

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS)**

Pengembangan industri kelapa sawit yang diikuti dengan pembangunan pabrik dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan berupa pencemaran. Limbah cair pabrik kelapa sawit masih memiliki potensi sebagai pencemaran lingkungan karena berbau, berwarna, mengandung nilai COD, BOD serta padatan tersuspensi yang tinggi. Apabila limbah tersebut langsung dibuang ke badan penerima, maka sebagian akan mengendap, terurai secara perlahan, menimbulkan kekeruhan, mengeluarkan bau yang tajam dan dapat merusak ekosistem badan penerima (Nasution, 2004).

Industri kelapa sawit adalah industri yang menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar, dimana satu ton minyak kelapa sawit dihasilkan dua setengah ton limbah cair pabrik kelapa sawit (Amalia, 2013). Limbah cair industri minyak kelapa sawit mengandung bahan organik yang sangat tinggi, yaitu BOD 25.500 mg.L<sup>-1</sup> dan COD 48.000 mg.L<sup>-1</sup> sehingga kadar bahan pencemaran akan semakin tinggi. Limbah cair industri kelapa sawit bila dibiarkan tanpa diolah lebih lanjut akan terbentuk amonia, hal ini disebabkan bahan organik yang terkandung dalam limbah cair tersebut terurai dan membentuk amonia. Terbentuk amonia ini akan mempengaruhi kehidupan biota air dan dapat menimbulkan bau busuk (Azwir, 2006).

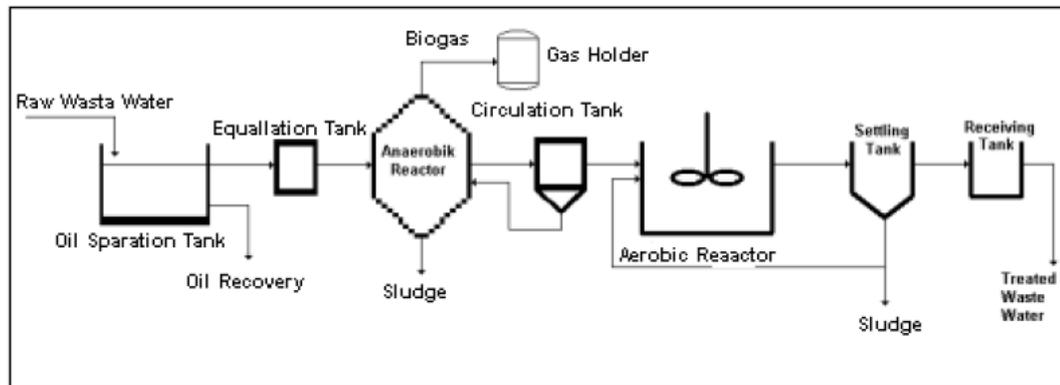
Limbah cair dari proses pengolahan kelapa sawit dapat mencemari perairan karena kandungan zat organiknya tinggi dan tingkat keasaman yang rendah, sehingga perlu penanganan sebelum dibuang ke badan sungai (Azwir, 2006). Limbah cair yang berasal dari pabrik kelapa sawit memiliki kandungan bahan organik yang tinggi dan mengandung unsur hara makro seperti Nitrogen (N), Posfor (P) dan Kalium (K) (Togatorop, 2009).

Apabila limbah tidak dikelola dengan baik dan hanya langsung dibuang diperairan maka akan sangat mengganggu lingkungan disekitarnya. Sebagian industri yang akan membuang limbah diwajibkan mengolahnya terlebih dahulu untuk mencegah pencemaran lingkungan hidup disekitarnya. Salah satu penyebab tercemarnya lingkungan sekitar diduga karena adanya kadar COD, amonia, nitrat, TSS, minyak/lemak yang belum memenuhi standar baku mutu kualitas air (Widhiastuti dkk, 2006).

Dari beberapa penelitian yang dilakukan di beberapa PKS masih banyak pabrik yang belum dapat mengolah limbahnya untuk memenuhi baku mutu kualitas air yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Herniwati (2012) menyimpulkan bahwa parameter kimia dan parameter fisika yang telah dianalisis pada limbah cair pabrik kelapa sawit di PT. Perkebunan Nusantara II Prafi–Manokwari semuanya belum memenuhi baku mutu kualitas air yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001.

