

BAB II

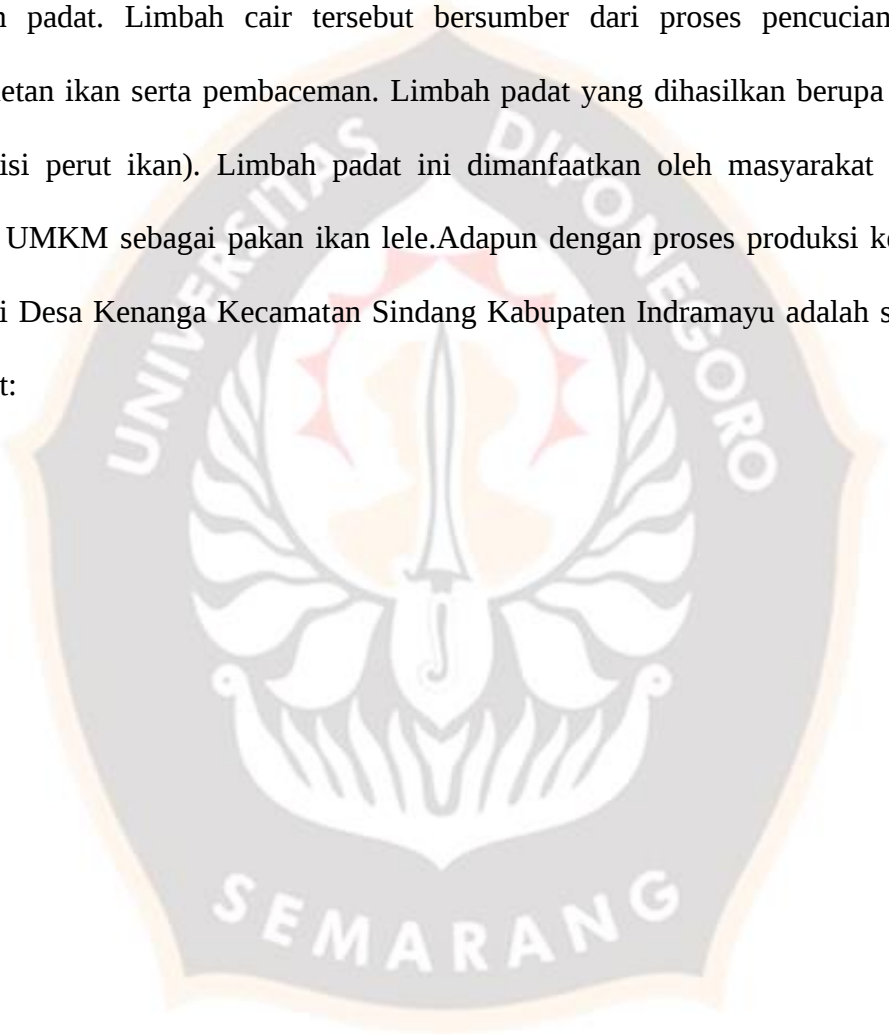
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Produksi Kerupuk Ikan

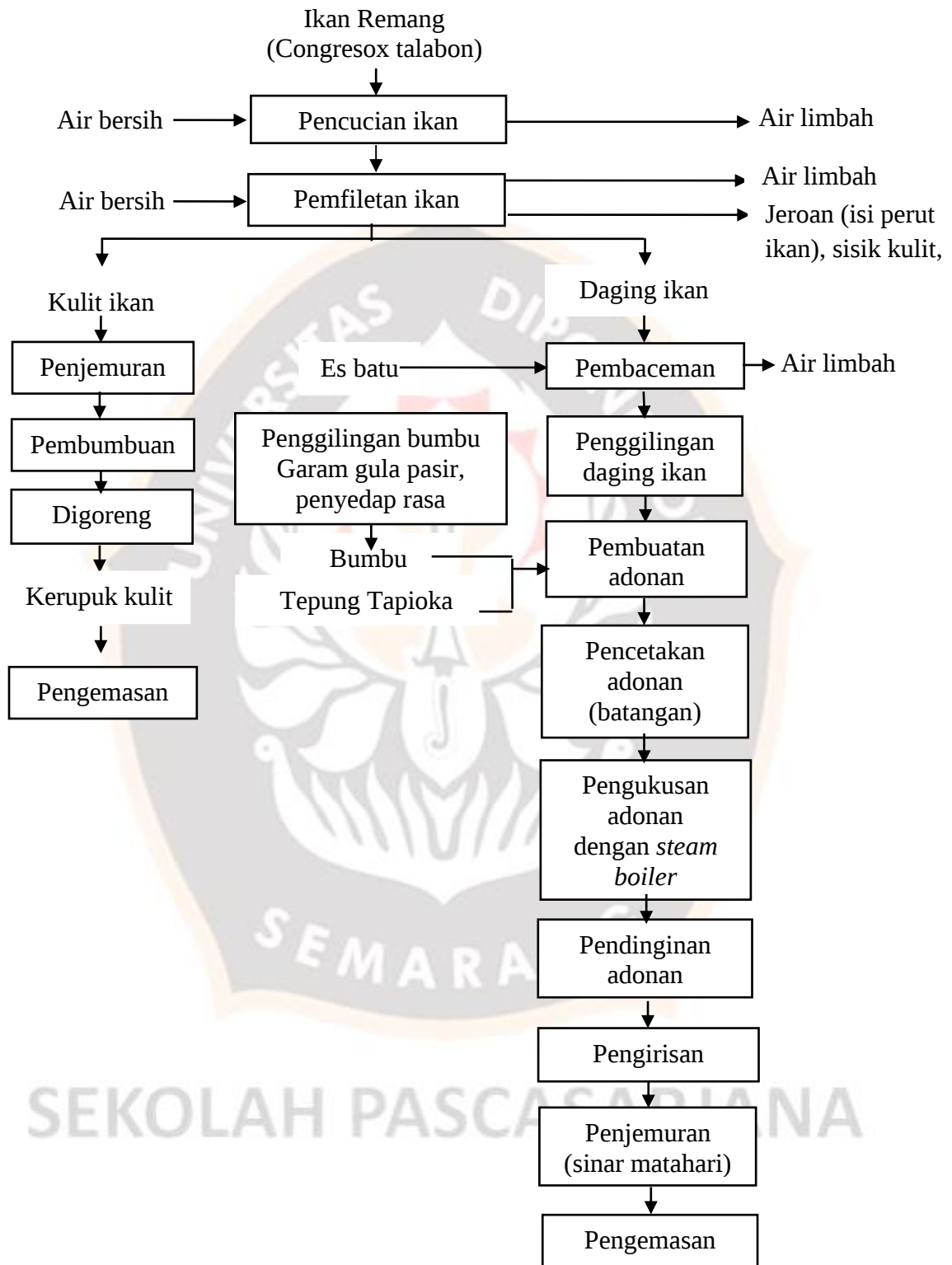
Kerupuk merupakan makanan ringan dan kering yang disajikan dengan cara menggoreng atau memanggangnya terlebih dahulu, biasanya terbuat dari tepung tapioka dan atau sagu serta ditambahkan bahan tambahan makanan lainnya untuk melezatkan rasa. Berbagai – macam kerupuk yang ada di Indonesia, seperti kerupuk bawang, kerupuk kemplang, kerupuk gonggong (khas daerah Bintan), kerupuk Palembang, kerupuk jengkol, kerupuk ikan, kerupuk udang dan lain – lain. Sementara untuk kerupuk kulit sapi, kerupuk kulit ikan, biasanya bahan utamanya merupakan kulit sapi dan ikan. Berbagai – macam kerupuk tersebut dibuat dari bahan baku utama yang sama, yaitu tepung tapioka. Untuk menambah cita rasa kerupuk ditambahkan bahan khas kerupuk sesuai dengan jenis kerupuknya, seperti ikan tenggiri, ikan remang, udang, siput laut gonggong dan lain – lain. Bahan tambah lainnya adalah bumbu, gula, garam dan air sebagai perasa.

