

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Air Limbah Domestik

1. Pengertian Air Limbah Domestik

Keputusan Kementerian Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik pada pasal 1 ayat 1 menyebutkan bahwa air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari usaha dan atau kegiatan permukiman (*real estate*), rumah makan, perkantoran, perniagaan, apartemen dan asrama. Sementara itu menurut Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 Tentang Perubahan Atas Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 10 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Limbah yang dimaksud air limbah adalah sisa dari suatu usaha dan/atau kegiatan yang berwujud cair. Menurut peraturan tersebut yang dimaksud domestik adalah usaha dan/atau kegiatan permukiman (*real estate*), rumah makan, perkantoran, perniagaan, apartemen dan asrama.

Definisi air limbah domestik menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah adalah air limbah yang berasal dari usaha dan/atau kegiatan permukiman, rumah makan, perkantoran, perniagaan, apartemen dan asrama. Sementara itu baku mutu air limbah domestik Menurut Peraturan Menteri

Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan/atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas ke dalam media air dari suatu usaha dan/atau kegiatan. Definisi air limbah domestik menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Limbah Domestik, air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari aktivitas hidup manusia sehari-hari yang berhubungan dengan pemakaian air. Definisi air limbah domestik menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia No. 04/PRT/M/ 2017 Tentang Penyelenggaraan Sistem Air Limbah Domestik Bab I Ketentuan Umum, Bagian Kesatu, Pengertian, pasal 1 bahwa Air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari usaha/ atau kegiatan pemukiman, rumah makan, perkantoran, perniagaan, apartemen dan asrama.

2. Karakteristik Air Limbah Domestik

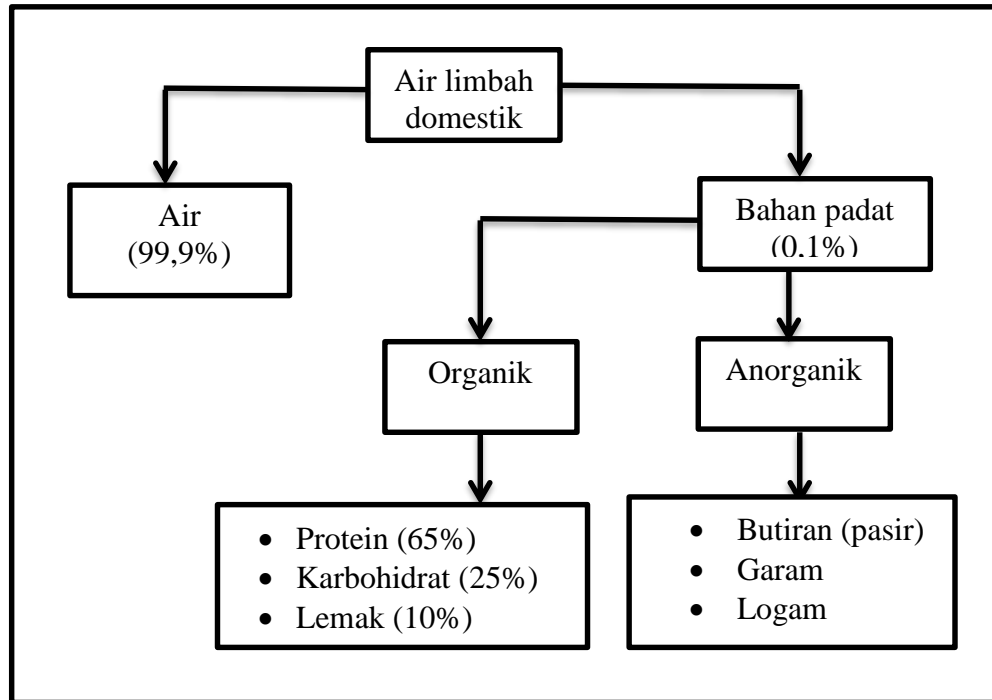
Karakteristik air limbah umumnya terbagi ke dalam tiga kategori, yaitu fisika, kimia, dan biologi (Metcalf dan Eddy, 2003). Sifat fisika, kimia, dan biologi air limbah tergantung pada sumber kegiatan penghasil air limbah tersebut. Air limbah domestik memiliki parameter pencemar yang tinggi terutama pada dua jenis material yaitu deterjen dan kotoran manusia. Karakteristik air limbah domestik diantaranya parameter fisik, kimia dan biologi. Menurut Pipeline (1997), karakteristik air limbah domestik terdiri

dari BOD, TSS, Nitrogen dan posfor sedangkan menurut Kushwah, *et al.*, (2011), karakteristik air limbah domestik meliputi DO, BOD, COD, konduktivitas, pH dan suhu. Cheerawit, *et al.*, (2012) juga menjelaskan bahwa karakteristik air limbah domestik terdiri dari BOD, COD, turbiditas, lemak, detergen dan agen-agen lain.

Air limbah dengan konsentrasi parameter pencemar melebihi baku mutu harus dilakukan pengolahan (*treatment*) terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Air limbah dengan beberapa parameter seperti BOD, COD, TSS, pH dan suhu yang konsentrasinya melebihi baku mutu dan langsung dibuang ke badan air akan menimbulkan kondisi *anoxic* dan *septic*. Kondisi anoksik dengan konsentrasi oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) rendah berdampak pada timbulnya pencemaran bau, akibat lebih jauh akan menyebabkan kematian organisme yang ada di badan air. Selain itu adanya parameter pencemar berupa amoniak pada air limbah domestik juga akan berdampak negatif bagi lingkungan. Konsentrasi amoniak yang melebihi baku mutu dapat memicu terjadinya proses pertumbuhan tidak terkendali (*eutrofikasi*) di dalam badan air. Cheerawit, *et al.*, (2012) juga menjelaskan bahwa air limbah domestik yang mengandung berbagai macam parameter pencemar perlu diolah terlebih dahulu sebelum dibuang.

Air limbah domestik mempunyai komposisi yang bervariasi sesuai dengan sumbernya. Komposisi air limbah domestik antara lain air dan padatan. Air bisa mencapai 99,9%, sedangkan padatan hanya 0,1%. Secara

garis besar komposisi bahan yang terkandung di dalam air limbah domestik dijelaskan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema pengelompokan komposisi bahan yang terkandung di dalam air limbah domestik (Sumber: Sugiharto, 1997)

3. Parameter Air Limbah Domestik

1) BOD (*Biological Oxygen Demand*)

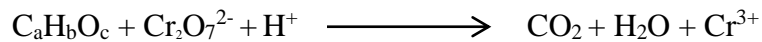
BOD (*Biological Oxygen Demand*) atau angka kebutuhan oksigen biologis adalah jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk memecah atau mendekomposisi bahan organik (MetCalf and Eddy, 2003). May (1996) mengartikan BOD sebagai suatu ukuran jumlah oksigen yang digunakan oleh mikroorganisme yang

terkandung dalam perairan sebagai respon terhadap masuknya bahan organik mudah diurai (*biodegradable organics*).

Alaerts dan Santika (1984) menyatakan bahwa BOD merupakan indikator pencemaran organik yang paling banyak digunakan untuk mengendalikan kualitas air atau untuk menilai kepekatan limbah. Lebih jauh dijelaskan oleh Alaerts dan Santika (1984) bahwa BOD adalah merupakan suatu analisis empiris yang mencoba mendekati secara global proses-proses mikrobiologis yang benar-benar terjadi di dalam air. Nilai BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan (*degradation*) hampir semua senyawa organik yang terlarut dan sebagian zat-zat organik yang tersuspensi dalam air. Pengukuran konsentrasi BOD digunakan untuk mengetahui jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme dalam mendegradasi senyawa organik di dalam air.

2) COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD (*Chemical Oxygen Demand*) atau kebutuhan oksigen kimia adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan-bahan organik yang terdapat dalam air secara kimia atau dengan kata lain kebutuhan oksigen kimia untuk reaksi oksidasi terhadap bahan organik di dalam air limbah. Sementara itu Wardhana (1994) mendefinisikan COD adalah jumlah oksigen yang diperlukan agar polutan yang ada di dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia. Oksidasi terhadap bahan buangan organik akan mengikuti reaksi berikut ini :



Biasanya *Kalium bichromat* atau ($K_2Cr_2O_7$) digunakan sebagai sumber oksigen (*oxidizing agent*). Jumlah oksigen yang diperlukan untuk reaksi oksidasi terhadap senyawa organik sama dengan jumlah *kalium bichromat* yang dipakai pada reaksi oksidasi, berarti makin banyak oksigen yang diperlukan. Sunu (2001), menjelaskan bahwa jumlah oksigen yang diperlukan untuk reaksi oksidasi terhadap limbah organik seimbang dengan jumlah *kalium bichromat* yang digunakan pada reaksi oksidasi. Semakin banyak *kalium bichromat* yang digunakan pada reaksi oksidasi, berarti semakin banyak oksigen yang diperlukan pada proses tersebut.

