

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Kerusakan Ekosistem

Pencemaran adalah perubahan sifat Fisika, Kimia dan Biologi yang tidak dikehendaki pada udara, tanah dan air. Perubahan tersebut dapat menimbulkan bahaya bagi kehidupan manusia atau organisme lainya. Pencemaran merupakan penambahan bermacam-macam bahan sebagai aktivitas manusia ke dalam lingkungan yang biasanya memberikan pengaruh berbahaya terhadap lingkungan (Tugaswaty, 1987).

Kerusakan ekosistem akibat pencemaran logam berat sering dijumpai khususnya untuk ekosistem perairan. Hal ini terjadi karena adanya logam berat yang bersifat racun bagi organisme dalam perairan. Akibatnya organisme yang paling sensitif pertama kali mengalami akibat buruk dan juga organisme yang tidak mampu bertahan akan musnah, sehingga keseimbangan rantai makanan dan ekosistem perairan akan mengalami kerusakan (Sudarmadi, 1993).

Alam semesta beserta isinya merupakan ciptaan Allah SWT yang sudah selayaknya harus dijaga dengan baik, agar terhindar dari kerusakan alam yang dapat merugikan kita sendiri. Sebagaimana tersirat dalam surat ar-Rum ayat 41:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ
الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ ﴿٤١﴾

“Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusi, supaya Allah merasakan kepada mereka sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)” (QS.ar-Rum: 41).

Kerusakan yang terjadi di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan manusia sendiri, sebagai akibat dari perbuatan manusia itu maka Allah memberikan sedikit kepada mereka sebagian dari akibat yang mereka lakukan agar mereka kembali ke jalan yang benar.

2.2 Logam Berat di Perairan

Maha besar Allah SWT yang telah menciptakan air yang mempunyai banyak manfaat bagi kehidupan manusia. Air merupakan zat yang sangat penting untuk kehidupan makhluk hidup di dunia, mulai dari hewan tingkat rendah sampai tinggi sebagai sesuatu yang mutlak diperlukan bagi kehidupan dan kelangsungan hidup. Sebagaimana firman Allah SWT dalam al-Qur'an surat Ibrahim ayat 32.

اللَّهُ الَّذِي خَلَقَ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ وَأَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجَ بِهِ
مِنَ الثَّمَرَاتِ رِزْقًا لَّكُمْ ۖ وَسَخَّرَ لَكُمُ الْفُلُوكَ لِتَجْرِيَ فِي الْبَحْرِ بِأَمْرِهِ ۖ
وَسَخَّرَ لَكُمُ الْأَنْهَارَ ۖ

“Allah-lah yang telah menciptakan langit dan bumi dan menurunkan air hujan dari langit, kemudian Dia mengeluarkan dengan air hujan itu berbagai buah-buahan menjadi rezki untukmu; dan Dia telah menundukkan bahtera bagimu supaya bahtera itu, berlayar di lautan dengan kehendak-Nya, dan Dia telah menundukkan (pula) bagimu sungai-sungai” (QS.Ibrahim: 32).

Air merupakan komponen lingkungan yang penting bagi kehidupan. Makhluk hidup dimuka bumi ini tidak dapat terlepas dari kebutuhan akan air. Air merupakan kebutuhan utama bagi proses kehidupan di bumi, sehingga tidak mungkin ada kehidupan seandainya di bumi tidak ada air. Namun demikian, air dapat menjadi malapetaka bilamana tidak tersedia dalam kondisi yang benar, baik kualitas maupun kuantitasnya (Yulianti, 2007).

Peningkatan kadar logam berat dalam air laut akan diikuti peningkatan kadar logam berat dalam biota laut yang pada gilirannya melalui rantai makanan akan menimbulkan keracunan akut dan kronis, bahkan bersifat karsinogenik pada manusia yang mengkonsumsi hasil laut. Salah satu pencemaran pada badan air adalah masuknya logam berat. Peningkatan kadar logam berat di dalam perairan akan diikuti oleh peningkatan kadar zat tersebut dalam organisme air seperti kerang, rumput laut dan biota laut lainnya. Pemanfaatan organisme ini sebagai bahan makanan akan membahayakan kesehatan manusia.

Menurut Nybakken (1992), logam berat merupakan salah satu bahan kimia beracun yang dapat memasuki ekosistem bahari. Logam berat seringkali memasuki rantai makanan di laut dan berpengaruh pada hewan-hewan, serta dari waktu ke waktu dapat berpindah-pindah dari sumbernya. Beberapa biota laut tertentu juga dapat mempertinggi pengaruh toksik berbagai unsur kimia, karena memiliki kemampuan untuk mengakumulasi zat di tubuhnya jauh melebihi yang terkandung di perairan sekitarnya.

Adanya logam berat di perairan, berbahaya baik secara langsung terhadap kehidupan organisme, maupun efeknya secara tidak langsung terhadap kesehatan manusia. Hal ini berkaitan dengan sifat-sifat logam berat (PPLH-IPB, 1997; Sutamihardja dkk, 1982) yaitu :

1. Sulit didegradasi, sehingga mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan dan keberadaannya secara alami sulit terurai (dihilangkan)
2. Dapat terakumulasi dalam organisme termasuk kerang dan ikan, dan akan membahayakan kesehatan manusia yang mengkonsumsi organisme tersebut

3. Mudah terakumulasi di sedimen, sehingga konsentrasinya selalu lebih tinggi dari konsentrasi logam dalam air. Disamping itu sedimen mudah tersuspensi karena pergerakan masa air yang akan melarutkan kembali logam yang dikandungnya ke dalam air, sehingga sedimen menjadi sumber pencemar potensial dalam skala waktu tertentu.

2.3 Logam Berat

2.3.1 Definisi Logam Berat

Unsur logam ditemukan secara luas di seluruh permukaan bumi. Mulai dari tanah dan batuan, badan air, bahkan pada lapisan atmosfer yang menyelimuti bumi. Umumnya logam-logam di alam ditemukan dalam bentuk persenyawaan dengan unsur lain, dan sangat jarang ditemukan dalam bentuk elemen tunggal (Palar, 1994). Logam atau besi merupakan kebutuhan penting bagi kehidupan manusia yang tidak dapat dipisahkan. Logam diidentikkan dengan besi, padat dan keras. Benda ini biasanya digunakan sebagai alat perlengkapan rumah tangga bahkan sebagai perhiasan mewah (emas). Sebagaimana dalam surat al-Hadid ayat 25 yang menyatakan kehebatan besi atau logam.