Salah satu sentra industri kecil UMKM kerupuk ikan adalah di Desa Kenanga Kecamatan Sindang Kabupaten Indramayu. Jenis kerupuk yang diproduksi di sentra ini adalah kerupuk udang, kerupuk kulit ikan dan kerupuk ikan. Ikan yang digunakan adalah ikan Remang (*Congresox talabon*). Proses pembuatannya dilakukan masih secara konvensional mengandalkan tenaga

manusia dengan penjemuran memanfaatkan sinar matahari. Didalam proses produksi menghasilkan limbah yang berpotensi mencemari lingkungan. Limbah yang dihasilkan oleh industri kecil kerupuk ikan tersebut berupa limbah cair dan limbah padat. Limbah cair tersebut bersumber dari proses pencucian ikan, pemfiletan ikan serta pembaceman. Limbah padat yang dihasilkan berupa jeroan ikan (isi perut ikan). Limbah padat ini dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar lokasi UMKM sebagai pakan ikan lele. Adapun dengan proses produksi kerupuk ikan di Desa Kenanga Kecamatan Sindang Kabupaten Indramayu adalah sebagai berikut:



SEKOLAH PASCASARJANA



Gambar 2.1 Diagram proses produksi kerupuk ikan dan kerupuk kulit ikan di Sentra Industri Kecil Desa Kenanga Kabupaten Indramayu (Hamdani, 2013)

2.2 Sumber dan Karakteristik Air Limbah Industri Kecil Kerupuk Ikan

Sumber air limbah yang dihasilkan oleh industri kerupuk ikan dan kulit ikan diketahui dari proses dan tahapan – tahapan pembuatan kerupuk pada gambar 2.1, yaitu dari proses pencucian ikan, pemfiletan dan pembaceman daging ikan. Sedangkan untuk limbah padat berupa jeroan ikan dari peroses pemfiletan. Sumber air limbah yang terbesar adalah dari tahapan proses pencucian ikan dan pemfiletan ikan, sedangkan air limbah yang dihasilkan dari proses pembaceman daging ikan sedikit hanya dari pencairan es batu. Jika air limbah industri kerupuk ikan tersebut langsung dibuang ke sungai maka dapat mencemari air sungai sehingga harus melalui pengolahan terlebih dahulu agar outlet air limbah yang dibuang memenuhi baku mutu. Baku mutu yang digunakan adalah Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah lampiran XIV Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pengolahan Hasil Perikanan.

Secara kuantitas sumber air limbah yang terbanyak dari proses pencucian ikan. Air limbah pencucian ikan ini masih mengandung protein, lemak dan zat padat terlarut (Moertinah, S, 2010). Kandungan senyawa organik tersebut ditunjukkan dengan nilai parameter BOD dan COD (Oktavia, D, dkk, 2012). Dengan demikian membutuhkan suatu teknologi untuk menurunkan senyawa organik dalam air limbah dengan teknologi yang ramah lingkungan.

Penerapan teknologi ramah lingkungan yang aman dianggap dapat menghilangkan berbagai kontaminan dari air. Beberapa kelemahan metode pengolahan air konvensional dapat diperbaiki dengan metode pengolahan air

biologis salah satunya yaitu melalui pengolahan aerobik dan anaerobik menggunakan biofilter yang sangat efektif dalam pengolahan air yang terkontaminasi (Pachaiappan *et al.*, 2022). Biofilter merupakan teknologi yang sesuai, berkelanjutan, dan mudah dioperasikan dalam menghilangkan berbagai kontaminan yang ada di lingkungan perairan. Biofilter sebagai salah satu teknologi pengolahan air limbah yang memanfaatkan makhluk hidup biologis sebagai katalis seperti campuran mikroba (Delhoménie dan Heitz, 2005). Filter biologis ini fleksibel sehingga desain yang diperlukan dibuat bergantung pada ruang dan modal. Teknik biofilter hemat biaya, aman, mudah digunakan, penggunaan bahan kimia lebih sedikit, laju aliran tinggi, tidak adanya tenaga panas eksternal, dapat diterapkan untuk berbagai polutan beracun, bekerja pada suhu ruang, ramah lingkungan, dan persentase efisiensi yang signifikan bahkan untuk kontaminan dengan konsentrasi rendah. Keuntungan penting dari teknik biofilter adalah bahwa kontaminan diubah menjadi limbah yang dapat terbiodegradasi tanpa evolusi polutan sekunder dalam jangka waktu tertentu (Tahezadeh, 2019).

2.3 Parameter Air Limbah Industri Kecil Kerupuk Ikan

1. TSS (*Total Suspended Solid*)

Padatan tersuspensi total merupakan partikel partikel yang memiliki ukuran maupun beratnya lebih kecil dari sedimen dan menyebabkan kekeruhan pada air, partikel ini yang tidak terlarut dan tidak langsung mengendap (Nasution,

2008). Menurut Effendi (2003), bahwa partikel tersuspensi ini berdiamater lebih besar dari $1\mu\text{m}$ yang tertahan pada saringan *mili pore* dengan diameter biopori $0,45\mu\text{m}$.

Total Suspended Solid (TSS) diartikan juga sebagai banyaknya senyawa-senyawa organik atau anorganik yang tersuspensi di dalam air. Senyawa organik yang tersuspensi atau melayang-layang di dalam air bisa berupa selulosa, lemak, protein atau dapat juga berupa mikroorganisme seperti algae, bakteri dan sebagainya. Sedangkan untuk senyawa anorganik yang tersuspensi di dalam air seperti pasir halus, liat dan lumpur. Sumber senyawa organik dan anorganik tersebut dapat bersumber dari alamiah maupun dari air buangan kegiatan manusia maupun air limbah industri. Kandungan zat tersuspensi berkaitan erat dengan kekeruhan, namun demikian kekeruhan tidak selalu sebanding dengan zat tersuspensi, hal ini karena zat – zat tersuspensi yang ada di dalam air berbeda beda dalam berbagai zat, bentuk dan berat jenisnya. Kandungan zat tersuspensi akan mempengaruhi kualitas air, kandungan TSS yang semakin tinggi memiliki kualitas air yang semakin buruk. TSS yang tinggi akan menurunkan kejernihan air dan akan menghalangi cahaya matahari masuk ke dalam air, sehingga akan menghambat proses fotosintesis tanaman fitoplankton di dalam air sehingga akan menurunkan oksigen terlarut di dalam air (Alaerts dan Santika, 1987).

2. BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Di dalam air terdapat oksigen yang disebut dengan oksigen terlarut atau DO (*Disolved Oxygen*). Oksigen terlarut ini dibutuhkan oleh hewan aquatik dan

mikroorganisme perairan untuk bernafas, proses metabolisme atau pertukaran zat yang kemudian menghasilkan energi untuk pertumbuhan dan pembangbiakan. Oksigen terlarut sendiri bersumber dari proses fotosintesis di dalam perairan dan absorpsi atmosfer/udara. Semakin kandungan oksigen terlarut yang tinggi maka kualitas air semakin baik. Kandungan oksigen terlarut bisa mengalami penurunan jika zat-zat organik masuk ke dalam perairan, karena oksigen tersebut digunakan oleh mikroorganisme untuk menguraikan zat-zat organik yang masuk ke dalam perairan, sehingga kandungan oksigen terlarutnya menurun.

Kebutuhan oksigen terlarut untuk menguraikan zat organik oleh mikroorganisme di perairan ini disebut dengan BOD (*Biological Oxygen Demand*) (Metcalf and Eddy, 2003). *Biological Oxygen Demand* ini merupakan parameter indikator yang paling banyak digunakan dalam pencemaran organik di dalam perairan untuk pengendalian kualitas air. Semakin tinggi nilai BOD, maka semakin tinggi pula tingkat pencemaran suatu perairan. Penguraian zat organik di suatu perairan merupakan peristiwa alamiah, namun jika perairan dicemari zat organik, maka bakteri akan menghabiskan oksigen terlarut dalam proses oksidasi, sehingga kondisi menjadi anaerob dan menimbulkan bau busuk serta mengakibatkan kematian pada ikan (Alaerts dan Santika, 1987). Nilai BOD hanya mengukur jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan untuk mendekomposisi bahan organik dan tidak menunjukkan jumlah bahan organik yang sebenarnya (Wulandari, 2018).

Menurut Metcalf & Eddy (1991), bahwa dalam pengolahan air limbah nilai BOD ini adalah hal yang penting, yaitu: (i) untuk memperkirakan jumlah

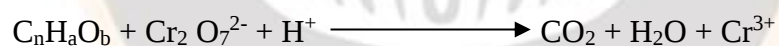
oksigen yang akan diperlukan untuk menstabilkan bahan organik yang ada secara biologis, (ii) untuk mengetahui ukuran fasilitas pengolahan air limbah, (iii) untuk mengukur efisiensi suatu proses perlakuan dalam pengolahan air limbah, (iv) untuk mengetahui kesesuaiannya dengan batasan yang diperbolehkan bagi pembuangan air limbah. Alaerts dan Santika (1987), menyatakan juga bahwa pemeriksaan BOD untuk menentukan beban pencemaran dan untuk mendesain pengolahan air limbah secara biologis.

Prinsip pengukuran nilai BOD adalah dengan mengukur kandungan oksigen terlarut / *Dissolved Oxygen* pada sampel, yaitu pada kondisi awal (DO_i) dan hari kelima setelah diinkubasi selama 5 hari dalam kondisi gelap dan suhu tetap ($20^{\circ}C$) sebagai DO_5 . Selisih antara DO awal dengan DO_5 hari ini merupakan nilai BOD yang dinyatakan dalam satuan mg/l atau ppm (*parts per million*).

Dalam analisis BOD melibatkan mikroorganisme sebagai pengurai bahan organik sehingga memerlukan waktu. Waktu yang dibutuhkan untuk menguraikan senyawa organik secara sempurna dalam analisis BOD sekitar 20 hari (BOD ultimate). Dalam waktu 20 hari ini oksidasi senyawa organik karbon mencapai 95 - 99%. Waktu 20 hari ini dianggap terlalu lama sehingga dipilih waktu yang diperkirakan sebagian besar zat organik telah terurai, yaitu: pada waktu 5 hari sekitar 60 – 70% zat organik telah terurai (Metcalf & Eddy, 1991). Oleh karena BOD tulis sebagai BOD_5 hari.