3) TSS (*Total Suspended Solid*)

TSS (*Total Suspended Solid*) atau total padatan tersuspensi adalah salah satu parameter yang digunakan untuk pengukuran kualitas air. Pengukuran TSS didasarkan berat kering partikel yang terperangkap oleh filter, biasanya dengan ukuran pori tertentu. Umumnya filter yang digunakan mempunyai ukuran pori 0,45 μm . Pengertian lain dari TSS adalah padatan yang terkandung di dalam larutan tetapi tidak terlarut, dapat menyebabkan larutan menjadi keruh, dan tidak dapat langsung mengendap pada dasar larutan (Standard Methods, 2005).

4) Amonium

Amonium nitrat adalah suatu senyawa kimia yang merupakan garam nitrat dari kation amonium. Kation amonium yang berupa ion poliatomik bermuatan positif dengan rumus kimia NH_4^+ . Amonium merupakan nama umum amonia tersubstitusi melalui protonasi atau bermuatan positif.

5) pH (*Potential Hydrogen*)

pH (*Potential Hydrogen*) adalah ukuran konsentrasi ion hidrogen dari larutan. Definisi lain pH adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan. pH juga didefinisikan sebagai logaritma negatif dari konsentrasi ion hidrogen. Larutan dengan pH kurang dari 7 disebut bersifat asam. Larutan dengan pH 7 disebut netral, sedangkan larutan dengan pH lebih daripada 7 disebut bersifat basa atau alkali. pH dapat diukur dengan alat pH meter atau kertas pH (kertas Lakmus).

6) Suhu

Suhu menunjukkan derajat panas benda. Suhu menunjukkan energi yang dimiliki oleh suatu benda. Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) suhu adalah ukuran kuantitatif terhadap temperatur, panas dan dingin. Pengukuran suhu dilakukan dengan alat termometer.

7) Deterjen (*Anionic Surfactant*).

Deterjen merupakan salah satu bahan pembersih yang sudah umum digunakan baik di industri maupun rumah tangga. Deterjen merupakan

gabungan antara berbagai macam senyawa dimana komponen utama adalah surfaktan (*surface active agent*) atau biasa disebut *wetting agent*. Surfaktan anionik/deterjen merupakan bahan organik yang berperan sebagai bahan aktif pada deterjen, sabun dan shampoo. Surfaktan dapat menurunkan tegangan permukaan yang memungkinkan partikel-partikel yang menempel pada bahan-bahan yang dicuci terlepas dan mengapung atau terlarut dalam air (Effendi, 2003). Surfaktan yang biasa digunakan adalah *Linier Alkilbenzene Sulfonat* (LAS) (Supriyono, dkk., 1998). Pengertian LAS adalah sebuah alkil aril sulfonat yang mempunyai struktur rantai lurus tanpa bercabang, sebuah cincin benzen dan sebuah sulfonat. LAS merupakan konversi dari *Alkilbenzena Sulfonat* (ABS). LAS lebih mudah diuraikan di dalam air dan merupakan kategori deterjen “lunak”.

Limbah deterjen yang terkandung di dalam limbah domestik merupakan salah satu penyebab pencemaran yang berbahaya bagi ekosistem kehidupan di perairan. Hal ini disebabkan oleh karena suplai oksigen dari udara ke dalam air sangat lambat (Connel, *et al.*, 1995). Pengaruh cemaran deterjen terhadap lingkungan dapat diketahui dengan menganalisis kadar surfaktan anion (deterjen). Metode yang digunakan biasanya adalah dengan metode MBAS (*Methylen Blue Active Surfactant*), yaitu dengan menambahkan zat metilen biru yang akan berikatan dengan surfaktan. Analisis menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Konsentrasi yang terbaca merupakan kadar surfaktan anionik atau deterjen.

Setelah Perang Dunia II dikembangkan deterjen sintetis dari *p-Alkilbenzene Sulfonat* (ABS) dengan gugus alkil yang banyak cabangnya. Bagian alkil senyawa ini disintetis dengan polimerisasi propilena dan dilekatkan pada cincin benzena dengan reaksi alkilasi *Friedel-Craft*. ABS inilah yang akan berdampak negatif bagi lingkungan karena bersifat sangat lambat diuraikan oleh bakteri pengurai disebabkan adanya rantai bercabang pada strukturnya. Selain itu, deterjen juga lolos pada sistem pengolahan limbah, sehingga menyebabkan sungai berbusa.

Tahun 1965 industri mengubahnya menjadi deterjen yang *biodegradable*, seperti *Alkil Linier Sulfonat* (ALS). ALS dengan rantai panjang sebagai ganti rantai bercabang (Fessenden, 1986). Penggunaan deterjen dengan ALS mengurangi permasalahan perairan yang muncul, seperti penutupan permukaan air dan toksisitasnya terhadap biota (Ahmad, 2004). Saat ini deterjen mengalami penambahan zat aditif (*additive agent*), seperti pewangi, pelarut, pelicin, pemutih dan lain-lain. Zat aditif inilah yang mempunyai dampak negatif bagi lingkungan baik pengaruh langsung maupun tidak langsung. Menurut Effendi (2003) kadar surfaktan 1 mg/l dapat mengakibatkan terbentuknya busa di perairan dan dapat menimbulkan rasa pada air dan dapat menurunkan absorpsi oksigen di perairan. Connel (1995) menjelaskan bahwa sungai yang menerima limbah domestik dengan kandungan surfaktan 2-4 ppm, berpengaruh pada terganggunya perairan sehingga perubahan apapun dalam struktur komunitas biota air tidak dapat terdeteksi secara baik. Deterjen keras (misalnya *natrium dodesil benzene*

sufonat) juga berbahaya bagi ikan, meskipun konsentrasinya kecil (5 ppm) karena dapat merusak insang. Tanaman air juga akan terganggu dalam proses fotosintesa karena adanya deterjen di perairan (Sastrawijaya, 1991). Selain itu, deterjen yang mengandung poliposfat dapat memicu terjadinya eutrofikasi (*eutrofication*) di perairan (Effendi, 2003).

8) Lemak dan Minyak

Lemak di dalam air limbah banyak menimbulkan masalah pada saluran dan bangunan pengolahan air limbah, jika lemak ini tidak dihilangkan terlebih dahulu sebelum masuk ke dalam saluran air limbah. Lemak dapat mengganggu kehidupan biologi pada permukaan air dan menciptakan film.

9) *Coliform*

Coliform adalah satu jenis bakteri yang merupakan golongan mikroorganisme biasanya digunakan sebagai indikator suatu perairan telah terkontaminasi oleh bakteri patogen atau tidak. Analisis bakteri *Coliform* dilakukan dengan metode *Most Probable Number* (MPN). Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68/ MenLHK/Setjen/Kum.1/8/2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik baku mutu *Coliform* sebesar 3000 MPN/100 ml.

4. Dampak Air Limbah Domestik Bagi Lingkungan

Salah satu permasalahan umum yang sering terjadi di wilayah permukiman adalah adanya pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh limbah domestik yang dibuang langsung tanpa mengalami pengolahan terlebih dahulu. Kondisi di lapangan masih ada sebagian masyarakat Indonesia yang membuang air limbah domestik langsung ke saluran drainase dimana peruntukannya untuk menyalurkan air hujan menuju ke badan air (Admaja, 2012). Air limbah domestik mengandung bahan pencemar yang membahayakan bagi lingkungan dan manusia serta makhluk hidup lainnya. Bahan pencemar yang terkandung dalam limbah domestik ada yang bersifat organik maupun anorganik. Komposisi limbah domestik umumnya didominasi oleh bahan organik nitrogen (NH_3 , NO_2 , NO_3), Fosfor (Total Fosfor dan PO_4), deterjen, fenol, bakteri E. Coli. Parameter kunci yang biasa diukur adalah BOD dan COD.

Air limbah domestik apabila tidak diolah akan berdampak negatif bagi lingkungan. Dampak negatif air limbah domestik bagi lingkungan antara lain:

- 1) Berkurangnya jumlah oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen/DO*) di dalam air karena sebagian besar oksigen digunakan oleh bakteri untuk melakukan proses pembusukan sampah.
- 2) Bahan pencemar yang terkandung di dalam air limbah domestik dapat berakibat menghalangi cahaya matahari sehingga menghambat proses

fotosintesis dari tumbuhan air dan mengganggu berbagai proses yang terjadi di dalam badan air.

- 3) Deterjen yang ikut tercampur dalam limbah domestik sangat sukar diuraikan oleh bakteri sehingga akan tetap aktif di dalam air untuk jangka waktu yang lama dan berdampak menimbulkan pencemaran air, dan akibat lebih jauh keberadaan deterjen dapat meracuni berbagai organisme yang hidup di air.
- 4) Penggunaan deterjen yang masuk di dalam limbah domestik secara tidak terkendali juga dapat meningkatkan senyawa fosfat pada air sungai atau danau dan dapat merangsang pertumbuhan ganggang serta Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). Tumbuhan air Eceng gondok yang mati kemudian membusuk. Dalam proses pembusukannya akan mengurangi persediaan oksigen yang ada di dalam air. Selain itu, material pembusukan tumbuhan air akan mengendapkan dan menyebabkan pendangkalan di dasar badan air penerima. Peristiwa eutrofikasi menyebabkan permukaan air danau atau sungai tertutup sehingga menghalangi masuknya cahaya matahari dan mengakibatkan terhambatnya proses fotosintesis. Dampak lebih jauh terjadinya peristiwa eutrofikasi menyebabkan pendangkalan waduk oleh sedimen dan sebagai tempat berkembangnya vektor penyakit. Pertumbuhan alga yang cepat dan tidak terkendali menyebabkan kualitas air di perairan tersebut akan menurun .

