebagai berikut:

1. Lingkungan aerob : yaitu lingkungan yang dimana dissolved oxygen (oksigen terlarut) di dalam air cukup banyak, sehingga oksigen bukan merupakan faktor pembatas.
2. Lingkungan anoksik, yaitu lingkungan yang dimana dissolved oxygen (oksigen terlarut) di dalam air ada dalam konsentrasi yang rendah.
3. Lingkungan anaerob, kebalikan dari lingkungan aerob, yaitu tidak terdapat dissolved oxygen (oksigen terlarut), sehingga oksigen menjadi faktor pembatas berlangsungnya proses metabolisme aerob.

Proses biologis dengan sistem biakan melekat merupakan proses pengolahan limbah dimana mikroorganisme yang digunakan dikembangbiakkan pada suatu media sehingga mikroorganisme tersebut melekat pada permukaan media. Beberapa contoh dari pengolahan biologis dengan biakan melekat antar lain yaitu trickling filter, rotating biological contactors (RBC), biofilter tercelup dan yang lainnya (Huda, 2017). Proses biologis dengan sistem biakan melekat merupakan proses pengolahan limbah dimana mikroorganisme yang digunakan dikembangbiakkan pada suatu media sehingga mikroorganisme tersebut melekat pada permukaan media. Beberapa contoh dari pengolahan biologis dengan biakan melekat antar lain yaitu trickling filter, rotating biological contactors (RBC), biofilter tercelup dan yang lainnya (Huda, 2017). Pengolahan secara biologis, pada dasarnya dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu sebagai berikut :

1. Suspended Growth Reactor

Proses biologis dengan biakan tersuspensi merupakan sistem pengolahan dengan menggunakan aktivitas mikroorganisme untuk menguraikan senyawa polutan yang ada di dalam air. Mikroorganisme yang digunakan dibiakkan secara tersuspensi pada suatu reaktor. Beberapa contoh proses pengolahan dari biakan tersuspensi ialah proses lumpur aktif *kovensional*, *step aeration*, *contact stabilization*,

extended aeration, oxidation ditch (kolam oksidasi), dan lainnya (Said, 2011).

2. *Attached Growth Reactor*

Proses biologis dengan biakan melekat merupakan proses pengolahan limbah dimana mikroorganisme yang digunakan dibiakkan pada suatu media sehingga mikroorganisme tersebut melekat pada permukaan media. Proses biakan melekat juga dapat disebut dengan proses biofilm. Beberapa contoh teknologi pengolahan limbah dengan biakan melekat yaitu diantaranya trickling filter, biofilter tercelup, rotating biological contactors (RBC), contact aeration (aerasi kontak), dan lainnya (Said, 2011).

2.2.2. **Proses Koagulasi – Flokulasi**

Koagulasi – flokulasi adalah suatu proses untuk pemisahan suspended solid (SS) dan partikel koloid. SS merupakan produk mineral-mineral alam seperti tanah liat, lumpur dan sebagainya atau berasal dari organik (penguraian tanaman atau hewan). Adapun koloid merupakan SS dengan ukuran lebih kecil, partikel ini tidak dapat mengendap secara alami, mempunyai diameter kurang dari 1 μm dan penyebab terjadinya warna dan kekeruhan

Koagulasi didefinisikan sebagai proses destabilisasi partikel koloid dan partikel tersuspensi termasuk bakteri dan virus melalui penetralan muatan elektrinya untuk mengurangi gaya tolak menolak antar partikel, dan bahan yang digunakan untuk penetralan disebut koagulan (Kawamura, 1992).

Sedangkan flokulasi didefinisikan sebagai proses penggabungan partikel-partikel yang tidak stabil setelah proses koagulasi melalui proses pengadukan (*stirring*) lambat sehingga terbentuk gumpalan atau flok yang dapat diendapkan atau disaring pada proses pengolahan selanjutnya.

2.2.3. Biofilter

Biofilter adalah reaktor yang dikembangkan dengan prinsip mikroba tumbuh dan berkembang pada suatu media filter dan membentuk lapisan biofilm (attached growth). (Slamet dan Masduqi, 2019). Penggunaan reaktor biofilter memiliki beberapa keuntungan, yaitu pengoperasiannya mudah karena tidak diperlukan sirkulasi lumpur, lumpur yang dihasilkan relatif kecil sekitar 10-30% dari BOD yang dihilangkan, dapat digunakan untuk pengolahan air limbah dengan konsentrasi rendah maupun tinggi, tahan terhadap fluktuasi jumlah air limbah maupun fluktuasi konsentrasi dan pengaruh suhu terhadap efisiensi pengolahan kecil (Rakhmawati & Karnaningroem, 2012).