3. COD

Parameter COD digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran senyawa organik pada suatu air limbah. COD merupakan banyaknya oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh senyawa organik yang terkandung dalam air limbah yang sengaja diurai secara kimia dengan menggunakan katalisator kuat (Kalium bikromat/ $K_2Cr_2O_7$) dalam suasana asam dan panas dengan katalisator perak sulfat (Ag_2SO_4), sehingga segala macam bahan organik akan teroksidasi, baik bahan organik yang mudah terurai maupun yang kompleks dan sulit terurai (Metcalf & Eddy, 1991). COD dapat menggambarkan jumlah total organik yang ada di suatu perairan. Menurut Sunu (2001), bahwa jumlah oksigen yang diperlukan untuk reaksi oksidasi terhadap senyawa organik sama dengan jumlah kalium bikromat yang digunakan pada reaksi oksidasi. Adapun reaksi oksidasi zat organik oleh kalium bikromat adalah sebagai berikut:



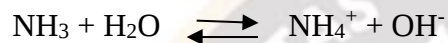
Semakin tinggi nilai COD menunjukkan semakin banyaknya zat organik yang terkandung didalam suatu perairan/air limbah, sehingga kebutuhan oksigen untuk reaksi oksidasi akan semakin tinggi pula. Hal ini akan mengakibatkan oksigen terlarut didalam suatu perairan/air limbah akan semakin berkurang dan semakin kecil yang berakibat biota air tidak bisa bertahan hidup.

4. Amonia

Amonia merupakan gas yang tidak berwarna dengan titik didih -30°C . Bau ammonia yang tajam dapat dideteksi pada konsentrasi 1-5 ppm (Brigden dan Stringer, 2000). Amonia (NH_3) dan garam – garamnya bersifat mudah larut dalam air. Amonia merupakan senyawa Nitrogen pada bentuk cair dan terdapat dalam 2 (dua) bentuk, yaitu amonia tidak terionisasi atau amonia bebas (NH_3) dan amonia terionisasi, yaitu amonium (NH_4^+). Ion amonium (NH_4^+) merupakan bentuk transisi dari ammonia bebas (NH_3). Di dalam perairan terdapat dua sumber ammonia, yaitu sumber dari pemecahan Nitrogen organik (protein dan urea) dan Nitrogen anorganik yang terdapat di dalam tanah dan air yang berasal dari dekomposisi bahan organik (tumbuhan dan biota akuatik yang telah mati) oleh mikroba dan jamur. Sumber ammonia yang kedua bersumber dari reduksi gas Nitrogen yang berasal dari proses difusi udara atmosfer, limbah industri maupun domestik. Amonia bebas (NH_3) yang tidak terionisasi bersifat toksid/racun terhadap organisme akuatik. Sifat toksid akan semakin meningkat jika terjadi penurunan kadar oksigen terlarut, pH dan suhu di dalam air. Pada ikan yang tidak bisa bertoleransi terhadap amonia bebas yang terlalu tinggi akan mengakibatkan proses peningkatan oksigen oleh darah terganggu dan pada akhirnya akan mengakibatkan sufoksi. Akan tetapi ammonia bebas ini tidak dapat diukur secara langsung (Effendi, 2003).

Kelarutan amonia pada saat di dalam air sangat besar dan kelarutannya akan menurun tajam seiring dengan kenaikan suhu di dalam air. Amonia (NH_3) bereaksi dengan air secara reveribel menghasilkan ion ammonium (NH_4^+) dan ion

hidroksida (OH^-) (Sihaloho, 2009). Di perairan alami, pada suhu dan tekanan normal ammonia berada dalam bentuk gas dan membentuk keseimbangan dengan dengan gas ammonium. Berikut ini keseimbangan antara gas ammonia dan gas amonium:



5. Sulfida

Hidrogen Sulfida merupakan gas yang memiliki karakteristik bau seperti telur busuk dan merupakan gas yang tidak berwarna, sangat beracun mudah terbakar (Soemirat, 2009). Sulfida dihasilkan dari hasil pembusukan zat – zat organik dan juga akibat dari penurunan kadar belerang/sulfur. Pembusukan ini berlangsung secara anaerobik dari berbagai zat yang mengandung sulfur/belerang dan penurunan kadar campuran-campuran belerang menjadi sulfida, pembusukan anaerobik pada lumpur dan sampah dan menghasilkan bau yang menyengat serta biasanya ditemui juga gas methane dan karbon dioksida (Mahida, 1993).

Gas sulfida ini sering disebut gas saluran pembuang dan banyak ditemui di tempat saluran pembuangan, pembuangan limbah tanaman, stok pupuk termasuk ekstraksi gas dan minyak bumi, produksi rayon tekstil, penyamakan kulit, industri kimia dan pembuangan limbah. Juga sebagai hasil reduksi dengan kondisi anaerob terhadap sulfat oleh mikroorganisme dan sebagai salah satu bahan pencemar. Ion S^{2-} tidak pernah ditemukan dalam perairan alami yang bersifat normal (Achmad, 2004).

2.4 Dampak Limbah Cair Industri Kerupuk Ikan Terhadap Lingkungan Sekitar

Karakteristik air limbah industri kecil kerupuk ikan yang mengandung beban pencemar yang dibuang ke badan air tanpa pengolahan terlebih dahulu atau masih diatas baku mutu lingkungan dapat mengakibatkan pencemaran terhadap lingkungan sekitar. Pencemaran lingkungan dapat berupa pencemaran air, udara dan tanah. Hasil pengamatan di lapangan sebagian besar industri UMKM kerupuk ikan belum memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Kandungan bahan organik yang cukup tinggi pada air limbah yang dihasilkan oleh industri kerupuk ikan yang menyebabkan pencemaran.

Air limbah industri kerupuk ikan ini bersumber dari proses pencucian, pemfiletan dan pembaceman ikan. Dalam proses pencucian ikan banyak menggunakan air bersih sehingga proses pencucian ikan dan pencucian ikan hasil pemfiletan menghasilkan air limbah yang banyak, air limbah ini mengandung kotoran lumpur yang melekat di ikan, selain itu dari proses pemfiletan menghasilkan limbah padat seperti isi perut ikan (jeroan ikan), tulang ikan, sisik ikan dan darah ikan, kemudian dilakukan pencucian kembali dan limbah padat tersebut terbawa bersama air bekas cucian ikan sebagai air limbah. Dalam proses pembaceman menghasilkan air limbah yang kuantitasnya kecil, yaitu dari mencairnya es yang digunakan dalam pembaceman. Air limbah industri kerupuk ikan ini paling besar dari proses pencucian ikan yang berbau amis dan membawa sisa- sisa hasil pemfiletan ikan serta mengandung karbohidrat, protein, garam

mineral, bahan organik, lemak dan nutrien yang tinggi yang jika dibuang ke lingkungan tanpa diolah terlebih dahulu akan mencemari lingkungan. Karakteristik air limbah pencucian ikan memiliki kandungan nutrien 7 - 32% dari total nitrogen, 30 – 84% total phosphor, lebih dari 27% total karbon yang terikat dalam fraksi partikulat dan terlarut efluen (Berghiem et al., 1993).

Senyawa nitrogen yang terkandung dalam air limbah pencucian ikan ini pada umumnya dalam bentuk amoniak, nitrit, nitrat yang bersifat toksid dan jika konsentrasinya melebihi baku mutu dapat berdampak pada penurunan oksigen terlarut dalam air, merangsang pertumbuhan tanaman air, eutrofikasi serta memunculkan toksisitas terhadap kehidupan air yang mengakibatkan kematian pada biota air seperti ikan, juga dapat membahayakan kesehatan manusia (Setiyawan dan Hari, 2010).

Pencemaran air terjadi jika suatu zat, energi atau komponen lain masuk ke dalam air oleh kegiatan manusia melebihi daya tampung badan air tersebut sehingga kualitas air turun dan tidak bisa berfungsi sebagaimana peruntukannya. Dengan kandungan air limbah dari proses pencucian ikan tersebut jika dibuang tanpa pengolahan akan berdampak pada terjadinya pencemaran air pada perairan. Pada dasarnya perairan memiliki kemampuan alami untuk memulihkan atau mengembalikan ke keadaan semula dari beban pencemar yang telah masuk ke dalam perairan melalui proses fisika, kimia, biologi yang berlangsung secara alami dengan proses secara aerobik menjadi suatu zat yang stabil sepanjang beban pencemar tidak melebihi kapasitas asimilasi perairan, kemampuan alami ini disebut dengan *selfpurification*. Namun jika beban pencemar yang masuk ke

perairan melebihi kapasitas asimilasi, maka dapat menyebabkan meningkatnya pertumbuhan bakteri dan membuat kondisi perairan menjadi anerobik sehingga keadaan ini mengganggu lingkungan (Mc Kinney, 1962).