- 5) Limbah domestik memicu berkembangnya berbagai macam vektor penyakit seperti molusca dan insekta yang dapat menyebabkan berbagai macam penyakit yang disebut *Water Borne Diseases*. Penyakit tersebut dapat membahayakan bagi manusia dan makhluk hidup lainnya seperti *Schistosomiasis*, demam berdarah (DB), malaria, dan diare.
- 6) Rendahnya produksi akibat adanya fluktuasi oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) yang terlalu tinggi antara siang dan malam menyebabkan makhluk hidup seperti ikan dapat mengalami keracunan yang selanjutnya akan mati. Selain itu adanya fluktuasi oksigen terlarut dapat mempengaruhi struktur komunitas biologi perairan atau rantai makanan dan jaring-jaring makanan (*Food Chain and Food Web*).
- 7) Air limbah domestik dapat mempercepat korosivitas metal pada bangunan air, misalnya pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), sistem turbin dan lain-lain.
- 8) Air limbah domestik mengandung bahan organik dan mikroorganisme yang berbahaya bagi kehidupan. Mikroorganisme yang terdapat pada air limbah domestik ada yang bersifat patogen. Apabila air limbah langsung dibuang ke lingkungan (badan air penerima, tanah dan lain-lain), bahan organik dan mikroorganisme yang terkandung di dalam air limbah akan menimbulkan pencemaran bagi lingkungan. Mikroorganisme patogen akan membahayakan bagi manusia dan

makhluk hidup lain karena dapat menimbulkan berbagai macam penyakit yang berbahaya.

- 9) Lebih lanjut akibat dari pencemaran air limbah domestik di sungai atau perairan menyebabkan beban biaya pengolahan air bersih yang bersumber dari air permukaan akan lebih tinggi.

5. Jenis-jenis Pengolahan Air Limbah Domestik

Pengolahan air limbah domestik dapat dilakukan secara fisika, kimia dan biologi. Beberapa penelitian yang berkaitan dengan pengolahan air limbah secara fisika diantaranya dilakukan oleh Salmani, *et al.*, (2013), Puget, *et al.*, (2000) dan Rubio, *et al.*, (2007), sedangkan pengolahan limbah secara kimia dilakukan oleh Golestani, *et al.*, (2011), Ukiwe, *et al.*, (2014), Rivas, *et al.*, (2010). Pengolahan limbah yang dilakukan secara fisika dan kimia mempunyai kelemahan, antara lain biaya bahan maupun operasionalnya mahal, biasanya memerlukan pengolahan awal (*pretreatment*) maupun pengolahan lanjut (*advance*) serta menyisakan residu. Pengolahan air limbah domestik secara biologi mempunyai keunggulan, antara lain biaya bahan dan operasionalnya lebih murah, mudah operasionalannya, lebih ramah lingkungan, bisa menggunakan bahan atau material lokal dan tidak meninggalkan residu pada hasil akhir pengolahan.

a. Pengolahan Air Limbah Secara Biologi

Pengolahan air limbah secara biologis adalah proses pengolahan air limbah dengan memanfaatkan aktivitas mikroorganisme (Herlambang,

2002). Proses pengolahan air limbah secara biologis pada prinsipnya adalah memanfaatkan mikroorganisme yang mempunyai kemampuan menguraikan senyawa-senyawa polutan tertentu di dalam reaktor biologis dengan kondisi sesuai untuk pertumbuhan mikroorganisme. Pengolahan air limbah secara biologi dapat dibagi menjadi tiga, yaitu proses biologis dengan biakan tersuspensi (*suspended culture*), biakan melekat (*attached culture*) dan sistem kolam (*lagoon*).

Pengolahan biologis dengan biakan tersuspensi adalah sistem pengolahan menggunakan aktivitas mikroorganisme untuk menguraikan senyawa polutan yang ada di dalam air limbah, dimana mikroorganisme dibiakkan secara tersuspensi di dalam reaktor. Beberapa contoh proses ini antara lain proses lumpur aktif (*Activated Sludge*), Kolam Oksidasi (*Oxidation Ditch*), Aerasi Bertingkat (*Step Aeration*) dan *Upflow Anaerobic Sludge Blanked* (UASB).

Proses biologis dengan biakan melekat adalah proses pengolahan air limbah dimana mikroorganisme yang digunakan dibiakkan pada suatu media sehingga mikroorganisme tersebut melekat pada permukaan media membentuk lapisan biofilm. Proses ini disebut juga proses film mikrobiologis atau proses biofilm. Beberapa contoh yang termasuk proses biakan melekat antara lain *Trickling Filter*, Reaktor Kontak Biologis Putar (*Rotating Biological Contactor/RBC*), Aerasi Kontak (*Contact Aeration*), Biofilter/Biofilm (*Film Mikrobiologis*) dan lainnya. Proses pengolahan air limbah secara biologis dengan lagoon adalah dengan menampung air limbah

pada suatu kolam yang luas dengan waktu tinggal yang cukup lama sehingga dengan adanya mikroorganisme akan tumbuh secara alami untuk menguraikan polutan yang ada di dalam air limbah. Salah satu contoh pengolahan air limbah dengan lagoon adalah kolam stabilisasi (*stabilization pond*).

Proses pengolahan air limbah dengan biofilm dapat berlangsung pada kondisi adanya oksigen (*aerob*) maupun tanpa oksigen (*anaerob*) atau gabungan keduanya (*aerob-anaerob*). Prinsip dari pengolahan air limbah dengan sistem biofilm adalah adanya media yang berfungsi untuk melekat mikroorganisme, dalam hal ini bisa bakteri, jamur, protozoa, alga dan sebagainya. Mikroorganisme tersebut akan melekat pada media kemudian berkoloni membentuk lapisan biofilm. Sebagaimana dijelaskan oleh Donian (2002), biofilm adalah suatu agregat mikroorganisme yang melekat pada permukaan padat (*solid*) dengan adanya *Extracellular Polymeric Substance* (EPS). Menurut Wesley, *et al.*, (2009) lapisan biofilm terdiri dari beberapa koloni mikroorganisme, seperti bakteri, diatom, jamur, alga, protozoa dan material non selular.

Lapisan biofilm akan berada pada material padat dan media basah baik organik maupun anorganik. Bahan organik seperti nitrogen dan fosfor merupakan sumber energi untuk metabolisme mikroorganisme pembentuk biofilm. Reynolds (2008) menjelaskan bahwa biofilm digunakan sebagai biofilter (penyaring biologis). Dalam sistem pengolahan air limbah industri maupun domestik, biofilter berfungsi untuk menghilangkan material organik

dan anorganik. Beberapa senyawa polutan yang ada di dalam air limbah adalah BOD, COD, TSS, amoniak, phosphor, nitrat, nitrit dan sebagainya. Beberapa penelitian telah dilakukan di berbagai bidang dengan menerapkan teknologi biofilm, antara lain Yettefti, *et al.*, (2013) melakukan pengolahan air limbah domestik dengan biofilter pasir Moroccans, didapatkan hasil penurunan $\text{NH}_4\text{-N}$ dan COD sebesar 65% dan 85%. Wei, *et al.*, (2008) mengolah air limbah simulasi dengan penurunan nitrogen dan fosfor dengan alga biofilm. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi penurunan masing-masing, yaitu Total Posphor (TP) 98,17%; Total Amoniak (TN) 86,58%; Ammonia Nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) 91,88% dan COD 97,11%.

Beberapa peneliti yang melakukan pengolahan limbah secara biologi selain teknologi biofilm antara lain Hafez, *et al.*, (2012), Hampanavar, *et al.*, (2010), Yetilmezsoy, *et al.*, (2009), dan Annachhatre, *et al.*, (2000). Kelemahan pengolahan secara biologi tanpa biofilm antara lain prosesnya berpotensi terjadi *bulking*, membutuhkan tempat yang luas dan lumpur yang dihasilkan berlebih. Teknologi biofilm memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan pengolahan air limbah dengan tipe yang lain. Kelebihan penggunaan teknologi biofilm (biofilter) antara lain :

- 1) Pengoperasionalannya di lapangan sangat mudah dan berbiaya murah.
- 2) Aplikasi teknologi biofilm tidak terjadi masalah "*bulking*", sehingga pengelolaannya menjadi mudah (Herlambang, 2002).