Pemilihan teknologi biofilter dalam menangani sistem pengolahan air limbah skala kecil karena dapat beroperasi secara handal dan tanpa masalah, serta mampu menurunkan kadar senyawa organik limbah seperti BOD, COD, ammonia, fosfat dan lainnya dengan proses biologis oleh biofilm yang melekat dalam permukaan media (Kurniawati, 2018). Pada reaktor proses biofilter ini mikroorganisme akan tumbuh dan berkembang melapisi seluruh sisi media. Pada saat biofilter beroperasi, air yang memiliki senyawa-senyawa polutan akan mengalir melewati celah-celah pada media serta akan langsung berkontak dengan lapisan mikroorganisme (biofilm).

A. Mekanisme Pengolahan Biofilter

Mikroorganisme yang menempel pada permukaan media merupakan grup yang sama dengan organisme yang ada di dalam lumpur aktif. Sebagian besar adalah organisme heterotropik dengan bakteri fakultatif sebagai organisme utama (Said, 2017).

Pengolahan Biologis adalah pengolahan yang memanfaatkan mikroorganisme (bakteri). Bakteri memiliki kemampuan menguraikan senyawa – senyawa polutan tertentu didalam suatu reaktor biologis. Bakteri dapat tumbuh dan berkembang memerlukan suatu sumber energi, karbon, serta elemen anorganik atau nutrient. Contohnya adalah nitrogen, phosphor, sulfur, natrium, kalsium, dan magnesium. Sumber energi

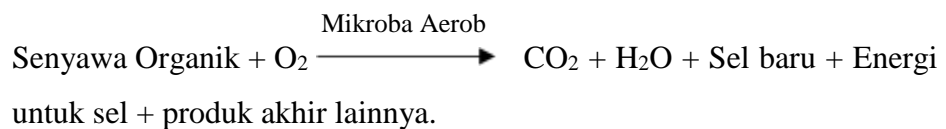
berupa karbon dan nutrient ini diserap dan didapatkan bakteri dari polutan yang berasal dari air limbah. Maka dari itu polutan pada air limbah dapat diturunkan. Jadi prosesnya adalah polutan pada air limbah akan diserap bakteri sebagai sumber energi dan nutrient. Maka bakteri dapat tumbuh dan berkembang dan polutan pada air limbah dapat turun (Said, 2017).

Senyawa polutan yang ada di dalam air limbah, misalnya senyawa organik (BOD, COD), amonia, fosfor dan lainnya, akan terdifusi ke dalam lapisan atau film biologis yang melekat pada permukaan medium. Pada saat yang bersamaan dengan menggunakan oksigen yang terlarut di dalam air limbah, senyawa polutan tersebut akan diuraikan oleh mikroorganisme yang ada di dalam lapisan biofilm dan energi yang dihasilkan akan diubah menjadi biomassa. Jika lapisan mikrobiologis cukup tebal, maka pada bagian luar lapisan mikrobiologis akan berada dalam kondisi aerobik, sedangkan pada bagian dalam biofilm yang melekat pada medium akan berada dalam kondisi anaerobik. Pada lapisan anaerobik akan terbentuk gas H_2S , dan jika konsentrasi oksigen terlarut cukup besar, maka gas H_2S akan diubah menjadi sulfat (SO_4) oleh bakteri sulfat yang ada dalam biofilm. Sedangkan pada zona aerobik, ammonium akan diubah menjadi nitrit dan nitrat selanjutnya pada zona anaerobik nitrat mengalami proses denitrifikasi menjadi gas nitrogen. Karena di dalam sistem biofilm terjadi proses anaerobik dan aerobik pada saat yang bersamaan, maka dengan sistem tersebut proses penghilangan senyawa nitrogen menjadi lebih mudah (Said, 2017).