Industri UMKM kerupuk ikan di sentra industri kerupuk Desa Kenanga Kecamatan Sindang Kabupaten Indramayu Jawa Barat merupakan salah satu UMKM yang perlu mendapatkan perhatian dalam hal pengelolaan lingkungan, khususnya pengolahan air limbah. Di UMKM ini air limbah yang dihasilkan langsung dibuang ke saluran air di sekitar lokasi sentra industri dan terlihat berwarna hitam serta berbau busuk, mengganggu estetika dan belum dilakukan pengolahan yang merupakan contoh nyata terjadinya pencemaran lingkungan yang terjadi pada lingkungan sentra industri kecil yang diakibatkan oleh air limbah tidak dikelola dengan baik. Air limbah yang dihasilkan dari UMKM tersebut selanjutnya di buang ke Sungai Cimanuk yang merupakan sungai terbesar di kabupaten Indramayu. Sungai Cimanuk ini merupakan sungai yang airnya dijadikan sebagai sumber utama dan menjadi andalan sumber air baku untuk air bersih untuk memenuhi kebutuhan air bersih di kabupaten Indramayu. Sungai Cimanuk ini adalah satu -satunya sumber air baku untuk memenuhi air bersih di Kabupaten Indramayu, mengingat lokasi kabupaten Indramayu yang berada di pantai utara yang sebagian besar air tanahnya terasa asin atau payau sehingga tidak bisa dijadikan sebagai sumber air baku. Dengan demikian kualitas air permukaan Sungai Cimanuk harus tetap dijaga agar dapat memenuhi kualitas sebagai sumber air baku untuk air bersih.

Beberapa laporan terkait pemantauan kualitas air pada saluran drainase yang dijadikan sebagai pembuangan air limbah di sekitar lokasi industri kerupuk yang dilakukan oleh Kantor Lingkungan Hidup Kabupaten Indramayu pada tahun 2010 diperoleh kandungan COD sebesar 87,02 mg/l; BOD 65 mg/l dan pada tahun 2012 dihasilkan kandungan COD sebesar 283 mg/l; BOD 70 mg/l. Hasil pengujian kualitas air pada saluran tersebut telah melampaui Baku Mutu Air kelas 4 (empat), yaitu air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertamanan berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan lingkungan Hidup lampiran VI Baku Mutu Air Sungai dan sejenisnya, yaitu untuk parameter COD maksimal sebesar 80 mg/l dan BOD maksimum 12 mg/l.

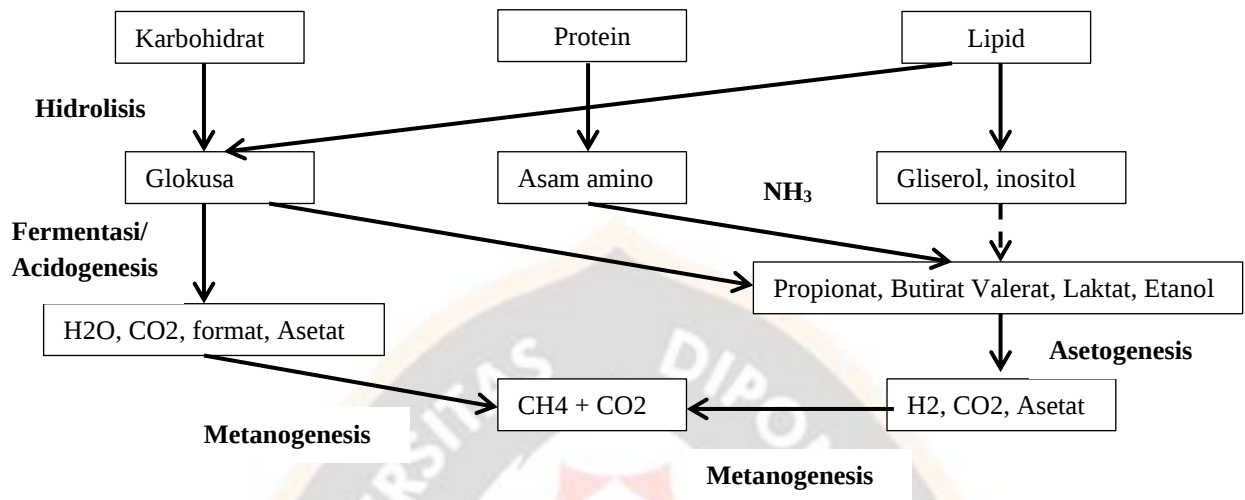
2.5 Pengolahan Air Limbah Secara Biologis

Prinsip utama pengolahan air limbah secara biologis adalah penguraian senyawa atau zat pencemar yang terkandung dalam air limbah oleh mikroorganisme sebagai pengurai. Pengurain tersebut dapat beroperasi secara anaerob (tanpa oksigen) maupun aerob (membutuhkan oksigen).

Proses penguraian oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan-bahan organik secara anaerob adalah proses penguraian yang berlangsung pada kondisi tanpa oksigen oleh mikroorganisme tertentu yang mampu mengubah senyawa organik menjadi metana (biogas). Secara umum, proses anaerob terdiri dari empat tahap yakni:

- (i) hidrolisis, dimana aktivitas kelompok bakteri saprofilik menguraikan bahan organik kompleks yang tidak larut dalam air, seperti polisakarida lemak, protein dan karbohidrat menjadi bahan organik yang larut dalam air;
- (ii) pembentukan asam (fermentasi/Acidogenesis), bahan organik yang terlarut dalam air akan diubah oleh bakteri asam asidogenesis menjadi asam organik rantai pendek, seperti asam butirat, asam propionat, asam amino, asam asetat dan asam lainnya;
- (iii) pembentukan asetat (Asetogenesis), pembentukan asam asetat oleh bakteri Asetogenik yang merupakan salah satu bakteri yang hidup dalam kelompok bakteri Asidogenik yang berperan dalam tahap perombakan asam propionat, asam amino, asam butirat maupun asam rantai panjang lainnya menjadi asam organik yang mudah menguap/volatile seperti asam asetat dan
- (iv) pembentukan metana (Metanogenesis), proses dimana bakteri Metanogenesik akan mengkonversi asam organik volatile menjadi gas metan (CH_4) dan karbondioksida (CO_2). Proses tersebut dapat digambarkan sebagai berikut (El Shafai, et al., (2007):

SEKOLAH PASCASARJANA



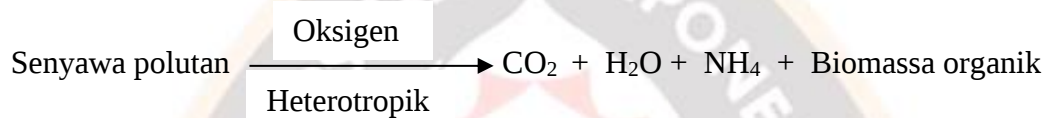
Gambar 2.2 Tahapan Degradasi Senyawa Organik dalam Proses Anaerob
(El Shafai, et al 2007)

Jenis mikroorganisme yang menguraikan senyawa organik secara anaerob seperti *Bacteroides*, *Bifidobacterium*, *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*. Kelompok bakteri metabolik yang terlibat dalam penguraian senyawa organik secara anaerob sesuai dengan proses yang terjadi, yaitu hidrolisis (bakteri hidrolitik), fermentasi/acidogenesis (bakteri acidogenik fermentatif), asetogenesis (bakteri acetogenik), metanogenesis (bakteri metanogenik).

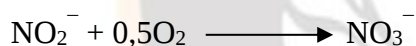
Sementara untuk proses secara aerob pada pengolahan air limbah terjadi penguraian senyawa kompleks organik oleh mikroorganisme aerob yang dalam aktivitasnya mikroorganisme ini membutuhkan oksigen. Senyawa organik kompleks yang terkandung di dalam air limbah di pecah menjadi karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O) dan Amonium. Amonium ini akan teroksidasi melalui melalui reaksi Nitrifikasi, yaitu Amonium akan teroksidasi menjadi Nitrit (NO_2^-) yang dilakukan oleh bakteri *Nitrosomonas* melalui reaksi nitritasi yang kemudian

Nitrit teroksidasi menjadi Nitrat (NO_3^-) yang dilakukan oleh bakteri *Nitrobacter* melalui reaksi nitrasi. Sementara sulfida (H_2S) akan dioksidasi menjadi sulfat (reaksi oksidasi sulfur). Secara sederhana reaksi-reaksi tersebut dapat digambarkan sebagai berikut (Arie Herlambang, 2001):

Reaksi penguraian senyawa organik:



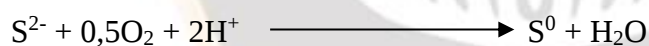
Reaksi Nitritasi:



Secara keseluruhan proses Nitrifikasi adalah sebagai berikut:



Sementara untuk reaksi oksidasi Sulfur sebagai berikut:



Secara garis besar proses pengolahan air limbah secara biologis dibagi menjadi 3 (tiga), yaitu proses biologis dengan *Suspended culture* (biakan tersuspensi), *attached culture* (biakan melekat), *System lagoon* atau kolam. (Nihon Gesuidou Kyoukai, 1984). Pada biakan tersuspensi ini mikroorganisme yang digunakan dibiakkan secara tersuspensi di dalam reaktor, contoh dari biakan tersuspensi, yaitu poroses lumpur aktif (*active sludge*), aerasi bertingkat (*step*

aeration), kolam oksidasi system parit (*oxidation ditch*), *Upflow Anaerobic Sludge Balanged* (UASB) dan lainnya. Sementara untuk biakan melekat dimana mikroorganisme yang digunakan dibiakkan pada suatu media dan melekat pada permukaan media dan membentuk lapisan biofilm sehingga proses ini disebut juga dengan biofilm. Contoh dari biakan melekat ini, yaitu biofilter, *trickling filter*, *Rotating Biological Contactor* (RBC) dan lainnya. Proses biologis *system lagoon* (kolam) ini, yaitu aktivitas mikroorganisme tumbuh secara alami untuk menguraikan senyawa organik yang terkandung di dalam air limbah pada suatu kolam yang luas dengan waktu tinggal yang cukup lama. Contoh dari proses biologis *system lagoon* ini adalah kolam stabilisasi (*Stabilization pond*).