وَأَنْزَلْنَا الْحَدِيدَ فِيهِ بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنْفَعٌ لِلنَّاسِ وَلِيَعْلَمَ اللَّهُ مَنْ يَنْصُرُهُ
وَرُسُلَهُ بِالْغَيْبِ ۚ إِنَّ اللَّهَ قَوِيٌّ عَزِيزٌ ﴿٢٥﴾

"Dan Kami ciptakan besi yang padanya terdapat kekuatan yang hebat dan berbagai manfaat bagi manusia, (supaya mereka mempergunakan besi itu) dan supaya Allah mengetahui siapa yang menolong (agama)Nya dan rasul-rasul-Nya Padahal Allah tidak dilihatnya. Sesungguhnya Allah Maha kuat lagi Maha Perkasa" (QS.al-Hadid: 25).

Firman Allah SWT di atas dapat diartikan bahwa besi atau logam mempunyai kekuatan yang hebat, daya tahan lama dan tenaga pendukung yang besar. Oleh karena itu sangat bermanfaat bagi kelangsungan hidup manusia. Baik itu dari segi kebutuhan rumah tangga, industri, kemiliteran dan sebagainya.

Logam berat adalah unsur-unsur kimia dengan bobot jenis lebih besar dari 5 gr/cm^3 , terletak di sudut kanan bawah sistem periodik, mempunyai afinitas yang tinggi terhadap unsur S dan biasanya bernomor atom 22 sampai 92 dari perioda 4 sampai 7 (Miettinen, 1977). Logam berat berdasarkan sifat racunnya dapat dikelompokkan menjadi 4 golongan yaitu:

1. Sangat beracun, dapat mengakibatkan kematian ataupun gangguan kesehatan yang pulih dalam waktu yang singkat, logam-logam tersebut antara lain: Hg, Pb, Cd, Cr, As
2. Moderat, yaitu mengakibatkan gangguan kesehatan baik yang pulih maupun tidak dalam waktu yang relatif lama, logam-logam tersebut antara lain: Ba, Be, Cu, Au, Li, Mn, Se, Te, Co, dan Rb
3. Kurang beracun, logam ini dalam jumlah besar menimbulkan gangguan kesehatan, logam-logam tersebut antara lain: Al, Bi, Co, Fe, Ca, Mg, Ni, K, Ag, Ti, dan Zn
4. Tidak beracun, yaitu tidak menimbulkan gangguan kesehatan. Logam-logam tersebut antara lain: Na, Al, Sr, dan Ca.

2.3.2 Logam Berat Cd

Logam kadmium mempunyai penyebaran yang sangat luas di alam. Logam Cd biasanya merupakan produksi sampingan dari peristiwa peleburan

bijih-bijih Zn (seng). Biasanya pada konsentrasi bijih Zn didapatkan 0,2 sampai 0,3% logam Cd. Disamping itu Cd juga diproduksi dari peleburan bijih-bijih logam Pb (timah hitam) dan Cu (tembaga). Namun Zn merupakan sumber utama dari logam Cd, sehingga produksi dari logam tersebut sangat dipengaruhi oleh Zn (Palar, 1994). Cadmium mempunyai kemiripan sifat dengan Zn, dan kedua logam ini di alam dalam bentuk Cd^{2+} dan Zn^{2+} (Yulianti, 2007).

Kadmium merupakan bahan toksik yang berasal dari limbah peleburan logam seng (Zn), peleburan tembaga (Cu), pabrik pigmen Cd, pabrik baterai dan pabrik plastik. Sumber Cd berasal dari emisi uap melalui partikel yang jatuh pada tanah dan air selama proses peleburan logam. Kontaminasi Cd pada tanaman melalui tanah dan air yang tercemar Cd. Kadar Cd dalam air permukaan adalah 1 ppb dan pada air laut sebesar 0,05-0,2 ppb (Mukono, 2005). Kadmium dalam air berasal dari pembuangan industri dan limbah pertambangan. Logam ini sering digunakan sebagai pigmen pada keramik, dalam penyepuhan listrik, pada pembuatan alloy, dan baterai alkali. Keracunan kadmium dapat bersifat akut dan kronis (Saeni, 1997).

Keracunan yang disebabkan oleh logam Cd dapat bersifat akut dan kronis (Palar, 1994). Efek keracunan yang dapat ditimbulkannya berupa penyakit pembengkakan paru-paru (*Pulmonary emphysema*), anemia (kekurangan darah), gangguan pada sistem ginjal (*Proteinuria*: ketidaknormalan kandungan asam urat, kalsium dan fosfor dalam urin) dan mengakibatkan kerapuhan pada tulang atau *Osteoporosis* (Saeni, 1997). Berdasarkan Yulianti (2007) mekanisme keracunan Cd disebabkan karena kemiripan sifat antara Cd dan Zn, Cd akan menggantikan

posisi Zn dalam beberapa enzim, akibatnya akan mengacaukan kerja enzim tersebut

2.3.3 Logam Berat Hg

Logam merkuri mempunyai nama kimia *hydragyrum* yang berarti perak cair (Palar, 1994). Logam Hg mempunyai sifat cair pada temperatur ruang dan daya hantar listrik yang tinggi. Oleh karena sifat-sifat tersebut, merkuri banyak digunakan baik dalam kegiatan perindustrian maupun laboratorium (Boediono, 2003). Merkuri dan turunannya sangat beracun, sehingga kehadirannya di lingkungan perairan dapat mengakibatkan kerugian pada manusia karena sifatnya yang mudah larut dan terikat dalam jaringan tubuh organisme air. Selain itu merkuri mempunyai kemudahannya diserap dan terkumpul dalam jaringan tubuh organisme air, baik melalui proses bioakumulasi maupun biomagnifikasi yaitu melalui *food chain* (Boediono, 2003).

Merkuri yang terdapat dalam limbah di perairan umumnya diubah oleh aktifitas mikroorganisme menjadi komponen methyl merkuri ($\text{CH}_3\text{-Hg}$) yang memiliki sifat racun dan daya ikat yang kuat disamping kelarutannya yang tinggi terutama dalam tubuh hewan air. Hal tersebut mengakibatkan merkuri terakumulasi melalui proses *bioakumulasi* (zat polutan yang menetap dalam tubuh organisme) dan *biomagnifikasi* (zat polutan yang menetap dalam tubuh organisme dan mampu bergerak ke tingkat trofik yang lebih tinggi dalam rantai makanan) dalam jaringan tubuh hewan-hewan air, sehingga kadar merkuri dapat mencapai level yang berbahaya baik bagi kehidupan hewan air maupun kesehatan manusia, yang memakan hasil tangkap hewan-hewan air tersebut (Budiono, 2003).