B. Proses Biofilter Aerob

Pengolahan limbah cair secara aerobik merupakan proses yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme atau metabolisme sel yang berada pada media biofilter untuk dapat menurunkan atau menghilangkan substrat tertentu utamanya senyawa biodegradable yang terdapat dalam air limbah (Said, 2017). Perlunya penambahan aerasi

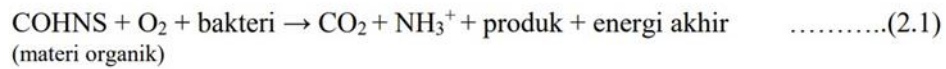
sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Proses aerob biasanya menghasilkan biomassa dalam jumlah besar (66%) dan menghasilkan air, gas, asam organik (34%). (Milasari et al., 2005). Beban pengolahan pada proses aerob lebih rendah, sehingga prosesnya ditempatkan sesudah proses anaerob. Pada proses aerob hasil pengolahan dari proses anaerob yang masih mengandung zat organik dan nutrisi diubah menjadi sel bakteri baru, hidrogen maupun karbon dioksida oleh sel bakteri dalam kondisi cukup oksigen (Said, 2017).



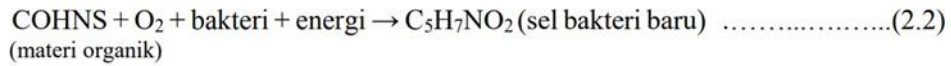
Terdapat beberapa kelebihan dari proses aerob ini, yaitu proses degradasi polutan organik akan terjadi hingga konsentrasi polutan berada di tingkat yang rendah. Selain itu proses aerobik juga bekerja lebih cepat jika dibandingkan dengan proses anaerob. Adapun kelemahan dari proses aerob ini adalah perlunya banyak energi serta pasokan oksigen yang cukup dalam pengoperasiannya. (Hartaja, 2015).

Pada proses aerob, ketika pasokan substrat yang tersedia (makanan) habis, mikroorganisme akan mulai mengkonsumsi protoplasma mereka sendiri untuk mendapatkan energi untuk reaksi pemeliharaan sel. Ketika energi diperoleh dari jaringan sel, maka mikroorganisme dikatakan berada dalam fase endogen. Jaringan sel dioksidasi secara akuatik menjadi karbon dioksida, air, dan amonia. Pada kenyataannya, hanya sekitar 75% - 80% dari jaringan sel yang dapat teroksidasi, 20% - 25% sisanya terdiri dari komponen inert dan senyawa organik yang tidak terurai. Amonia selanjutnya teroksidasi menjadi nitrat pada saat proses berlangsung. Mempertimbangkan biomassa yang terbuang dalam digester dan rumus $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$ yang mewakili massa sel dari mikroorganisme, perubahan biokimia dalam digester aerobik dapat dijelaskan dengan persamaan berikut (Eddy, 2014) :

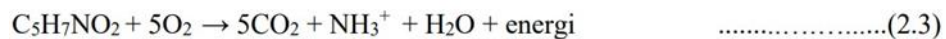
Oksidasi:



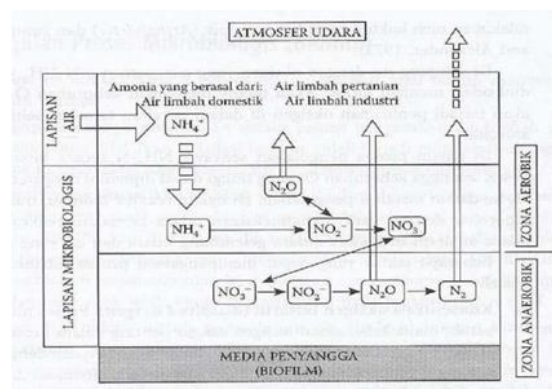
Sintesis:



Respirasi:



Pada persamaan tersebut, konversi nitrogen organik menjadi nitrat menghasilkan peningkatan konsentrasi ion hidrogen dan penurunan pH jika kapasitas buffering yang mencukupi tidak tersedia dalam lumpur (Eddy,2014). Berikut adalah Mekanisme Proses Penguraian Amonia di dalam Biofilm (Said, 2017).



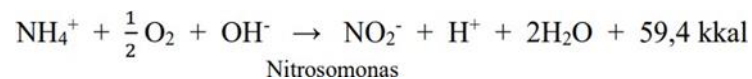
Gambar 2.1 Mekanisme Penguraian Amonia di dalam Biofilm

(Sumber : Said, 2017)

Pada proses biofiltrasi senyawa amonia akan diubah menjadi nitrit, kemudian senyawa nitrit akan diubah menjadi nitrat. Mekanisme proses penguraian senyawa amonia yang terjadi pada lapisan biofilm secara sederhana diilustrasikan pada Gambar 2.1. Lapisan terluar media penyangga adalah lapisan tipis zona aerobik, senyawa amonia dioksidasi dan diubah ke dalam bentuk nitrit. Sebagian senyawa nitrit ada yang diubah menjadi gas dinitrogen oksida (N_2O) dan ada yang diubah menjadi nitrat. Proses yang terjadi tersebut dinamakan dengan proses nitrifikasi (Said, 2017).