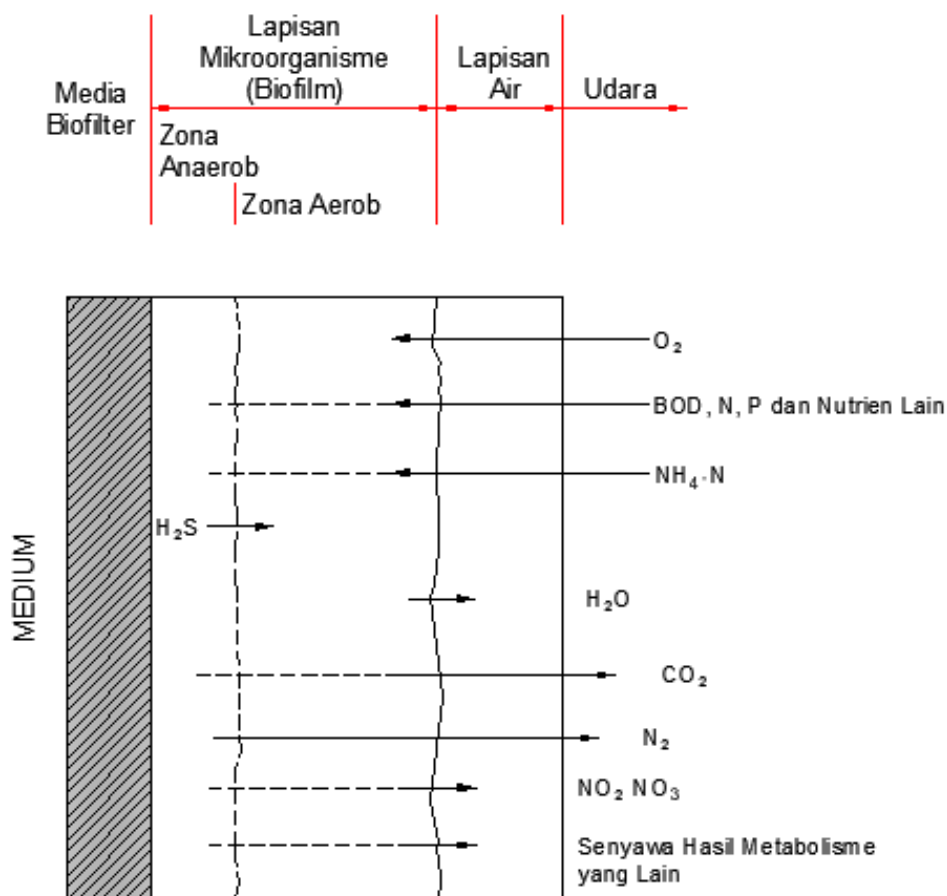
2.6 Teknologi Biofilter

2.6.1 Proses pengolahan air limbah dengan teknologi biofilter

Teknologi biofilter ini termasuk biofilm yang proses biologis biakannya melekat (*attached culture*), oleh karena itu diperlukan media dimana permukaan media tersebut digunakan sebagai media melekatnya biofilm/mikroorganisme. Biofilm merupakan suatu agregat mikroorganisme yang melekat pada permukaan padat dan media basah dengan adanya *Extracellular Polymetric Substance* (EPS) (Donian, 2002). EPS ini memungkinkan mikroorganisme untuk hidup terus menerus pada kepadatan sel tinggi dalam populasi mikroba yang stabil. Namun demikian produksi EPS yang tinggi akan mengganggu pengolahan air limbah secara biologis, karena akan menyebabkan penyumbatan (Miqueleto et al., 2010).

Lapisan biofilm ini mengandung beberapa koloni mikroorganisme, seperti bakteri, diatom, jamur, alge, protozoa dan material non selular (Wesley et al., 2009) disamping itu lapisan biofilm berfungsi juga sebagai biofilter (penyaring biologis) (Reynolds, 2008). Di dalam pembentukan biofilm melibatkan dua faktor, yaitu faktor biotik dan faktor abiotik. Faktor biotik adalah keanekaragaman komunitas mikroba, sedangkan faktor abiotik adalah media biofilter. Pengoperasian pengolahan air limbah dengan biofilter ini dilakukan dengan mengalirkan air limbah ke dalam suatu reaktor. Di dalam reaktor terdapat media biofilter dan sebagian besar mikroorganisme tumbuh dan berkembangnya serta melekat pada permukaan media membentuk lapisan biofilm, sehingga pada saat air limbah yang mengandung polutan dialirkan dan mengalir melalui celah antar media dan kontak langsung dengan lapisan biofilm (massa mikroba). Mikroorganisme yang melekat pada media biofilter ini akan menguraikan senyawa organik yang terkandung dalam air limbah. Mekanisme proses metabolisme di dalam biofilter sebagai berikut:

SEKOLAH PASCASARJANA



Gambar 2.3 Mekanisme proses metabolisme didalam biofilter (Arvin. E. dan Harremoes, 1990)

Senyawa organik yang terkandung dalam air limbah akan kontak dengan permukaan media biofilter yang mengandung mikroorganisme dan akan membentuk lapisan aktif biologis. Oksigen terlarut merupakan faktor pembentuk lapisan biofilm. Pembentukan lapisan biofilm pada media pada awal pertumbuhan mikroba memerlukan waktu beberapa minggu yang disebut dengan proses pematangan, sehingga pada awal proses efisiensi penurunan polutan sangat rendah dan mengalami peningkatan dengan terbentuknya lapisan biofilm (Horan, 1990).

Pertumbuhan lapisan biofilm akan terus berkembang dan adsorpsi terus berlanjut sehingga terjadi akumulasi lapisan biomassa yang berbentuk lapisan lendir. Pada lapisan lendir yang sudah terbentuk ini pertumbuhan mikroorganisme berlangsung sehingga ketebalan lapisan lendir akan terus bertambah. Sementara proses difusi makanan dan oksigen terlarut akan terus berlangsung sampai dengan ketebalan maksimum dimana pada kondisi ini difusi makanan dan oksigen terlarut tidak mampu lagi mencapai permukaan padatan yang berakibat pada lapisan biomassa ini terbagi menjadi dua zona, yaitu anaerob dan aerob. Pada kondisi ini terjadi pengelupasan lapisan biomassa, namun segera terbentuk koloni mikroorganisme yang baru sehingga pembentukan lapisan biofilm akan terus berlangsung. Pengikisan cairan yang berlebih yang mengalir melalui biofilm juga dapat mengakibatkan pengelupasan biomassa (Winkler, 1981).

Teknologi biofilter untuk pengolahan air limbah ini sudah dilakukan penelitian pada berbagai jenis air limbah seperti air limbah domestik diantaranya Sumiyati (2019), pengolahan air limbah domestik dengan biofilter anaerob dan aerob dengan media gravel vulkanik, didapatkan hasil penurunan COD kondisi anaerob 87,86%, kondisi aerob 95,50%, sedangkan penurunan BOD kondisi anaerob 93,39%, kondisi aerob 93,29%. Al kholif, dkk (2018) meneliti penggunaan biofilter dengan media batu apung pada air limbah domestik menghasilkan efisiensi penurunan untuk BOD, COD, TSS berturut turut sebesar 83,3%; 84,2%; 90%. Yusuf Hidayat, dkk (2019) pada pengolahan air limbah domestik dengan biofilter multimedia (*bioball*, *honeycomb*, *zeolite*, arang aktif,

serutan kayu) dapat menyisihkan BOD (86,5%), COD (91,2%), minyak dan lemak (91,6%), TSS (98,4%), Amonia (97,7%).

Pengolahan air limbah tahu dengan teknologi biofilter juga sudah dilakukan diantaranya Anggarini et al. (2015) didapatkan hasil efisiensi penurunan COD sebesar 86,76%; BOD sebesar 79,23% dan TSS 67,88%. Penelitian dilakukan juga pada air limbah gasifikasi batubara dengan menggunakan teknologi biofilter, yaitu Yaijie et al. (2016) media biofilter menggunakan *cellosilk* lunak dan mampu menurunkan COD sebesar 60% dan fenol sebesar 85%. Penggunaan biofilter diteliti juga untuk pengolahan air limbah perikanan dan pengolahan ikan, diantaranya adalah Satria dkk, (2019) dalam penelitiannya pengolahan air limbah perikanan dengan menggunakan media *packing bioball* dapat menyisihkan amonia sebesar 90% dan fosfat 50%. Sementara Arik Agustina, dkk (2016) pengolahan air limbah dari pengolahan ikan dengan media biofilter dari pecahan genteng dengan efisiensi penyisihan BOD, COD, TSS, minyak dan lemak berturut turut sebesar 87,50%; 59,57%; 91,85% dan 88,56%.

