1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Karakteristik kromosom suatu spesies ikan dapat dipakai untuk menganalisa perubahan genetik. Salah satu cara untuk mengetahui informasi sifat dasar genetik ikan adalah dengan melakukan pengamatan karakteristik kromosom (Carman, 1990). Mengetahui efek toksik dari beberapa polutan kimia dalam suatu lingkungan dapat di uji dengan menggunakan spesies yang terdapat pada lingkungan tersebut, salah satunya adalah ikan. Ikan sebagai salah satu biota air yang dapat dijadikan sebagai salah satu indikator pencemaran yang terjadi di dalam perairan (Geonarso, 1988).

Organisme akuatik seperti ikan mengakumulasi polutan secara langsung dari air yang terkontaminasi atau secara tidak langsung melalui pencernaan dari organisme akuatik yang terkontaminasi. Pencemaran genotoksik membuat kontaminasi tidak hanya dari organisme akuatik itu sendiri tetapi seluruh ekosistem dan akhirnya ke manusia melalui rantai makanan (Matsumoto *et al*., 2006). Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*) adalah salah satu ikan yang hidup di sungai Aloo. Ikan Mujair memiliki nilai ekonomis yang sangat tinggi dan sebagai ikan konsumsi bagi masyarakat setempat. Sehingga ikan Mujair ini merupakan salah satu ikan tangkap dan bernilai ekonomis yang banyak ditemukan di perairan sungai Aloo.

Sungai Aloo, Sidoarjo merupakan daerah yang di sekitarnya masih banyak terdapat pemukiman, pertanian, pertambakan atau perikanan budidaya, sedangkan daerah muaranya menjadi tempat tangkapan ikan. Daerah aliran sungai Aloo ini memiliki beberapa sumber pencemar diantaranya limbah domestik, limbah industri, serta buangan dari pertanian. Bahkan sejak munculnya

lumpur panas Sidoarjo di Kecamatan Porong tanggal 27 Mei 2006 dengan luapan lumpur antara 120.000 sampai 130.000 m^3 setiap harinya, turut memperparah beban Sungai Aloo terhadap polutan atau pencemar, dikarenakan penampung atau tanggul tidak dapat menampung lumpur tersebut, sehingga lumpur harus dialirkan ke laut melalui sungai tersebut.

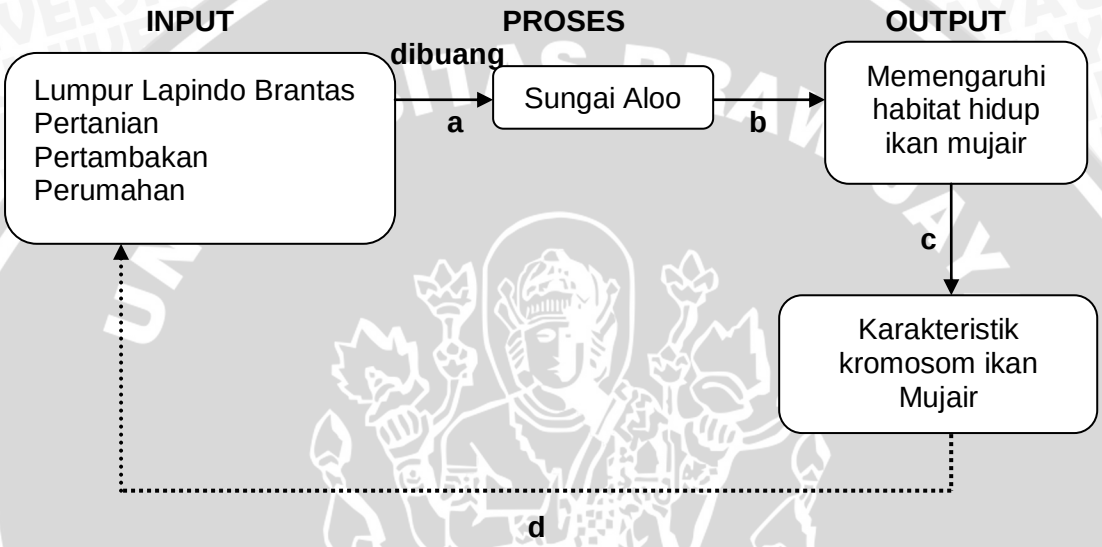
Pembuangan air lumpur Sidoarjo ke sungai Aloo secara terus-menerus dapat merubah kualitas air atau meningkatkan konsentrasi bahan toksik, sehingga diduga dapat berdampak negatif terhadap kehidupan organisme perairan termasuk ikan. Bahan toksik di perairan akan menyebabkan terganggunya kondisi kesehatan ikan melalui perubahan struktur yang terjadi pada organ-organ yang menjadi sasaran utama dari bahan pencemar seperti insang, hati, ginjal dan sebagainya (Setyowati *et al*., 2010). Selain itu, organ-organ tersebut yang memiliki fungsi penting dalam metabolisme tubuh sehingga dapat digunakan sebagai diagnosis awal terjadinya gangguan kesehatan pada suatu organisme (Martinez dan Marina, 2007).

Perubahan yang ditimbulkan akibat masuknya bahan pencemar dapat dilihat pada tubuh ikan maka perlu dilakukan uji kromosom agar diketahui karakteristik kromosom ikan Mujair di sungai Aloo yang telah tercemar, serta mengetahui status pencemaran perairan di sungai Aloo, Sidoarjo.

1.2 Perumusan Masalah

Banyaknya aktifitas manusia di sekitar sungai seperti perumahan, pertanian, pertambakan (lihat Gambar 1), dapat menyebabkan terjadinya perubahan kondisi kualitas ekosistem pada sungai, terutama Sungai Aloo **(a)**. Hal ini dikarenakan adanya beban masukan yang dihasilkan oleh aktivitas atau kegiatan manusia serta buangan lumpur Lapindo yang ada yang telah masuk dan terbawa aliran sungai. Perubahan ekosistem ini ditandai dengan adanya perubahan habitat hidup organisme perairan, khususnya ikan Mujair

(*Oreochromis mossambicus*) **(b)**. Perubahan habitat hidup ikan Mujair ini dapat dilihat dengan menguji karakteristik kromosom pada ikan Mujair tersebut **(c)**. Adanya perubahan karakteristik kromosom ikan Mujair yang ada di sungai Aloo tersebut dapat diketahui kondisi dari perairan, maka dapat digunakan untuk pertimbangan kebijakan pembuangan limbah bagi pemerintah, instansi terkait dan masyarakat guna menjaga kelestarian lingkungan perairan **(d)**.



Gambar 1. Bagan Alir Pendekatan Masalah

Keterangan: ——→ : Identifikasi masalah
·····→ : Solusi / penyelesaian masalah

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari Penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik kromosom ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*) di Sungai Aloo, Desa Penatarsewu, Kecamatan Tanggulangin, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur.

1.4 Kegunaan Penelitian

Kegunaan dari penelitian ini adalah :

a. Bagi mahasiswa, diharapkan dapat menambah pengetahuan khususnya dalam karakteristik kromosom ikan mujair (*Oreochromis mossambicus*) yang

hidup dalam lingkungan tercemar, serta menumbuhkan perhatian khusus terhadap bahaya pencemaran lumpur Lapindo terhadap kelestarian sumberdaya perikanan.

b. Bagi peneliti atau lembaga ilmiah, sebagai informasi mengenai kondisi kesehatan ikan termasuk ikan mujair (*Oreochromis mossambicus*) terhadap karakteristik kromosom yang terkena efek dari pencemaran lingkungan.

c. Bagi pihak yang berkepentingan, sebagai informasi dan bahan pertimbangan perumusan kebijakan dalam rangka pelestarian sumberdaya perikanan.

1.5 Tempat dan Waktu Penelitian

Lokasi dan waktu penelitian ini dilaksanakan di beberapa tempat dan pada beberapa waktu, yaitu:

a. Sungai Aloo Desa Penatarsewu, Kecamatan Tanggulangin, Kabupaten Sidoarjo, tempat pengambilan sampel ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*) dan pengambilan sampel kualitas air pada bulan Agustus 2011.

b. Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Kedokteran, Universitas Brawijaya, Malang, penelitian di laksanakan pada bulan Agustus – September 2011.

c. Laboratorium Kimia Analitik, Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya, Malang, penelitian di laksanakan pada bulan Agustus – September 2011.

d. Laboratorium Biosistematika dan Ekologi Hewan, Fakultas Biologi, Institut Pertanian Bogor (IPB), penelitian di laksanakan pada bulan September 2011.

e. Laboratorium Sentral Ilmu Hayati (LSIH), Universitas Brawijaya, Malang, penelitian di laksanakan pada bulan Oktober 2011.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biologi Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*)

Menurut Sutanmuda (2008), sistematika ikan Mujair adalah sebagai berikut:

Kelas : Pisces

Sub kelas : Teleostei

Ordo : Percomorphi

Sub-ordo : Percoidea

Famili : Cichlidae

Genus : Oreochromis

Spesies : *Oreochromis mossambicus*

Lokal name : Mujair

(A) (B)

Gambar 2. (A) Sampel Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*) di Sungai Aloo, (B) Literatur Ikan Mujair (sumber: http:// konsumenikan.files. wordpress.com/2010/01/mujair-tilapia-mossambica1.gif).

Nama ilmiah ikan mujair adalah *Oreochromis mossambicus*, dan dalam bahasa Inggris dikenal sebagai “Mozambique tilapia”, atau kadang-kadang secara tidak tepat disebut "Java tilapia" (Wikipedia.org, 2010)[a].

Mujair adalah sejenis ikan konsumsi air tawar. Penyebaran alami ikan ini adalah perairan Afrika dan di Indonesia pertama kali ditemukan oleh Pak Mujair di muara sungai Serang pantai selatan Blitar, Jawa Timur pada tahun 1939. Meski masih menjadi misteri, bagaimana ikan itu bisa sampai ke muara terpencil di selatan Blitar, tak urung ikan tersebut dinamai 'Mujair' untuk mengenang sang penemu. Ikan berukuran sedang, panjang total maksimum yang dapat dicapai ikan Mujair adalah sekitar 40 cm. Bentuk badannya pipih dengan warna hitam, keabu-abuan, kecoklatan atau kuning. Sirip punggungnya (dorsal) memiliki 15 - 17 duri (tajam) dan 10 - 13 jari-jari (duri berujung lunak); dan sirip dubur (anal) dengan 3 duri dan 9 - 12 jari-jari (Wikipedia.org, 2010)[a].

Sedangkan menurut Cholik *et al*., (2005), ciri-ciri utama dari ikan Mujair adalah:

1. Memiliki lubang hidung panjang pada kedua sisi kepalanya.
2. Gurat sisinya terbagi dua, bagian depan melengkung sejajar dengan pangkal sirip punggung, sedangkan bagian belakangnya lurus pada bagian belakang badan.
3. Warna badan abu-abu atau kuning; terdapat 2-5 bercak gelap disamping badan dan beberapa bercak lebih dekat kepunggung.
4. Pada saat berbiak mujair jantan berwarna gelap dengan pinggiran sirip ekor dan sirip punggung berwarna merah.
5. Bagian bawah kepala berwarna putih.

Ikan Mujair mempunyai toleransi yang besar terhadap kadar garam (salinitas), sehingga dapat hidup di air payau. Jenis ikan ini memiliki kecepatan pertumbuhan yang relatif cepat, tetapi setelah dewasa kecepatannya ini akan menurun. Ikan ini mulai berbiak pada umur sekitar 3 bulan, dan setelah itu dapat berbiak setiap 1,5 bulan sekali. Setiap kalinya, puluhan butir telur yang telah dibuahi akan 'dierami' dalam mulut induk betina, yang memerlukan waktu sekitar

seminggu hingga menetas. Hingga beberapa hari setelahnya pun mulut ini tetap menjadi tempat perlindungan anak-anak ikan yang masih kecil, sampai anak-anak ini disapih induknya, dengan demikian dalam waktu beberapa bulan saja, populasi ikan ini dapat meningkat sangat pesat. Apalagi Mujair cukup mudah beradaptasi dengan aneka lingkungan perairan dan kondisi ketersediaan makanan (Wikipedia.org, 2010)[a].

Ikan Mujair termasuk ikan pemakan segala atau herbivore, makanan utamanya adalah lumut, tumbuhan air, serangga dan cacing (Pemancing.com, 2009). Ikan Mujair bersifat euryhaline karena mampu hidup dalam kisaran kadar garam yang besar, antara 0 - 50 ppt. Toleransinya terhadap suhu juga cukup besar bagi ikan ini, suhu optimum berkisar antara 25 - 30°C (Cholik *et al.,* 2005).

Ikan Mujair biasa didapati di danau, rawa, sungai, dan saluran-saluran air hingga ke sawah-sawah. Ikan ini termasuk pemakan segala. Menurut hasil laporan Haryadi *et al*., (2008), mencari ikan menjadi keseharian di kawasan sekitar semburan lumpur lapindo Sidoarjo. Ada beberapa ikan yang bisa didapat oleh para pemancing di sana diantaranya adalah ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*).

2.2 Sungai Aloo

Sungai Aloo terletak di Desa Penatarsewu, Kecamatan Tanggulangin, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Merupakan pertemuan antara sungai Kalitengah dan sungai Kalidawir. Penatarsewu adalah sebuah Desa di Kecamatan Tanggulangin, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur, Indonesia. Masukkan lumpur lapindo di sungai Desa Penatarsewu tersebut adalah berasal dari buangan dari parit di sekitar tanggul lumpur sungai Desa Kalitengah. Sungai Desa Kalitengah airnya mengalir ke Desa Penatarsewu yang kemudian air tersebut digunakan sebagai sumber air untuk tambak di wilayah Desa

Penatarsewu. Sungai Avor Aloo atau yang sering di sebut dengan sungai Aloo memiliki panjang sekitar 20 km (Herawati, 2007). Sungai Aloo banyak digunakan untuk irigasi dan sumber air untuk masukan tambak di desa Penatarsewu.

Gambar 3. Aliran Sungai Aloo di desa Penatarsewu (Foto: diambil pada tanggal 21 januari 2011)

Kabupaten Sidoarjo dilanda bencana yang sangat besar yaitu pada tanggal 27 Mei 2006 telah terjadi bencana Lumpur Lapindo yang terletak pada Kecamatan Tanggulangin, Kecamatan Porong, Kecamatan Jabon. Bencana yang diakibatkan dari pengeboran minyak yang dilakukan PT Minarak Lapindo Brantas. Untuk mengantisipasi meluasnya lumpur maka dibuanglah lumpur tersebut kedalam sungai Porong dan sungai Aloo untuk keselamatan penduduk sekitar semburan. Pembuangan lumpur kedalam sungai Aloo telah merusak banyak lahan pertambakan dan mencemari sungai Aloo. Air sungai dan tanah tambak di sekitar semburan lumpur sudah tercemar dan berbahaya bagi tambak. Sebanyak 15 parameter diteliti menggunakan beberapa spesifikasi metode, 9 parameter diantaranya melebihi ambang batas standar baku mutu air untuk budidaya air payau. Sampel yang diuji di laboratorium itu berasal dari sungai Permisan di Desa Permisan, Kecamatan Jabon, sungai Tuyono di Kecamatan Porong, sungai Aloo di Kecamatan Porong, tanah tambak di Desa Permisan dan Desa Plumbon serta kolam lele di Desa Penatar Sewu, Kecamatan

Tanggulangin. Sungai Permisan misalnya, kandungan amonia (NH_3), nitrit (NO_2), sulfida (S_2), dan klorin (Cl_2) untuk satuan mg/liter telah melampaui ambang batas. Demikian pula sampling lumpur sungai Permisan, sungai Aloo dan tanah tambak di Desa Plumbon mengandung besi (Fe), tembaga (Cu), mangan (Me) dan bromida (Br_2) tercatat diatas angka 3, jauh melebihi ketentuan standar yang diatur berdasarkan PP No.82 tahun 2001 (Lukito, 2007).