Keberadaan merkuri dalam perairan dapat berasal dari sumber alamiah masuk ke dalam badan perairan, bisa berupa pengikisan dari batu mineral yang terdapat di sekitar perairan. Partikel merkuri yang terdapat dalam udara yang terbawa oleh air hujan juga dapat menjadi sumber merkuri di perairan. Sedangkan merkuri yang berasal dari aktivitas manusia dapat berupa buangan sisa industri maupun buangan rumah tangga (Palar, 1994).

Pada saat ini merkuri digunakan dalam industri dalam tiga bentuk: senyawa logam, senyawa organik, dan senyawa anorganik. Penggunaan paling besar adalah dalam produksi alat elektronik. Penggunaan terbesar kedua adalah dalam industri kloro-alkali, yang memproduksi klorin dan soda kaustik dengan cara elektroforesis larutan sodium klorida dengan menggunakan merkuri sebagai katoda dalam sel elektrolisis. Penggunaan terbesar ketiga di dunia adalah dalam fungisida termasuk pelindung benih (*seed dressings*), meskipun perlu dicatat bahwa di beberapa negara penggunaannya telah dilarang. (Duffus (1980) dalam Nurchayatun (2007))

Terpaparnya merkuri pada tubuh dalam waktu yang lama dapat menimbulkan dampak kesehatan hingga kematian pada manusia. Salah satu pengaruh merkuri terhadap fisiologis manusia yaitu: pada sistem saluran pencernaan dan ginjal, terutama akibat merkuri yang terakumulasi. Selain itu, juga berpengaruh terhadap sistem syaraf, karena senyawa merkuri mampu menembus *blood brain barrier* dan dapat mengakibatkan kerusakan otak yang *irreversible* sehingga mengakibatkan kelumpuhan permanen serta berpengaruh terhadap terhadap pertumbuhan (Wurdiyanto, 2007).

2.4 Kerang Darah

Kerang darah hidup mengelompok dan umumnya banyak ditemukan pada substrat yang kaya kadar organik. Menurut Boom (1985) dalam Marzuki, dkk, 2006, taksonomi Kerang Darah adalah sebagai berikut:

Filum : Mollusca
Kelas : Bivalva
Ordo : Arcoida
Famili : Arcidae
Subfamili : Anadarinae
Genus : Anadara
Spesies : *Anadara granosa*

Kerang mempunyai bentuk dan ukuran cangkang yang bervariasi. Variasi bentuk cangkang ini sangat penting dalam menentukan jenis-jenis bivalva. Kerang mempunyai bagian luar cangkang yang bertekstur kasar, sedangkan bagian dalamnya bertekstur licin (Kira, 1976). Kerang Darah ditunjukkan dalam gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1 Kerang Darah (*Anadara granosa*)
(www.id.wikipedia.org)

Secara umum kerang merupakan kelompok hewan tidak bertulang belakang dan bentuknya mudah untuk dikenali. Sebagian besar dicirikan dengan adanya cangkang yang melindungi tubuhnya. Cangkang merupakan alat pelindung diri, terdiri atas lapisan karbonat (*crystalline calcium carbonate*), dipisahkan oleh lapisan tipis (lembaran) protein di antara cangkang dan bagian tubuh (otot dan daging) (Setyono, 2006).

Secara umum bagian tubuh kerang dibagi menjadi lima, yaitu (1) kaki (*foot, byssus*), (2) kepala (*head*), (3) bagian alat pencernaan dan reproduksi (*visceral mass*), (4) selaput (*mantle*), dan (5) cangkang (*shell*). Pada bagian kepala terdapat organ-organ syaraf sensorik dan mulut. Bagian kaki merupakan otot yang mudah berkontraksi, dan bagian ini merupakan bagian utama alat gerak. Warna dan bentuk cangkang sangat bervariasi, tergantung pada jenis, habitat dan makanannya.

Faktor biologi yang mempengaruhi kehidupan kerang laut adalah fitoplankton, zooplankton, zat organik tersuspensi dan makluk hidup dilingkungannya (Debenay, 1994). Kerang laut mendapatkan makanan dengan *filter feeder* menggunakan *siphon* untuk mendapatkan makanan (Bachok, 2006). Pemilihan makanan pada kerang terjadi melalui suatu sistem sensor syaraf yang mendeteksi kebiasaan makan untuk menentukan apakah suatu makanan bisa diterima atau ditolak (Hughes, 1986).

Kerang mempunyai keistimewaan tersendiri dalam tingkah laku pola makan, yaitu mempunyai mekanisme menyeleksi makanan dengan sensor syarafnya, akan tetapi tidak menutup kemungkinan bahawa makanan yang masuk

melalui sensor syaraf sudah terkontaminasi logam berat yang disebabkan oleh faktor lingkungan yang tercemar, karena sifat logam berat yaitu mudah dan dapat bereaksi dengan bahan organik seperti plankton. Berdasarkan bukti tersebut dapat diketahui bahwa Allah SWT begitu memperhatikan setiap kebutuhan makhluk ciptaan-Nya karena sifat Rahman-Nya. Sebagaimana dalam firman Allah SWT surat an-Nahl ayat 18.

وَإِنْ تَعُدُّوا نِعْمَةَ اللَّهِ لَا تُحْصُوهَا ۚ إِنَّ اللَّهَ لَغَفُورٌ رَحِيمٌ ﴿١٨﴾

"Dan jika kamu menghitung-hitung nikmat Allah, niscaya kamu tak dapat menentukan jumlahnya. Sesungguhnya Allah benar-benar Maha Pengampun lagi Maha Penyayang" (QS.an-Nahl: 18).

Ayat di atas berupa tantangan Allah SWT kepada seluruh makhluk-Nya sekaligus perintah-Nya untuk membaca hamparan karunia nikmat-Nya yang tidak terhingga. Contoh yang dapat diambil adalah proses yang terjadi pada pemilihan makanan yang terjadi pada kerang. Allah SWT memberikan keistimewaan tersendiri terhadap tingkah laku pola makan kerang dengan cara menyaring makanan melalui sistem sensor syaraf yang dapat menentukan apakah suatu makanan tersebut bisa diterima atau ditolak. Dalam proses tersebut sesungguhnya Allah SWT telah memperhitungkan segalanya. Maka dalam penutup ayat ini Allah SWT hadir dengan dua sifat yang merupakan puncak dari kasih sayang-Nya, yaitu Maha Pengampun lagi Maha Penyayang.