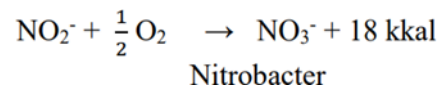
Berdasarkan Gardy & Lim (1980) dalam Said (2017) proses nitrifikasi merupakan konversi nitrogen ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$) menjadi nitrit ($\text{NO}_2\text{-N}$) yang kemudian menjadi nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) yang dilakukan oleh bakteri autotropik dan heterotropik. Proses nitrifikasi ini dapat dilihat dalam dua tahap yaitu nitritasi dan nitratasi.

Tahap nitritasi merupakan tahap oksidasi ion ammonium (NH_4^+) menjadi ion nitrit (NO_2^-) yang dilaksanakan oleh bakteri nitrosomonas menurut reaksi berikut:



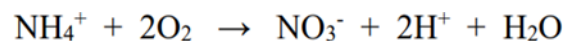
Reaksi ini memerlukan 3,43 gr O_2 untuk mengoksidasi 1 gr nitrogen menjadi nitrit.

Tahap kedua nitratasi merupakan tahap oksidasi ion nitrit menjadi ion nitrat (NO_3^-) yang dilaksanakan oleh bakteri nitrobacter menurut reaksi berikut :



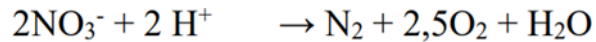
Reaksi ini memerlukan 1,14 gr O_2 untuk mengoksidasi 1 gr nitrogen menjadi nitrat.

Secara keseluruhan proses nitrifikasi dapat dilihat pada persamaan berikut :



Semakin lama, lapisan biofilm yang tumbuh pada media penyangga tersebut semakin tebal sehingga menyebabkan oksigen tidak dapat masuk ke dalam lapisan biofilm yang mengakibatkan terbentuknya zona anaerobik. Pada zona anaerobik ini, senyawa nitrat yang terbentuk diubah kedalam bentuk nitrit yang kemudian dilepaskan menjadi gas nitrogen (N_2). Proses demikian disebut proses denitrifikasi (Said, 2017).

Berikut adalah reaksi yang terjadi pada proses denitrifikasi (Sperling, 2007) :



2.2.4. Media Biofilter

Media biofilter merupakan bagian terpenting dari biofilter, oleh karena itu pemilihan media harus dilakukan dengan seksama disesuaikan dengan kondisi proses serta jenis air limbah yang akan diolah.

Media biofilter yang digunakan secara umum dapat berupa bahan material organik dan bahan material anorganik. Media biofilter bahan organik misalnya dalam bentuk tali, bentuk jarring, bentuk butiran tak teratur, bentuk papan (plate), bentuk sarang tawon dan lain-lain. Sedangkan dari bahan anorganik misalnya batu pecah (split), kerikil, batu marmer, batu tembikar, batu bara (kokas) dan lainnya (Said, 2017). Biasanya untuk media biofilter dari bahan anorganik, semakin kecil diameternya luas permukaannya semakin besar, sehingga jumlah mikroorganisme yang dapat dibiakkan juga menjadi besar pula.

Dalam praktiknya ada beberapa kriteria media biofilter ideal yang perlu diperhatikan, seperti (Said, 2017) :

1. Mempunyai luas permukaan spesifik besar

Luas permukaan spesifik merupakan besar luas area yang aktif secara biologis tiap satuan volume media. Luas permukaan yang pori-porinya halus tidak dapat membuat mikroorganisme hidup. Luas permukaan total yang tersedia untuk pertumbuhan bakteri merupakan indikator dari biofilter untuk bisa menghilangkan polutan.

2. Mempunyai fraksi volume rongga tinggi

Fraksi volume rongga merupakan prosentase ruang atau volume yang terbuka dalam media. Fraksi volume rongga juga dapat dikatakan ruang yang tidak tertutup oleh media. Variasi volume rongga dari 15% - 98%. Fraksi volume rongga yang tinggi tidak akan membuat aliran air tidak terhalang. Fraksi volume rongga untuk biofilter dengan menggunakan media umumnya 90% atau lebih.