Menurut Rahardjo (2009) berdasarkan survei dan wawancara yang telah ia lakukan langsung di beberapa pabrik kelapa sawit yang ada di Indonesia, diperoleh gambaran bahwa masih banyak PKS yang belum melaksanakan

pengolahan yang benar terhadap limbah cair yang dihasilkannya. Banyak PKS yang hanya menggunakan kolam-kolam galian dan menyebutkan bahwa kolam-kolam tersebut adalah kolam anaerobik dan yang lainnya adalah kolam aerobik. Namun kenyataannya di lapangan, kolam-kolam tersebut tidak dioperasikan dan dipelihara dengan benar. Akibatnya keberadaan kolam-kolam tersebut hanya formalitas belaka. Karena itu, saat ini sudah harus dibutuhkan suatu sistem yang baku tentang pengolahan limbah cair dari suatu PKS.



Gambar 1: Diagram Alir Proses Pengolahan Limbah Cair Industri CPO (Rahardjo, 2009).

Berdasarkan penelitian diketahui bahwa pengolahan limbah cair PKS sistem anaerobik telah menunjukkan hasil yang baik, yaitu dengan kebutuhan luas lahan yang sangat sedikit (lebih kecil dari 1 Ha) sudah memenuhi baku mutu lingkungan (Rahardjo, 2009).

**Tabel 1. Kualitas limbah cair (inlet) pabrik kelapa sawit menurut penelitian Bank Dunia (DITJEN PPHP DEPARTMEN PERTANIAN, 2006)**

No.	Parameter Lingkungan	SAT.	Limbah Cair		Baku Mutu MENLH
			Kisaran	Rata-Rata	
1.	BOD	Mg/l	82.00-35.000	21.280	250
2.	COD	Mg/l	15.103-65.100	34.720	500

3.	TSS	Mg/l	1.330-50.700	31.170	30 0
4.	Nitrogen Total	Mg/l	12-126	41	20
5.	Minyak & Lemak	Mg/l	190-14.720	3.075	30
6.	pH	Mg/l	3,3-4,6	40	6-9

Pengolahan limbah cair PKS dapat menerapkan sistem kolam stabilisasi biasa. Proses pengolahan limbah PKS terdiri dari perlakuan awal dan perlakuan lanjutan. Perlakuan awal meliputi segregasi aliran. Setelah segregasi aliran limbah pada PKS kapasitas olah 6 ton TBS/jam, volume air limbah yang diolah berkurang menjadi 700-750m<sup>3</sup>/hari. Proses biologis dapat mengurangi BOD limbah hingga 90%. Dekomposisi anaerobik meliputi penguraian bahan organik majemuk menjadi senyawa-senyawa organik dan selanjutnya diurai menjadi gas-gas dan air. Selanjutnya air limbah dialirkan ke dalam kolam pengasaman dengan waktu penahanan hidrolisis selama 5 hari (DITJEN PPHP DEPARTMEN PERTANIAN, 2006).

Air limbah di dalam kolam ini mengalami asidifikasi yaitu terjadinya kenaikan konsentrasi asam-asam mudah menguap (volatile fatty acid = FTA), sehingga air limbah yang mengandung bahan organik lebih mudah mengalami biodegradasi dalam suasana anaerobik. Sebelum diolah di unit pengolahan limbah (UPL) anaerobik, limbah dinetralkan terlebih dahulu dengan menambahkan kapur tohor hingga mencapai pH antara 7,0-7,5. Pengendalian lanjutan dapat dilakukan dengan proses biologis yang disarankan (DITJEN PPHP DEPARTMEN PERTANIAN, 2006).

Selain dimanfaatkan sebagai pupuk bagi tanaman kelapa sawit, Menurut Mahajoeno dkk (2008) limbah cair PKS juga sangat berpotensi sebagai bahan untuk memproduksi biogas.

## **B. Pengaruh Air Limbah Kelapa Sawit Terhadap Kehidupan Makhluk Hidup**

Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Putri (2011), bahwa limbah cair PKS mempunyai pengaruh terhadap sifat tanah oxisol dan pertumbuhan tanaman kedelai dimana hal tersebut dapat meningkatkan tinggi tanaman dan berat kering tanaman Kedelai. Limbah cair PKS memang bernilai ekonomi namun limbah cair ini belum dimanfaatkan secara maksimal.

Berbeda dengan tumbuhan, bagi ikan dan biota air lainnya, air limbah pabrik kelapa sawit mengandung berbagai macam senyawa yang terkandung di dalamnya, yang mana beberapa senyawa tersebut berpotensi sebagai toksik bagi biota air. Ikan yang hidup di air tawar, misal ikan lele dan ikan gabus. Mereka memiliki organ pernafasan tambahan sehingga dapat hidup di air yang memiliki oksigen rendah dan tercemar sekalipun. Namun paparan dari senyawa toksik tersebut tidak mustahil dapat menyebabkan organ-organ ikan mengalami kerusakan. Jadi jika limbah kelapa sawit bagi tumbuhan bersifat menguntungkan lain halnya dengan biota air, air limbah tersebut bersifat merugikan.