- 3) Resisten terhadap *shock loading* dan *recovery* yang lebih bagus sebagai hasil dari fungsi proteksi dari *Extra Polymeric Substance* (EPS) yang menempel pada lapisan biofilm (Sudarno, 2012).
- 4) Biofilter yang dipakai bisa digunakan dalam waktu yang lama tanpa dilakukan regenerasi. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Chaudhary, *et al.*, (2003), penggunaan filter *Granular Active Carbon* (GAC) dapat digunakan untuk waktu yang lama tanpa dilakukan regenerasi. Efisiensi penyisihan biofilter menunjukkan angka yang tetap konstan pada 50-55% meskipun dijalankan selama 77 hari secara terus menerus.
- 5) Lumpur yang dihasilkan sedikit apabila dibandingkan dengan pengolahan dengan lumpur aktif (*activated sludge*). Hal ini disebabkan pada proses lumpur aktif 30-60% dari BOD yang dihilangkan (*BOD removal*) diubah menjadi lumpur aktif (*biomass*), sedangkan pada biofilm sekitar 10-30%. Hal ini disebabkan pada proses biofilm nutrisi atau makanan dalam hal ini bahan pencemar mengalami penguraian lebih sempurna dibandingkan dengan proses lumpur aktif (Herlambang dkk, 2002).
- 6) Teknologi biofilm dapat diterapkan (*applicable*) pada pengolahan air limbah dengan konsentrasi parameter pencemaran rendah maupun tinggi.
- 7) Teknologi biofilm dapat menghasilkan kepadatan populasi sel yang lebih tinggi, lebih efisien terhadap penggunaan nutrisi dan lebih tahan

terhadap perubahan kondisi lingkungan. Kondisi ini akan menyebabkan aktivitas penguraian (*biodegradation*) yang lebih tinggi dibandingkan dengan pertumbuhan tersuspensi (Brault 1991).

- 8) Teknologi biofilm dapat menghasilkan efisiensi perombakan yang lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan sistem pertumbuhan tersuspensi (Sastrawidana, 2010).
- 9) Teknologi biofilm bisa dikombinasikan dengan teknologi yang lain seperti teknologi lahan basah (*wet land*) dan fitoremediasi. Hal ini sesuai dengan penelitian Sumiyati, dkk (2012) yang melakukan kombinasi teknologi fito-biofilm. Hasil penelitian tersebut bisa menurunkan parameter BOD dan COD sebesar 97% dan 95%.
- 10) Aplikasi di lapangan, teknologi biofilm tidak membutuhkan lahan yang luas.

Beberapa peneliti yang menggunakan teknologi biofilm antara lain Wei., *et al.*, (2008), Yaftefti, *et al.*, (2013), Lai, *et al.*, (2009), Patanarawik, *et al.*, (2011), Nabavi, *et al.*, (2013), Li, *et al.*, (2013), Ning, *et al.*, (2014), Posadasa, *et al.*, (2014), El-Shafai, *et al.*, (2013), dan Sukacova, *et al.*, (2015). Beberapa penelitian yang sudah dilakukan terkait dengan komponen rumusan masalah antara lain penelitian yang dilakukan oleh Sabbah, *et al.*, (2013) menggunakan biofilter *sand* dan *tuff*. Sastrawidana (2009) menggunakan media kerikil, Barwal, *et al.*, (2014) menggunakan media biocarrier, sedangkan Kodera, *et al.*, (2013) menggunakan media PAO. Saat ini sudah banyak penelitian menggunakan pemodelan biofilm, baik dengan

menggunakan air limbah asli maupun artifisial. Beberapa penelitian yang menggunakan pemodelan biofilm antara lain Li, *et al.*, (2013), Laspidau, *et al.*, (2014) dan Diaz, *et al.*, (2015).

Beberapa penelitian air limbah dengan teknologi biofilm masih membutuhkan waktu aklimatisasi yang lama. Oleh karena itu pada proses aklimatisasi diperlukan penambahan mikroorganisme yang berfungsi sebagai aktivator pembentukan biofilm. Beberapa penelitian yang menggunakan bioaktivator mikroorganisme antara lain Pitriani (2015), Priya, *et al.*, (2015), Safwat, *et al.*, (2018), Ikhlas (2013) dan Sumiyati, dkk., (2014).

b. Pengolahan Air Limbah dengan Teknologi Biofilm

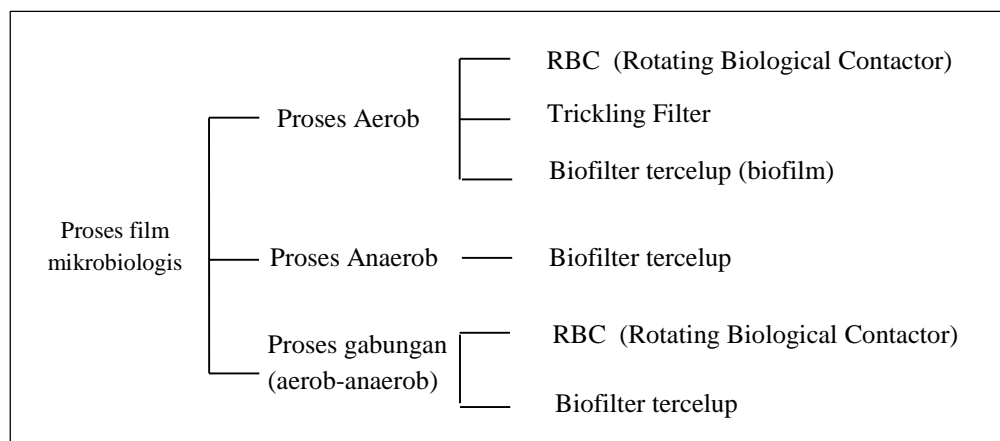
1) Prinsip Pengolahan Air Limbah dengan Teknologi Biofilm

Proses pengolahan air limbah dengan teknologi biofilm biasa disebut dengan proses biologis biakan melekat (*attached culture/growth*). Pengolahan air limbah dengan teknologi biofilm adalah proses pengolahan air limbah dengan bantuan aktivitas mikroorganisme. Mikroorganisme yang digunakan pada pengolahan air limbah ini dibiakkan pada suatu media, selanjutnya mikroorganisme akan melekat pada permukaan media membentuk lapisan biofilm. Lapisan biofilm yang terdiri dari konsorsium mikroorganisme yang terdiri dari bakteri, alga, jamur, protozoa dan lumut inilah yang akan melakukan penguraian polutan yang ada di dalam air limbah. Beberapa contoh yang termasuk proses biakan melekat antara lain:

Trickling Filter (TF), Reaktor Kontak Biologis Putar (*Rotating Biological Contactor/ RBC*), Aerasi Kontak (*Contact Aeration*), Biofilter/Biofilm (*Film Microbiologis*) dan sebagainya.

2) Skema Proses Pengolahan Air Limbah dengan Teknologi Biofilm

Secara garis besar proses pengolahan air limbah dengan teknologi biofilm disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses pengolahan limbah dengan sistem biofilm atau biofilter

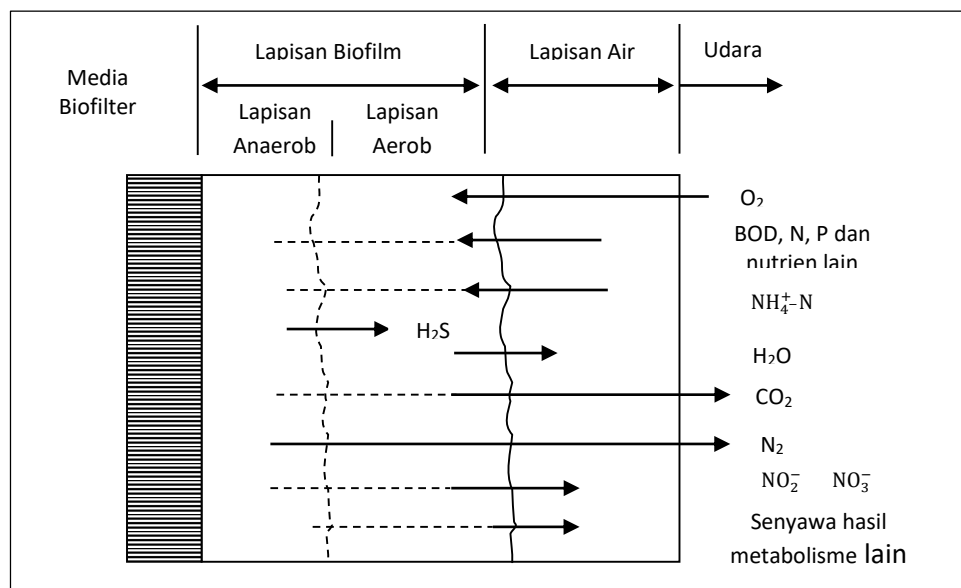
Sumber : Herlambang, dkk., (2002)

Proses pengolahan air limbah dengan teknologi biofilm dapat berlangsung pada kondisi adanya oksigen (*aerob*), tanpa oksigen (*anaerob*) atau gabungan keduanya. Prinsip dari pengolahan air limbah dengan sistem biofilm adalah adanya media yang berfungsi untuk melekatkan mikroorganisme, dalam hal ini bisa bakteri, jamur, protozoa, alga dan

sebagainya. Mikroorganisme akan melekat pada media kemudian berkoloni membentuk lapisan biofilm.