3. Tahan terhadap penyumbatan

Penyumbatan dari berbagai macam media dapat dilihat dari fraksi rongga dan diameter celah bebas. Penyumbatan merupakan masalah serius pada biofilter. Penyumbatan adalah ketidakseragaman volume rongga media. Sebagian media mempunyai volume rongga yang kecil, maka hal ini yang dapat menyebabkan terjadinya penyumbatan dan dapat menurunkan kinerja biofilter.

4. Dibuat dari bahan inert

Media biofilter umumnya terbuat dari bahan yang tidak korosif, tahan terhadap pembusukan dan juga kerusakan secara kimia. Bahan logam seperti besi aluminium serta tembaga tidak sesuai jika dijadikan media biofilter karena mudah berkarat sehingga dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme.

5. Mempunyai kekuatan mekanik yang baik

Salah satu syarat media biofilter yaitu mempunyai kekuatan mekanik yang baik. Media biofilter yang berukuran besar sangat penting, karena mampu menyangga dengan kuat. Akan tetapi, untuk memenuhi keperluan pemeliharaan, media dengan kekuatan mekanik yang baik harus mempunyai stabilitas yang baik juga.

6. Ringan dan fleksibilitas

Berat media juga dapat mempengaruhi biaya dari sistem reaktor biofilter. Semakin berat media maka penyangga harus lebih kuat. Karena ukuran dan bentuk reaktor yang bermacam-macam, maka media yang digunakan harus dapat masuk ke dalam reaktor serta disesuaikan dengan bentuk reaktor.

7. Pemeliharaan mudah

Media biofilter yang baik adalah media yang pemeliharaannya mudah bahkan tidak memerlukan pemeliharaan sama sekali. Jika diperlukan pemeliharaan karena adanya penyumbatan maka media harus mudah dipindahkan.

A. Media Bioring

Jenis media bioring merupakan media yang terbuat dari keramik dan berfungsi sebagai tempat tumbuh dan berkembangnya mikroorganisme. Terdapat banyaknya pori pada media bioring membuat bioring memiliki luas permukaan yang tinggi, sehingga memungkinkan dengan mudah air masuk ke dalam pori, dan juga sebagai tempat hidup bakteri yang berkoloni (Purba & Sumiyati, 2013).

B. Media Kayu Meranti

Hasil penelitian (Willie et al., 2007) menyimpulkan bahwa serpihan kayu memiliki kemampuan yang sebanding dengan media komersial kaldness dalam hal mendukung pertumbuhan bakteri untuk menyediakan biologis denitrifikasi. Maka serpihan kayu dapat digunakan sebagai media biofilter pengganti plastic. Blowes et al. (1994) telah menunjukkan bahwa serpihan kayu dapat digunakan sebagai media biofilter untuk mengolah limpasan dan air irigasi.

2.2.5. Pengaruh Aerasi pada Proses Aerob

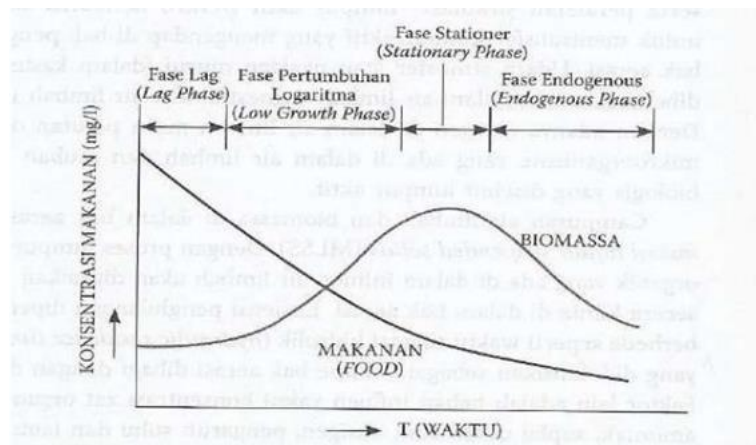
Sutapa DAI (1999) dalam Ariani (2010) menyatakan, proses aerob merupakan proses biologis yang menggunakan O_2 , perlunya penambahan aerasi sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Proses aerob biasanya menghasilkan biomassa dalam jumlah besar (66%) dan menghasilkan air, gas, asam organik (34%). Dari hal tersebut dapat dinyatakan bahwa penambahan oksigen dalam proses aerasi sangatlah penting.