2.3 Pencemaran di Sungai Aloo

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, proses-proses industri, tempat tinggal dan peninggalan-peninggalan, atau dapat merusak sumber bahan mentah. Pencemaran terjadi apabila terdapat gangguan dalam daur materi yaitu apabila laju produksi suatu zat melebihi laju pembuangan atau penggunaan zat tersebut (Soemarwoto,1990). Pencemaran merupakan penambahan bermacam-macam bahan sebagai aktivitas manusia ke dalam lingkungan yang biasanya memberikan pengaruh berbahaya terhadap lingkungan (Tugaswaty, 1987).

Menurut Wardhana (2004), pencemaran air dapat disebabkan oleh kegiatan usaha atau dikenal dengan limbah cair maupun oleh sebab alami atau bencana alam. Berdasarkan cara pengamatan atau identifikasi pencemaran air, dapat diketahui dari parameter:

1. Secara Fisika, yaitu pengamatan pencemaran air berdasarkan tingkat kejernihan air, perubahan suhu air, perubahan rasa dan warna air.
2. Secara Kimia, yaitu pengamatan pencemaran air berdasarkan zat-zat kimia yang terlarut dan perubahan pH.
3. Secara Biologi, yaitu pengamatan pencemaran air berdasarkan mikroorganisme yang ada dalam air.

Sungai Aloo mempunyai masukan limbah baik dari industri, pabrik, domestik, pertanian dan pertambakan. Banyaknya industri dan pabrik di Sidoarjo, serta pemukiman di sekitar sungai Aloo turut menambah beban masukan di badan perairan. Selain itu pertanian dan pertambakan di Kecamatan Tanggulangin ini juga turut menyumbang beban masukan limbah yang ada di sungai. Beban pencemaran semakin meningkat dengan adanya sekenario buangan lumpur lapindo di beberapa sungai. Dengan adanya pencemaran tersebut menimbulkan dampak tersendiri bagi ekosistem sungai dan masyarakat sekitar.

2.3.1 Pencemaran Air Sungai Aloo Secara Fisika

Air normal dan bersih tidak akan berwarna, sehingga tampak bening/ jernih. Bila kondisi air warnanya berubah maka hal tersebut merupakan salah satu indikasi bahwa air telah tercemar. Timbulnya bau pada air lingkungan merupakan indikasi kuat bahwa air telah tercemar. Air yang bau dapat berasal dari limbah industri atau dari hasil degradasi mikroba. Mikroba yang hidup dalam air akan mengubah organik menjadi bahan yang mudah menguap dan berbau sehingga mengubah rasa (Wikipedia. org, 2011)[b].

Menurut Herawati (2007), bencana ekologis nasional lumpur panas yang terjadi di Kabupaten Sidoarjo Propinsi Jawa Timur dimulai pada tanggal 27 Mei 2006 di Banjar Panji-1 milik kegiatan pengeboran PT Lapindo Brantas, Inc. Lumpur panas ini lalu dialirkan pada sungai-sungai yang menuju ke laut dan salah satunya yaitu sungai Aloo. Keadaan fisik sungai yang terkena aliran lumpur lapindo menjadi keruh dan suhunya meningkat (lihat Gambar 4). Keadaan sungai setelah terkena aliran lumpur lapindo menjadi keruh dan tidak layak untuk memenuhi kebutuhan masyarakat sekitar serta tidak layak untuk pertumbuhan ikan yang ada di dalam perairan tersebut.

Gambar 4. Keadaan aliran sungai Aloo yang terkena lumpur lapindo (Foto : diambil pada tanggal 21 januari 2011)

2.3.2 Pencemaran Air Sungai Aloo Secara Kimia

Menurut Herawati (2007), perkiraan volume semburan Lumpur antara ± 50.000 - 120.000 m^3/hari. Dari uji toksikologis diketahui bahwa lumpur Lapindo Brantas mengandung limbah organik diatas baku mutu sesuai dengan ketentuan KepMenLH 42/96. Dapat diketahui ada logam berat di dalam perairan yang menambah turunnya kualitas air di sungai Aloo tersebut. Logam berat adalah bahan-bahan alami yang berasal dan termasuk bahan penyusun lapisan tanah bumi. Logam berat tidak dapat diurai atau dimusnahkan. Logam berat dapat masuk ke dalam tubuh makhluk hidup melalui makanan, air minum, dan udara. Logam berat berbahaya karena cenderung terakumulasi di dalam tubuh makhluk hidup. Laju akumulasi logam-logam berat ini di dalam tubuh pada banyak kasus lebih cepat dari kemampuan tubuh untuk membuangnya. Akibatnya keberadaannya di dalam tubuh semakin tinggi, dan dari waktu ke waktu memberikan dampak merusak (Daud, 2009).

Berdasarkan sudut pandang toksikologi, logam berat dapat dibagi dalam dua jenis. Jenis pertama adalah logam berat esensial, di mana keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun. Contoh logam berat ini

adalah Zn, Cu, Fe, Co, Mn. Sedangkan jenis kedua adalah logam berat tidak esensial atau beracun, di mana keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya atau bahkan dapat bersifat racun, seperti Hg, Cd, Pb, Cr dan lain-lain. Logam berat ini dapat menimbulkan efek kesehatan bagi manusia tergantung pada bagian mana logam berat tersebut terikat dalam tubuh. Daya racun yang dimiliki akan bekerja sebagai penghalang kerja enzim, sehingga proses metabolisme tubuh terputus. Logam berat ini akan bertindak sebagai penyebab alergi, mutagen, teratogen atau karsinogen bagi manusia. Jalur masuknya adalah melalui kulit, pernapasan dan pencernaan (Daud, 2009).

Menurut Taufiq (2008), logam berat Hg (raksa) misalnya, ditemukan hasil 2,5 ppm. Sedang senyawa phenol yang dinyatakan ada dalam pemeriksaan oleh Pekerjaan Umum Jawa Timur di laboratorium Institus Teknologi 10 Nopember Surabaya memiliki nilai yang tinggi diatas ambang batas. Menurut Budiono *et al.,* (2003), logam berat merkuri (Hg) adalah salah satu “trace element” yang mempunyai sifat cair pada temperatur ruang. Merkuri yang terdapat dalam limbah atau “waste” di perairan umumnya diubah oleh aktifitas mikro organisme menjadi komponen methyl merkuri (CH_3-Hg) yang memiliki sifat racun dan daya ikat yang kuat disamping kelarutannya yang tinggi terutama dalam tubuh hewan air. Selama ini pembuangan lumpur dialirkan ke laut melalui sungai Porong. Namun sejak akhir tahun 2009 sampai sekarang ini pembuangan lumpur dilakukan di sungai Aloo sehingga diduga akan mencemari kelestarian ekosistem terutama di daerah penangkapan ikan di muara. Pembuangan lumpur ke sungai ini sangat membahayakan kelestarian ekosistem.

Berdasarkan penelitan yang dilakukan Herawati (2007), konsentrasi tertinggi phenol yang ditemukan pada sungai Aloo adalah sebesar 1,197 mg/lt atau 1.197 kali melebihi nilai baku mutu. Di dalam penelitian ini media yang diteliti adalah lingkungan badan air yaitu sungai Aloo yang dialiri oleh air lumpur Lapindo, dimana target reseptor yang pertama dapat terkena resiko adalah biota perairan tersebut.

2.3.3 Pencemaran Air Sungai Aloo Secara Biologi

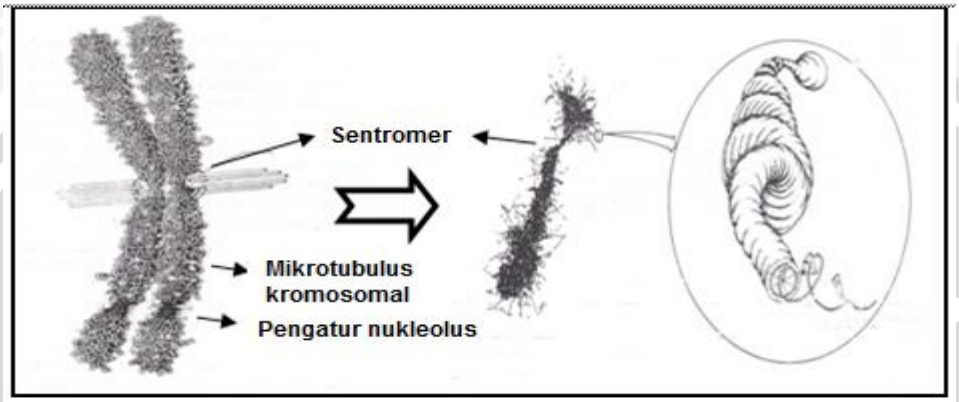
Pencemaran akibat lumpur lapindo juga mengancam organisme yang ada di dalam perairan tersebut. Menurut Taufiq (2008), pada hasil analisa mikrobiologi lumpur yang baru di semburkan langsung diteliti, dan ini merupakan satunya-satunya dilakukan oleh "Indonesian Center for Biodiversity and Biotechnology" (ICBB) ini menunjukkan adanya *Coliform*, *Salmonella* dan *Stapylococcus aureus* di atas ambang batas yang dipersyaratkan.

Sedangkan menurut Vitanouva.net (2006), dilaporkan bahwa ditemukan banyak ikan mati di sungai yang dialiri lumpur lapindo (lihat Gambar 5). Disamping karena kadar garam yang tinggi, kematian ikan juga disebabkan oleh empat faktor: 1. karena partikel lumpur yang sangat halus menyumbat insang ikan sehingga menyebabkan ikan mati lemas; 2. lumpur halus yang menutupi dasar sungai menghilangkan tempat ikan bertelur sehingga menghambat perkembangbiakan populasi ikan; 3. lumpur menjadikan air keruh dan menurunkan kandungan oksigen sehingga membunuh benih ikan yang rentan terhadap penurunan kualitas air; 4. lumpur bersuhu tinggi meningkatkan aktivitas metabolisme sehingga membahayakan kehidupan biota perairan.

Gambar 5. Peristiwa Kematian masal pada ikan di aliran sungai Aloo yang terjadi pada bulan januari 2007 (foto: Herawati, 2007)

2.4 Pengertian Kromosom

Nukleus terdapat benda-benda halus berbentuk lurus seperti batang atau bengkok dan terdiri dari zat yang mudah mengikat zat warna yang disebut kromosom. Zat yang menyusun kromosom disebut kromatin. Benda-benda tersebut untuk pertama kali diberi nama kromosom (latin: kroma = warna; soma = tubuh) oleh Waldeyer pada tahun 1888 (lihat Gambar 6) (Suryo, 2005).



Gambar 6. Bentuk kromosom (sumber: Suryo, 1995)

Setiap pasangan kromosom homolog biasanya mempunyai ukuran dan bentuk yang tetap dalam fase tertentu dari siklus sel, namun antara pasangan kromosom nonhomolog dan antara kromosom-kromosom dari spesies yang berlainan dapat dijumpai perbedaan-perbedaan. Kromosom yang pendek dan padat yang dapat dilihat dalam pembelahan sel dari makhluk eukaryotik ialah kira-kira ¼ mikron (1 mikron = 0,001 milimeter), sedangkan yang panjang dapat mencapai ukuran 30 mikron (Suryo, 1995). Setiap spesies memiliki kromosom yang khas dan berbeda dengan spesies lainnya. Kekhasan ini meliputi ukuran, bentuk, dan jumlah dari kromosom yang dimiliki (Eldridge, 1985). Kromosom dapat terlihat jelas selama tahap-tahap tertentu dari pembelahan inti, yang biasanya digambarkan pada tahap metafase (saat kromosom terdiri atas dua kromatid dan tersusun di bidang ekuator), kromosom menempatkan diri di bidang tengah dari sel (Suryo, 2008).

Jumlah kromosom pada makhluk tingkat tinggi di dalam sel somatis (sel tubuh, kecuali sel kelamin) mengandung satu stel kromosom yang diterimanya dari kedua induk/orang tua. Kromosom-kromosom yang berasal dari induk betina bentuknya serupa dengan yang berasal dari induk jantan. Maka sepasang kromosom itu disebut kromosom homolog. Karena itu jumlah kromosom dalam sel tubuh dinamakan diploid (2n). Sel kelamin (gamet) hanya mengandung separoh dari jumlah kromosom yang terdapat di dalam sel somatis, karena itu jumlah kromosom dalam gamet dinamakan haploid (n) (Suryo, 2008).

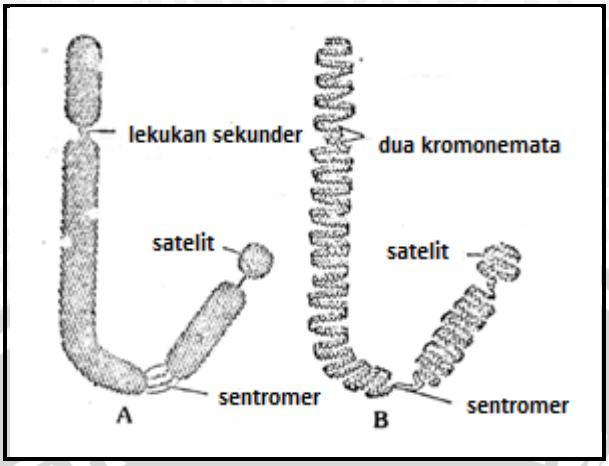
Sistem pewarisan kromosom pada eukaryot lebih rumit dibandingkan dengan sistem yang dimiliki bakteri, pada bakteri setiap pembelahan sel akan menghasilkan sel baru yang sekaligus menjadi organisme baru, sedangkan organisme tingkat tinggi (eukaryot) perbanyakan berjalan melalui sistem yang lebih kompleks yaitu dapat terjadi secara aseksual atau seksual. Dalam pewarisan kromosom kepada anaknya, terjadi dua sistem pembelahan sel, yaitu: mitosis dan meiosis. Pembelahan secara mitosis dapat berlangsung di semua organ dan jumlah kromosom yang dihasilkan sama dengan jumlah kromosom semula, sedangkan pembelahan meiosis hanya terjadi di jaringan organ seks dan berfungsi mereduksi jumlah kromosom menjadi separuhnya (Jusuf, 2001)

Analisis evolusi kromosom ikan telah dilakukan oleh Poletto *et al*., (2010) pada sejumlah spesies Cichlid, yaitu karyotipe dari salah satu spesies Cichlid Asia, 22 Afrika, dan 30 Amerika Selatan di BioMed Central (BMC). Penelitian evolusi kromosom ikan ini diamati dari jaringan ginjal pada beberapa spesies Cichlid. Hasil penelitian diperoleh variasi yang luas dalam karyotipe ikan-ikan Cichlid (dari 2n = 32 hingga 2n = 60 kromosom), jumlah kromosom modal untuk spesies Amerika Selatan adalah 2n = 48 dan jumlah modal untuk yang Afrika adalah 2n = 44. Satu-satunya spesies Asia yang dianalisis, *Etroplus maculatus*, diobservasi mempunyai 46 kromosom. Pada analisis karyotipe diperoleh karyotipe dari *Etroplus maculatus* terdiri dari 46 kromosom yang meliputi 18

m/sm (meta/submetasentrik), 18 st/a (subtelo/akrosentrik) dan 10 mikrokromosom. Karyotipe dari *Oreochromis aureus, Oreochromis mossambicus, Oreochromis niloticus, Oreochromis tanganicae, Tilapia mamfe*, dan *Tilapia mariae*. Karyotipe Tilapia yang diteliti di sini memiliki 2n = 44 kromosom untuk kebanyakan spesies dan memunculkan tipe kromosom st/a (pasangan 2 pada *Oreochromis niloticus*, pasangan 5 pada *Tilapia mariae,* pasangan 6 pada *Tilapia mamfe*). Karyotipe spesies *Cichla* (Cichlini) dan *Retroculus lapidifer* (Retroculini) menunjukkan 2n = 48 kromosom st/a. Karyotipe *Astronotus ocellatus* (Astronotinae) menunjukkan 12 kromosom m/sm dan *Chaetobranchus flavescens* (Chaetobranchini) menunjukkan 6 kromosom m/sm, keduanya dengan 2n = 48. Pada hasil penelitian ini ternyata jenis spesies memiliki perbedaan jumlah kromosom dan karyotipe.