Menurut Donian (2002) biofilm adalah suatu agregat mikroorganisme yang melekat pada permukaan padat (*solid*) dengan adanya *Extracellular Polymeric Substance* (EPS). Menurut Wesley, *et al.*, (2009), lapisan biofilm terdiri dari beberapa jenis mikroorganisme, seperti bakteri, diatom, jamur, alga, protozoa dan material non selular. Lapisan biofilm akan berada pada material padat dan media basah baik organik maupun anorganik. Bahan organik seperti nitrogen dan pospor merupakan sumber energi untuk metabolisme biofilm. Menurut Monroe (2007), biofilm adalah suatu istilah yang digunakan untuk menggambarkan suatu lingkungan kehidupan yang khusus dari sekelompok mikroorganisme, yang melekat pada suatu permukaan padat dalam lingkungan perairan. Mikroorganisme dalam biofilm berbeda secara struktural maupun fungsional dengan mikroorganisme yang hidup bebas (planktonik). Lapisan biofilm terdiri dari sel-sel mikroorganisme yang melekat erat ke suatu permukaan yang disebut media lekat. Mikroorganisme tersebut berada dalam keadaan diam (*sessil*), sifatnya tidak mudah lepas atau berpindah tempat (*irreversible*). Pelekatan ini disertai oleh penumpukan bahan-bahan organik yang diselubungi oleh matrik polimer ekstraseluler yang dihasilkan oleh mikroba tersebut. Matrik ini berupa struktur benang-benang bersilang satu sama lain yang dapat berupa perekat bagi biofilm. Biofilm terbentuk khususnya secara cepat dalam sistem yang mengalir dimana suplai nutrisi tersedia secara teratur

bagi mikroba. Reynolds (2008) menjelaskan bahwa biofilm digunakan sebagai biofilter (penyaring biologis). Aplikasi pada sistem pengolahan limbah industri maupun limbah domestik, biofilter ini digunakan untuk menghilangkan material organik dan anorganik. Beberapa senyawa polutan dalam air limbah adalah BOD, COD, TSS, amoniak, posfor, nitrat dan nitrit. Senyawa polutan tersebut akan terdifusi ke dalam lapisan biofilm yang melekat pada permukaan media. Mekanisme proses metabolisme dalam sistem biofilm disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses metabolisme dalam sistem biofilm

Sumber : Ebie, *et al.*, dalam Herlambang, dkk., (2002)

Beberapa penelitian telah dilakukan di berbagai bidang dengan menerapkan teknologi biofilm, diantaranya Yettefti, *et al.*, (2013) melakukan pengolahan limbah domestik dengan biofilter pasir Moroccans, didapatkan hasil penurunan NH_4-N dan COD sebesar 65% dan 85%. Wei,

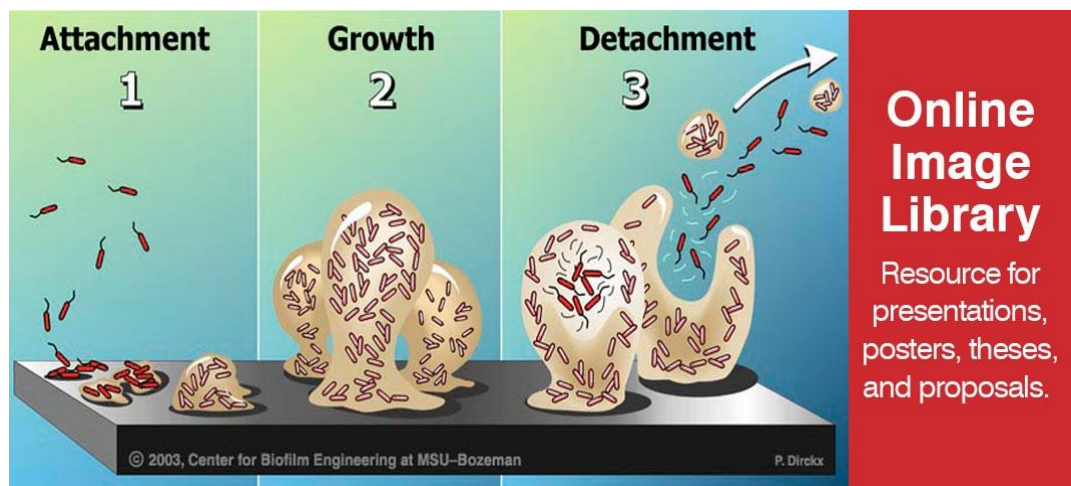
et al., (2008) mengolah air limbah simulasi dengan penurunan nitrogen dan pospor dengan alga biofilm. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi penurunan masing-masing, yaitu Total Posfor (TP) 98,17%; Total Amoniak (TN) 86,58%; Ammonia Nitrogen (NH₃-N) 91,88% dan COD 97,11%.

3) Mekanisme Pembentukan Biofilm

Fenomena penempelan bakteri pada permukaan padat pada pertama kali diteliti oleh Zobell di laboratorium pada tahun 1943. Zobell melaporkan bahwa ada dua jenis interaksi antara bakteri dan permukaan tempat menempel, yaitu interaksi antara bakteri dan permukaan media. Interaksi tersebut bisa berupa interaksi balik dan tidak balik. Kondisi lingkungan dengan nutrisi terbatas menyebabkan nutrisi hanya terkonsentrasi pada permukaan. Hal ini bisa berpengaruh pada proses penempelan oleh mikroorganisme pada permukaan media (Hariyadi, dkk., 1997). Lapisan mikroorganisme inilah yang disebut dengan lapisan biofilm. Definisi sederhana dari biofilm menurut Warner, *et al.*, (2006) adalah sejumlah mikroorganisme yang menempel pada permukaan media. Menurut Charaklis, *et al.*, (1990) biofilm adalah produk akhir penempelan bakteri sebagai sel-sel mikroorganisme yang terimobilisasi pada substrat dan terperangkap di dalam polimer ekstraseluler yang diproduksi oleh mikroorganisme tersebut. Pembentukan biofilm merupakan proses dinamis yang memerlukan beberapa tahapan. Mekanisme pembentukan biofilm terdiri dari beberapa tahap. Maier (2009) menyatakan bahwa mekanisme pembentukan lapisan biofilm tersebut meliputi :

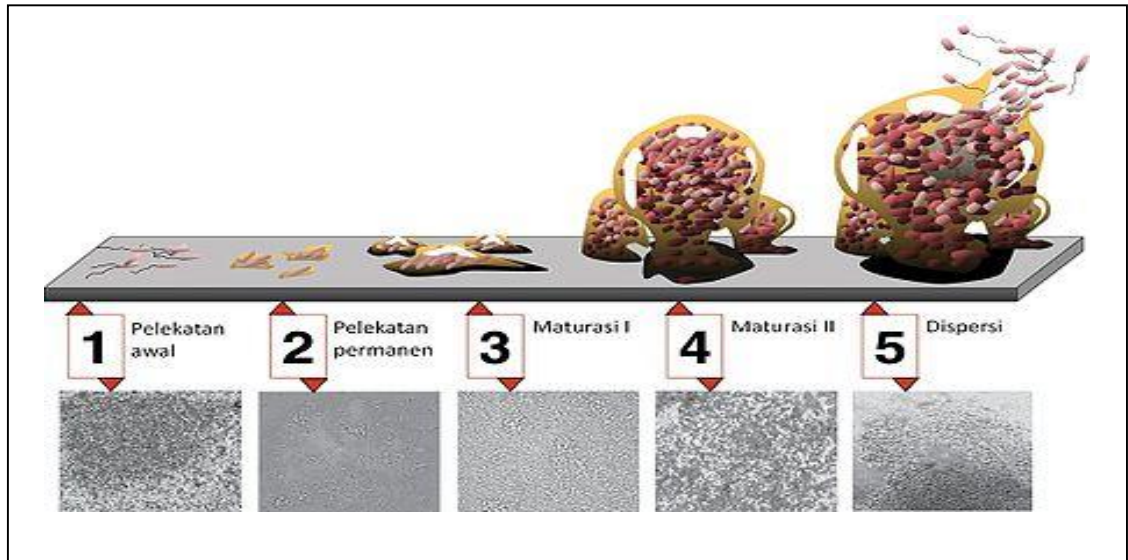
1. Tahap pertama yaitu pengkondisian pada permukaan media.
2. Tahap kedua adanya transport mikroorganisme ke permukaan media. Terjadi adsorpsi mikroorganisme ke permukaan dan penempelan dan diikuti oleh pelepasan sel.
3. Tahap ketiga terjadi penempelan yang dilanjutkan dengan pertumbuhan sel dan pembentukan polimer ekstraseluler sehingga sel biofilm terakumulasi pada permukaan media.
4. Pelepasan dan penempelan kembali (*reattachment*).