Menurut Wijayanti (2008) dalam Batara et al (2017) efektivitas proses aerasi sebagai salah satu cara untuk mengurangi atau menghilangkan bahan-bahan pencemar dalam air sampai batas yang dipersyaratkan ditentukan oleh persebaran udara dalam kolam aerasi. Ada beberapa jenis aerasi yang sering digunakan yakni gravity aerator, spray aerator, diffuser aerator, dan mechanical aerator. Pada aerator jenis diffuser dapat melakukan transfer oksigen dari udara bertekanan yang diinjeksikan dalam air. Injeksi udara berlangsung dalam bak besar melalui diffuser berpori berbentuk plat atau tabung. Udara yang keluar dari diffuser biasanya berbentuk gelembung

udara yang akan menyebabkan peningkatan turbulensi air. Pemilihan tipe diffuser aerator didasarkan pada mudahnya perawatan, efisiensi transfer oksigen tinggi dan ekonomis (Batara et al, 2017).

Dalam kondisi aerobik, peranan oksigen adalah untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik dengan hasil akhirnya adalah nutrisi yang pada akhirnya dapat memberikan kesuburan perairan. Kelarutan oksigen dalam air dapat dipengaruhi oleh suhu, tekanan parsial gas-gas yang ada di udara maupun yang ada di air, salinitas serta persenyawaan unsur-unsur mudah teroksidasi di dalam air. Kelarutan tersebut akan menurun apabila suhu dan salinitas meningkat, oksigen terlarut dalam suatu perairan juga akan menurun akibat pembusukkan pembusukkan dan respirasi dari hewan dan tumbuhan yang kemudian diikuti dengan meningkatnya CO_2 bebas serta menurunnya pH (Rosariawari, 2016). Penambahan oksigen pada proses biofilter aerob harus sesuai dengan persinya, karena ketika penambahan oksigen yang berlebihan akan membuat turbulensi air juga besar sehingga berkemungkinan terjadinya pengelupasan mikroorganisme pada media biofilter.

2.2.6. Kinetika Pertumbuhan Mikroorganisme



Gambar 2.2 Kurva Pertumbuhan Biomassa dan Penggunaan Makanan
(Sumber : Said, 2017)

Menurut Said (2017) terlihat jelas bahwa di dalam kurva biomassa terdapat beberapa segmen yang berbeda, yaitu :

1. Fase Lag (Lag Phase)

Mula-mula organisme menyesuaikan diri dengan lingkungannya untuk mengonsumsi makan. Panjang segmen bervariasi tergantung dari jenis mikroorganisme, makanan serta kondisi lingkungannya. Jika organisme telah terbiasa dengan kondisi lingkungan dan makanan fase lag akan menjadi singkat, selanjutnya fase pertumbuhan dimulai, dan biasanya berlangsung secara cepat. Tiap sel membelah diri dan terbentuk dua buah sel baru yang berdiri sendiri (independent). Waktu regenerasi atau waktu yang dibutuhkan sel menjadi dewasa dan untuk pembelahan tergantung dari faktor lingkungan dan suplai makanan dan mungkin dapat terjadi dalam waktu yang pendek sekitar 15-20 menit.

2. Fase Pertumbuhan Logaritma (Low Growth Phase)

Fase pertumbuhan logaritma adalah pertumbuhan maksimum yang berjalan secara logaritma dan segmen pada kurva pertumbuhan. Pertumbuhan maksimum tidak dapat berlangsung terus secara tak terbatas. Hal ini disebabkan oleh suplai makanan menjadi berkurang atau habis atau kondisi lingkungan berubah, misalnya terlalu penuh dengan mikroorganisme, terbentuk produk limbah hasil metabolisme yang dapat mengganggu lingkungannya. Sel-sel yang sudah tidak bisa mendapatkan makanan dari sumber di luar untuk menjaga atau mempertahankan energinya akan mulai mengalami katabolisme endogenous dengan cara melepaskan protoplasmanya keluar untuk menambah makanannya.

3. Fase Stasioner (Stationary Phase)

Fase Stasioner adalah segmen dimana laju pertumbuhan mikroorganisme sama dengan laju mikroorganisme yang mati. Walaupun reproduksi sel masih berlanjut pada fase ini, tetapi akibat jumlah makanan yang dapat digunakan oleh sel-sel tidak lagi mencukupi maka selanjutnya akan terjadi kondisi dimana jumlah sel yang mati lebih besar dari pada jumlah sel baru yang terbentuk.