Penelitian juga dilakukan oleh Gross *et al*., (2010), pada 3 spesies dari genus *Symphysodon* (*S. aequifasciatus, S. discus, dan S. haraldi* , Cichlidae, Perciformes). Ikan diambil dari beberapa sungai di negara Amazon, Brazil dengan kewenangan IBAMA (Brazilian Institute of Environment and Renewable Natural Resources; no. 10609-1/2007), yaitu 8 betina dan 3 jantan (*S. Aequifasciatus*) diambil dari sungai Tefe, 15 betina dan 3 jantan (*S. discus*) diambil dari sungai Negro, dan 15 betina dan 3 jantan (*S. haraldi*) diambil dari sungai Manacapuru. Preparasi kromosom diambil dari jaringan ginjal dan sel gonad dari masing-masing ikan jantan dan betina. Analisa karyotipe dari ketiga spesies *Symphysodon* mengungkapkan bahwa jumlah kromosom diploid adalah 2n = 60 kromosom, tidak adanya kromosom seks yang berbeda dan tidak adanya polimorfisme yang interspesifik kromosom. Karyotipe dari *Symphysodon aequifasciatus* terdiri dari 2n = 50 m-sm + 6 st-a + 4 mi, *Symphysodon discus* 2n = 50 m-sm + 10 st-a, dan *S. haraldi* 2n = 52 m-sm + 4 st-a + 4 mi. Pada hasil penelitian ini ternyata jenis spesies memiliki perbedaan jumlah kromosom dan karyotipe.

2.5 Struktur Dan Bentuk Kromosom



Gambar 7. Struktur dan Bentuk Kromosom (sumber : Suryo, 2005)

Menurut (Suryo, 2005), secara umum bagian-bagian dari kromosom ialah sebagai berikut (lihat Gambar 7):

1. Kromonema

Dalam kromosom terdapat pita bentuk spiral yang oleh Vejdovsky (1912) diberi nama kromonema atau kromonemata.

2. Kromomer

Kromonema mempunyai penebalan-penebalan di beberapa tempat, yang disebut kromomer. Beberapa ahli sel menganggap kromomer ini sebagai bahan nukleoprotein yang mengendap.

3. Sentromer

Sentromer bentuk dari kromosom ditentukan oleh letak sentromer. Didalam sentromer terdapat granula kecil yang dinamakan sferul. Ada sentromer yang mempunyai diameter 3 µ dan sferulnya 0,2 µ. Kromonema berhubungan dengan sferul dari sentromer.

Kromosom dari kebanyakan organisme hanya mempunyai sebuah sentromer saja, maka disebut kromosom monosentris. Kromosom dengan dua

sentromer disebut kromosom disentris, sedang yang mempunyai banyak sentromer disebut kromosom polisentris.

4. Lekukan kedua

Lekukan ke dua dapat mempunyai peranan penting, yaitu menjadi tempat terbentuknya nukleolus (intinya inti sel) dan karena itu disebut juga pengatur nukleolus ("nucleolar organizer").

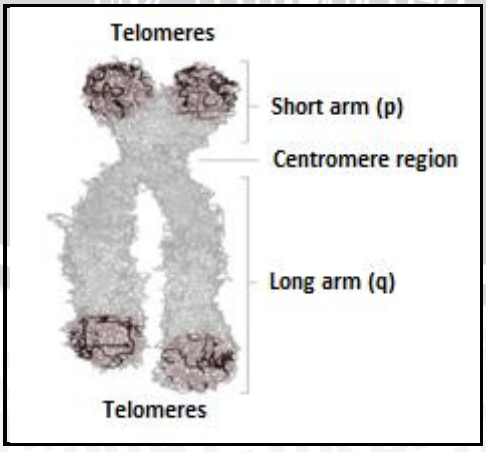
5. Telomer

Telomer ialah bagian dari ujung-ujung kromosom yang menghalang-halangi bersambungnya kromosom satu dengan kromosom lainnya. Telomer berfungsi untuk menjaga stabilitas bagian terujung kromosom agar DNA di daerah tersebut tidak terurai (lihat Gambar 8).

6. Satelit

Satelit ialah bagian yang merupakan tambahan pada ujung kromosom. Tidak setiap kromosom memiliki satelit. Kromosom yang memiliki satelit dinamakan satelit kromosom.

Bahan yang menyusun kromosom ialah kromatin. Bagian kromosom yang tidak padat dan membawa gen-gen disebut eukromatin, sedang bagian lainnya yang tetap padat disebut heterokromatin.



Gambar 8. Telomer suatu Kromosom (sumber:http://www.subtelomeres.com/images/content/ChromoIllustration3.gif)

Menurut Eldridge (1985), bagian yang menentukan bentuk dari kromosom adalah sentromer, yang merupakan bagian yang menyempit dan menjadi gelondongan pembelahan pada kromosom. Berdasarkan posisi sentromer, bentuk kromosom dibagi atas tiga bagian, yaitu: metasentrik, (bentuk V), akrosentrik (bentuk J atau L), dan telosentrik (bentuk batang atau I). Menurut Suryo (1995), walaupun posisi sentromer itu tetap untuk suatu kromosom tertentu, namun untuk berbagai kromosom dapat berbeda-beda. Berhubungan dengan itu berdasarkan letak sentromernya dapat dibedakan beberapa macam kromosom (lihat Gambar 9), yaitu:

a. Kromosom Metasentris

Kromosom metasentris ialah kromosom yang memiliki sentromer di tengah, sehingga kromosom dibagi atas dua lengan sama panjang. Biasanya kromosom membengkok di tempat sentromer sehingga kromosom berbentuk huruf “V”.

b. Kromosom Submetasentris

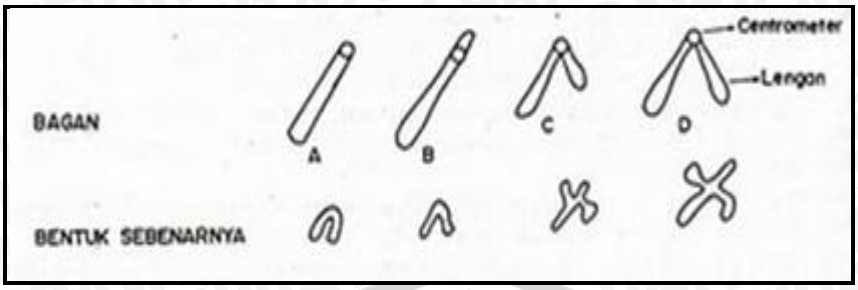
Kromosom submetasentris ialah kromosom yang memiliki sentromer tidak di tengah, sehingga kedua lengan kromosom tidak sama panjang. Bila kromosom ini membengkok di tempat sentromer, maka kromosom berbentuk huruf “J”.

c. Kromosom Akrosentris

Kromosom akrosentris ialah kromosom yang memiliki sentromer di salah satu ujungnya, sehingga kedua lengan kromosom tak sama panjang. Biasanya kromosom ini lurus, tidak membengkok.

d. Kromosom Telosentris

Kromosom telosentris ialah kromosom yang memiliki sentromer di salah satu ujungnya, sehingga kromosom tetap lurus dan tidak terbagi atas dua lengan. Kromosom telosentris tidak dijumpai pada manusia, dan sangat langka pada tumbuh-tumbuhan. Pada hewan ada kalanya dapat ditemukan kromosom telosentris.



Gambar 9. Macam-Macam Bentuk Kromosom Ikan didasarkan atas letak sentromer. A = akrosentris, B = subtelosentris, C = submetasentris, D = metasentris (Sumber: Kirpichnikov, 1981 *dalam* Effendie, 1997).

Menurut Suryo (2005), berdasarkan tipenya, kromosom dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Autosom, ialah kromosom yang tiada hubungannya dengan penentuan jenis kelamin. Dari 46 kromosom di dalam inti sel tubuh manusia, maka yang 44 buah (22 pasang) merupakan autosom.
2. Gonosom (seks kromosom), ialah sepasang kromosom yang menentukan jenis kelamin. Seks kromosom dibedakan atas dua macam, yaitu kromosom - X dan kromosom - Y.

Menurut Cambell *et al*., (2002), berdasarkan jumlah sentromer, kromosom, dibedakan menjadi 4, yaitu: 1) Monosentris: adalah kromosom yang hanya memiliki sebuah sentromer, 2) Disentris: adalah kromosom yang memiliki dua sentromer, 3) Polisentris: adalah kromosom yang memiliki banyak sentromer, dan 4) Asentris: adalah kromosom yang tidak memiliki sentromer.

2.6 Karyotipe

Karyotipe adalah gambar satu gugus lengkap kromosom yang telah disusun berdasarkan pasangan homolog dan jenisnya. Tujuan pembuatan karyotipe adalah untuk mempermudah mempelajari identitas kromosom (Jusuf, 2001). Pada sebagian besar hewan, semakin dekat kedudukan taksonominya semakin banyak persamaan bentuk, ukuran dan jumlah kromosomnya.

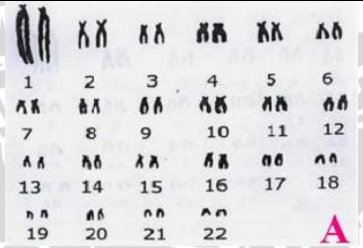
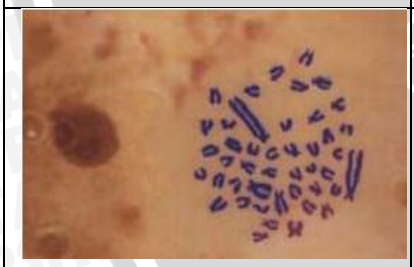
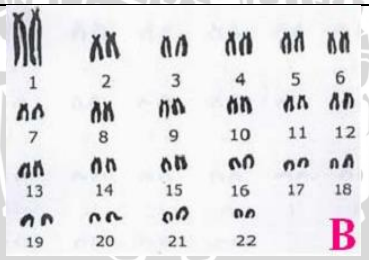
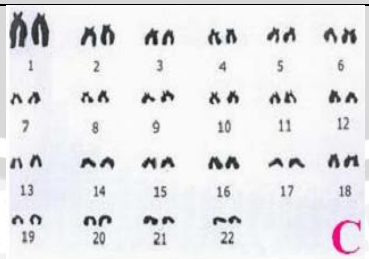
Kesamaan jumlah kromosom mungkin saja terdapat pada dua spesies yang berbeda dalam satu genus yang sama, tetapi ukuran, bentuk, dan susunannya (karyotipe) masing-masing spesies akan terlihat berbeda. Karyotipe ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi genetik hasil hibrid dan membandingkan spesies yang berbeda, sitogenetik yang meliputi sistematika, mutagenesis (Kligerman dan Bloom, 1977), evolusi, pengelolaan stok ikan, dan pencemaran lingkungan (Chourrout dan Happe, 1986). Selain itu karyotipe juga dapat digunakan untuk mngetahui penyebab terjadinya penyakit, identifikasi spesies, mutasi kromosom, identifikasi hibrid dari persilangan, penentuan jenis kelamin, dan identifikasi ploidi suatu organisme (Carman, 1990).

Mengetahui dan mendapatkan bentuk, ukuran serta susunan kromosom dilakukan dengan membuat preparat kromosom terlebih dahulu. Pembuatan preparat kromosom ini secara umum dilakukan melalui dua cara, yaitu: 1) membuat preparat kromosom dengan langsung mengambil organ-organ dari tubuh ikan (teknik jaringan padat), dan 2) melalui kultur jaringan atau kultur sel (Carman, 1990). Untuk cara yang pertama ini memiliki keunggulan, dimana ini relatif mudah dan murah dilakukan, sedangkan cara kedua lebih susah pengerjaannya dan memerlukan biaya yang relatif lebih mahal akan tetapi untuk mendapatkan kromosom pada saat metafase lebih baik hasilnya (Cook, 1978).

Pada pembuatan kromosom, sampel yang akan digunakan sebaiknya berasal dari jaringan atau sel yang aktif membelah, seperti: ginjal, insang, sirip. Sedangkan untuk sel yang tidak aktif membelah dapat dilakukan dengan mengkultur jaringan tersebut secara in vitro untuk merangsang agar sel tersebut lebih sering membelah, seperti kultur darah (Sharma, 1976).

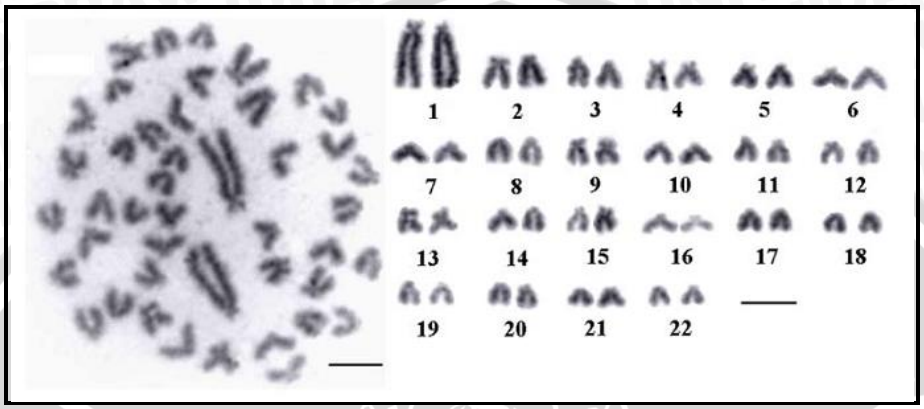
Pada penelitian yang dilakukan oleh Sofy *et al*., (2008), penyebaran metafase kromosom dari spesies Tilapia berdasarkan morfologi kromosom yaitu berjumlah 2n = 44 (lihat Gambar 10). Dimana pada gambar 10 dikelompokan

kromosom berdasarkan letak sentromernya yaitu Metasentrik, Submetasentrik, Subtelosentrik, Telosentrik. Karyotipe dari *Oreochromis niloticus* (Gambar A) yang terdiri dari sepasang submetasentrik (kromosom no 2.); 13 pasang sub-telosentrik (1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14) dan 8 pasang kromosom telosentrik (Nomer 15, 16,17,18,19,20,21,22). Karyotipe dari *Sarotherodon galilaeus* (Gambar B) yang terdiri dari 1 pasang metasentrik (nomer 7), submetasentrik (nomor 3, 4, 5, 6, 8, 9); 7 pasangan subtelocentrik (1, 2, 10, 11, 12, 14, 15) dan 8 pasang kromosom telosentrik (13, 16, 17, 18, 19, 20, 21 dan 22). Karyotipe dari *Tilapia zillii* (Gambar C) yang terdiri dari 10 pasang submetasentrik; 5 pasang subtelocentric dan 7 pasang kromosom telosentrik.