Kerang ada yang hidup di air tawar, darat, maupun di perairan pesisir dan laut. Namun demikian, mayoritas kerang hidup di perairan laut, baik di perairan pantai (dangkal) maupun di laut dalam, kelompok kedua ini disebut sebagai

kerang laut. Jenis-jenis kerang laut ada yang hidup di dasar perairan (*benthic*) maupun dipermukaan (*pelagic*). Mayoritas kerang adalah *benthic*, baik hidup diperairan dangkal (*littoral*) maupun perairan dalam (*deep zone*). Kerang dan siput tersebut ada yang membenamkan diri di dalam pasir dan lumpur, bersembunyi di balik batu, kayu dan akar tanaman laut, ada yang menempel pada batu dan tonggak kayu (misalnya: Remis), dan ada yang bebas merayap di permukaan habitat (Setyono, 2006).

Ekologi dan keanekaragaman kerang laut di daerah pantai dan perairan laut dangkal sangat bervariasi. Kerang laut memiliki sifat infauna atau semi-infauna yang mendiami habitat berpasir dan berlumpur di kawasan pesisir sebagai penyusun komunitas macrozoobentos. Kerang ini juga merupakan salah satu komponen utama di komunitas sedimen lunak di kawasan pesisir (Hendrickx, 2007).

Keanekaragaman kerang laut tidak hanya menunjukkan keanekaragaman jumlah species, tetapi memiliki keanekaragaman bentuk, ukuran, struktur, tingkatan tropik dan keanekaragaman makro-mikro habitat dalam komunitas alami (Hendrickx, 2007). Keanekaragaman morfologi kerang laut menggambarkan tingkah laku (Bachok, 2006) yang merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kelulusan spesies tersebut dalam ekosistemnya. Secara makro, keanekaragaman spesies kerang berkurang dari pantai tropika ke temperate dan dari pantai makrotidal ke mikrotidal.

2.5 Pengaruh Logam Berat Terhadap Kerang

Logam berat biasanya menimbulkan efek khusus bagi makhluk hidup. Dapat dikatakan semua logam berat dapat menjadi bahan racun yang akan meracuni tubuh makhluk hidup. Sebagai contoh adalah logam Hg, Cd dan Pb (Palar, 1994). Logam masuk ke dalam jaringan tubuh makhluk hidup melalui beberapa jalan, yaitu melalui saluran pernafasan, pencernaan dan penetrasi melalui kulit. Absorpsi logam melalui saluran pernafasan biasanya cukup besar. Baik pada hewan air yang masuk melalui insang maupun hewan darat (Darmono, 2001).

Banyaknya toksikan lingkungan masuk melalui rantai makanan dan diserap melalui saluran pencernaan hewan dan selanjutnya pada manusia. Proses absorpsi tersebut tidak menimbulkan efek toksik kecuali jika diserap oleh tubuh. Lambung merupakan tempat penyerapan yang baik untuk asam lemah dengan bentuk ion-ion yang larut dalam lemak. Untuk basa lemah yang mengion dan tidak larut dalam lemak tidak mudah diserap oleh lambung, pada umumnya diserap oleh usus. Sebaliknya untuk basa organik lebih banyak diserap di usus daripada di lambung. Absorpsi toksikan pada saluran pernafasan ikan ataupun kerang dapat melalui insang yang merupakan jalan masuknya oksigen dan bahan toksin dalam tubuh. Di dalam insang terdapat banyak kapiler untuk memastikan penyerapan oksigen yang memadai, karena itu bahan lipofilik dalam air sangat memungkinkan untuk masuk ke dalam tubuh ikan melalui insang (Mukono, 2005). Bagian organ pernapasan (insang) mengalami pembengkakan terjadi karena Cd^{2+} menghambat kerja senyawa α -antipirin yang berakibat meningkatnya toksisitas pada organ pernapasan (insang) (Widowati, 2008).

Dalam firman Allah SWT menyatakan bahwa sebaiknya manusia itu selalu memperhatikan makanannya dengan baik, agar terhindar dari penyakit, sehingga proses pembentukan sel pada tubuh tidak terganggu dan dapat berjalan dengan normal. Sebagaimana telah disebutkan dalam dalam al-Qur'an surat Abasa ayat 24 sebagai berikut:

فَلْيَنْظُرِ الْإِنْسَانُ إِلَى طَعَامِهِ ﴿٢٤﴾

"Maka hendaklah manusia itu memperhatikan makanannya" (QS.Abasa: 24)

Pengaruh utama yang ditimbulkan oleh merkuri di dalam tubuh adalah menghalangi kerja enzim dan merusak membran sel. Keadaan itu disebabkan karena kemampuan merkuri dalam membentuk ikatan kuat dengan gugus yang mengandung belerang (S) yang terdapat dalam, protein, enzim atau membran sel. Keracunan yang bersumber dari senyawa merkuri biasanya melalui saluran pernapasan, disebabkan karena senyawa-senyawa alkil-merkuri mempunyai rantai pendek yang mudah menguap, yang masuk bersama jalur pernapasan akan mengisi ruang-ruang dari organ pernapasan dan berikatan dengan darah (Palar,1994)

Sebagian logam berat seperti Pb, Cd dan Hg merupakan zat pencemar yang berbahaya. Afinitas yang tinggi terhadap unsur S menyebabkan logam ini menyerang ikatan belerang dalam enzim, sehingga enzim bersangkutan menjadi tak aktif. Gugus karboksilat (-COOH) dan amina (-NH₂) juga bereaksi dengan logam berat. Kadmium, timbal, dan tembaga terikat pada sel-sel membran yang menghambat proses transpor melalui dinding sel. Logam berat juga

mengendapkan senyawa fosfat biologis atau mengkatalis penguraiannya (Manahan, 1977).

Logam berat mempunyai afinitas terhadap sulfur dan enzim dengan membentuk ikatan dengan group sulfur dalam enzim. Protein ($-\text{CO}_2\text{H}$), asam karboksilat dan group amino ($-\text{NH}_2$) mudah membentuk ikatan dengan logam berat, misalnya dengan ion Cd, Co, Pb, Hg. Sulfur, protein dan group amino mempunyai atom S, N dan O yang memiliki pasangan elektron bebas yang sangat disukai oleh logam berat yang bermuatan positif sehingga terbentuk ikatan kovalen koordinasi. Logam berat akan berikatan dengan membran sel sehingga menghalangi proses transport yang melalui dinding sel, logam berat juga dapat mengendapkan senyawa bifosfat dan mempercepat proses dekomposisi (Yulianti, 2007).