Tahapan dan mekanisme pembentukan biofilm disajikan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Tahapan Pembentukan Biofilm

Sumber: Maier, 2009



Gambar 5. Mekanisme terbentuknya biofilm

Sumber: Monroe, 2007.

<http://www.esdstorm.com> dan <http://uweb.engr.washington.edu>

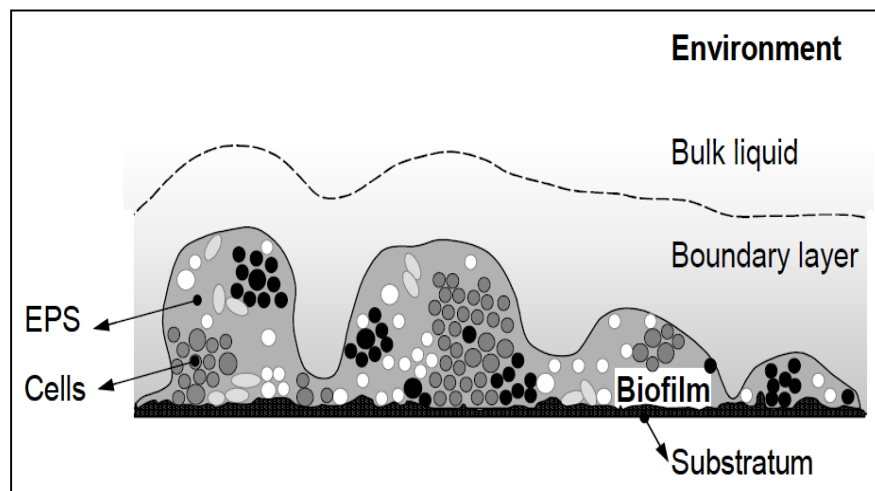
Mekanisme terbentuknya biofilm menurut Monroe (2007) ada 5 tahap, yaitu:

1. Tahap pelekatan awal: pada proses ini sejumlah mikroorganisme melakukan pelekatan awal pada permukaan media yang biasa disebut media biofilter. Pelekatan ini dilakukan oleh mikroorganisme dengan perantara rambut halus (*fili*)
2. Tahap pelekatan permanen: pada tahap ini mikroorganisme melakukan pelekatan dengan bantuan *Extracellular Polymeric Substance* (EPS). Pelekatan ini disertai oleh penumpukan bahan-bahan organik yang diselubungi oleh matrik polimer ekstraseluler yang dihasilkan oleh mikroba tersebut.

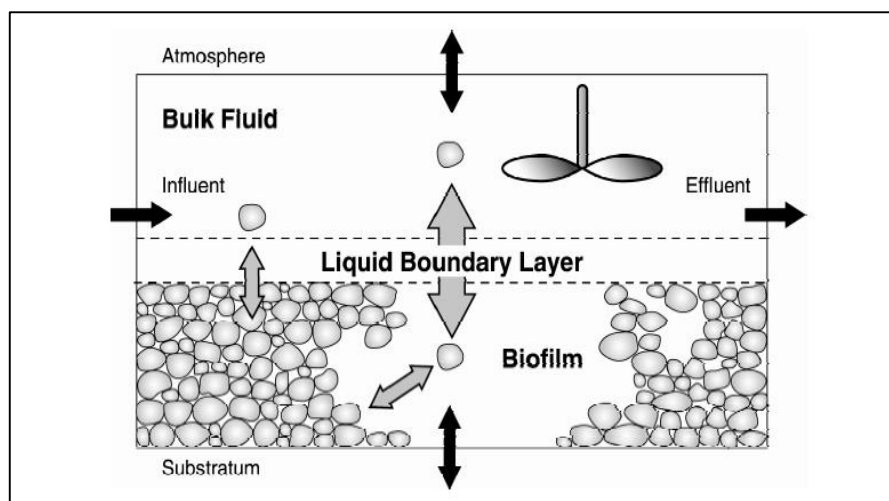
3. Tahap maturasi I: pada tahap ini terjadi proses pematangan biofilm fase tahap awal.
4. Tahap maturasi II: pada tahap ini terjadi proses pematangan biofilm menuju fase tahap akhir, mikroorganisme siap menyebar.
5. Dispersi: tahap ini ditandai adanya penyebaran mikroorganisme ke seluruh permukaan media biofilter selanjutnya mikroorganisme akan berkoloni ke tempat lain.

Biofilm yang sudah matang bersifat dinamis, spasial dan heterogen. Selain itu biofilm yang sudah dewasa juga dapat mengadopsi keadaan sekitar dan tergantung pada karakteristik dari lingkungan sekitarnya seperti ketersediaan hara, pH, suhu serta komposisi konsorsium mikroba. Biofilm memerlukan beberapa hari untuk mencapai tingkat kematangannya (Anderson, 2009). Komposisi biofilm terdiri dari sel-sel mikroorganisme, produk ekstraseluler, detritus, polisakarida sebagai bahan pelekat dan air. Air adalah bahan penyusun utama biofilm, kandungan air dalam biofilm bisa mencapai 97%. Mikroorganisme yang membentuk lapisan biofilm memproduksi polisakarida sejenis polimer dari monosakarida atau gula sederhana. Contoh polisakarida yang dibentuk oleh mikroorganisme dikeluarkan dari dalam sel adalah *Extracellular Polymeric Substance* (EPS). EPS yang disintesis oleh sel mikroba yang berbeda-beda komposisi, sifat kimiawi dan fisiknya. Proses metabolisme yang terjadi di dalam sistem biofilm disebabkan oleh adanya senyawa polutan yang terdifusi ke dalam lapisan biofilm. Pada saat yang bersamaan, beberapa polutan yang

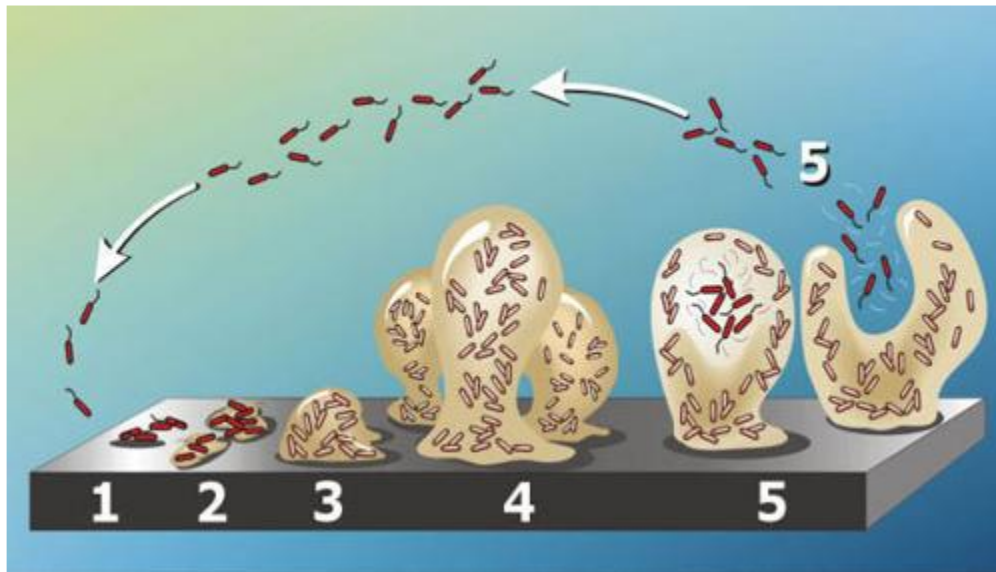
terkandung di dalam air limbah akan diuraikan oleh mikroorganisme yang ada di dalam lapisan biofilm menggunakan oksigen yang terlarut dalam air limbah. Selanjutnya energi yang dihasilkan dari proses tersebut akan diubah menjadi biomassa (Said, 2001). Ada empat kompartemen yang ada di dalam mekanisme terjadinya biofilm. Mekanisme tersebut bisa diilustrasikan pada Gambar 6, 7, 8 dan 9.



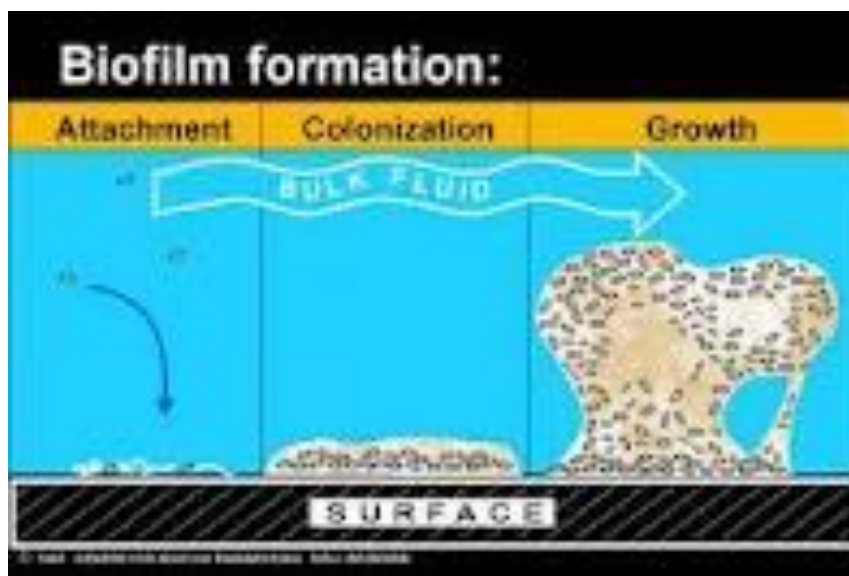
Gambar 6. Kompartemen dalam sistem biofilm: *bulk liquid* (cairan curah), *boundary layer* (lapisan batas), *biofilm* dan *substratum* (lapisan bawah)



Gambar 7. Kompartemen lapisan biofilm mulai terbentuk



Gambar 8. Tahapan terbentuknya biofilm: *Reversible Attachment, Irreversible Attachment, Maturation and Detachment*
 Sumber: Cohn, et al., (2010).