Gambar Kromosom	Karyotipe	Klasifikasi
		Phylum : Chordata Kelas : Osteichthyes Order : Perciformes Famili : Cichlidae Genus : Oreochromis Nama Ilmiah : *Oreochromis niloticus*
		Phylum : Chordata Kelas : Osteichthyes Order : Perciformes Famili : Cichlidae Genus : Oreochromis Nama Ilmiah : *Sarotherodon galilaeus*
		Phylum : Chordata Kelas : Osteichthyes Order : Perciformes Famili : Cichlidae Genus : Oreochromis Nama Ilmiah : *Tilapia zillii*

Gambar 10. Karyotipe dari A = *Oreochromis niloticus,* B = *Sarotherodon galilaeus*, C = *Tilapia zillii* (Sofy *et al*., 2008).

Pada penelitian Zhu *et al*., (2010), karyotipe dari *Oreochromis mossambicus* terdiri dari 22 pasang kromosom (2n = 44), dimana terdiri dari 3 pasang kromosom submetasentrik, 12 pasang kromosom subtelosentrik, dan 7 pasang kromosom telosentrik (lihat Gambar 11).



Gambar 11. Karyotipe Kromosom Ikan Mujair (*Oreocromis mossambicus*) (sumber: Zhu *et al*., 2010)

Menurut De Robertis dan De Robertis (1988), fungsi dari tiap kromosom berbeda-beda, misalnya yaitu pada kromosom nomor 13, 14, 15, 21, dan 22 yaitu berfungsi sebagai penyelenggaraan nukleolus pada organisme. Pada kromosom nomor 1, 7, dan 9 berfungsi sebagai penentuan golongan darah pada gen, yaitu gen dari golongan darah ABO berada di ujung distal lengan panjang kromosom 9, gen faktor darah RH adalah di lengan pendek kromosom 1, dan gen histon berada di lengan pendek kromosom 7. Menurut Avise (1998), Gen yang menyebabkan beragam kasus retinitis pigmentasi telah ditetapkan pada kromosom 3, 6, 7, 8, 11, 14, 16, dan X. Masing-masing mutasi dari satu atau lebih gen dapat disebabkan oleh kelainan kromosom manusia yang mengakibatkan penyakit pada manusia, yaitu:

- Kromosom 1: Hypophosphatasia. Hal ini menyebabkan cacat genetik pada mineralisasi tulang biasanya ditularkan sebagai alel resesif, dan dapat mengakibatkan gejala yang mungkin termasuk tulang cacat dan prematur kehilangan gigi sulung pada anak.

- Kromosom 2: Precocious puberty. Alel dominan untuk kondisi ini dinyatakan hanya pada laki-laki dan hasil dalam tingkat awal produksi testosteron. Anak laki-laki yang terkena umumnya menunjukkan tanda-tanda pubertas pada usia empat tahun. Kondisi ini mencontohkan konsekuensi fisiologis yang mendalam terkadang akibat yang terkecil dari perubahan genetik.
- Kromosom 3: Postanesthetic apnea. Mutasi resesif untuk kondisi ini juga melibatkan substitusi nukleotida tunggal bahwa dalam kasus ini mengarah ke perubahan dalam transmisi impuls saraf dalam menanggapi rangsangan kimia tertentu.
- Kromosom 5: Cri-du-chat syndrome. Dinamakan raungan yang mengerikan "teriakan kucing" oleh bayi penderita, sindrom ini termasuk yang paling umum (satu di 50.000 kelahiran) dari gangguan genetik manusia disebabkan oleh penghapusan kromosom parsial. Penderita mengalami retardasi mental dan memiliki lipatan mata menonjol, wajah kecil, dan jembatan hidung menonjol. Komplikasi medis lainnya dari penyakit ini sering menyebabkan kematian pada masa bayi atau anak usia dini.
- Kromosom 6: Salla disease. Gangguan dalam kemampuan tubuh untuk memproses dan menyimpan asam sialic menghasilkan gejala yang terlihat dari otot yang buruk dan gerakan tidak terkoordinasi mulai dari 6-9 bulan. sekitar sepertiga pasien tidak pernah belajar berjalan, dan proporsi yang sama kehilangan kapasitas untuk memproduksi (tetapi tidak memahami) kata-kata. orang dewasa menderita pertumbuhan yang lamban dan fungsi mental, dan IQ orang dewasa berada di kisaran 20 sampai 40. umur muncul sedikit diperpendek oleh penyakit, dan satu orang hidup sampai usia 72.
- Kromosom 7: Cystic fibrosis (CF). Keringat berlebihan adalah salah satu manifestasi fibrosis kistik, gangguan fatal yang paling umum disebabkan oleh sebuah alel resesif autosomal pada populasi Kaukasia (insiden tersebut

adalah satu sekitar 2.500 kelahiran hidup). Sekresi lendir yang tebal, sering mengancam jiwa, dengan dipengaruhi oleh penyumbatan paru-paru pada anak-anak.

- Kromosom 10: Porphyria. gangguan metabolisme porfirin memberikan contoh lain kondisi dengan etiologi yang kompleks yang dapat melibatkan mutasi pada salah satu dari beberapa gen, dalam hal ini mereka yang terlibat dalam kemampuan tubuh untuk memproduksi hemoglobin (pembawa oksigen molekul dalam darah). Berbagai bentuk gejala porphyria bervariasi dalam tingkat keparahannya, tetapi semua cenderung berhubungan dengan anemia, insomnia, penurunan kesadaran, dan keras kepala.
- Kromosom 14: Alzheimer disease. Penyakit ini umum diderita oleh orang tua, ditandai dengan akumulasi amiloid (pati-suka) plak di otak. Mutasi pada beberapa kode gen protein, khususnya satu pengkodean sebuah protein prekursor amiloid pada kromosom 21, diketahui memberikan kontribusi pada perkembangan kondisi alzheimer. Bentuk penyakit yang terkait dengan kromosom 14 menunjukkan onset relatif awal, sering sebelum usia enam puluh. gen lain yang terlibat dalam bentuk keluarga dari penyakit alzheimer telah dipetakan ke kromosom 1 dan 19, dan untuk DNA mitokondria.
- Kromosom 15: Marfan syndrome. Kondisi ini pertama digambarkan pada tahun 1896 pada seorang gadis lima tahun, Gabrielle, yang memiliki anggota tubuh tidak proporsional panjangnya, jari laba-laba (arachnodactyly), postur tinggi, kelengkungan tulang belakang, dan kontraktur sendi jari tangan dan lutut. Kondisi lain biasanya terkait dengan kelainan Sindrom Marfan dari bagian thalamus otak bagian depan. Gen yang bertanggung jawab berada pada kromosom 20, kode untuk protein "prion" fungsi tidak pasti, dan juga terlibat dalam beberapa penyakit genetik lain dari thalamus.
- Kromosom 21: Down syndrome. Kelainan genetik ini melibatkan kelainan kromosom di mana pasien membawa tiga salinan dari bagian kritis

kromosom 21, bukan dua biasanya. Ciri fisik dan fisiologis dari sindrom Down termasuk anomali kraniofasial dan neurologis yang khas yang berasal dari ketidakseimbangan metabolik akhirnya karena salinan gen ekstra dan produk protein mereka. Diagnosis prenatal melalui amniosentesis atau skrining serum yang tersedia, dan disarankan terutama untuk wanita umur tiga puluh lima tahun dan lebih tua dimana risiko terhadap janin meningkat secara dramatis.

- Kromosom 22: DiGeorge syndrome. Jika duplikasi kromosom dapat menghasilkan gangguan medis, seharusnya tidak mengherankan bahwa hilangnya sebagian atau lengkap dari kromosom dapat melakukan hal yang sama. Kasus pada jalur melibatkan sindrom DiGeorge dan penyakit yang terkait disebabkan penghapusan atau mikrodelesi (minimal panjang 300.000 nukleotida) dari segmen DNA pada kromosom 22. Penyakit komplek yang halus yang dikenal sebagai CATCH-22. yang "22" singkatan lokasi kromosom, dan "CATCH" adalah singkatan untuk membantu dokter mengingat lima gejala, ciri=cirinya yaitu: malformasi jantung, penampilan wajah yang tidak normal, cacat kelenjar timus, sumbing, dan hipokalsemia (kadar kalsium rendah dalam darah).

2.7 Mutasi Kromosom

Perubahan organisme terjadi akibat adanya perubahan bahan genetik yang disebut dengan mutasi. Mutasi pada tingkat kromosom secara garis besar dapat dibagi menjadi dua, yaitu: perubahan struktur atau penataan kembali kromosom, dan perubahan jumlah kromosom. Adapun faktor-faktor yang dapat menyebabkan mutasi tersebut seperti bahan-bahan kimia, radiasi, perubahan lingkungan dan faktor-faktor lainnya (Jusuf, 2001). Gangguan fisik dan kimiawi, dan juga kesalahan-kesalahan selama miosis, dapat merusak kromosom dengan berbagai cara atau mengubah jumlahnya di dalam satu sel. Perubahan tersebut bisa terjadi pada jumlah dan struktur kromosomnya (Campbell *et al*., 2002).

2.7.1 Mekanisme Kerusakan Kromosom

Penyebab kerusakan kromosom dalam lingkungan dapat bersifat fisik, kimia, dan biologis. Pada lingkungan perairan banyak terdapat pencemaran terutama adanya logam berat. Logam berat dapat bersifat racun dalam tubuh. Daya racun yang dimiliki akan bekerja sebagai penghalang kerja enzim, sehingga proses metabolisme tubuh terputus. Logam berat ini akan bertindak sebagai penyebab alergi, mutagen, teratogen atau karsinogen bagi makhluk hidup yang terkena logam berat. Jalur masuknya adalah melalui kulit, pernapasan dan pencernaan (Daud, 2009).

Logam berat yang menyebabkan mutagen ini akan mengakibatkan abnormalitas karena mutagen adalah suatu perubahan yang terjadi pada bahan genetik yang menyebabkan perubahan ekspresinya. Logam berat dalam tubuh berbentuk ion dan melalui sistem transpor aktif inilah ion bisa masuk ke dalam membran. Ion yang sudah masuk dalam membran akan meradikal bebas pada apa saja yang ditemuinya termasuk pada kromosom yang ada di dalam inti sel (nukleus). Saat ion ini menabrak DNA mereka bisa merusak gen. Kerusakan gen ini bisa berupa pengubahan kode gen dan akan menyebabkan mutasi. Ada suatu enzim yang selalu mengawasi dan melindungi DNA dan enzim inilah yang akan memperbaiki kerusakan gen, tetapi saat kerusakannya parah dan tidak bisa diatasi oleh enzim tersebut maka P-53 mengambil kendali. Saat P-53 mengambil kendali maka saat itulah enzim perusak akan datang. Enzim perusak ini akan memotong-motong rangkaian gen sehingga kode gen bisa mengalami kelainan yang sering disebut sebagai aberasi kromosom (Campbell *et al.*, 2002).

Penyebab mutasi dalam lingkungan yang bersifat kimiawi disebut juga mutagen kimiawi. Mutagen-mutagen kimiawi tersebut dapat dipilah menjadi 3 kelompok, yaitu analog basa, agen pengubah basa dan agen penyela. Senyawa yang merupakan contoh analog basa adalah 5-Bromourasil (5 BU). 5-BU adalah

analog timin. Dalam hubungan ini posisi karbon ke-5 ditempati oleh gugus brom padahal posisi itu sebelumnya ditempati oleh gugus metil. Keberadaan gugus brom mengubah distribusi muatan serta meningkatkan peluang terjadinya tautomerik. Senyawa yang tergolong agen pengubah basa adalah mutagen yang secara langsung mengubah struktur maupun sifat kimia dari basa, yang termasuk kelompok ini adalah agen deaminasi, agen hidroksilasi serta agen alkilasi. Perlakuan dengan asam nitrit, misalnya, terhadap sitosin akan menghasilkan urasil yang berpasangan dengan adenin sehingga terjadi mutasi dari pasangan basa S-G menjadi T-A. Agen hidroksilasi adalah mutagen hydroxammin yang bereaksi khusus dengan sitosin dan mengubahnya sehingga sitosisn hanya dapat berpasangan dengan adenin. Sebagai akibatnya terjadi mutasi dari SG menjadi TA. Agen alkilasi mengintroduksi gugus alkil ke dalam basa pada sejumlah posisi sehingga menyebabkan perubahan basa yang akibatnya akan terbentuk pasangan basa yang tidak lazim. Senyawa yang tergolong agen interkalasi akan melakukan insersi antara basa-basa yang berdekatan pada satu atau kedua unit DNA. Contoh agen interkalasi adalah proflavin, aeridine, ethidium bromide, dioxin dan ICR-70 (Pendidikan Biologi, 2010).

2.7.2 Perubahan Jumlah Kromosom

Menurut Jusuf (2001), jumlah kromosom dapat berubah, bertambah atau berkurang, perubahan seperti ini diamati terutama pada organisme eukariot tingkat tinggi, seperti tanaman dan hewan. Terdapat dua jenis perubahan jumlah kromosom, pertama ialah penambahan atau pengurangan satu atau beberapa kromosom pada satu ploidi menghasilkan organisme aneuploid, dan yang kedua ialah penambahan atau kehilangan keseluruhan kromosom dalam satu ploidi menghasilkan organisme euploid.