4. Fase Endogenous (Endogenous Phase)

Fase Endogenous merupakan fase dimana sel-sel akan mengalami lisis (lysis) yang melepaskan protoplasmanya keluar untuk dapat digunakan oleh sel yang masih hidup untuk proses reproduksinya. Pada akhir fase endogenous biomassa akan berkurang secara perlahan-lahan dan akan mencapai mendekati nol setelah waktu yang sangat lama.

Beberapa faktor luar yang mempengaruhi pertumbuhan biomassa dan laju utilitasi makanan antar lain adalah suhu, pH dan zat yang bersifat racun terhadap biomassa. Pada umumnya meningkatnya suhu lingkungan antara 0-50 °C, konstanta laju pertumbuhan mikroorganisme juga ikut meningkat, yang mengakibatkan meningkatnya produksi biomassa dan utilitasi makanan. Jika suhu melewati batas maksimum maka ini akan mengakibatkan perubahan struktur enzim dan akan dapat merusak atau menghancurkan mikroorganisme.

2.2.7. Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Proses Biofilter Aerob

Terdapat beberapa faktor – faktor yang dapat mempengaruhi proses dari biofilter aerob, diantaranya adalah :

- pH
pH merupakan parameter yang memiliki peran penting dalam mekanisme proses anaerobik, misalnya pada pertumbuhan mikroorganisme. Ada beberapa bakteri yang dapat hidup pada pH di atas 9,5 dan di bawah 4,0. Secara umum pH yang optimum untuk pertumbuhan mikroorganisme yaitu sekitar 6,5-7,5.
- Temperatur
Temperatur selain mempengaruhi aktivitas metabolisme dari populasi mikroorganisme, tetapi juga dapat mempengaruhi kecepatan transfer gas dan karakteristik dalam pengendapan lumpur. Dalam proses aerob temperatur yang optimum tidak jauh berbeda dari proses anaerob. Temperatur dalam pengolahan biofilter aerob memiliki rentang 27,1 – 31,3°C.

- Waktu tinggal hidrolis
Waktu tinggal hidrolis merupakan lamanya proses pengolahan limbah cair di dalam reaktor. Semakin lama waktu tinggal, maka penyisihan beban polutan akan semakin besar. Sedangkan waktu tinggal pada reaktor aerob sangat bervariasi dari 1 jam hingga berhari-hari.
- Nutrien
Mikroorganisme selain membutuhkan karbon dan energi, juga membutuhkan nutrien untuk sintesa sel dan pertumbuhan. Kebutuhan nutrien dinyatakan dalam perbandingan antara N dan P.
- Oksigen terlarut (Dissolved Oxygen)
Oksigen terlarut berpengaruh pada laju pertumbuhan bakteri aerob dalam pengolahan secara biologi. Adanya oksigen terlarut dalam jumlah yang cukup diperlukan untuk proses oksidasi dan sintesa sel. Kemudian, oksigen juga dibutuhkan untuk oksidasi bahan-bahan organik dan anorganik dalam proses aerobik. Oksigen terlarut dalam reaktor melekat diam terendam harus dijaga tidak boleh kurang dari 2 mg/l.

2.2.8. Seeding dan Aklimitasi

A. Seeding

Pada saat baru dipasang, media pada biofilter belum ada mikroorganisme yang menempel pada permukaan media. Oleh karena itu perlu dilakukan pengembangbiakan mikroorganisme melekat pada media. Proses seeding dilakukan secara alami dengan memberikan bibit organisme dari limbah sampai terbentuk lapisan biofilm pada media biofilternya untuk didapatkan hasil sampai terjadi steady state pada kondisi air limbah (Amri, 2015).

Tujuan dilakukan seeding selain untuk membenihkan dengan cara memasukkan kedalam air limbah yang akan dilakukan pengolahan supaya media mampu melakukan oksidasi pada zat pencemar organik pada air limbah tersebut dan menumbuhkan atau mengembangbiakan mikroorganisme agar dikondisikan dengan tempat beradaptasinya lingkungan awal, untuk tempat berkembang biaknya mikroorganisme

yang akan di ujikan direaktor (Filliazati, 2013).