2.6.2 Media biofilter

Bagian terpenting dalam teknologi biofilter adalah media penyangga. Media biofilter ini merupakan faktor abiotik dalam pembentukan biofilm. Media ini sebagai tempat dimana mikroorganisme berkembangbiak. Perbedaan media yang digunakan dalam biofilter akan mempengaruhi efisiensi penurunan parameter pencemar yang terkandung dalam air limbah. Beberapa sifat fisik

media biofilter yang dapat mempengaruhi pembentukan biofilm, yaitu kekasaran permukaan media, struktur pori, area spesifik dan jenis bahan media biofilter (Guo et al., 2010). Berdasarkan sifat bahan media penyangga yang digunakan dalam teknologi biofilter terbagi atas 3 (tiga) kelompok, yaitu bahan anorganik, bahan organik inert dan bahan organik reaktif.

a) Media biofilter bahan anorganik

Bahan anorganik yang digunakan untuk media biofilter seperti batuan, zeolite, batuan vulkanik/batuan andesit, keramik, karbon aktif. Media biofilm dari bahan anorganik ini selain mudah ditemukan juga memiliki kekuatan mekanik yang sangat baik, sifat kimia yang stabil (Wang et al., 2016) serta cenderung memiliki luas permukaan spesifik yang luas (Muller Renno et al., 2013; Wang et al., 2016). Saber A. El Shafai dan Zahid (2013); Sumiyati, et al., (2018) menggunakan media biofilter batuan vulkanik dalam teknologi biofilter untuk menurunkan kandungan karbon dan nitrogen dalam menurunkan polutan air limbah domestik. Media biofilter keramik dapat digunakan sebagai media biofilter karena memiliki efektivitas yang tinggi pada adsorpsi mikroorganisme dengan tingkat penurunan COD, Cr dan $\text{NH}_3\text{-N}$ dalam air limbah domestik mencapai 90%, hal ini dikarenakan permukaan keramik memiliki porositas dan ukuran pori yang tinggi sehingga dapat meningkatkan terbentuknya biofilm (Wang et al., 2016) Dutta et al. (2014), menggunakan karbon aktif dan zeolite sebagai media biofilm dalam mengolah air limbah kota dan menghasilkan efisiensi penurunan COD mencapai 93-98%. Kekasaran permukaan dan struktur pori yang lebar dari media biofilm

anorganik dapat melindungi mikroorganisme dari beban kejut serta dapat memberikan kondisi yang baik dalam melekatnya biofilm pada permukaan (Zhang et al., 2010). Namun demikian terdapat beberapa kelemahan dari media biofilm bahan anorganik ini diantaranya adalah pembentukan biofilm yang lambat, permeabilitas yang kecil, resistensi aliran yang besar dan mudah mengalami penyumbatan (Inam et al., 2011; Misaelides et al., 2011; Zhang et al., 2016b)

b) Media biofilter bahan organik reaktif

Media biofilter dari bahan organik reaktif yang sering digunakan adalah serat bambu, karena selain memiliki biokompatibilitas dan hidrofilisitas yang baik juga relatif lebih murah dan praktis (Xiao dan Chu, 2014, Yang et al, 2015). Selain dari bahan bambu, ada juga bahan organik reaktif lainnya yang dapat dijadikan sebagai media biofilm seperti tongkol jagung, kulit kacang, jerami gandum, jerami padi, alang-alang dan sekam padi. Bahan – bahan tersebut selain berperan sebagai media biofilm juga berperan sebagai sumber karbon padat untuk meningkatkan pertumbuhan mikroorganisme untuk denitrifikasi biologis dalam pengolahan air limbah (Feng et al., 2015b). Li et al, 2012 dan Yang et al., 2015, menemukan bahwa penggunaan limbah pertanian sebagai media biofilm juga sebagai sumber karbon padat dalam sistem *Membrane Bioreaktor* (MBR) dapat meningkatkan efisiensi denitrifikasi sebesar 20-40%.

Keunggulan lainnya yang dimiliki oleh bahan organik reaktif ini adalah struktur permukaannya yang cocok untuk pertumbuhan mikroorganisme, terutama media biofilm ini tidak beracun untuk sel mikroorganisme, mudah ditangani

setelah digunakan dan ramah lingkungan karena tidak menyebabkan pencemaran lingkungan (Fan et al., 2012; Yang et al., 2015). Sedangkan beberapa kelemahan dari bahan ini adalah degradasi yang cepat oleh mikroorganisme, transfer massa yang kurang baik, penggunaan kembali media biofilm ini relatif terbatas dan pelepasan sumber karbon terlarut yang tidak stabil untuk denitrifikasi selama pengolahan air limbah berlangsung (Zhao et al., 2017).

c) Media biofilter bahan organik inert

Beberapa bahan organik inert yang dapat digunakan sebagai media biofilter adalah dari bahan *polypropylene* (PP), *polyethylene* (PE), *polyester*, *polyolefin*, *polyurethane* (PU) dan lain – lain. Sato et al (2004), melakukan penelitian menggunakan *polyurethane* (PU) sebagai media biofilm dan media hirogel berpori untuk media perkembangan mikroorganisme dalam mengolah air limbah dan menghasilkan tingkat efisiensi nitrifikasi diatas 90%. Shore et al (2012), menggunakan *polyethylene* (PE) sebagai media biofilm padat dalam pengolahan air limbah dan menghasilkan efisiensi penurunan $\text{NH}_4\text{-N}$ sebesar 90%. Media biofilm dari bahan seperti *polypropylene*, *polyethylene*, *polystyrene*, *polyurethane* mempunyai kepadatan rendah, memiliki stabilitas, resistensi (ketahanan) untuk biodegradasi, umur dan kekuatan mekanis yang kuat, tetapi memiliki luas permukaan spesifik yang terbatas (Quan et al., 2015; Deng et al., 2016b). Chu and Wang (2011), penggunaan *polyurethane sponge* (PUS) sebagai media biofilm lebih baik untuk pengolahan air limbah dalam menurunkan Total Organik Carbon (TOC) dan $\text{NH}_4\text{-N}$ karena memiliki porositas yang tinggi

sehingga sebagian besar mikroorganisme terjebak ke dalam pori – pori *polyurethane sponge*. Sementara bahan organik inert yang lain seperti polypropylene (PP), polyethylene (PE), polystyrene (PS), polyvinyl chloride (PVC) memiliki bioafinitas dan hidrofilisitas yang rendah, dimana hal tersebut merupakan kelemahan dari bahan – bahan tersebut dalam penggunaannya sebagai media biofilm (Zhao et al., 2019).

2.6.3 Karakteristik Media Batu sebagai Media Biofilter

Andesit adalah batuan vulkanik yang diberi nama berdasarkan batuan ekstrusif besar yang ditemukan di pegunungan Andes di Amerika Selatan. Komposisi kimia andesit mengandung silika dalam bentuk SiO_2 yang mencapai antara 52–63% dari volume batu. Selain silika, unsur mineral utamanya terdiri dari feldspar plagioklas (biasanya berupa andesin) dan kristal piroksen (biasanya hornblende), dengan mineral magnetit, biotit, dan lainnya dalam jumlah yang lebih kecil (Youssef et al., 2021). Menurut Costa & Barker (1981), porositas andesit berkisar antara 0,1% sampai 11%. Andesit dapat ditemukan sebagai kristal besar atau fenokris dengan tekstur porfiritik (Youssef et al., 2021).

Batuan andesit memiliki ukuran yang besar, tingkat kekerasan tinggi, dan memiliki sifat mekanik yang baik. Andesit juga dapat bertahan pada rentang suhu yang luas. Andesit dengan tekstur porfiritik dan struktur vesikular atau berpori dikenal juga sebagai *wheat rice stone* (WRS), yang digunakan dalam pengolahan air karena kemampuan adsorpsi dan bioaktif yang dihasilkan dari disosiasi kationnya. Bioreaktor aerobik berdasarkan lapisan WRS yang

dimodifikasi telah digunakan untuk mengolah limbah kotoran babi yang kaya akan amonia (Youssef et al., 2021). Tingginya kandungan SiO_2 pada andesit dapat membantu untuk menyisihkan senyawa-senyawa dalam air dengan cara adsorpsi. Kementrian Kesehatan RI, (2011), bahwa batu andesit memiliki kelebihan untuk digunakan sebagai media biofiter diantaranya yaitu: bersifat inert dan tidak mudah pecah, memiliki kekuatan mekanikal yang baik, memiliki sifat kebasahan yang baik dan mudah didapatkan serta ekonomis. Namun demikian batu andesit juga memiliki kelauman jika digunakan sebagai media biofilter diantaranya: memiliki fraksi volume rongganya yang sangat rendah, batu andesit memiliki beban massa yang berat sehingga instalasi sulit untuk dipindahkan dan relatif permanen serta mudah terjadi penyumbatan.