Gambar 9. Formasi Biofilm
 Sumber: Photo: CEB : MSU-Bozeman

4) Media Biofilm

Beberapa contoh media biofilm yang sering dipakai untuk penelitian maupun aplikasi di lapangan disajikan pada Gambar 10.



a. sarang tawon (dok. pribadi, 2012)



b. bioball (Rifa, 2013)



c. potongan bambu (Angga, 2013)



d. bioball (dok. pribadi, 2012)



e. bioring (Susan, 2013)



f. Kerikil Vulkanik Merapi
(sumber: dokumen pribadi, 2014)

Gambar 10. Beberapa Macam Media Biofilm

Material yang dapat digunakan sebagai media biofilm bisa berasal dari material organik maupun anorganik. Untuk material organik misalnya berbentuk tali, jaring, random packing dan tempurung kelapa sedangkan untuk material anorganik bisa dari batu pecah (*split*), pipa PVC (*Poly Vinyl Chlorid*), tembikar, pecahan genting, kerikil, botol bekas minuman, bioball, bioring, brillo pads dan sarang tawon (Said, 2005).

6. Mikroorganisme Lokal (MOL)

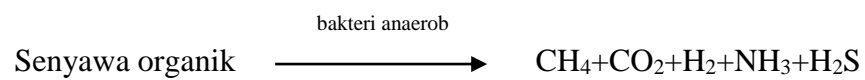
Mikroorganisme lokal (MOL) adalah cairan yang terbuat dari bahan-bahan lokal yang disukai sebagai media hidup dan berkembangnya mikroorganisme. Cairan MOL berguna untuk mempercepat penghancuran bahan-bahan organik atau sebagai dekomposer/bioaktivator dan juga sebagai tambahan nutrisi bagi tumbuhan yang sengaja dikembangkan dari mikroorganisme di tempat tersebut. Berbagai jenis bioaktivator mikroba buatan pabrik yang tersedia di pasaran antara lain adalah EM₄, Promi, M-Dec, Stardec dan Probion. Penggunaan bioaktivator di pasaran dapat digantikan dengan MOL (Mikroorganisme Lokal). Bahan yang digunakan untuk mengembangkan mikroorganisme lokal antara lain: limbah hijauan sayuran segar, rebung bambu, keong mas, buah maja dan limbah buah-buahan. Keunggulan penggunaan MOL terutama pada biaya pembuatannya yang murah dan pembuatannya juga mudah. Penggunaan MOL untuk mengolah air limbah bisa lebih efisien dan ekonomis. Menurut Badan Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Kalimantan Tengah (2011), bahan

utama pembuatan MOL terdiri dari 3 jenis komponen, yaitu sumber karbohidrat, sumber glukosa, dan sumber mikroorganisme. Sumber karbohidrat dapat berupa air cucian beras, nasi basi, singkong, kentang, dan gandum. Air cucian beras merupakan limbah cair yang dihasilkan dari proses pencucian beras. Komposisi kimia air cucian beras antara lain karbohidrat, protein, lemak, fosfor, kalsium, dan besi. Kandungan karbohidrat berupa amilum (zat pati) sebesar 41,3% (Istianah, 2011). Sumber glukosa berasal dari larutan gula dan mikroorganisme berasal dari alami.

7. Mekanisme Penyisihan Bahan Organik di dalam Reaktor Biofilm

Mekanisme penyisihan bahan organik di dalam reaktor biofilm bisa terjadi secara anaerob maupun aerob. Reaktor kondisi anaerob maka mikroorganisme yang berperan dalam pendegradasian bahan organik di dalam reaktor tersebut bersifat anaerob. Penguraian bahan organik terdiri dari serangkaian proses mikrobiologis yang mengubah bahan organik menjadi gas. Gas-gas yang dihasilkan salah satunya adalah gas metana. Mikroorganisme yang bersifat anaerob sangat berperan penting pada proses penguraian senyawa organik di dalam air limbah. Mikroorganisme terlibat dalam transformasi senyawa kompleks organik menjadi metana. Kumpulan mikroorganisme yang terkandung di dalam pada umumnya adalah bakteri yang terlibat dalam proses transformasi senyawa kompleks menjadi metan.

Proses pengolahan limbah terjadi penguraian bahan organik yang dilakukan oleh mikroorganisme terutama bakteri dan terjadi interaksi sinergis antara bermacam-macam kelompok bakteri di dalamnya. Menurut Gabriel Bitton, (1994), keseluruhan reaksi penguraian bahan organik dalam kondisi anaerob dapat digambarkan sebagai berikut:



Aplikasi teknologi biofilm, di dalam reaktor anaerob terjadi interaksi sinergis antara kelompok bakteri, jamur, ragi, protozoa dan lain-lain. Proses penguraian mikroorganisme satu dengan yang lain bekerja sama untuk menguraikan bahan organik yang terdapat di dalam air limbah. Meskipun ada banyak mikroorganisme yang berperan pada proses penguraian bahan organik di dalam air limbah tetapi peran bakteri yang dominan (Herlambang, 2002). Beberapa bakteri yang bersifat anaerob dan fakultatif berperan dalam proses hidrolisis maupun fermentasi bahan organik. Menurut Herlambang, *et al.*, (2002), bakteri yang berperan dalam proses penguraian bahan organik dalam proses anaerob dikelompokkan menjadi empat kategori, yaitu:

1. Kelompok pertama : Bakteri Hidrolitik

Kelompok bakteri anaerobik hidrolitik mempunyai kemampuan memecah molekul organik kompleks seperti protein, selulosa, lignin dan lemak menjadi molekul monomer yang terlarut seperti asam amino, glukosa, asam lemak dan gliserol. Proses hidrolisis dibantu oleh enzim ekstra seluler,

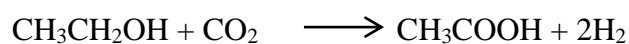
seperti selulosa, protease dan lipase, enzim-enzim tersebut berperan sebagai katalisator. Proses penguraian secara anaerobik sangat lambat, terutama limbah yang mengandung lignin (Bitton, 1994).

2. Kelompok kedua: Bakteri Asidogenik Fermentatif (Pembentuk Asam)

Bakteri Asidogenik Fermentatif yang berperan dalam penguraian bahan organik dalam air limbah antara lain *Chlostridium* (mengubah gula menjadi asam amino dan asam lemak menjadi asam organik), alkohol, kheton, laktat, CO₂, dan H₂.

3. Kelompok ketiga: Bakteri Asetogenik (Bakteri penghasil Asetat dan H₂).

Contoh bakteri jenis ini adalah *Syntrobacter wolinii* yang mengubah asam lemak (propionat, butirrat) dan alkohol menjadi asetat, H₂ dan CO₂. Hidrogen dan karbondioksida digunakan oleh bakteri pembentuk metana. Proses tersebut memungkinkan terjadinya hubungan simbiotik antara bakteri asetonik dan metanogneik. Bakteri metanogenik membantu menghasilkan ikatan hidrogen rendah yang dibutuhkan oleh bakteri asetogenik. Bakteri asetogenik pertumbuhannya lebih cepat daripada bakteri metanogenik. Reaksi pengubahan dari etanol, asam propionat, dan asam butirrat menjadi asam asetat oleh bakteri asetogenik digambarkan dalam mekanisme sebagai berikut:



Etanol

asam asetat

6,7-7,4, sedangkan pH optimal pada kisaran pH 7,0-7,2. Bakteri asidogenik menghasilkan asam organik dan cenderung menurunkan pH dalam air limbah yang diolah di dalam reaktor.

Pengolahan air limbah secara biologi bisa dilakukan baik pada kondisi anaerob, aerob dan anaerob-aerob. Pengolahan air limbah secara aerob adalah proses pengolahan limbah yang memanfaatkan bantuan mikroorganisme yang sifatnya aerob dan membutuhkan oksigen untuk sumber energi dan pernafasan mikroorganisme. Polutan berupa bahan organik yang terkandung di dalam air limbah akan diuraikan oleh mikroorganisme yang bersifat aerobik menjadi karbondioksida, air dan energi serta sel baru.