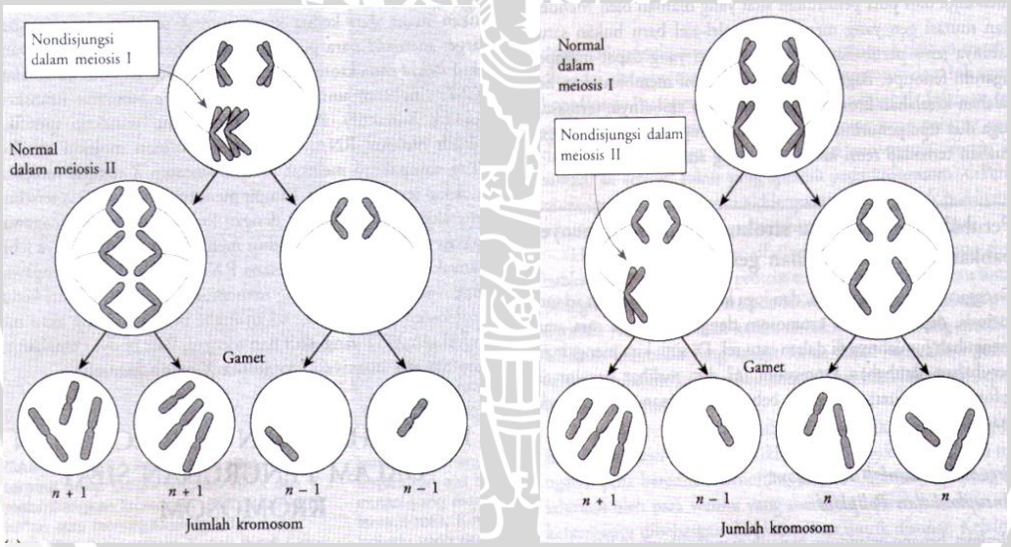
a. Aneuploidi

Organisme aneuploid adalah organisme yang kandungan kromosom dalam inti selnya tidak merupakan kelipatan dari jumlah kromosom haploidnya. Ketidak genapan jumlah kromosom tersebut disebabkan oleh adanya penambahan atau kehilangan satu atau beberapa kromosom pada genomnya. Yang paling banyak ditemui ialah individu dengan penambahan atau pengurangan satu kromosom. Dengan penambahan satu kromosom (2n + 1) maka dalam inti akan ada satu nomor kromosom dengan tiga homolog (trisomi), sedangkan nomor yang lainnya tetap mengandung dua kromosom. Kebalikannya melalui pengurangan satu kromosom (2n-I) akan dihasilkan individu monosomik, yaitu ada satu kromosom tanpa pasangan homolognya.

Individu aneuploid akan menghasilkan beragam gamet, yaitu gamet normal (n), gamet yang kehilangan satu kromosom (n-I) atau memperoleh tambahan satu kromosom (n+I), dan turunannya akan beragam. Perpaduan bebas gamet-gamet tersebut akan menghasilkan individu normal (2n), monsomi (2n-I), trisomi (2n+I), tetrasomik 2(n+I), atau individu nulisomik 2(n-I).

Menurut Campbell *et al*., (2002), bila benang-benang meiotik mendistribusikan kromosom pada sel-sel anak tanpa kesalahan. Tetapi ada kalanya kecelakaan disebut nondisjungsi, di mana bagian-bagian dari sepasang kromosom yang homolog tidak bergerak memisahkan dari sebagaimana mestinya pada waktu meiosis I, atau dimana kromatid saudara gagal berpisah salama meiosis II. Pada kasus ini, satu gamet menerima dua jenis kromosom yang sama dan satu gamet lainnya tidak mendapat salinan sama sekali. Kromosom-kromosom lainnya biasanya terdistribusi secara normal. Jika salah satu diantara gamet-gamet yang menyimpang ini bersatu dengan gamet normal pada waktu pembuahan, keturunannya akan memiliki jumlah kromosom yang tidak normal, disebut aneuploid. Jika kromosom hadir dalam bentuk triplikat

(rangkap tiga) di dalam telur yang telah dibuahi (sehingga sel mempunyai jumlah total kromosom 2n+1), sel aneuploidnya disebut trisomik. Jika satu kromosom hilang (sehingga sel memiliki jumlah kromosom 2n-1), maka sel aneuploidnya disebut monosomik untuk kromosom. Kemudian mitosis akan meneruskan anomali ini ke semua sel embrionik. Jika organisme tersebut mampu bertahan hidup, organisme tersebut memperlihatkan sejumlah gejala yang disebabkan oleh abnormalnya jumlah gen yang terletak pada kromosom tambahan atau kromosom yang hilang tersebut. Nondisjungsi dapat juga terjadi selama mitosis. Jika kesalahan seperti itu berlangsung diawal-awal perkembangan embrionik, maka kondisi aneuploid ini diteruskan oleh mitosis kepada sejumlah besar sel dan ini bisa berdampak besar bagi organisme tersebut (lihat Gambar 12).



a b.

Gambar 12. Nonjdisjungsi meiotik. a) Homolog dapat gagal berpisah selama anafasemeiosis I, atau b) kromatid gagal berpisah selama anaphase dari meiosis II. Kedua tipe kesalahan meiotik tersebut akan menghasilkan gamet dengan jumlah kromosom yang tidak normal (Campbell *et al.*, 2002).

b. Euploidi

Menurut Jusuf (2001), perubahan euploid ialah perubahan jumlah kromosom pada tingkat ploidi atau genom. Makhluk-makhluk euploid mempunyai

jumlah kromosom yang merupakan kelipatan jumlah kromosom sel haploid. Misal (n) adalah jumlah kromosom pada sel haploid, maka euploid yang mungkin muncul yang berjumlah kromosom n (monoploid), 2n (diploid), 3n (triploid), 4n (tetraploid), dan seterusnya.

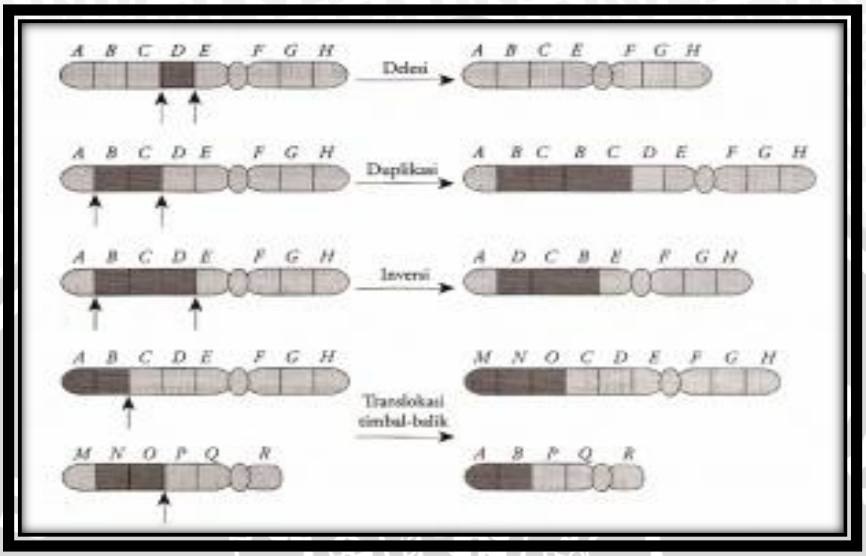
Menurut E-dukasi.net (2011), euploidi dibedakan lagi menjadi autopoliploid dan alopoliploid, yaitu sebagai berikut:

1. Autopoliploid (auto = sendiri) merupakan kelipatan jumlah kromosom yang berasal dari genom spesies yang sama. Autopoliploid terdiri dari beberapa genom yang identik dengan kromosom-kromosom aslinya.
c. Alopoliploid (allo = berbeda) merupakan kelipatan jumlah kromosom yang berasal dari genom spesies yang berbeda. Terbentuknya spesies alopoliploid ini berasal dari persilangan antara dua spesies. Meski hasil persilangan itu steril, akan tetapi individu tersebut dapat lebih kuat (vigor) dibanding induknya dan dapat mengalami perbanyakan secara tidak kawin.

2.7.3 Perubahan Struktur Kromosom

Perubahan struktur kromosom dipengaruhi oleh adanya proses pindah silang kromosom, delesi, duplikasi, inversi, translokasi, dan pengaruh posisi terhadap ekspresi gen (Jusuf, 2001). Aberasi kromosom yang mungkin dapat terjadi adalah 1) fragmen asentrik yaitu terjadinya delesi atau patahnya bagian kecil atau fragmen lengan kromosom yang tidak mengandung sentromer, 2) “ring” atau kromosom bentuk cincin yang merupakan hasil penggabungan dua lengan yang mengalami delesi pada kromosom yang sama, 3) disentrik berupa kromosom dengan dua buah sentromer sebagai hasil penggabungan dua buah kromosom yang mengalami patah, dan 4) translokasi yaitu terjadinya perpindahan atau pertukaran fragmen dari dua atau lebih kromosom (Alatas, 2003).

Perubahan struktur kromosom merupakan penataan kembali struktur kromosom akibat terjadinya delesi, duplikasi, inversi, dan translokasi kromosom (lihat Gambar 13).



Gambar 13. Perubahan Struktur Kromosom (Sumber: Campbell, *et al*.,2002)

Menurut Campbell *et al,*. (2002), Pada Gambar 13 dijelaskan bahwa tanda panah vertical menunjukan titik pemutusan kromosom. Warna gelap adalah gen-gen yang dipengaruhi oleh penyusunan kembali kromosom. A) Delesi menghilangnya salah satu segmen kromosom. B) Duplikasi mengulang segmen kromosom. C) Suatu invers membalik segmen di dalam kromosom. D) Translokasi memindahkan salah satu sekmen dari salah satu kromosom ke kromosom lain yang tidak homolog. Tipe tranlokasi yang paling umum adalah tibal balik, dimana kromosom nonhomolog bertukar frakmen. Translokasi nontribal-balik, dimana kromosom mentransfer frakmen tanpa menerima frakmen kembali, juga dapat terjadi.

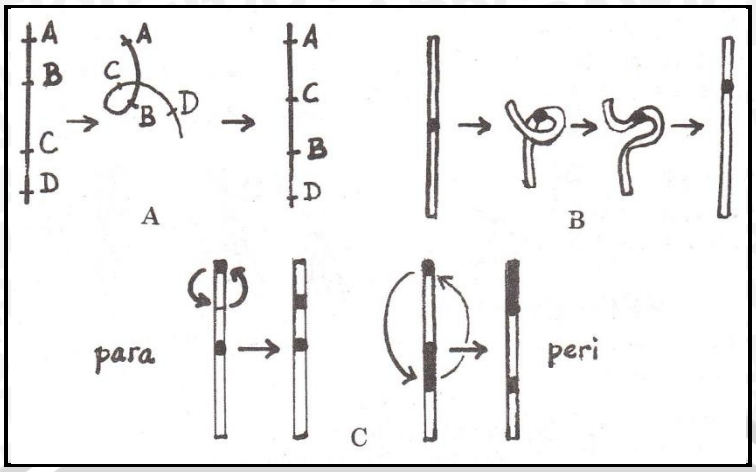
Menurut Yatim (2003), perubahan genetis bisa pula terjadi karena kromosom sendiri yang rusak, yaitu sebagian batang tubuhnya lepas, berpilin,

melekat kembali dengan letak terbalik, atau pindah ke kromosom lain. Kromosom yang mengalami pelepasan bagian tubuhnya, ketika terjadi pembelahan sel yang bersentromer akan menggantung pada serat gelendong, sedangkan yang tidak bersentromer akan hancur. Suatu sel somatis memiliki kromosom yang mengalami kerusakan (fragmentasi), kalau sel itu tidak sedang membelah, fragmen itu akan tetap hadir dalam sel dan masih bisa berfungsi melakukan transkripsi. Baru kalau sel itu membelah fragmen yang tak bersentromer tadi akan hancur, dan pada sel anaknya akan terlihat akibat fragmentasi, jika fragmen itu mengandung gen-gen yang penting. Kerusakan itu dibedakan atas beberapa macam, yaitu:

- Inversi

Terjadinya inversi dikarenakan kromosom berpilin, dan bagian yang berpilin itu akan menjadi terbalik. Gen-gennya pun berpindah lokus. Meski susunan kimia (ADN) tetap, tetapi terjadi apa yang disebut dengan “Position Effect, yakni akibat berubahnya letak gen pada kromosom. Berubahnya zat kimia jika lingkungan atau sekitarnya juga ikut berubah, dan akan berubah pula susunannya meski perubahan itu tidaklah besar (ihat Gambar 14 A). Contoh “Position Effect” yaitu di jumpai pada warna mata, yaitu menumbuhkan warna mata merah, berpindah letak karena inversi menyebabkan warna mata itu putih berbintik-bintik merah (mosaik). Muatan gen dan panjang kromosom tetap oleh adanya inversi, tetapi sentromer sering berubah letak. Dengan demikian bentuk kromosom itu bisa berubah, misalnya dari kromosom metasentrik menjadi kromosom akrosentrik (lihat Gambar 14 B).

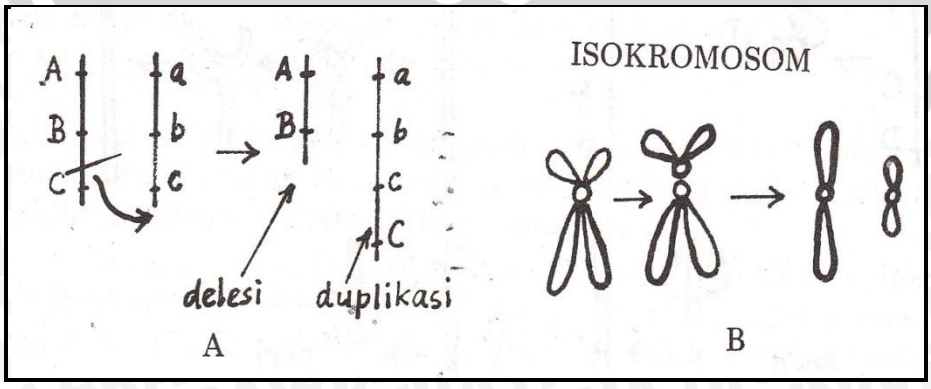
Melihat pada letak fragmen yang berinversi terhadap sentromer, dapat dibagi menjadi dua macam inversi, yaitu inversi parasentrik dan inversi perisentrik. Inversi parasentrik yaitu pembalikan fragmen kromosom terbatas pada satu lengan saja, sedangkan inversi perisentrik yaitu pembalikan fragmen melewati sentromer (lihat Gambar 14 C).



Gambar 14. Inversi Kromosom (Sumber: Yatim, 2003)

- Duplikasi dan Delesi

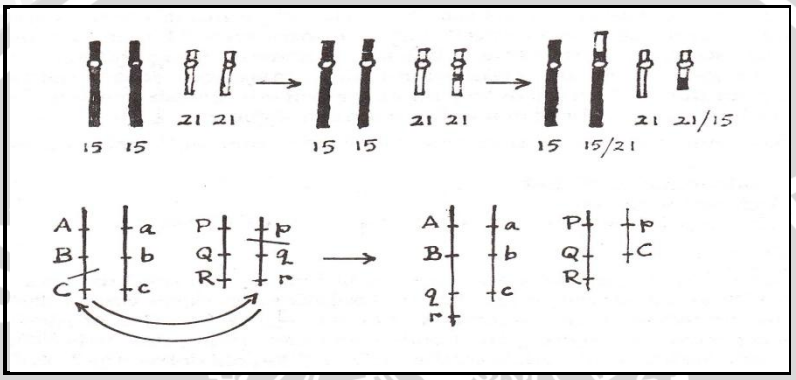
Terjadinya duplikasi dan delesi dikarenakan suatu kromosom patah, kemudian patahan tersebut melekat kembali, tetapi melekat ke kromosom homolog sebelahnya, sehingga kromosom homolog yang satu akan kekurangan, yaitu disebut delesi, dan yang satu mengalami penggandaan, yaitu disebut duplikasi. Duplikasi dan delesi sering terjadi karena peristiwa isokromosom. Peristiwa ini terjadi ketika meiosis II, dimana kromatid berpisah bukan secara longitudinal pada sentromer, tetapi secara transversal. Hal ini menyebabkan terbentuknya dua kromosom anak yang memiliki kedua belah lengan yang sama (iso). Jadi masing-masing sekaligus duplikasi dan delesi (lihat Gambar 15).