B. Aklimitasi

Aklimatisasi dilakukan dengan cara mengganti secara bertahap air limbah penampungan hasil seeding dengan limbah air domestik asli. Penggantian dilakukan dimulai dengan perbandingan 10 % air dengan limbah 90 % dalam bak penampungan. Penggantian dilakukan secara bertahap sampai penggantian 100 %. Proses aklimatisasi diberhentikan pada saat efisiensi penyisihan COD telah stabil dan limbah yang tergantikan telah 100% air limbah domestik. Setelah proses aklimatisasi telah selesai yang diindikasikan dengan pergantian limbah penampungan dengan limbah air domestik telah mencapai 100 % dan efisiensi penyisihan COD pada saat aklimatisasi relatif stabil, maka pengoperasian secara kontinyu dapat dilakukan. Melakukan analisa BOD dan COD dengan debit yang berbeda serta variasi rasio resirkulasi. Mulai dari hari yang paling rendah dan rasio resirkulasi paling kecil hingga hari yang semakin lama dan rasio resirkulasi yang semakin besar (Amri, 2015).

Mikroba memerlukan nutrien yang berupa rasio C:N:P agar berkembangbiak dengan baik. Perbandingan rasio C:N:P yang diberikan untuk bakteri ini sebesar 100:5:1 untuk aerob dan 250:5:1 sesuai dalam jurnal Bashaar Y. Ammary . Indikator seeding mikroba telah siap apabila setelah diberi nutrisi yang cukup terdapat gelembung-gelembung udara yang terdapat di botol tersebut sebagai bentuk hasil respirasi mereka yaitu CO₂.

2.3 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu Berkaitan dengan Biofilter

No	Sumber	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	Munubi et al (2022)	Evaluation of biofilter performance with alternative local biomedial in pilot scale recirculating aquaculture system	Pengolahan biofilter menggunakan perbandingan 5 media yaitu tempurung kelapa, tanduk, keramik, bamboo, dan arang. Hasil yang didapatkan adalah tempurung kelapa dan tanduk yang paling baik dalam membentuk biofilm dan dapat bersaing dengan media biofilter konvensional (Kaldness).
2	Rachmawan (2020)	Pendegradasian Pencemar Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Aerobik Biofilter	Pengolahan biofilter menggunakan media bioring. Hasil yang didapatkan adalah Biofilter aerob media bioring mampu melakukan persen penyisihan BOD = 88,67% COD = 89,20% dan TSS = 31,48%.
3	Dayanti (2018)	Studi Penurunan COD Pada Air Limbah Domestik Buatan Menggunakan Biofilter Aerob Tercelup dengan Media Bioring	Pengolahan biofilter aerob menggunakan media bioring. Hasil yang diperoleh adalah kinerja biofilter aerob menggunakan media bioring dapat menurunkan nilai COD pada air limbah domestic. Persen penurunannya adalah 83% - 86% sesuai dengan debit yang digunakan.

No	Sumber	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
4	Hidayat (2019)	Efektivitas Multimedia Dalam Biofilter Pada Pengolahan Air Limbah Rumah Tangga	Pengolahan Biofilter menggunakan perbandingan media kayu dan jerami. Hasil yang didapatkan adalah media kayu dan jerami memiliki kemampuan yang sebanding dengan media konvensional dalam menghasilkan tingkat denitrifikasi.
5	Hasbi (2010)	Pengaruh Pemaikaaian Biofilter Dengan Media Tempurung Kelapa Sawit terhadap Penurunan Polutan organik di Dalam Air Limbah Industri Tahu dan Tempe	Pengolahan Biofilter Aerob menggunakan media tempurung kelapa sawit yang disusun bertumpuk. Hasil yang diperoleh adalah menunjukkan persen removal sebesar TSS = 97,19%, TDS = 19,25%, Amonia = 2,75, Posfat 5,13%, dan Nitrat = 6,99%.
6	Rakhmawati (2012)	Pengolahan Air Limbah Laundry Dengan Reaktor Biofilter Dan Koagulasi Flokulasi	Pengolahan air limbah laundry dengan menggunakan 2 variasi yaitu media berupa batu apung, batu kerikil, pecahan genteng tanah liat dan variasi dosis koagulan 40 mL/L dan 50mL/L untuk menurunkan COD. fisiensi penurunan COD dan Fosfat paling baik menggunakan batu apung yaitu COD sebesar 40-86%.

(Sumber : Analisa Penulis, 2023)