2.6.4 Mikroorganisme dan Bioaktivator Mikroorganisme Lokal (MOL)

Fungsi mikroorganisme adalah sebagai pengurai, begitu juga dalam pengolahan air limbah secara biologis yang melibatkan mikroorganisme sebagai pengurai senyawa organik yang terkandung dalam air limbah. Di dalam penguraiannya bakteri membutuhkan substrat yang merupakan sumber energi dan karbon. Selain itu untuk pertumbuhan sel mikroorganisme juga membutuhkan elemen anorganik seperti sulfur, phosphor, nitrogen, natrium, kalsium dan magnesium. Untuk mempercepat pertumbuhan mikroorganisme di dalam pengolahan air limbah pada saat starter dibutuhkan bioaktivator. Bioaktivator adalah bahan aktif biologi yang mengandung mikroorganisme efektif yang secara aktif dapat membantu proses dekomposisi senyawa organik yang terkandung di

dalam air limbah. Tujuan pemberian bioaktivator ini untuk mempercepat tumbuhnya lapisan biofilm pada permukaan media biofilter sebagaimana menurut Pitriani, dkk (2013) bahwa dengan penambahan mikroorganisme pada teknologi biofilter/biofilm dalam proses pengolahan air limbah dapat mempercepat terbentuknya lapisan biofilm dan pematangan, sehingga dapat meningkatkan efisiensi biofilter.

Berbagai jenis bioaktivator mikroba diantaranya adalah buatan pabrikan yang sudah ada dipasaran antara lain EM₄, Stardec, M-Dec, Probion, Boisca, Promi, dll. Namun demikian bioaktivator juga dapat dikembangkan sendiri dengan MOL (Mikroorganisme Lokal). Bahan – bahan yang dapat digunakan untuk mengembangkan mikroorganisme lokal antara lain hasil pertanian, perkebunan, limbah organik rumah tangga. Menurut Palupi (2015), bahan utama MOL terdiri atas beberapa komponen, yaitu: sumber karbohidrat, sumber glukosa, dan sumber mikroorganisme. Sumber karbohidrat dapat berupa dari nasi basi, singkong, kentang, air cucian beras dan gandum. Sumber glukosa dapat berupa cairan gula merah, cairan gula pasir, air kelapa. Sumber mikroorganisme dapat berasal dari keong mas, buah buahan dan kotoran hewan (Purwasasmita dan K. Kunia, 2009). Keunggulan dari mikroorganisme lokal (MOL) ini adalah biaya murah, karena bahan-bahan banyak disekitar lingkungan kita, mudah dan praktis karena mudah membuatnya dan hanya membutuhkan peralatan yang sederhana.

2.6.5 Mikroorganisme lokal kotoran ayam

Mikroorganisme lokal atau disebut sebagai MOL merupakan larutan hasil fermentasi dari bahan alami yang mengandung mikroorganisme. Bahan utama MOL terdiri atas komponen sumber karbohidrat, glukosadan sumber mikroorganisme (Palupi,2015). Salah satu bahan MOL sebagai sumber adalah kotoran ayam. Kotoran ayam mengandung karbohidrat dan protein yang tinggi, masing-masing dapat mencapai sebesar 31% dan 34,5% (Singh et al., 2018). Tingginya kandungan bahan organik pada kotoran hewan dapat menjadi sumber nutrisi bagi mikroorganisme untuk bertumbuh. Larutan MOL yang mengandung unsur makro dan mikronutrien serta bakteri memiliki potensi sebagai pengurai bahan-bahan organik.

Keanekaragaman bakteri yang diisolasi dari larutan MOL bergantung pada sumber bahan baku yang digunakan, serta kondisi fermentasi, yaitu secara aerobik atau anaerobik. Fermentasi anaerobik tidak memerlukan adanya oksigen, sedangkan fermentasi aerobik memerlukan oksigen untuk dapat berlangsung. Mikroorganisme yang tumbuh pada kondisi anaerob tidak memerlukan oksigen untuk tumbuh dan proses metabolismenya, sementara mikroorganisme aerob membutuhkan oksigen agar dapat tumbuh dan bermetabolisme. Terdapat juga mikroorganisme anaerob fakultatif yang dapat tumbuh dalam kondisi dengan atau tanpa oksigen. Sifat dependensi terhadap oksigen tersebut yang menyebabkan adanya keragaman mikroorganisme yang dapat tumbuh dari bahan yang sama pada kondisi fermentasi berbeda (Dermiyati et al., 2020).

Nasution Fatimah, S (2012) mengidentifikasi dan mengkarakterisasi bakteri asam laktat pada kotoran ayam sebagai agen probiotik dengan menggunakan uji morfologi dan pewarnaan gram serta uji biokimia. Hasil pengujian tersebut diperoleh 4 (empat) jenis bakteri diantaranya adalah *Lactobacillus achidophilus*, *Lactobacillus reuteri*, *Leuconostoc mensenteroide* dan *Streptococcus thermophilus*. Sumardi dkk (2009) mengisolasi bakteri dari beberapa saluran pencernaan ayam kampung (tembolok, ampela, usus) dan telah ditemukan 52 isolat bakteri yang mempunyai indeks proteolitik yang berbeda-beda. Isolat bakteri tersebut diantaranya terdapat bakteri *Bacillus*.

Sumarsih., dkk (2009) mengisolasi dan mengidentifikasi bakteri asam laktat pada *caecum* (bagian dari usus besar) ayam pedaging. Hasil penelitiannya diperoleh 12 isolat bakteri asam laktat genus *Lactobacillus* dan genus *Leuconostoc*. Hasil isolat yang dapat teridentifikasi tersebut dapat digunakan sebagai starter fermentasi. Berbagai bakteri dari genus *Bacillus* berpotensi dalam aplikasi pengolahan air limbah seperti dalam penelitian Wang et al, (2023), bakteri *Bacillus tequilensis* mempunyai kemampuan mendegradasi amoniak pada air limbah budidaya dengan laju degradasi 89.9% pada konsentrasi 100-500 ppm.

Bakteri *Bacillus velezensis* juga menunjukkan potensinya dalam mengolah berbagai jenis air limbah seperti air limbah dari pemotongan hewan (Deng, et al, 2022); air limbah pembuatan bir (Agunbiade et al, 2022) dan air limbah pulp dan kertas (Nair et al, 2020). Othman dkk, (2023), memanfaatkan bakteri *Bacillus velezensis* untuk mengolah air limbah domestik dari berbagai aktivitas manusia seperti sektor perumahan, komersil, industri, peternakan dan pertanian yang

menunjukkan COD pada air limbah domestik yang diolah mengalami penurunan setelah 216 jam dari 24 ppm menjadi 16,90 ppm; TSS mengalami penurunan 7,50 ppm menjadi 6,41 ppm.

2.6.6 Peran Mikroorganisme pada Pengolahan Air Limbah dengan system biofilter

Dalam sistem biofilter, mikroorganisme seperti bakteri bertindak sebagai katalis dalam pembentukan biofilm pada pengolahan air limbah. Sel mikroba heterotrofik diimobilisasi untuk melakukan degradasi polutan secara menyeluruh. Awalnya, sel menempel ke permukaan lapisan biofilter di dalam reaktor kemudian terjadi kolonisasi sel mikroba di permukaan sehingga membentuk lapisan aktif untuk menangkap polutan. Hal ini dilakukan melalui sekresi EPS dan rangsangan ikatan kovalen dengan beberapa interaksi permukaan. Mikroorganisme yang terbentuk di dasar biofilter berperan atas pengendalian bau serta degradasi polutan organik dan anorganik dari aliran yang masuk (Cohen, 2001).