## **C. Struktur Hewan dan Manusia**

Organisme multiseluler (banyak sel) seperti manusia dan hewan memiliki struktur yang cukup rumit. Pada tubuh organisme terjadi kerjasama diantara beberapa jenis jaringan dan organ untuk menghasilkan suatu fungsi tertentu.

Susunan tubuh hewan dan manusia sangat kompleks karena tersusun atas jutaan bahkan miliaran sel. Struktur terkecil organisme hidup belum diketahui sampai mikroskop majemuk ditemukan (sekitar tahun 1591). Berdasarkan teori tentang sel, semua hewan dan tumbuhan tersusun atas sel dan produk sel. Sel adalah unit pokok, baik secara struktur maupun fisiologis pada semua organisme dan terdapat pertukaran zat dan energy secara terus menerus di sel dalam proses kehidupan (Storer dan Usinger, 1957).

Pada hewan multiseluler berbagai sel bergabung untuk melakukan fungsi tertentu sedangkan pada hewan bersel satu, sel dan organisme adalah satu. Hewan multiseluler umumnya memulai kehidupan sebagai sel tunggal yang membelah diri berkali-kali untuk membentuk tubuhnya. Ilmu yang mempelajari tentang sel disebut sitologi (Storer dan Usinger, 1957).

Bagian-bagian hewan multiseluler mengandung sel-sel yang berbeda. Sel yang memiliki struktur dan fungsi yang sama tersusun dalam kelompok atau lapisan yang dikenal sebagai jaringan. Di setiap jaringan, sel pada dasarnya serupa, memiliki karakteristik ukuran, bentuk dan susunan serta sel tersebut terspesialisasi atau terdiferensiasi secara struktur dan fisiologis untuk menjalankan beberapa fungsi tertentu, misalnya perlindungan, pernafasan, pencernaan dan sebagainya dimana sebuah pembagian kerja terbentuk diantara jaringan yang berbeda. Histologi merupakan ilmu tentang struktur dan susunan jaringan di dalam organ (Storer dan Usinger, 1957).

Sel hewan multiseluler dapat dibagi menjadi 1) sel somatik atau sel tubuh yang membentuk individu hewan sepanjang hidupnya, dan 2) sel nutfah yang hanya berhubungan dengan reproduksi dan keberlangsungan spesies tersebut.

Terdapat empat kelompok utama jaringan somatic tubuh : 1) epitel atau penutup, 2) jaringan ikat atau penyokong (termasuk yang berkaitan dengan pembuluh darah atau sirkulasi), 3) jaringan otot atau kontraktl, dan 4) jaringan saraf (Storer dan Usinger, 1957).

Jaringan epitel menutupi tubuh, bagian dalam maupun luar, seperti pada kulit dan barisan saluran pernafasan. Sel tersusun padat, terikat satu sama lain oleh semen interseluler untuk kekuatan dan sering ditopang dibagian bawah pada membran basalis. Struktur sel dapat berbentuk : 1) pipih atau datar, 2) kubus, 3) kolumnar, 4) bersilia, atau 5) berflagela, jaringan tersebut dapat terbentuk 6) sederhana dengan satu lapis sel, atau 7) berlapis, dengan banyak lapisan. Jaringan epitel dapat berfungsi sebagai penjaga, glandular (sekresi), dan sensori (Storer dan Usinger, 1957).

Jaringan pengikat dan penyokong berfungsi untuk mengikat jaringan lain dan organ-organ antara satu dengan yang lainnya dan penyokong tubuh. Jaringan ini bersal dari mesenkim embrio dengan tonjolan protoplasma halus. Jaringan dari kelompok ini kemudian memiliki bentuk yang berbeda, beberapa jaringan menghasilkan serabut dan zat interseluler lainnya dimana sel menjadi tidak terlalu mencolok. Jenis-jenis jaringan ikat diantaranya jaringan adiposa, jaringan ikat longgar, jaringan ikat padat, jaringan kartilago, dan jaringan tulang keras (Storer dan Usinger, 1957).

Pergerakan pada sebagian besar hewan dihasilkan oleh sel otot yang panjang dan ramping yang mengandung miofibril. Pada saat terstimulasi, otot memendek atau berkontraksi lalu menarik bagian tersebut bersama-sama ke tempat otot

tersebut melekat. Jenis jaringan otot yaitu : 1) otot lurik, 2) otot polos, dan 3) otot jantung.