Berdasarkan penelitian Nurchayatun (2007) untuk menentukan tingkat pengaruh pencemaran di lingkungan akuatik, kerusakan insang dapat dikategorikan berdasarkan tingkatan perubahan sel organ insang. Dirumuskan berdasarkan metode Tandjung (1982) sebagai berikut:

- a. Edema, Menandakan telah terjadi kontaminasi tetapi belum ada pencemaran.

Edema adalah pembengkakan sel atau penimbunan cairan secara berlebihan di dalam jaringan tubuh. Terjadinya edema disebabkan karena masuknya logam berat ke dalam insang yang mengakibatkan sel bersifat iritatif yang menyebabkan sel akan membengkak.

- b. Hyperplasia, merupakan gejala pencemaran. Hyperplasia adalah pembentukan jaringan secara berlebihan karena bertambahnya jumlah sel (Laksman, 2003).

Hiperplasia mengakibatkan penebalan jaringan epitel di ujung filamen yang memperlihatkan bentuk seperti pemukul bisbol (*clubbing distal*) atau penebalan jaringan epitelium yang terletak di dekat dasar lamela.

- c. Nekrosis, termasuk ke dalam kategori pencemaran berat. Nekrosis adalah kematian sel, yang mengakibatkan jaringan insang tidak berbentuk utuh lagi. Karakteristik dari jaringan nekrotik, yaitu memiliki warna yang lebih pucat dari warna normal, hilangnya daya rentang (jaringan menjadi rapuh dan mudah terkoyak), atau memiliki konsistensi yang buruk atau pucat.
- d. Atropi, termasuk dalam kategori pencemaran berat. Atropi adalah pengecilan (penyusutan) ukuran suatu sel, jaringan, organ atau bagian tubuh

Insang merupakan organ respirasi yang utama dan vital pada ikan. Epitel insang ikan merupakan bagian utama untuk pertukaran gas, keseimbangan asam basa, regulasi ion, dan ekskresi nitrogen. Oleh karena itu, jika ikan tercemar oleh polutan lingkungan seperti amonia, pestisida, logam, nitrit, dan petroleum hidrokarbon, fungsi vital ini dalam keadaan bahaya karena menghalangi penerimaan oksigen misalnya terjadi fusi.

2.6 Logam Berat Dalam Perairan Dan Hubungannya Dengan Berbagai Biota Perairan

Dalam penelitian Widowati (2008) analisis logam berat Cd terhadap kerang putih (*Tellina versicolor*) di Pantai Kraton Kab. Pasuruan, diketahui bahwa kadar Cd tertinggi 2,76 ppm dan terendah 2,43 ppm. Kandungan Cd tersebut sudah berada di atas nilai ambang batas untuk makanan yang diperbolehkan oleh

WHO yaitu sebesar 0,5 ppm. Berdasarkan penelitian Fitriyah (2007) tentang kandungan logam berat Hg pada kerang bulu (*Anadara antiquata*) di Pantai Lekok Kab. Pasuruan, menunjukkan bahwa rata-rata konsentrasi logam berat Hg adalah 0,815 ppm, nilai tersebut juga telah melebihi nilai ambang batas yang ditentukan.

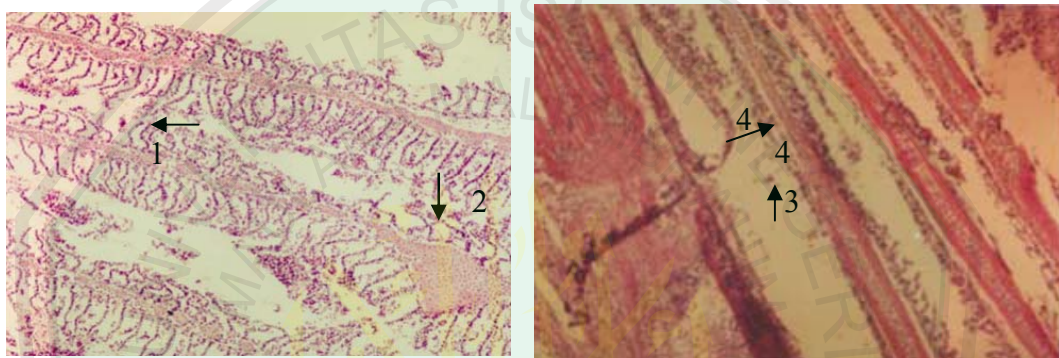
Pencemaran di daerah ekosistem pesisir Kenjeran Surabaya, oleh logam berat Cd disebabkan oleh kegiatan pembangunan. Berdasarkan hasil penelitian di daerah industri percetakan sebesar 0,07 ppm, industri plastik sebesar 0,006 ppm. Kadar Cd di muara kenjeran meliputi konsentrasi Cd pada air laut sebesar 0,0327 ppm, sedimen sebesar 0,481 ppm dan pada kerang sebesar 0,208 ppm (Imron, 2006).

Dari hasil penelitian Indrakusuma (2008) tentang kandungan logam berat Hg pada kerang darah (*Anadara granosa*) di Pantai Ria Kenjeran, hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah rata-rata kandungan logam berat Hg adalah 0,1615 ppm. Hasil ini telah melebihi batas aman yang ditentukan oleh WHO dan Standart Nasional Indonesia (SNI) adalah 0,5 ppm.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Nurchayatun (2007) mengenai pengaruh logam berat merkuri terhadap struktur mikroanatomi insang ikan mas. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa insang terpapar merkuri sebanyak 0,08 ppm, mengalami perubahan dari struktur normal, yaitu telah terjadi edema, hiperplasia, nekrosis dan atropi. Untuk lebih jelasnya mengenai kerusakan insang yang disebabkan oleh logam berat dapat dilihat pada gambar berikut ini:



(<http://www.histologyworld.com/photoalbum/thumbnails.php?album=72&page=6>)



Gambar 2.3 Struktur mikroanatomi insang yang terpapar logam berat
(Nurchayatun, 2007)

Keterangan: 1. edema, 2. hiperplasia, 3. nekrosis dan 4. atropi

2.7 Faktor-Faktor Abiotik yang Berpengaruh Dalam Proses Akumulasi Logam Berat

Toksisitas suatu bahan pencemar terhadap organisme dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan antara lain : suhu, pH, oksigen terlarut (*Dissolve of Oxygen/DO*) dan salinitas (Destiany, 2007). Indikator atau tanda bahwa air lingkungan telah tercemar adalah karena adanya perubahan. Tanda yang dapat diamati dapat melalui 2 cara yaitu melalui pengamatan kualitas fisika dan kimia:

1. Pengamatan secara fisika, yaitu pengamatan pencemaran air berdasarkan perubahan suhu, kadar garam (salinitas), warna, bau dan rasa
2. Pengamata secara kimia, yaitu pengamatan pencemaran air berdasarkan zat kimia yang terlarut, oksigen terlarut dan perubahan pH.

pH adalah salah satu pengaruh utama pada proses pembentukan unsur atau senyawa baru logam di dalam air. Derajat keasaman air dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah keadaan tanah, pertumbuhan alga di dalam air, adanya sisa makanan yang membusuk dan timbunan bahan organik, turunnya hujan dan terjadinya pergolakan arus (Destiany, 2007). Kenaikan pH di perairan akan diikuti dengan penurunan kelarutan logam berat, sehingga logam berat cenderung mengendap (Connell dan Miller, 1995).

Suhu air mempunyai peran penting dalam laju metabolisme biota air. Toleransi ikan terhadap temperatur berbeda-beda tergantung jenis spesies, stadium pertumbuhan, derajat aklimasi, DO, jenis dan tingkat pencemaran, lamanya lingkungan terkena panas dan musim. Kusumastanto (2004) mengatakan dari sejumlah penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat terakumulasi dengan bertambahnya atau meningkatnya suhu lingkungan, yang berakibat partikel logam berat bergerak lebih cepat sehingga lebih cepat terakumulasi. Suhu juga sangat berperan dalam proses metabolisme di dalam tubuh ikan. Connel (1995) mengatakan peningkatan suhu dapat menurunkan daya tahan tubuh terhadap racun atau bahan asing dari luar

Oksigen terlarut adalah gas untuk respirasi yang sering merupakan faktor pembatas dalam lingkungan hidup di air tawar. Ditinjau dari ekosistem, kadar oksigen terlarut akan menentukan kecepatan metabolisme dan respirasi dari seluruh ekosistem, karena kadar oksigen sangat penting bagi kelangsungan hidup. Rendahnya nilai kandungan oksigen terlarut dapat menyebabkan tingkat toksisitas

logam berat meningkat, sehingga daerah tersebut tidak menunjang untuk kehidupan biota perairan.

Penelitian mengenai pengaruh kadar garam atau salinitas pada bioakumulasi logam menunjukkan bahwa konsentrasi logam biotik meningkat dengan menurunnya kadar garam. Kadar garam aliran air yang stabil dapat mempengaruhi kandungan logam pada makhluk hidup perairan melalui dua cara. Pertama, beberapa logam di bawa ke daerah dengan kadar garam rendah karena kemampuan yang lebih besar dari air tawar untuk menjaga kondisi logam baik dalam bentuk cairan maupun suspensi. Kedua, kadar garam yang berbeda dapat menyebabkan kecepatan logam yang berbeda disebabkan oleh keterkaitan dari ion aliran sepanjang permukaan tubuh makhluk hidup atau oleh perbuatan fisiologi di dalam makhluk hidup (Ersa, 2008)

Semua ciptakan Allah SWT yang ada di bumi ini selalu dalam seimbang dan diatur serapi-rapinya. Hal tersebut tersirat di dalam al-Qur'an Surat al-Furqaan ayat 2 yang berbunyi:

الَّذِي خَلَقَ سَبْعَ سَمَوَاتٍ طِبَاقًا ۚ مَا تَرَىٰ فِي خَلْقِ الرَّحْمَنِ مِن تَفَوُّتٍ
 ۚ فَارْجِعِ الْبَصَرَ هَلْ تَرَىٰ مِن فُطُورٍ ۚ ثُمَّ ارْجِعِ الْبَصَرَ كَرَّتَيْنِ يَنقَلِبْ
 إِلَيْكَ الْبَصَرُ خَاسِئًا وَهُوَ حَسِيرٌ ۝

“(3)Yang telah menciptakan tujuh langit berlapis-lapis. kamu sekali-kali tidak melihat pada ciptaan Tuhan yang Maha Pemurah sesuatu yang tidak seimbang. Maka lihatlah berulang-ulang, Adakah kamu Lihat sesuatu yang tidak seimbang?
 (4) Kemudian pandanglah sekali lagi niscaya penglihatanmu akan kembali kepadamu dengan tidak menemukan sesuatu cacat dan penglihatanmu itupun dalam Keadaan payah (QS.al-Mulk:3-4).

Allah SWT menciptakan segala sesuatu di dunia ini sesuai dengan kebutuhan makhluknya. Kondisi lingkungan abiotik perairan yang meliputi suhu, pH, DO dan salinitas yang masih dapat ditoleransi oleh biota perairan, merupakan kekuasaan Allah SWT yang sudah mengatur segalanya yang ada di bumi dengan rapi.

2.8 Indikator Biologi

Indikator Biologi didefinisikan sebagai penggunaan suatu organisme baik sebagai bagian dari suatu individu suatu kelompok organisme untuk mendapatkan informasi terhadap kualitas seluruh atau sebagian dari lingkungannya (Hornby dan Bateman, 1997). Penggunaan parameter fisika dan kimia, indikator biologi dapat memantau secara kontinyu. Hal ini karena komunitas biota perairan (flora/fauna) menghabiskan seluruh hidupnya di lingkungan tersebut, sehingga bila terjadi pencemaran akan bersifat akumulasi atau penimbunan.

Penciptaan kerang darah merupakan salah satu bukti bahwa Allah SWT menciptakan segala sesuatu di bumi ini adalah dalam keadaan yang seimbang. Sebagaimana firman Allah dalam surat ar-Rahman ayat 7:

وَالسَّمَاءَ رَفَعَهَا وَوَضَعَ الْمِيزَانَ

“Dan Allah telah meninggikan langit dan meletakkan neraca (keseimbangan)”
(QS.ar-Rahman: 7).

Kerang darah di ekosistem perairan mempunyai fungsi untuk menyerap zat pencemar, salah satunya adalah dapat mengakumulasi logam berat yaitu sebagai penyeimbang kondisi lingkungan yang telah tercemari limbah, terutama limbah logam berat.