Gambar 15. Duplikasi dan Delesi Kromosom (Sumber: Yatim, 2003)

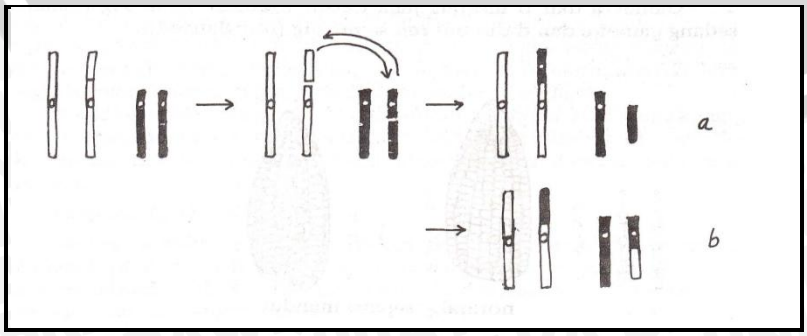
- Translokasi

Terjadinya translokasi dikarenakan suatu kromosom yang patah, dan patahan itulah yang akan melekat ke kromosom yang tidak homolog dengan kromosom induk. Patahan ini, begitu juga perlekatan kembali berlangsung timbal balik, dari satu kromosom homolog ke kromosom lain yang homolog pula. Patahan dan perpindahan patahan yang timbal balik ini disebut translokasi (trans = pindah) (lihat Gambar 16).



Gambar 16. Translokasi kromosom (sumber: Yatim, 2003)

Melihat dari adanya sentromer pada translokasi patahan kromosom tersebut dapat dibagi atas dua macam, yaitu aneusentrik dan eusentrik. Aneusentrik yaitu translokasi yang menimbulkan adanya kromosom baru yang tidak bersentromer, sedangkan yang lain mengandung dua sentromer. Eusentrik yaitu translokasi yang sentromernya tetap hadir pada kromosom baru (lihat Gambar 17).



Gambar 17. a. Aneusentrik dan b. eusentrik (Sumber: Yatim, 2003)

Menurut Barch (1991) dan Passarge (2007), tipe-tipe aberasi kromosom yaitu sebagai berikut:

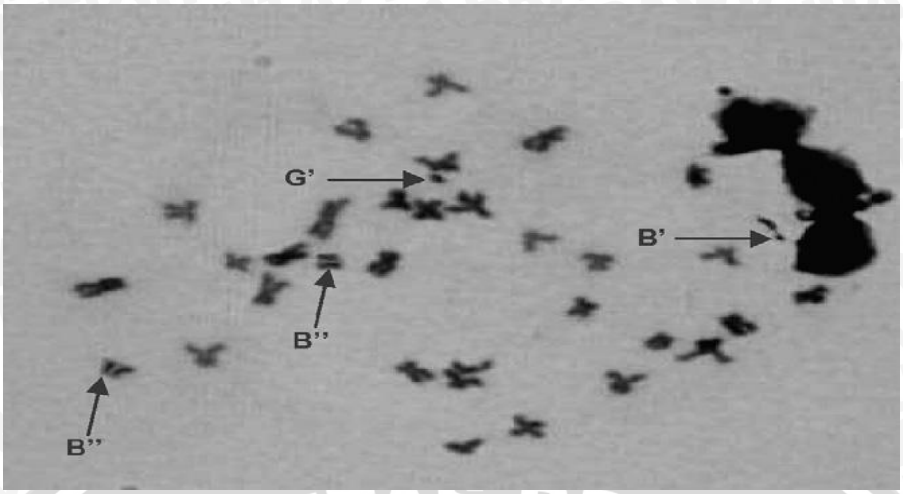
a. Delesi kromosom adalah perubahan struktur normal kromosom karena hilangnya suatu segmen dari kromosom karena patahnya kromosom tersebut. Delesi dapat terjadi pada bagian ujung kromosom (delesi terminal) atau pada segmen antara kromosom (delesi intersisial).
b. Duplikasi kromosom utamanya terjadi sebagai supernumerari kromosom kecil.
c. Isokromosom adalah duplikasi lengan kromosom yang terjadi jika suatu kromosom normal terbelah secara transversal atau longitudinal sehingga salah satu lengannya hilang kemudian terjadi penggabungan dua lengan panjang atau lengan pendek dimana lengan lainnya berasal dari kromosom lain.
d. Inversi adalah perubahan segmen kromosom akibat patahnya kromosom pada dua sisi yang berbeda diikuti dengan penggabungan segmen-segmen secara terbalik. Berdasar pada ikut atau tidaknya sentromer dalam segmen yang terbalik maka inversi terbagi dua yaitu inversi perisentrik (melibatkan sentromer) dan inversi parasentrik (tidak melibatkan sentromer).
e. Kromosom cincin terjadi karena patahnya kedua ujung suatu kromosom yang diikuti dengan penggabungan kedua ujung kromosom yang tertinggal.
f. Translokasi adalah pertukaran materi genetik antara dua atau lebih kromosom nonhomolog yang dapat terjadi karena adanya dua atau lebih patahan kromosom pada waktu yang bersamaan.

2.7.4 Karakteristik Kromosom yang Terkena Bahan Pencemar

Proses perubahan material genetik dapat terjadi pada tingkat gen maupun tingkat kromosom. Dimana perubahan material genetik ini dapat terjadi secara spontan maupun adanya rangsangan dari luar (lingkungan). Perubahan secara

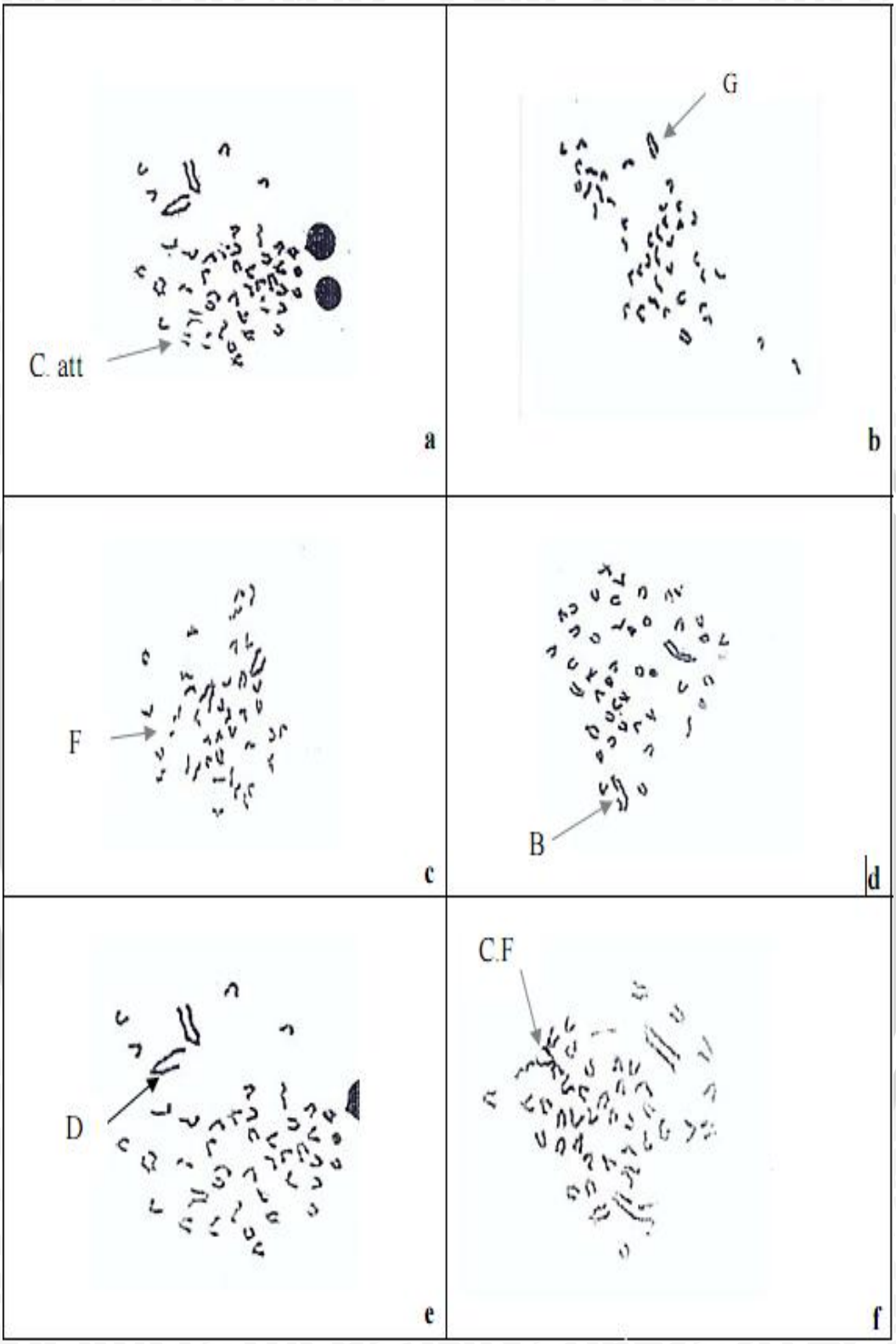
spontan terjadi pada saat proses replikasi atau pada saat pembelahan sel. Sedangkan rangsangan dari luar yang dapat mempengaruhi perubahan genetik adalah berupa bahan-bahan kimia, faktor fisika, dan faktor biologi. Proses mutasi yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan (fisika, kimia) ini dapat menghambat proses pembelahan sel baik pada saat meiosis maupun pada saat mitosis sehingga proses yang seharusnya dapat berjalan dengan semestinya menjadi terganggu, yang pada akhirnya akan mengakibatkan perubahan di dalam komposisi gen dari suatu kromosom dibandingkan dengan kromosom ikan yang hidup dilingkungan sesuai dengan habitat hidupnya dan tidak tercemar. Menurut Wetter dan Constabel (1991), unsur-unsur logam berat seperti Cu, Cd, Pb, dan Hg dalam jumlah tertentu telah terbukti dapat menyebabkan kelainan sitogenetik yang dapat menghambat pembelahan mitosis, penurunan indeks mitosis dan aberasi kromosom.

Berdasarkan penelitian Yadav dan Trivedi (2009), berjudul “Aberasi Kromosom Pada Ikan *Channa punctata* Setelah Perlakuan Invivo Terhadap Tiga Logam Berat”. Penelitian ini disusun mengkaji secara luas mengenai aberasi kromosom dengan tiga komponen logam berat yang umum ada di perairan yaitu merkuri klorida, arsenik trioksida dan tembaga sulfat pentahidrat. Hasil penelitian yang didapat bahwa konsentrasi toksisitas yang lebih tinggi dapat menghalangi divisi sel normal, merusak kromosom dan melarang duplikasi DNA, kerusakan ini bisa mengakibatkan aberasi kromosom. Aberasi kromosom meningkat setelah perlakuan dengan pemberian logam berat dan menurun setelah 72 jam setelah pemberian logam berat. Aberasi kromosom ini menyebabkan kerusakan seperti kepatahan/keretakan kromoatid (chromatid breaks/B’), kepatahan/ keretakan kromosom (chromosome breaks/B”), dan penggabungan kromatid (chromatid gap/G’) (lihat Gambar 18).



Gambar 18. Kromosom yang terpapar logam berat (Sumber: Yadav dan Trivedi, 2009)

Hasil penelitian Mahmoud *et al*., (2010), yaitu menunjukkan frekuensi kerusakan kromosom dengan menggunakan uji penyimpangan kromosom sel kepala ginjal pada ikan *Oreochromis niloticus* dan *Tilapia zillii* di sungai Nil, Mesir pada area yang terpolusi (Shanawan drainage canal) dan tidak terpolusi (Bahr Shebeen). Penelitian ini dilakukan pada 5 kelompok ikan, kontrol dan empat kelompok tercemar. Stasiun A dan B berada sebelum sumber debit limbah sedangkan C dan D stasiun terletak setelah sumber limbah. Penelitian ini menunjukkan bahwa jumlah kromosom diploid pada Ikan nila adalah 2n = 44. Tinggi persentase kelainan kromosom pada sel kepala ginjal *O. niloticus* dan *T. zillii* diamati dengan jelas dalam bentuk sentromerik redaman ("centromeric attenuation"), kromatid istirahat ("chromatid breaks"), kesenjangan kromatid ("chromatid gaps"), penghapusan kromatid ("chromatid deletions"), fusi sentris dan fragmentasi. Hasil saat ini mengungkapkan bahwa nilai-nilai dari berbagai jenis kelainan kromosom pada sel kepala ginjal *T. zillii* di daerah C dan D, hilir untuk sumber limbah (hampir dua kali lipat) daripada ikan di daerah A & B, hulu sumber limbah. Nilai penyimpangan mengungkapkan jumlah yang lebih tinggi yaitu *O. niloticus* daripada di *T.zillii* (lihat Gambar 19).



Gambar 19. Jenis aberasi kromosom dalam sel ginjal kepala *O. niloticus* Menampilkan metafase a-Centromeric attenution (C att); b-Gap (G); c-Fragmentasi (F); d-Break (B); e-Deletion (D); f-Centric Fusion (C.F) (Sumber: Mahmoud *et al*., 2010)

2.7.4 Mutagen Zat Kimia atau Faktor Fisik

Secara garis besar macam-macam mutagen dapat dibagi menjadi tiga (Scribd.com, 2011), yaitu sebagai berikut:

a. Bahan Fisika

Radiasi (penyinaran dengan sinar radio aktif); misalnya: sinar alfa, beta, gamma, ultraviolet, dan sinar x. Radiasi ultra ungu merupakan mutagen Penting untuk organisme uniseluler. Radiasi alamiah berasal dari sinar kosmis dari angkasa, benda-benda radioaktif dari kerak bumi, dan lain-lain. Gen-gen yang terkena radiasi, ikatannya putus dan susunan kimianya berubah dan terjadilah mutasi.

b. Mutasi Kimia

Mutagen kimia yang pertama kali ditemukan ialah gas mustard (belerang mustard) oleh C. Averbach dan kawan-kawan. Beberapa mutagen kimia penting lainnya ialah: gas metan, asam nitrat, kolkisin, digitonin, hidroksil amin, akridin, etilmetan sulfat (EMS),etiletan sulfonat (EES), 5-brorno urasil, 2-aminopurin dan lain-lain. Zat-zat kimia tersebut dapat menyebabkan replikasi yang dilakukan oleh kromosom yang mengalami kesalahan sehingga mengakibatkan susunan kimianya mengalami perubahan pula.

c. Temperatur

Kecepatan mutasi akan bertambah karena adanya kenaikan suhu. Setiap kenaikan temperatur sebesar 10 °C, kecepatan mutasi bertambah 2 - 3 kali lipat.

d. Mutagen

Salah satu mutagen yang banyak dimanfaatkan manusia dalam berbagai keperluan adalah radiasi. Perbuatan manusia yang menimbulkan radiasi dapat menyebabkan terjadinya mutasi misalnya: 1) penggunaan zat-zat kimia yang radioaktif atau radio isotop, 2) penggunaan bahan kimia dalam minuman dan makanan, 3) penggunaan sinar x dalam penelitian dan pengobatan, 4) kebocoran

radiasi dari pembuangan sampah-sampah industri, reaktor atom, roket, dan lain sebagainya, 5) penggunaan bom radioaktif.