Jaringan saraf tersusun atas sel-sel saraf (neuron). Sel saraf terdiri atas dendrit, badan sel saraf dan neurit atau akson. Akson merupakan tonjolan panjang yang diselaputi neurilema (lapisan terluar pembungkus akson). Sebelah dalam neurilema terdapat selubung mielin yang tersusun atas fosfolipid. Pada selubung mielin terdapat sel Schwann yang berfungsi membentuk selubung mielin baru. Bagian akson yang tidak tertutupi oleh selubung mielin dinamakan nodus Ranvier. Antara saraf yang satu dengan yang lainnya terdapat hubungan. Bagian penghubung tersebut dinamakan sinapsis. Pada sinapsis terdapat cairan bening yang terdiri atas kolinesterat dan asetilkolin (Storer dan Usinger, 1957).

#### **D. Superkelas Pisces (Ikan)**

Pisces adalah sebutan umum yang dipakai untuk ikan atau sebagai nama Superkelas dan nama ini diambil dari kata Latin. *Ichthyes* juga berarti ikan yang berasal dari bahasa Yunani dan kata ini dipakai dalam *Ichthyology* yang berarti ilmu yang mempelajari tentang ikan (Jasin, 1989).

Menurut Storer dan Usinger (1957) ikan paling khas merupakan ikan yang memiliki kerangka dengan tulang keras, diselaputi oleh sisik dermal, biasanya memiliki tubuh seperti gelendong, berenang dengan sirip dan bernafas dengan insang. Berbagai macam spesies menempati air tawar, payau dan laut serta di air hangat maupun dingin. Ikan telah menjadi bahan pokok makanan berprotein untuk manusia sejak zaman purba dan berbagai spesies digunakan sebagai olahraga rekreasi yang menyenangkan (misalnya memancing). Kelompok ikan yang paling rendah dan paling sederhana adalah ikan hantu seperti belut dan lintah laut (Kelas

*Cyclostomata*). Ada ikan hiu dan ikan pari yang bertulang rawan (Kelas *Chondrichthyes*), serta ikan sejati atau bertulang (Kelas *Osteichthyes*) (Storer dan Usinger, 1957).

### 1. Kelas *Cyclostomata*

*Cyclostomata* (dari bahasa Yunani, sirkula + stoma, mulut) memiliki karakteristik, yaitu (Storer dan USinger, 1957) :

- a) Tubuh silindris, daerah ekor terpadatkan; sirip median ditopang oleh jejeri sirip bertulang rawan; kulit halus dan lembut, banyak kelenjar mukus uniseluler, tidak ada sisik, rahang atau sirip berpasangan.
- b) Mulut anterior dan ventral, teradaptasi untuk mengisap dan dibatasi oleh papilla berdaging, atau tentakel; kantung nasal tunggal dan median.
- c) Tengkorak dan lengkung viseral (keranjang brankial) bertulang rawan; notokorda menetap; tulang belakang diwakili oleh lengkung neural kecil yang tidak sempurna di atas notokorda.
- d) Jantung dengan 1 atrium dan 1 ventrikel; banyak lengkung aorta di daerah insang; darah dengan leukosit dan eritrosit sirkular berinti.
- e) Enam sampai 14 pasang insang, pada kantung-kantung lateral di luar faring.
- f) Dua ginjal dengan saluran ekskresi.
- g) Otak dengan 10 (atau 8) pasang saraf kranial; setiap organ auditori dengan 1 atau 2 kanalis semisirkularis.
- h) Suhu tubuh bervariasi (poikiloterm).

- i) Gonad tunggal, besar, tanpa saluran; fertilisasi eksternal; perkembangan langsung (ikan hantu dan belut lumpur) atau dengan tahap larva panjang.

## 2. Kelas *Chondrichthyes*

Hiu, ikan pari dan *chimaera* ( dari bahasa Yunani, *Chondrichthyes* berarti *chondros* = tulang rawan dan *ichthyes* = ikan) merupakan vertebrata hidup tingkat terendah dengan tulang belakang lengkap dan terpisah, rahang dapat digerakkan dan embelan berpasangan. Karakteristiknya yaitu (Storer dan Usinger, 1957) :

- a) Kulit keras dengan sisik plakoid kecil dan banyak kelenjar mukosa; terdapat sirip median dan sirip berpasangan, semua ditopang oleh jari sirip; sirip *pelvic* dengan klasper pada jantan.
- b) Mulut ventral, dengan banyak gigi yang terlapisi email; kantung *olfaktori* berjumlah dua (atau satu), tidak terhubung dengan rongga mulut, dengan rahang bawah dan atas; usus dengan katup spiral.
- c) Kerangka bertulang rawan, tidak ada tulang yang berpasangan; kranium bergabung dengan kapsul indra yang berpasangan; notokorda bertahan; tulang belakang banyak, lengkap dan terpisah.
- d) Jantung beruang 2 (1 atrium dan 1 ventrikel), dengan *sinus venosus* dan *konus arteriosus*, hanya mengandung darah vena; beberapa pasang lengkung aorta; sel darah merah berbentuk oval dan berinti.
- e) Respirasi dengan menggunakan 5 atau 7 pasang insang, masing-masing terdapat pada belahan yang terpisah (3 pasang pada *chimaera*).