Aplikasi di lapangan biasanya penempatan reaktor anaerob sebelum aerob pada penelitian ini karena beban pengolahan pada proses aerob lebih rendah. Selain itu pada proses aerob hasil pengolahan dari proses anaerob yang masih mengandung zat organik dan nutrisi diubah menjadi hidrogen dan karbondioksida dengan bantuan bakteri dalam kondisi oksigen yang cukup. Menurut Said (2002), reaksi pada pengolahan air limbah secara aerob digambarkan sebagai berikut:



8. Peranan Mikroorganisme pada Proses Pengolahan Air Limbah dengan Teknologi Biofilm

Pengolahan air limbah secara biologi merupakan pengolahan air limbah yang menggunakan bantuan mikroorganisme. Mikroorganisme yang berada di dalam pengolahan secara biologi mempunyai kemampuan untuk

menguraikan bahan-bahan organik yang terkandung dalam air limbah. Penguraian bahan organik membutuhkan sumber energi, karbon untuk pertumbuhan sel baru serta elemen anorganik dan nutrien, seperti nitrogen, fosfor, sulfur, natrium, kalsium dan magnesium. Karbon dan sumber energi biasanya disebut substrat.

Bakteri dapat dikelompokkan menjadi berbagai kategori, diantaranya adalah berdasarkan cara pernafasan dan bentuk metabolismenya. Mikroorganisme yang biasa digunakan untuk mengolah limbah secara garis besar dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu mikroorganisme yang melakukan fotosintesa dan mikroorganisme yang melakukan sintesa secara kimia. Mikroorganisme yang melakukan sintesa kimia digolongkan menjadi dua, yaitu bakteri autotrof dan heterotrof. Mikroorganisme yang melakukan fotosintesis pada umumnya adalah alga berkhlorofil. Mikroorganisme ini bisa mensintesis karbon dioksida dan air untuk keperluan pertumbuhan dengan mengeluarkan oksigen.

Mikroorganisme autotrofik adalah mikroorganisme yang menggunakan karbon yang berasal dari karbon dioksida sebagai sumber energi untuk pertumbuhan sel baru. Mikroorganisme heterotrofik adalah mikroorganisme yang menggunakan karbon yang berasal dari senyawa organik untuk pertumbuhan serta pembentukan sel baru. Bakteri heterotrofik merupakan organisme utama yang digunakan untuk mengolah air limbah secara biologi. Bakteri heterotrof dalam menguraikan bahan organik air limbah juga

melakukan sintesa kimia. Kelompok bakteri heterotrof sangat mudah berkembang biak.

Berdasarkan oksigen di lingkungan, bakteri heterotrofik dibagi menjadi tiga:

- 1) Bakteri Aerob Mutlak: bakteri yang tidak dapat hidup tanpa oksigen di lingkungannya.
- 2) Bakteri Fakultatif Aerob: bakteri yang dapat tumbuh tanpa oksigen, tetapi jika ada oksigen di lingkungannya menunjukkan pertumbuhan yang cepat.
- 3) Bakteri Anaerob Mutlak: bakteri yang tidak dapat tumbuh apabila di lingkungannya ada oksigen.

9. Keuntungan Pengolahan Air Limbah Domestik dengan Kombinasi Biofilm Anaerob-Aerob

Air limbah yang melewati media biofilter membentuk lapisan biofilm yang mengandung mikroorganisme yang menyelimuti seluruh permukaan media biofilter yang disebut *biological layer*/ biofilm. Air limbah yang masuk ke dalam reaktor melalui media biofilm akan mengalami penguraian bahan organik yang dilakukan oleh mikroorganisme pembentuk lapisan biofilm. Bahan organik yang bisa direduksi oleh mikroorganisme pembentuk lapisan biofilm antara lain BOD, COD dan padatan tersuspensi atau TSS, deterjen, amonium dan fosfor.

Kombinasi reaktor anaerob-aerob memungkinkan banyak parameter pencemar yang terkandung di dalam limbah domestik akan terurai lebih

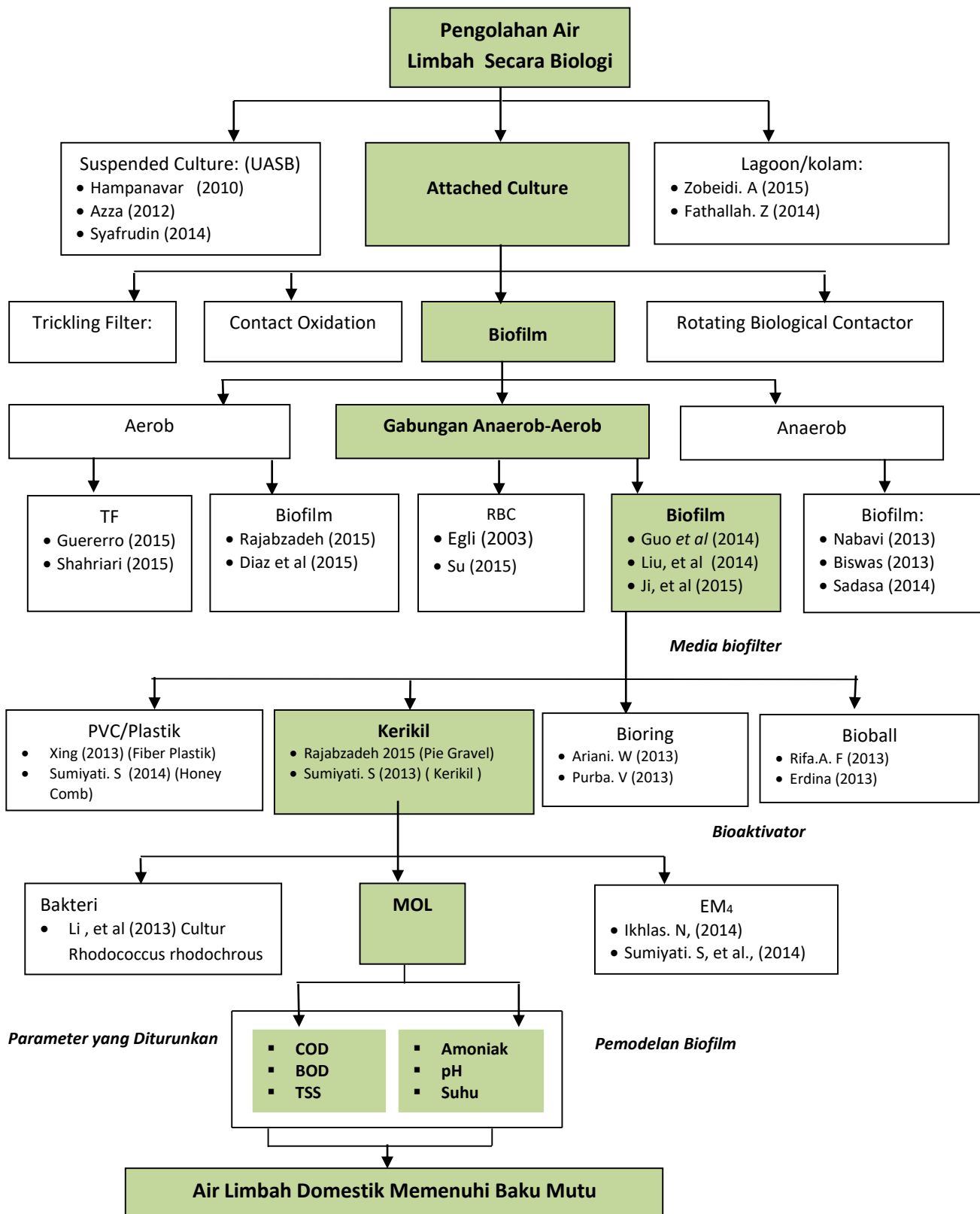
sempurna, karena mikroorganisme yang berperan aktif sebagai agen pengurai bisa hidup dalam dua kondisi yaitu anaerob, aerob maupun fakultatif.

10. Analisa FT-IR (*Fourier Transform Infra Red*)

Spektrofotometer Inframerah Transformasi Fourier (*Fourier Transform Infra Red*) merupakan suatu teknik yang digunakan untuk menganalisa komposisi kimia dari senyawa-senyawa organik, polimer, coating atau pelapisan, material semikonduktor, sampel biologi, senyawa-senyawa anorganik, dan mineral. FT-IR mampu menganalisa suatu material baik secara keseluruhan, lapisan tipis, cairan, padatan, pasta, serbuk, serat, dan bentuk yang lainnya dari suatu material. Spektroskopi FT-IR tidak hanya mempunyai kemampuan untuk analisa kualitatif, namun juga analisa kuantitatif. FT-IR untuk analisa kualitatif yaitu untuk mengetahui ikatan kimia yang dapat ditentukan dari spektra vibrasi yang dihasilkan oleh suatu senyawa pada panjang gelombang tertentu. Analisa FT-IR juga digunakan untuk mengetahui jenis ikatan pada senyawa organik kompleks.

11. Roadmap Penelitian

Roadmap penelitian disajikan dalam bentuk skema ditampilkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Roadmap Penelitian