Menurut Admin (2011), penyebab terjadinya mutasi disebut mutagen. Mutagen dapat berasal dari:

1. bahan fisika, misalnya radiasi yang dipancarkan oleh bahan radioaktif,
2. bahan kimia, misalnya fenol, benz pyrene, metil cholauthrene, metil Hg, pestisida, formaldehid, kolkisin,
3. bahan biologi, misalnya virus penyebab kerusakan kromosom. Virus hepatitis menimbulkan aberasi pada darah dan tulang.

3. MATERI DAN METODE

3.1 Materi Penelitian

Materi dalam Penelitian ini terdiri dari karakteristik kromosom ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*) yang terdapat di sungai Aloo Desa Penatarsewu, Kecamatan Tanggulangin, Kabupaten Sidoarjo yang telah tercemar oleh lumpur Lapindo. Parameter yang diukur meliputi faktor fisik yaitu suhu, dan faktor kimia yaitu derajat keasaman (pH), "Dissolved Oxygen" (DO), "Chemical Oxygen Demand" (COD), "Total Suspended Solid" (TSS), phenol, dan merkuri (Hg).

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian preparasi kromosom yaitu akuarium ukuran 15 x 10 x 15 cm, aerasi, scalpel, pinset, cawan petri, Gelas obyek, gelas gerus, pipet tetes, bunsen, jar, dan mikroskop DIC BX 51 (Olympus) (lihat Lampiran 1) .

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian kualitas air yaitu thermometer Hg, kotak standar, DO meter, cuvet, pipet tetes, pipet volume, buret, statif, reaktor COD, erlenmeyer, cawan Gooch, oven, desikator, timbangan alumunium, vakum, pengaduk magnetik, AAS, spektrofotometer U-Vis, gelas ukur, dan botol gelas.

3.2.2 Bahan Penelitian

Sampel ikan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu ikan mujair (*Oreochromis mossambicus*). Ikan mujair diperoleh dari sungai Aloo desa Penatarsewu, kecamatan Tanggulangin, kabupaten Sidoarjo (lihat Lampiran 1).

Bahan-bahan yang digunakan untuk membuat preparasi kromosom adalah larutan kolkisin 0,7%, metanol, kalium klorida (KCl) 0,075 M, asam asetat glasial (CH_3COOH), phospat bufer salin (PBS), giemsa, akuades, alkohol 70%, larutan carnoy (campuran metanol : asam asetat glasial dengan perbandingan 3 :1).

Bahan-bahan yang digunakan untuk uji kualitas air adalah kantong plastik, kotak kardus, Air sampel, pH paper, $HgSO_4$, kalium bikromat ($K_2Cr_2O_7$) 0,1 M, perak sulfat (H_2SO_4 + $AgSO_4$), $C_{12}H_8N_2$, $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$, aquades, kertas saring, NaOH, 4-amino antipyrine, $NaNO_2$, NaOH, H_2SO_4, kalium ferri sianida, asam sulfanilat, aquaregia deges.

3.3 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif yang bermaksud untuk membuat gambaran mengenai situasi atau kejadian-kejadian. Pada metode ini pengambilan data dilakukan tidak hanya terbatas pada pengumpulan dan penyusunan data, tapi juga meliputi analisis dan pembahasan dari data tersebut. Metode ini bertujuan untuk membuat penggambaran secara sistematis, nyata dan akurat mengenai fakta-fakta dan sifat-sifat populasi atau daerah tertentu (Suryabrata, 1994).

Data adalah informasi atau keterangan mengenai suatu hal yang berkaitan dengan tujuan penelitian. Dalam kegiatan penelitian ini, data yang dikumpulkan meliputi data primer dan data sekunder.

3.3.1 Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh dari atau dikumpulkan langsung di lapangan oleh orang yang melakukan penelitian atau yang bersangkutan yang memerlukannya. Data primer ini disebut juga data asli atau data baru (Hasan, 2002). Data primer adalah data yang diperoleh langsung dari sumbernya, diamati

dan dicatat untuk pertama kalinya (Marzuki, 1991). Dalam Penelitian ini, data primer yang diambil meliputi data karakteristik ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*), dan parameter fisika-kimia yang meliputi suhu, pH (derajat keasaman), "Dissolved Oxygen" (DO), "Chemical Oxygen Demand" (COD), "Total Suspended Solid" (TSS), phenol, dan merkuri (Hg). Data primer dalam penelitian ini berasal dari hasil observasi, dan wawancara.

a. Observasi

Observasi ini orang melakukan pengamatan dan pencatatan secara sistematis terhadap gejala/fenomena yang diselidiki. Jadi, tanpa mengajukan pertanyaan-pertanyaan (Marzuki, 1991). Dalam hal ini, metode observasi kami wujudkan dalam bentuk melakukan pencatatan terhadap semua hal atau keadaan yang ada di Sungai Aloo dan sekitarnya, seperti keadaan daerah aliran Sungai Aloo, fungsi dari Sungai Aloo bagi masyarakat sekitar, dan kondisi (biota, kualitas air dan lain-lain) yang ada di sungai Aloo.

b. Wawancara

Wawancara atau "interview" adalah suatu bentuk komunikasi verbal, jadi semacam percakapan yang bertujuan memperoleh informasi. Dalam wawancara, pertanyaan dan jawaban diberikan secara verbal. Biasanya komunikasi ini dilakukan dalam keadaan saling berhadapan, namun komunikasi dapat juga dilaksanakan melalui telepon. Seringkali interview dilakukan antara dua orang, tetapi dapat juga sekaligus diinterview dua orang atau lebih (Nasution, 2007).

3.3.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data primer yang diperoleh pihak lain (telah diolah) dan disajikan baik oleh pengumpul maupun pihak lain. Sebagai contoh seperti mass media, BPS, lembaga pemerintah atau swasta, lembaga peneliti, pusat bank data, hasil penelitian peneliti lain, peneliti kepustakaan (Mulyanto, 2008).

Kepentingan data sekunder adalah untuk membuat (a) latar belakang masalah penelitian (b) informasi alternatif yang dapat dibandingkan dengan informasi primer, sehingga diperoleh 'pemahaman' baru bagi periset. Sehingga laporan penelitian lebih memiliki dukungan data yang dapat memperkuat citra akademis (c) data sekunder dapat dijadikan sumber rujukan utama ketika peneliti hendak menginformasikan hal-hal yang bersifat makro (d) untuk jenis penelitian kepustakaan dan studi kajian buku (referensi), maka data sekunder merupakan informasi utama (Salim, 2009).

3.3.3 Penetapan Stasiun Penelitian

Penentuan stasiun pengambilan sampel ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*) di sekitar sungai Aloo Desa Penatarsewu, Kecamatan Tanggulangin, Kabupaten Sidoarjo yang disekitarnya terdapat perumahan, persawahan, dan pertambakan yang menggunakan perairan sungai Aloo. Sungai Aloo ini merupakan pertemuan antara Sungai Kali Tengah dan Sungai Kali Dawir di Kecamatan Tanggulangin Desa Penatarsewu yang memiliki panjang sekitar 20 km (lihat Lampiran 2).

Batas-batas dari Desa Penatarsewu yaitu sebagai berikut:

Sebelah Utara : Kecamatan Candi

Sebelah Selatan : Kecamatan Porong

Sebelah Timur : Kecamatan Candi dan Porong

Sebelah Barat : Kecamatan Tulangan

Batas-batas Desa Penatarsewu untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran 3.

3.4 Parameter Utama

3.4.1 Pengambilan dan Preparasi Jaringan

Pembuatan preparasi kromosom dilakukan dengan metode jaringan padat dengan mengikuti metode Kligerman dan Bloom (1977) yang telah dimodifikasi. Prosedur kerja Pengambilan dan Preparasi Jaringan yaitu sebagai berikut:

a. Ikan mujair diambil dari sungai dengan cara menjaring.
b. Ikan hidup direndam dalam larutan kolkisin 0,7 mg % selama 4 jam.
c. Setelah 4 jam, ikan dimatikan diambil insang.
d. Insang disimpan dalam larutan hipotonis dengan menempatkan di dalam cawan petri dan dimasukkan larutan 0,075 M KCl.
e. Insang digunting kecil-kecil, lalu digerus.
f. Setelah digerus sampai halus, dibiarkan dalam larutan hipotonis 0,075 M KCl selama 30 menit.
g. Dibuang supernatan (tanpa disentrifuse).
h. Ditambahkan larutan carnoy (3 : 1) sebanyak 2 cc, biarkan selama 30 menit, kemudian supernatan dibuang.
i. Ditambahkan larutan carnoy sebanyak 2 cc, biarkan selama 10 menit, kemudian supernatan dibuang.
j. Ditambahkan lagi larutan carnoy sebanyak 2 cc, biarkan selama 10 menit, kemudian supernatan dibuang.
k. Dan kemudian ditambahkan lagi larutan carnoy sebanyak 0,5 cc.
l. Dibuat preparat tiup.
m. Diwarnai dengan menggunakan giemsa selama 30 menit.
n. Dicuci dan dikeringkan, kemudian periksa di bawah mikroskop.

3.4.2 Pembuatan Preparat (Kligerman dan Bloom, 1977)

Prosedur kerja pembuatan preparat yaitu sebagai berikut:

a. Menyediakan gelas obyek.

b. Dibersihkan dengan alkohol 70%.
c. Diambil pipet tetes yang baru dan tidak patah.
d. Diaduk suspensi sel yang telah dibuat dengan cara menyedot dan meniupkan pipit tetes secara perlahan-lahan.
e. Diambil suspensi berlahan-lahan dengan pipet tetes agar tidak terjadi gelembung udara.
f. Diteteskan di atas gelas obyek sehingga berbentuk seperti ring, kemudian ditiup dan dipanaskan dengan bunsen burner sampai kering.
g. Mengulangi cara f tersebut sehingga didapat 3 ring di atas gelas obyek.
h. Dengan cara ini sel akan tertinggal sebagai lapisan tipis di atas gelas obyek, dan bila ada sel yang sedang membelah akan didapatkan kromosomnya.
i. Proses berikutnya adalah pewarnaan dengan giemsa.

3.4.3 Pewarnaan Dengan Giemsa (Kligerman dan Bloom, 1977)

Prosedur kerja Pewarnaan dengan Giemsa yaitu sebagai berikut:

a. Disiapkan larutan giemsa 10 ml, yaitu mencampurkan giemsa dan akuades dengan perbandingan 1 : 9.
b. Ditaruh preparat ke dalam jar dan direndam dalam larutan giemsa selama ± 30 menit pada suhu ruang.
c. Setelah 30 menit, preparat dibilas dengan akuades.
d. Dikeringkan pada suhu ruang.
e. Preparat siap diamati di bawah mikroskop dengan perbesaran 100, 400, dan 1000 kali untuk dihitung jumlah kromosom serta diamati bentuk dan ukurannya.
f. Difoto sebaran kromosom yang baik, hasilnya digunakan dalam penyusunan karyotipe ikan mujair.
g. Diidentifikasi kromosom yang didapat.

3.4.4 Karakteristik Kromosom

Karakteristik kromosom ditentukan berdasarkan morfologinya yaitu posisi sentromer dan panjang lengan kromosom berdasarkan Kirpichnikov (1979), yaitu sebagai berikut:

a. Jumlah masing-masing morfologi kromosom

   Ditentukan berdasarkan jumlah setiap morfologi kromosom yang didapatkan.

b. Jumlah total kromosom

   Ditentukan dengan menjumlahkan seluruh kromosom yang didapatkan.

c. Penyusunan karyotipe

   Dilakukan dengan mengurutkan kromosom berdasarkan morfologi kromosom (metasentrik, submetasentrik, subtelosentrik, dan telosentrik) serta ukuran kromosom dari besar ke kecil.

d. Pembuatan rumus kromosom

   Pembuatan rumus kromosom ini didasarkan pada nomenclature yang disusun oleh Leven *et al*, (1964), yang mengurutkan kromosom dari :

   1. Kromosom metasentrik, M (rasio panjang lengan 0,0 – 1,6).
   2. Kromosom submetasentrik, SM (rasio panjang lengan 1,7 – 2,9).
   3. Kromosom subtelesentrik, ST (rasio panjang lengan 3,0 – 6,9).
   4. Kromosom telosentrik, T (rasio panjang lengan 7,0 - ∞).

Pembuatan potongan individu kromosom dan penyusunan karyotipe ikan mujair dilakukan dengan bantuan program Adobe photoshop v 7.0.

3.4.5 Abnormalitas Kromosom

Identifikasi abnormalitas kromosom ditentukan berdasarkan Barch (1991) dan Passarge (2007). Adapun kerusakan kromosom dapat berupa delesi duplikasi, inversi, kromosom cincin, isokromosom, dan translokasi.

3.5 Metode Parameter Pendukung

3.5.1 Pengepakan Ikan (Sutisna dan Sutarmanto, 1995)

Prosedur kerja pengepakan ikan yaitu sebagai berikut:

a. Mempersiapkan kantong plastik, kemudian dimasukkan ke dalam kotak kardus.
b. Memasukkan air ke dalam kantong plastik.
c. Memasukkan ikan yang sudah disiapkan dan dihitung ke kantong plastik.
d. Memasukkan slang oksigen ke dalam kantong plastik. Sebelum diberi oksigen, udara dalam kantong tersebut dikeluarkan secara keseluruhan dengan cara dikempeskan. Selanjutnya, oksigen dimasukkan ke dalam kantong plastik sesuai dengan kebutuhan (perbandingan 1 : 1) melalui slang oksigen di atas permukaan air dengan tekanan yang kecil atau berlahan-lahan sebatas kebutuhan.
e. Mengikat kantong plastik dengan menggunakan tali (karet) secara rapi, dan dilakukan pengecekan kembali dari kemungkinan adanya kebocoran. Jika pengecekan sudah selesai, maka kotak kardus dapat ditutup dan diperkuat dengan menggunakan lem/lak ban yang selanjutnya dapat diberi tanda tentang pengangkutan ikan hidup.

3.5.2 Pegukuran Suhu Air (Standar Nasional Indonesia (SNI), 1990)

Prosedur kerja suhu air yaitu sebagai berikut:

a. Mencelupkan Thermometer Hg ke dalam air sampai batas skala baca. Diusahakan Thermometer tidak mengenai tangan dan pengukuran dilakukan dengan cara membelakangi sinar matahari.
b. Membiarkan Thermometer Hg selama 2-5 menit sampai skala suhu pada Thermometer menunjukkan angka yang stabil, pembacaan skala dilakukan tanpa mengangkat lebih dahulu Thermometer dari air.
c. Mencatat nilai pada Thermometer sebagai nilai suhu air.

3.5.3 Pengukuran Derajat Keasaman (pH) (SNI, 1990)

Prosedur kerja derajat keasaman (pH) yaitu sebagai berikut:

a. Mencelupkan kertas pH ke dalam air dan biarkan sampai 1 menit.
b. Mengangkat kertas dan mencocokkan warna dari kertas tersebut pada kotak standar pH yang telah disediakan.
c. Mencatat nilai sebagai nilai pH.