- f) 10 pasang saraf kranial; setiap organ auditori dengan 3 kanalis semusirkularis.
- g) Suhu tubuh bervariasi (poikiloterm).
- h) Jenis kelamin terpisah; gonad berpasangan secara khas; saluran reproduksi melepaskan isinya ke kloaka; fertilisasi internal; ovipar atau ovovivipar; telur besar, dengan banyak kuning telur, segmentasi meroblastik; tidak ada membran embrionik; perkembangan langsung; tidak mengalami metamorfosis.

### 3. Kelas *Osteichthyes*

Pada umumnya yang dimaksud ikan adalah ikan-ikan yang masuk kelas *Osteichthyes*. Ikan gabus, ikan nila dan ikan lele masuk ke dalam kelas ini.

Karakteristiknya yaitu (Jasin, 1989) :

- a) Kulit banyak mengandung kelenjar mukosa, biasanya diliputi oleh sisik (sisik ganoid, cicloid atau ctenoid) beberapa spesies tidak bersisik, bersisik pada mediana, baik dorsal maupun ventral dan pada sebelah menyebelah tubuh dengan beberapa pengecualian. Sirip biasanya disokong oleh jari duri tulang rawan atau keras serta tak berkaki.
- b) Mulut terletak di ujung dan bergerigi, rahang tumbuh dengan baik dan bersendi pada tulang tempurung kepala/ mempunyai dua *sacci olfactorius* yang umumnya berhubungan dengan rongga mulut, bermata besar dan tidak berkelopak mata.
- c) Skeleton terutama berupa tulang keras, kecuali beberapa jenis yang sebagian bertulang rawan. Bentuk vertebrae bermacam-macam, *pina*

*cus* biasanya *homocercal*, sisa-sisa notokorda masing-masing tampak.

- d) *Cor* terdiri atas dua ruangan (*auriculum* dan *ventriculum*) dengan *sinus venosus* dan *conus arteriosus* yang berisi darah vena. Terdapat empat *arcus aorticus*. Sel darah merah berbentuk oval dan berinti.
- e) Pernafasan dilakukan dengan beberapa pasang insang yang terletak pada *archus branchius* yang berada dalam ruangan celah insang pada kedua tepi samping dari faring, tertutup oleh operkulum, biasanya memiliki *vesica pneumatic* (gelembung udara) dan memiliki *ductus pneumaticus*. Beberapa jenis mempunyai bentuk seperti “paru-paru”, misalnya pada dipnoid.
- f) Terdapat 10 pasang *nervi cranialis*.
- g) Suhu tubuh tergantung pada lingkungan sekitarnya.
- h) Memiliki sepasang gonad, umumnya ovipar (beberapa ada yang ovovivipar atau vivipar). Fertilisasi (pembuahan) terjadi di luar tubuh (kecuali beberapa spesies). Telur kecil berukuran sampai 12 mm. kandungan kuning telur (yolk) bermacam-macam. Segmentasi biasanya secara meloblastik. Tidak mempunyai membran embrio. Hewan mudanya (post larva) kadang-kadang tidak mirip dengan yang dewasa.

Tubuh ikan terdiri atas *caput*, *truncus* dan *caudal*, dimana tidak ada batas yang nyata sebagai batas antara *caput* dan *truncus* dipandang tepi *caudal operculum* dan sebagai batas antara *truncus* dan ekor dipandang anus (Radiopetro, 1986). *Osteichthyes* adalah kelas ikan yang biasa dikonsumsi

manusia, maka dari itu disubbab ini akan dijelaskan lebih panjang mengenai karakteristik dan beberapa sistem.

**a) Karakteristik Eksternal**

Kepala adalah bagian dari mulai moncong sampai ke ujung belakang operkulum, batang tubuh dari titik tersebut sampai ke anus dan sisanya adalah ekor. Mulut terminal yang besar mengandung rahang yang dapat digerakkan dan mengandung gigi yang kuat. Operkulum merupakan lempeng bertulang keras yang melingkupi rongga insang di setiap sisi. Terdapat sirip median (dorsal, kaudal dan anal) dan sirip lateral yaitu *pectoral* dan *pelvic*. Sirip merupakan pemanjangan bermembran dari inti integument dan ditopang oleh jejeri sirip. Tubuh dilapisi oleh epidermis penghasil mukus yang halus yang memfasilitasi gerakan yang mudah di air dan memberikan perlindungan terhadap masuknya organisme penyebab penyakit. Batang tubuh dan ekor mengandung sisik (ada juga yang tidak bersisik) Storer dan Usinger, 1957).