Kerang sebagai hewan benthos, hidup diperairan yang dangkal pada substrat lumpur halus, hewan ini dapat dijadikan bioindikator untuk mengetahui kualitas suatu perairan, karena sifatnya yang *filter feeder* dan hidup menetap. Dengan demikian akan terjadi akumulasi unsur-unsur kimia yang larut dalam tubuhnya (Yuliati, 2007). Petanda biologis suatu paparan merupakan petanda biologis yang timbul akibat terpapar oleh suatu agen lingkungan. Petanda biologis dapat diartikan sebagai suatu perubahan sel, biokimia atau molekul yang dapat diukur dalam media biologi seperti jaringan, sel ataupun cairan tubuh (Mukono, 2005).

Untuk menaksir efek toksikologis dari beberapa polutan kimia dalam lingkungan dapat diuji dengan menggunakan species yang mewakili lingkungan yang ada di perairan tersebut. Spesies yang diuji harus dipilih atas dasar kesamaan biokemis dan fisiologis dari spesies dimana hasil percobaan digunakan (Price, 1979). Kriteria organisme yang cocok untuk digunakan sebagai uji hayati tergantung dari beberapa faktor:

1. Organisme harus sensitif terhadap material beracun dan perubahan lingkungan
2. Penyebarannya luas dan mudah didapat dalam jumlah yang banyak
3. Mempunyai arti ekonomi, rekreasi dan kepentingan ekologi baik secara daerah maupun nasional
4. Mudah dipelihara dalam laboratorium
5. Mempunyai kondisi yang baik, bebas dari penyakit dan parasit
6. Sesuai untuk kepentingan uji hayati (American Public Health Association, 1976 cit. Mason, 1980).

Karakteristik ideal sebagai indikator biologis ekosistem perairan adalah sebagai berikut:

1. Biota tersebut harus cukup mengakumulasi logam berat tanpa menyebabkan kematian
2. Habitat biota berasal dari daerah yang teliti
3. Kelimpahan setiap waktu pada lokasi yang akan diteliti
4. Mempunyai masa hidup lebih dari setahun (cukup lama) untuk melihat pengaruh variasi perubahan musim
5. Mempunyai ukuran tubuh yang memungkinkan untuk dianalisa terutama pada jaringan (Sastrawijaya, 1991).

Bioakumulasi diartikan sebagai terdapatnya pencemar dalam organisme dalam konsentrasi jauh lebih besar daripada konsentrasi di dalam lingkungannya. Biokonsentrasi/bioakumulasi dalam organisme merupakan sifat yang sangat penting dalam evaluasi bahaya/tidaknya suatu zat dan uji toksisitas. Bioakumulasi itu dimulai dengan kapasitas racun memasuki biota. Hal ini menjadi sangat besar kemungkinannya, apabila xenobiotik itu persisten dalam lingkungan. Mekanisme masuknya xenobiotik ke dalam organisme dapat lewat pernafasan, atau permukaan tubuh (Soemirat, 2005).

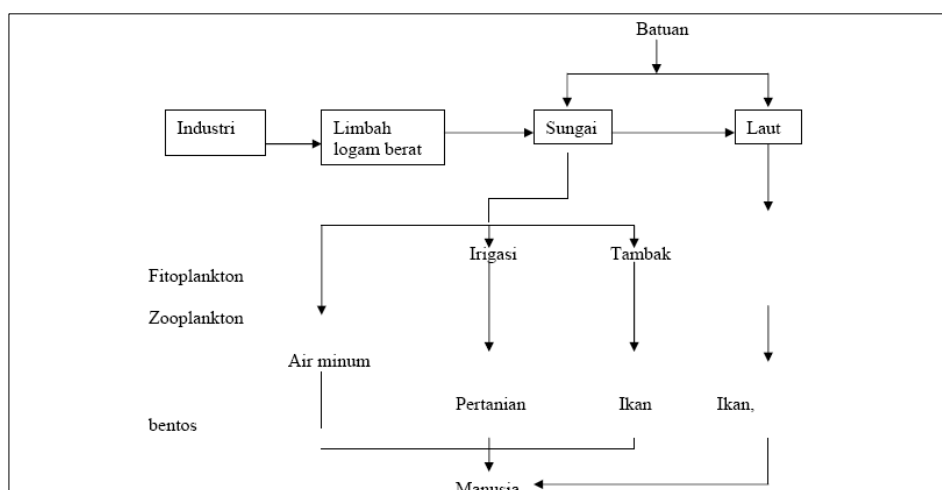
Alat pertukaran gas pada organisme akuatik adalah insang. Insang pada ikan yang dewasa mempunyai luas permukaan terbesar di seluruh tubuhnya (Randall, 1996). Racun dengan demikian dapat mudah masuk ke tubuh ikan lewat insang. Seperti halnya pada organisme lain, ikan juga mempunyai enzim sitokrom yang mempunyai fungsi ganda. Banyak racun yang dapat didegradasi oleh enzim

ini, tetapi yang tidak dapat didegradasi akan diakumulasi di dalam tubuhnya (Soemirat, 2005).

Khususnya untuk jenis-jenis kerang (*bivalvia*) yang cara makannya dengan sistem menyaring (*filter feeder*), bahan kimia dan bahan beracun (termasuk logam berat) yang terlarut di dalam air maupun yang terkandung di dalam mikro-alga akan diserap dan dicerna serta diakumulasikan bersama protein di dalam tubuh. Bahan kimia dan bahan beracun yang sudah terakumulasi di dalam tubuh kerang akan pindah ke manusia (Setyono, 2006).

Pencemaran logam berat di darat di tanah, selanjutnya akan mencemari bahan pangan, baik yang berasal dari tanaman atau hewan dan akhirnya dikonsumsi oleh manusia. Pencemaran logam berat, baik dari industri, kegiatan domestik, maupun sumber alami dari batuan dan akhirnya sampai ke sungai/laut dan selanjutnya mencemari manusia melalui ikan, air minum atau sumber irigasi lahan pertanian sehingga tanaman sebagai sumber pangan manusia tercemar logam berat. Sedangkan pencemaran logam berat melalui udara terjadi melalui jalur kontak langsung dengan manusia atau proses inhalasi.