Kinerja sistem biofilter bergantung pada mikroorganisme yang bertanggung jawab atas transformasi fase dan degradasi kontaminasi yang ada pada air yang tercemar (Rathore *et al.*, 2013). Imobilisasi mikroba dalam lapisan biofilter diperlukan untuk mencapai produksi mikroba yang tinggi melalui peningkatan tingkat kelangsungan hidup mikroba dengan meningkatkan metabolisme dan meningkatkan pemuatan sel dalam bahan lapisan filter. Oleh karena itu, pemeliharaan mikroba tersebut perlu dilakukan untuk menghilangkan

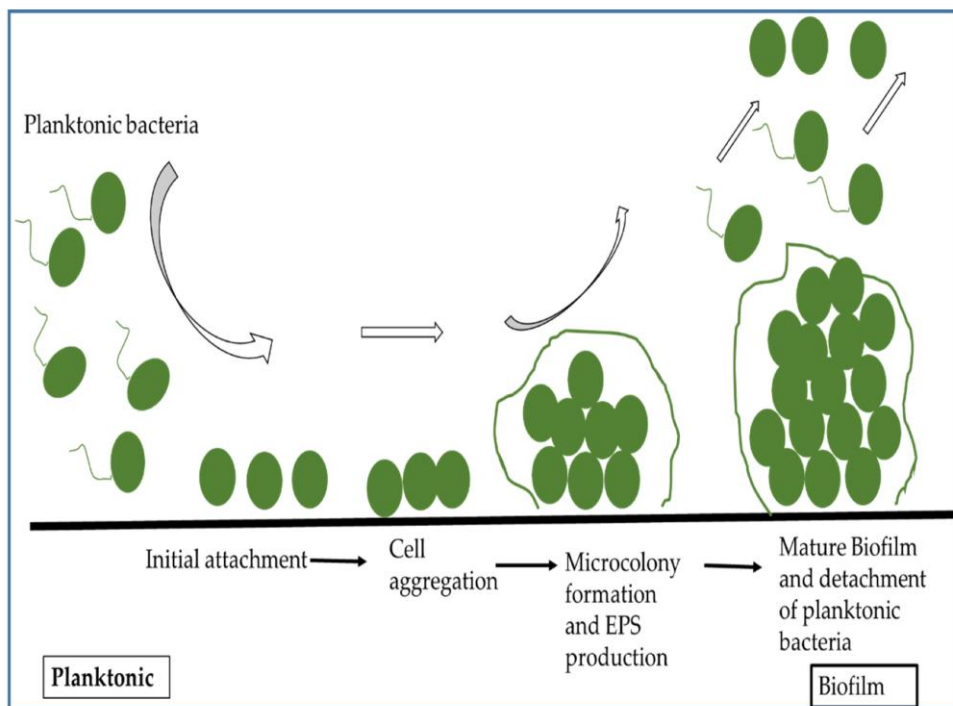
kontaminan secara efisien (Park and Chang, 2000; Baltrėnas and Baltrėnaitė, 2020).

2.6.7 Mekanisme Pembentukan Biofilm

Pembentukan biofilm merupakan proses kompleks yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan sekitar seperti sifat permukaan dan pengendapan bahan organik pada permukaan. Sebelum mikroorganisme menempel pada permukaan untuk pembentukan biofilm, permukaan terlebih dahulu akan diaklimatisasi untuk mengadsorpsi molekul organik yang ada di lingkungan sekitar. Langkah ini diikuti dengan pelekatan, adhesi, retensi, dan proliferasi mikroorganisme ke permukaan (Gambar 2. 4) (Mpongwana and Rathilal, 2022). Bakteri motil, yang memiliki flagela dan pili, bertanggung jawab memulai adhesi biofilm pada bahan pembawa. Flagela sangat penting dalam pergerakan bakteri dari keadaan planktonik ke permukaan.

Pada tahap pelekatan awal, sel bakteri menempel sementara pada permukaan media. Secara umum, pelekatan terjadi paling mudah pada permukaan yang lebih kasar dan lebih hidrofobik. Pada tahap pelekatan kedua, sel-sel bakteri telah menempel secara permanen akibat terbentuknya material eksopolimer yang merupakan suatu senyawa perekat yang lebih kuat. Setelah bakteri menempel pada permukaan, selanjutnya akan terjadi pembentukan mikrokoloni. Bakteri mulai berkembang biak dengan memancarkan sinyal kimia yang berkomunikasi antar sel bakteri. Ketika intensitas sinyal melebihi tingkat ambang batas tertentu, mekanisme genetik yang memproduksi eksopolisakarida diaktifkan. Dengan cara

ini, bakteri berkembang biak di dalam matriks eksopolisakarida sehingga menimbulkan pembentukan mikrokoloni. Biofilm yang terbentuk semakin banyak dan membentuk struktur tiga dimensi yang mengandung sel-sel terselubung dalam beberapa kelompok yang saling terhubung satu sama lainnya. Pada tahap terakhir, perkembangan struktur biofilm mengakibatkan terjadinya dispersi sel sehingga sel-sel tersebut lepas dari biofilm, menempel pada substrat baru dan membentuk biofilm yang baru (Prakash dkk., 2003).



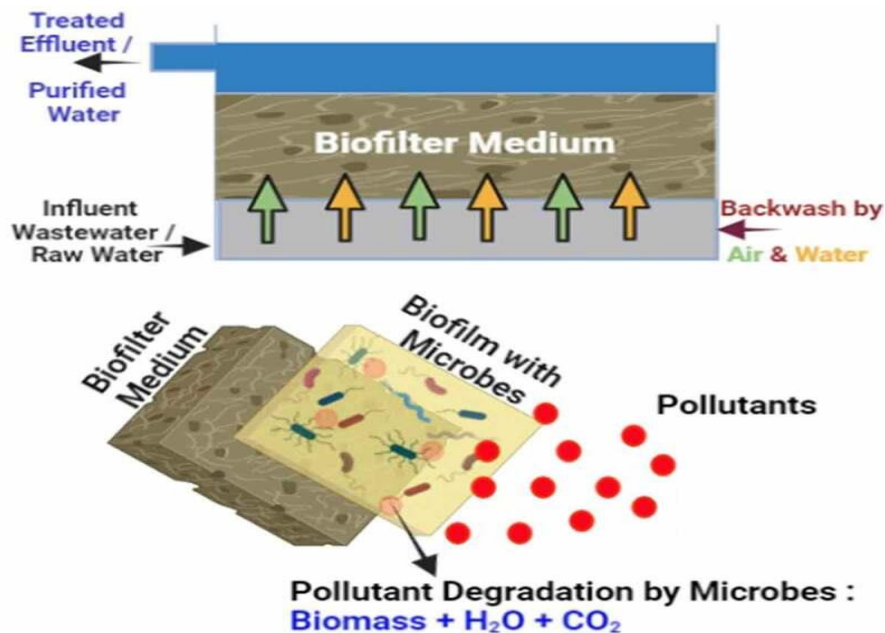
Gambar 2.4. Pembentukan dan pematangan biofilm (Mpongwana, N and

Rathilal, S, 2022)

2.6.8 Mekanisme Penyisihan Zat Organik Ail Limbah di Dalam Biofilter

Proses penyisihan senyawa organik di dalam biofilter terdiri dari beberapa langkah. Air limbah yang terkontaminasi dimasukkan sebagai inlet ke dalam biofilter. Kontaminan tersebut kemudian diserap oleh biofilm atau membran seluler lapisan biofilter. Pengangkutan kontaminan ke media biofilter dilakukan dalam fase aqueous. Kontaminan sebagai sumber karbon berfungsi sebagai nutrisi bagi mikroorganisme. Mikroorganisme kemudian tumbuh membentuk koloni dan mengakibatkan degradasi kontaminan. Terakhir, air limbah yang diolah dikeluarkan bersama produk akhir berupa air, biomassa, dan karbon dioksida (Pachaiappan *et al.*, 2022).

Secara sederhana, proses penyisihan tersebut dapat direpresentasikan sebagai berikut: $\text{Polutan} + \text{Mikroorganisme} + \text{Oksigen} \rightarrow \text{Biomassa} + \text{Air} + \text{Karbon dioksida}$. Mekanisme utama yang terlibat dalam biofilter adalah adsorpsi dan biodegradasi. Transformasi fase dan degradasi lanjutan kontaminasi oleh mikroorganisme terjadi melalui mekanisme adsorpsi suatu kontaminan ke dalam media organik diikuti dengan biodegradasi oleh mikroorganisme, adsorpsi langsung kontaminan oleh biofilm dan biodegradasi, dan disolusi kontaminan dalam fase air dan biodegradasi. Kontaminan dihilangkan dari biofilter setelah biodegradasi (Schroeder, 2002).



Gambar 2.5 Mekanisme degradasi polutan organik dan anorganik yang ada pada air limbah di dalam biofilter (Pachaiappan *et al.*, 2022)

2.6.9 Keunggulan teknologi biofilter

Teknologi biofilter/biofilm ini memiliki keunggulan dibandingkan dengan teknologi pengolahan air limbah secara biologis yang lainnya, diantaranya, yaitu:

1. Memiliki konsentrasi biomassa aktif tinggi, waktu retensi hidrolik berkurang, kinerja lebih stabil, produksi lumpur rendah, efektif untuk menurunkan senyawa organik dan mikropolutan serta komunitas mikroba cenderung lebih beragam (Zhao *et al.*, 2019)
2. Waktu retensi padatan (SRT) tinggi, pengoperasian sederhana dan biaya rendah, kebutuhan energi rendah (Mohan *et al.*, 2007)

3. Pengoperasiannya mudah, lumpur yang dihasilkan sedikit, dapat digunakan untuk pengolahan air limbah dengan konsentrasi rendah maupun konsentrasi tinggi, tahan terhadap fluktuasi jumlah air limbah maupun fluktuasi konsentrasi, pengaruh penurunan suhu terhadap efisiensi pengolahan kecil (Said, 2002)
4. Resistensi terhadap *shock loading* dan *recovery* yang lebih baik sebagai hasil dari fungsi proteksi dari *Extracellular Polymeric Substance* (EPS) yang menempel pada lapisan biofilm (Sudarno, 2012)
5. Media biofilter selain berfungsi sebagai lapisan biofilm juga berfungsi sebagai biofilter/penyaring biologis (Reynolds, 2008).

SEKOLAH PASCASARJANA



SEKOLAH PASCASARJANA