**b) Kerangka (*Skeleton*)**

**(1) *Exoskeleton***

Sisik dan sirip merupakan *exoskeleton*. Sisik bersifat *ganoid*; terdiri atas lapisan *isopedin* yang menyerupai tulang dan lapisan *ganoin* di sebelah luarnya; baik *isopedin* maupun *ganoin* dibuat oleh sel-sel *corium* (Radiopoetro, 1986).

## **(2) Endoskeleton**

*Endoskeleton* terdiri atas tulang tempurung kepala, *columna vertebralis*, *cingulu pectoralis*, tuang-tulang kecil tambahan yang menyokong sirip. Tulang tempurung kepala terdiri atas kranium sebagai tempat otak, kapsula untuk tempat beberapa pasang organ sensoris dan *skeleton viceralis* yang merupakan bagian pembentuk utlang rahang dan penyokong lidah insang untuk mekanisme (Jasin, 1989).

### **c) Sistem Respirasi**

Ikan air tawar berespirasi dengan menggunakan insang. Insang (*gill*) adalah bentuk pelipatan kearah luar pada permukaan tubuh yang dikhususkn untuk pertukaran gas. Total luas permukaan insang seringkali jauh lebih besar dibandingkan dengan luar permukaan bagian tubuh lainnya (Campbell, dkk. 2004).

Menurut Storer dan Usinger (1957), terdapat ruang insang umum pada setiap sisi faring di bawah operkulum. Sebuah insang terdiri atas barisan ganda filamen insang yang ramping, setiap filamen mengandung banyak plat transversal.

Menurut Jasin (1989), filamen insang yang tersusun atas banyak plat transversal yang dibungkus oleh lapisan epithelium yang banyak mengandung pembuluh darah kapiler, berada diantara *afferent branchialis* dan *efferen branchialis* (lengkung insang) dan pada perbatasannya terdapat sisir duri yang berfungsi menahan makanan dan

benda-benda keras lain lewat celah insang pada saat pernafasan berlangsung.

Pada saat bernafas, operkulum menutup kearah tubuh, dan lengkung insang menonjol secara lateral, dimana air mengalir ke mulut yang terbuka, kemudian katup oral menutup, lengkung insang berkontraksi, operkulum terangkat dan air didorong keluar melalui filamen. Darah di filamen memberikan karbndioksida dan mengabsorpsi oksigen dari air. Ikan minum untuk bernafas, mengambil sedikit atau tidak mengambil cairan ke dalam lambungnya kecuali bersama dengan makanan (Storer dan Usinger, 1957).

#### **d) Sistem Pencernaan**

Sistem pernafasannya terdiri dari gigi, lidah, faring, esofagus, lambung, katup pilorik, sekat pilorik, hati, kantung empedu, dan anus. Ikan kelas ini memiliki rahang dengan banyak gigi berbentuk kerucut kecil untuk menangkap makanan, dan lidah kecil dengan posisi tetap di lantai rongga mulut dapat membantu gerakan respirasi. Faring memiliki insang di bagian sisi dan mengarah ke esofagus pendek yang diikuti dengan pelengkungan kembali ke lambung. Sebuah katup pilorik memisahkan lambung dari usus. Tiga sekat pilorik berfungsi *sekretori* atau *absorptive*, dan melekat ke usus. Terdapat hati yang besar di anterior rongga tubuh dengan kandung empedu dan saluran ke usus (Storer dan Usinger, 1957).

**e) Sistem Sirkulasi**

Jantung atau *cor* terdapat di dalam *cavum pericardium*, ia terdiri atas *sinus venosus*, atrium, *ventriculus* dan *bulbus arteriosus* (Radioputro, 1986). *Cor* terdiri atas dua bagian yaitu *ventriculum* dan atrium. Darah kembali ke *cor* melalui vena terus berkumpul pada *sinus venosus*, kembali masuk ke atrium. Darah dari atrium melalui *ventriculum* yang berdinding tebal dipompa menuju insang melalui *conus arteriosus*, *aorta ventralis*, empat pasang arteri *afferens branchialis*. Saluran terakhir ini akan menyalurkan darah melalui kapiler dalam insang untuk mengambil oksigen. Kemudian darah dikumpulkan melalui arteri *efferens branchialis* menuju aorta dorsalis, kemudian beredar melalui cabang arteri (Jasin, 1989).