Proses perjalanan logam berat dari sumber pencemar hingga sampai ke tubuh manusia ditunjukkan dalam Gambar 2.4 (Suwirma, 1988):



Gambar 2.4. Skema perjalanan logam berat dari sumber pencemar sampai ke tubuh manusia

2.9 Kondisi Umum Perairan Pantai Pasuruan

Pasuruan secara geografis terdiri dari pegunungan, dataran rendah dan kawasan pantai. Sebagian dari wilayah tersebut mempunyai sumberdaya alam yang potensial untuk pengembangan usaha perikanan. Potensi Kelautan dan Perikanan yang terdapat di Kab. Pasuruan meliputi wilayah perairan laut yang terbentang sepanjang ± 48 km mulai dari utara meliputi Kec. Nguling, Rejoso, Kraton dan Kec. Bangil. Terletak dengan ketinggian antara 2 m sampai 8 m diatas permukaan laut.

Letak geografi Kabupaten Pasuruan antara 112 0 33' 55" hingga 113 30' 37" Bujur Timur dan antara 70 32' 34" hingga 80 30' 20" Lintang Selatan dengan batas-batas wilayah: Utara: Kab. Sidoarjo dan Selat Madura. Selatan: Kabupaten Malang Timur: Kabupaten Probolinggo Barat: Kabupaten Mojokerto. Daerah Kabupaten Pasuruan berada pada posisi sangat strategis yaitu jalur regional juga jalur utama perekonomian Surabaya-Malang dan Surabaya-Banyuwangi. Hal tersebut menguntungkan dalam pengembangan ekonomi dan membuka peluang infestasi di Kabupaten Pasuruan. Kabupaten Pasuruan mempunyai luas wilayah 147.401,50 Ha (3,13% luas Propinsi Jawa Timur) terdiri dari 24 Kecamatan, 24 Kelurahan.

Pencemaran yang terjadi di perairan Pantai Bangil Kabupaten Pasuruan disebabkan oleh aliran sungai-suangai yang mengandung bahan pencemar logam berat dan bermuara di Pantai Bangil. Salah satu sungai yang bermuara di perairan pantai Bangil adalah sungai Raci yang berada di Bangil. Industri yang diduga

sebagai sumber penghasil limbah logam berat di pantai Bangil yaitu kawasan pabrik asing yang berada di daerah Rembang. Rembang merupakan salah satu pusat industri terbesar di Pasuruan yang lokasi berdekatan dengan pantai Bangil. Pabrik ini kebanyakan memproduksi alat-alat elektronik seperti lampu, spare part motor, velk mobil, alat-alat musik elektronik, home teater dan lain sebagainya. Selain memproduksi alat elektronik, pusat industri ini juga memproduksi pupuk kimia, obat-obatan, plastik, kertas, cerutu, bahan makanan, produk roti, pengalengan, peleburan besi, bahan kimia, alat-alat rumah sakit serta masih banyak yang lainnya.

Duffus (1980), menjelaskan bentuk dan penggunaan merkuri. Pada saat ini digunakan dalam industri dalam tiga bentuk : senyawa logam, senyawa organik, dan senyawa anorganik. Penggunaan paling besar adalah dalam produksi alat elektronik. Penggunaan terbesar kedua adalah dalam industri kloro-alkali, yang memproduksi klorin dan soda kaustik dengan cara elektroforesis larutan sodium klorida dengan menggunakan merkuri sebagai katoda dalam sel elektrolisis. Penggunaan terbesar ketiga di dunia adalah dalam fungisida termasuk pelindung benih (*seed dressings*), meskipun perlu dicatat bahwa di beberapa negara penggunaannya telah dilarang.

Industri pertanian merupakan bidang industri yang sangat banyak menggunakan senyawa merkuri. Dalam bidang pertanian senyawa merkuri digunakan sebagai anti jamur dan produk pupuk lainnya. Sedangkan senyawa Cd banyak digunakan dalam perindustrian manufaktur plyvinil khlorida (PVC) sebagai bahan yang berfungsi untuk stabilisasi. Selain itu Cd banyak digunakan

dalam industri-industri ringan, seperti pada proses pengolahan roti, pengolahan ikan, pengolahan minuman, industri tekstil dan lain-lain (Palar, 1994).

Industri lain yang diduga sebagai pencemar logam berat di perairan pantai Bangil adalah industri lokal Bangil sendiri. Pabrik lokal Bangil hasil produksinya adalah plastik, kertas, tekstil, olahan pangan, pupuk dan lain-lain. Sumber lain pencemar logam berat di perairan pantai Bangil adalah adanya pembuangan limbah rumah tangga/penduduk sekitar Bangil, baik itu limbah organik maupun anorganik. Jumlah logam runtuhan yang cukup besar disumbangkan ke dalam cairan rumah tangga oleh sampah-sampah metabolik, korosi pipa air dan produk-produk konsumen (misalnya detergen). Pembuangan sampah lumpur juga dapat memperbanyak kandungan logam berat di badan perairan (Connel dan Meller, 2006).

Penentuan pengambilan sampel di pilih atas dasar jenis aktivitas yang ada disekitarnya:

1. Stasiun 1: Perkampungan penduduk Desa Raci

Tempat ini merupakan tempat pengambilan kerang yang paling banyak dibandingkan 2 stasiun lainnya. Berdasarkan hasil pengamatan bahwa tempat ini adalah satu arah dengan aliran pembuangan limbah industri Rembang dan Bangil. Selain itu juga berdekatan dengan muara pembuangan limbah rumah tangga (domestik) setempat. Jarak stasiun 1 dari muara limbah industri Rembang dan Bangil ± 3 km, dari muara lumpur Lapindo ± 4 km dan jarak dengan muara limbah domestik $\pm 2,5$ km.

2. Stasiun 2: Muara sungai Raci

Daerah ini merupakan tempat pengambilan ikan dan kerang. Berdasarkan hasil pengamatan bahwa tempat ini juga digunakan sebagai tempat aliran pembuangan limbah terutama dari kegiatan industri di kawasan Rembang dan limbah rumah tangga (domestik) sekitar. Jarak stasiun 2 dari muara limbah industri Rembang dan Bangil ± 2 km, dari muara lumpur Lapindo ± 3 km dan jarak dengan muara limbah domestik $\pm 1,5$ km

3. Stasiun 3: Kali Anyar Bangil

Berdasarkan hasil pengamatan bahwa tempat ini lokasinya berdekatan dengan muara pembuangan limbah industri Bangil dan Rembang, terutama industri plastik. Selain itu, diduga mengalami pencemaran akibat dari pembuangan bahan bakar perahu yang dibuang di sekitar pantai serta pembuangan limbah rumah tangga (domestik) ke aliran pantai sekitar. Jarak stasiun 3 dari muara limbah industri Rembang dan Bangil ± 1 km, dari muara lumpur Lapindo ± 2 km dan jarak dengan muara limbah domestik $\pm 0,5$ km