**f) Sistem Musculus**

Tubuh dan ekor sebagian besar tersusun oleh otot daging yang bersegmen (miomer) otot daging itu melekat pada vertebrata jari-jari penyokong. Bagian-bagian otot daging itu lebar dan berbentuk lapisan yang zigzag memanjang ke belakang. Antara segmen-segmen terdapat lapisan jaringan ikat seolah-olah sebagai septa (*mycomata*). Otot daging pada sirip, bagian insang dan kepala adalah kecil (Jasin, 1989).

**g) Sistem Ekskresi**

Kedua ginjal yang gelap dan ramping terdapat di bagian dorsal diantara kantung udara dan tulang belakang. Limbah cair bernitrogen yang dikeluarkan dari darah diangkut secara posterior dari setiap ginjal melalui *ureter tubular*, keduanya mengeluarkan isinya ke kandung

uriner, yang pada gilirannya mengeluarkan isinya melalui *sinus urogenital* ke eksterior (Storer dan Usinger, 1957).

#### **h) Sistem Reproduksi**

Seks terpisah. Pada ikan jantan terdapat sepasang testis yang membesar pada masa perkawinan. Melalui *vasa differensia* sperma dikeluarkan lewat *papillae urogenitalis*. Pada hewan betina sel telur akan keluar dari ovarium melalui oviduk. Pembuahan umumnya terjadi di luar tubuh (Jasin, 1989).

#### **i) Sistem Saraf**

Otak ikan air tawar pendek, *lobus olfaktori*, *hemisfer cerebral*, serta *diesensefalon* menjadi lebih kecil sedangkan *lobus optic* dan *serebelum* lebih besar dibandingkan pada hiu. Terdapat 10 pasang saraf kranial. Tali saraf dilindungi oleh lengkung neural dan memberikan sepasang saraf spinal lateral ke setiap segmen tubuh. Kantung olfaktori dorsal di hidung mengandung sel yang peka terhadap zat terlarut di dalam air (Storer dan Usinger, 1957).

#### **j) Organ Sensoris**

Dalam rongga *olfaktorius* yang terletak di sebelah dorsal moncong mengandung sel-sel indera yang peka terhadap zat kimia yang terlarut dalam air. Indera perasa terdapat di dalam dan disekitar mulut. Mata hanya dapat melihat benda-benda dekat dan berlaku sebagai alat pengenalan terhadap benda yang bergerak di dalam air. Dalam telinga terdapat saluran setengah lingkaran yang berfungsi sebagai alat keseimbangan. Telinga ikan *Osteichthyes* tidak mempunyai selaput gendang dan tak

mempunyai rongga telinga bagian tengah, sehingga getaran suaranya menjalar melalui tubuh atau tulang kepala. *Linea lateralis* berisi sel-sel indera yang peka terhadap getaran tekanan air yang berupa gelombang atau terhadap benda-benda keras yang memantulkan getaran (Jasin, 1989).

#### **E. Insang (*Branchia*) dan Kerusakannya**

Katup pernafasan berpangkal pada sebelah dalam tepi celah mulut baik pada bibir atas maupun pada bibir bawah. *Branchia* terdapat pada dataran *caudal* (posterior) empat *arci branchialis* yang pertama pada satu sisi faring di bawah operkulum. Pada *arcus branchialis* yang kelima tidak ada insang. Insang terdiri dari dua baris filamen *branchialis*. Tiap filamen mempunyai banyak papan melintang yang tertutup oleh epitel tipis yang mengandung kapiler-kapiler diantara cabang-cabang arteri aferen dan eferen.

Ikan memiliki dua macam lamela, yaitu primer dan sekunder. Lamela primer terdiri dari jaringan kartilago, sistem vaskuler, dan berlapis-lapis epitel. Di sepanjang dua sisi lamela primer terdapat lamela sekunder yang memiliki dua lapis sel epitel. Lapisan terluar terdiri dari sel-sel epitelium dengan mikrovili yang kecil dan tipis, sedangkan lapisan dalamnya didukung oleh sel epitelium di sepanjang permukaan membran. Ruang interstitial kadangkala terdapat diantara dua lapisan epitelium. Lamela sekunder didukung oleh sel-sel pilar yang dapat mengkerut dan memisahkan saluran pembuluh (Takashima dan Hibiya, 1995).

Terdapat beberapa kerusakan yang terjadi pada jaringan organ insang ikan antara lain inflamasi, edema, hemoragi dan kongesti, nekrosis, dan hiperplasia lamela sekunder (Putra, 2014).

## 1. Inflamasi

Inflamasi (peradangan) ditandai dengan vasodilatasi pembuluh darah lokal yang mengakibatkan terjadinya aliran darah setempat yang berlebihan, kenaikan permeabilitas kapiler disertai dengan kebocoran banyak sekali keruang interstisial, seringkali terjadi pembekuan cairan dalam ruang interstisial yang disebabkan oleh fibrinogen dan protein lainnya yang bocor dari kapiler dalam jumlah berlebihan, menurut Roberts (2001) inflamasi merupakan suatu respon pertahanan jaringan yang rusak dan terjadi pada semua vertebrata.

## 2. Edema

Edema adalah keadaan dimana terjadinya peningkatan jumlah cairan pada kompartemen intraselular. Menurut Pazra (2008), terjadinya edema disebabkan oleh meningkatnya tekanan hidrostatik intra vaskula menimbulkan perembesan cairan plasma darah keluar dan masuk ke dalam ruang interstisium. Hal tersebut dapat diakibatkan oleh berbagai kondisi patologik diantaranya terjadinya inflamasi yang berkaitan dengan permeabilitas vaskular, juga dapat merupakan perubahan lanjut pasca kongesti.

## 3. Hemoragi dan kongesti

Menurut Plumb (1994) hemoragi adalah keluarnya darah dari pembuluh darah dan banyak terdapat di kulit, membran mukosa, di dalam rongga-rongga yang mengandung serous atau diantara sel-sel jaringan atau organ. Darah keluar dari pembuluh darah karena adanya lubang pada dinding atau darah menerobos dinding yang utuh karena peningkatan porositas dari

pembuluh darah tersebut. Hemoragi dapat disebabkan oleh trauma, ruptur pembuluh darah atau peningkatan porositas akibat infeksi bakteri, virus atau bahan toksik.

Kongesti merupakan keadaan yang ditandai dengan gejala meningkatnya volume darah dalam pembuluh darah yang melebar pada suatu bagian tubuh. Tanda terjadinya kongesti ini adalah adanya bintik darah dalam pembuluh darah yang disebabkan oleh paparan oleh agen kimia Juhryyah (2008).

#### 4. Degenerasi otot dan nekrosa

Degenerasi hialin merupakan perubahan yang mengikuti cloudy swelling dan disebut juga nekrosis koagulasi Price dan Wilson (2006) dalam Putra (2014).

#### 5. Proliferasi sel Goblet

Price dan Wilson (2006) dalam Putra (2014) menyatakan bahwa proliferasi merupakan suatu keadaan dimana terjadi peningkatan atau kenaikan jumlah sel yang nyata dalam jaringan. Menurut Putra (2014), proliferasi dan hiperplasia sel goblet terjadi pada permukaan mukosa usus. Sel ini berasal dari sel bakal (stem sel) yang terdapat pada dasar kript, berdiferensiasi dan bermigrasi dari dasar kript ke bagian atas vili yaitu lamina propria selanjutnya disalurkan ke dalam lumen.

#### 6. Hiperplasia lamela sekunder

Roberts (2001) bahwa hiperplasia lamela adalah respon dalam jangka panjang dari sel *malpighian*. Sel terutama didapat dari lamela primer, mereka berpindah ke distal dalam langkah awal menghasilkan akumulasi sel pada tepi lamela sekunder yang biasanya disebut "*clubbing*" pada lamela. Seluruh jarak antar lamela dipenuhi oleh sel-sel baru dan sering ditunjukkan dengan *metaplasia mukoid* mengakibatkan area respirasi menjadi berkurang.

Berdasarkan metode Tandjung (1995) Kerusakan insang yang berhubungan dengan pencemaran dari tingkat ringan hingga berat adalah sebagai berikut:

1. Edema pada lamela menandakan telah terjadi kontaminasi tetapi belum ada pencemaran. Edema adalah pembengkakan sel atau penimbunan cairan secara berlebihan di dalam jaringan tubuh.
2. Hiperplasia pada pangkal lamela. Hiperplasia adalah pembentukan jaringan secara berlebihan karena bertambahnya jumlah sel. Hal ini merupakan indikator adanya pencemaran.
3. Fusi dua lamela (pencemaran tingkat awal). Dimana hiperplasia menyebabkan 2 lamela sekunder bersatu.
4. Hiperplasia hampir pada seluruh lamela sekunder. Ini menandakan telah terjadi pencemaran.
5. Rusaknya atau hilangnya struktur filamen insang (pencemaran berat). hampir seluruh struktur lamela sekunder mengalami hiperplasia dan mengalami kerusakan filamen.