3.5.4 Pengukuran "Dissolved Oxygen" (DO) (SNI, 1990)

Pengukuran kadar oksigen terlarut yaitu dengan menggunakan DO meter. Prosedur kerja oksigen terlarut (DO) yaitu sebagai berikut:

a. Menyalakan DO meter dengan memutar on/off, ditunggu sampai muncul angka 0,00 (zero) pada layar.
b. Memasukkan sensor pada DO meter kedalam sampel uji.
c. Memutar tombol pada DO meter sehingga menunjukkan tanda pengukuran dengan satuan mg/L, ditunggu sampai muncul angka pada layar.
d. Mencatat angka yang tertera pada layar DO meter sebagai nilai oksigen (mg) yang larut per liter air.

3.5.5 Pengukuran "Chemical Oxygen Demand" (COD) (Standard Methods, 1982)

Prosedur kerja COD yaitu sebagai berikut:

a. Air sampel diambil sebanyak 10 ml.
b. Memasukkan air sampel tersebut ke dalam cuvet sebanyak 3 ml.
c. Menambahkan 0,006 g $HgSO_4$
d. Menambahkan 1,5 ml larutan $K_2Cr_2O_7$ (Kalium Bikromat) 0,1 M.
e. Menambahkan larutan H_2SO_4 + $AgSO_4$ (Perak Sulfat) sebanyak 4,5 ml.
f. Menutup cuvet rapat-rapat agar saat dipanaskan cairan yang ada didalamnya tidak keluar.

g. Memanaskan sampel tersebut di dalam reaktor COD selama 2 jam pada suhu 148 ºC.

h. Setelah itu mendinginkan sampel dan kemudian menuangkannya dalam Erlenmeyer 250 ml.

i. Menambahkan 1 tetes $C_{12}H_8N_2$ sebagai indikator.

j. Mentitrasi sampel dengan larutan $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$.

k. Cara membuat larutan blanko seperti point 5-12, point 5 diganti dengan aquadest dan catat volume titrasi larutan blanko (VO).

l. Cara membuat larutan standard seperti point 5,6,7,10,11,12 tanpa dipanasi, point 5 diganti aquadest dan catat volume titrasi larutan standard (Vt).

m. Perhitungan :

$$COD = \frac{50.000 \times (VO-Vl)}{V \times Vt} \text{ ppm}$$

Keterangan : V = Volume sampel

3.5.6 Pengukuran TSS (Standard Methods, 1982)

Prosedur kerja TSS yaitu sebagai berikut:

a. Mengambil 100 cc contoh air, saring dengan kertas saring dan diletakkan ke erlenmeyer 250 cc yang sudah dibobot tetapkan (A).

b. Memanaskan kertas saring bersama residu di dalam oven pada suhu 105 °C selama 2 jam, kemudian masukkan ke dalam desikator dan timbang.

c. Melakukan pemanasan di dalam oven selama waktu 30 menit, kemudian masukkan ke dalam desikator dan timbang sampai didapatkan bobot tetap/konstan (B).

d. Menghitung dengan menggunakan rumus :

$$TSS \text{ (mg/l)} = \frac{(B - A) \times 1000}{C}$$

Keterangan : A: Berat kertas saring berisi residu tersuspensi yang belum di oven (mg)

B: Berat kertas saring kosong berisi residu yang sudah di oven (mg)

C: ml sampel

3.5.7 Pengukuran Phenol (Kimia Analitik-MIPA, 2011)

Prosedur kerja Phenol yaitu sebagai berikut:

a. Menyiapkan 10 ml contoh air uji.
b. Menambahkan 1 ml pereaksi A, dan menambahkan pereaksi III (NaOH 8 %), biarkan 30 – 40 menit sampai terbentuk warna.
c. Menambahkan 0,5 ml larutan 4-amino antipyrine, kocok dan 0,5 ml larutan kalium ferri sianida, tambahkan pada contoh air uji kemudian kocok dan tunggu 15 – 20 menit.
d. Mengukur konsentrasi pada spektrofotometer U-Vis dengan panjang gelombang 360 nm dan catat absorbsinya.

Pereaksi:

I = Asam sulfanilat 7,64 % dalam NaOH 8%

II = $NaNO_2$ 4,8 %

III= NaOH 8%

IV= H_2SO_4 1 : 3

Pereaksi Campuran:

150 ml I ditambahkan 30 ml IV aduk, menambahkan 150 ml II sedikit demi sedikit sambil diaduk, kemudian dinginkan pada suhu 0 – 10 °C (kulkas selama 30 menit)

3.5.8 Pengukuran Merkuri (Hg) (Kimia Analitik-MIPA, 2011)

Prosedur kerja merkuri, yaitu sebagai berikut:

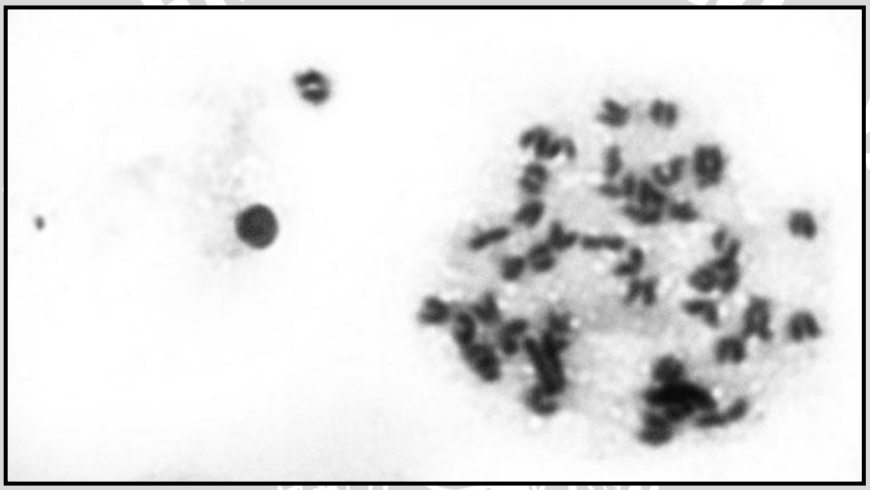
Persiapan benda uji, antara lain:

a. Menyediakan contoh air uji yang telah diambil.
b. Mengukur 100 cc masukkan ke dalam erlemeyer 250 cc.
c. Menambahkan 5 cc aquaregia deges (panaskan sampai volume teruap 2/3, dan dinginkan.
d. Menyaring sampel tersebut dan meletakkan ke labu ukur 100 cc.
e. Menambahkan aquades sampai tanda batas, kocok sampai homogen.
f. Mengukur dengan AAS (Atomik Absorbsi Spektrofotometer) dengan memakai katoda (lampu) Hg, baca absorbsinya.

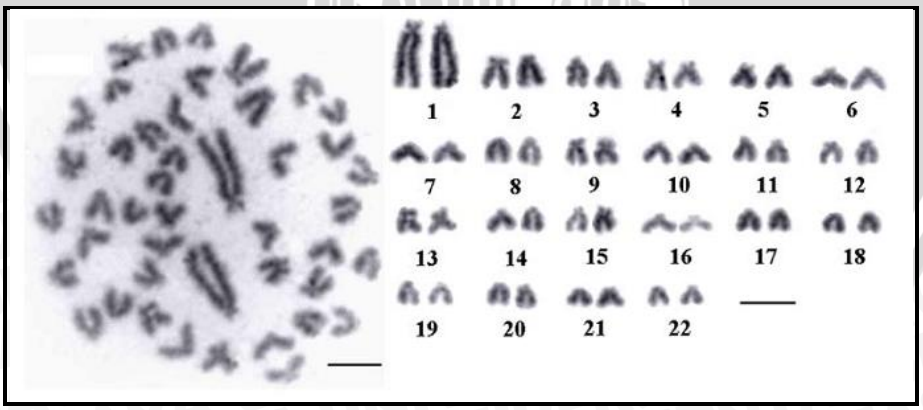
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kromosom Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*)

Pengamatan yang dilakukan terhadap kromosom ikan Mujair dengan menggunakan metode teknik jaringan padat yaitu membuat preparat kromosom dengan langsung mengambil organ-organ dari tubuh ikan, didapat kromosom seperti terlihat pada Gambar 20.



(A)



(B)

Gambar 20. (A) Sampel Kromosom Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*) (Foto: diambil pada tanggal 25 Oktober 2011, Mikroskop DIC BX51 (Olympus), perbesaran 1000x), **(B)** Literatur Kromosom Ikan Mujair (Zhu *et al*., 2010)

Kromosom ikan Mujair yang diamati dari ± 50 preparat yang diamati hanya terdapat 1 sel dalam 1 preparat yang memecah dan menyebar, dan kromosom yang ditemukan hanya terdapat pada 2 preparat saja. Hal ini dikarenakan perlakuan pada saat perendaman kolkisin, perendaman dengan larutan hipotonik dan pengawetan dengan larutan carnoy. Perlakuan ini sangat menentukan berhasil tidaknya kromosom yang didapat pada saat metafase. Lama waktu pemberian perlakuan pada saat perendaman dengan kolkisin yang tepat akan memberikan hasil dimana kromosom yang didapat tepat pada saat kromosom berada pada metafase yang optimum (Carvella *et al*., 1987 dan Thode *et al*., 1987). Jika konsentrasi larutan kolkisin dan lamanya waktu perlakuan kurang mencapai keadaan yang tepat, maka poliploidi belum dapat diperoleh. Sebaliknya jika konsentrasinya terlalu tinggi atau waktunya perlakuan terlalu lama, maka kolkisin akan memperlihatkan pengaruh negatif, yaitu penampilan kromosom menjadi lebih jelek, dan sel-sel banyak yang rusak (Suryo, 1995).

Perlakuan dengan larutan hipotonik ditujukan untuk pembengkakkan sel sehingga kromosom dapat menyebar. Pembengkakkan sel-sel tersebut disebabkan oleh tekanan osmotik. Pembengkakkan yang kurang cukup akan mengakibatkan kromosom tidak menyebar dan tumpang tindih sehingga tidak dapat diidentifikasi. Perlakuan dengan larutan hipotonik yang terlalu lama akan mengakibatkan sel pecah dan kromosom akan berhamburan sehingga tidak dapat diidentifikasi (Eldridge, 1985). Serta perlakuan dengan larutan carnoy bertujuan untuk mempertahankan bentuk sel dan isinya seperti kondisi hidup dan menjadikan sel resisten terhadap perubahan yang terjadi selama proses (Sharma, 1976).

Penentuan jaringan yang akan dijadikan untuk pembuatan preparat juga sangat menentukan keberhasilan pengamatan karakteristik kromosom. Hal ini disebabkan adanya perbedaan keaktifan dalam pembelahan sel. Untuk mendapatkan sel yang mengandung kromosom yang baik adalah jaringan-jaringan yang selnya aktif membelah, seperti: ginjal, sirip, dan insang. Jaringan-

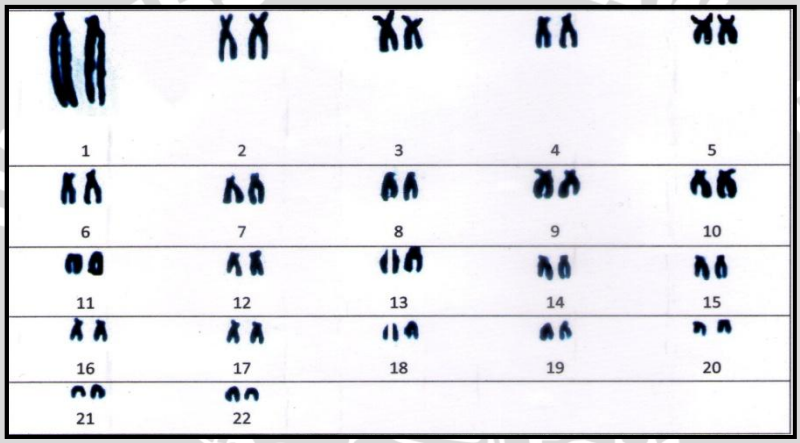
jaringan tersebut biasanya paling mudah untuk mendapatkan kromosom yang baik. Pada penelitian ini dicoba dilakukan pembuatan preparasi dari semua jaringan, dimana dari hasil yang didapatkan bahwa jaringan yang berasal dari organ insang paling baik didalam mendapatkan sel yang mengandung kromosom (Siagian, 2006).

Pelepasan sel dari jaringan harus dilakukan dengan hati-hati agar tidak mengakibatkan kromosom rusak atau bentuknya menjadi kurang jelas. Pada saat pembuatan tetesan di atas objek gelas akan sangat menentukan penyebaran kromosom, pengamatan terhadap perhitungan jumlah kromosom, pengukuran panjang kromosom serta pengamatan morfologi kromosom. Kesulitan perhitungan umumnya terjadi akibat adanya sel menumpuk atau bentuk kromosom yang tidak jelas. Ketidak jelasan bentuk kromosom ini akan sangat berpengaruh terhadap pengukuran ukuran lengan kromosom baik lengan panjang maupun lengan pendek (Siagian, 2006). Dari hasil pengamatan beberapa preparat, didapatkan sel yang bentuk atau morfologinya tidak jelas dan sangat tebal, sehingga sangat sulit untuk menentukan bentuk dan ukuran panjang kromosom.

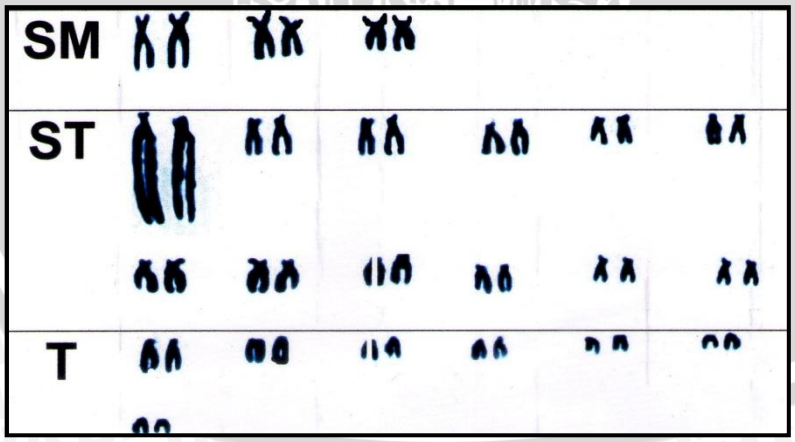
Penggunaan metode langsung telah banyak diterapkan oleh peneliti-peneliti sebelumnya, seperti Andriani (2000) terhadap ikan hias Rainbow Sulawesi (*Telmatherina ladigesi*), Carman (1992) terhadap beberapa spesies warmwater fish, Nurhayati (1997) terhadap ikan Rainbow famili *Atherinidae*, Said *et al*., (2003) terhadap ikan pelangi (*Melanotaenia lacustris*). Selain itu, pada penelitian Siagian (2006), dilakukan pembuatan preparat dari semua jaringan pada ikan manvis (*Pterophyllum scalare*), dimana dari hasil yang didapat bahwa jaringan yang berasal dari organ insang dan sirip paling baik didalam mendapatkan sel yang mengandung kromosom. Keuntungan metode tersebut yaitu relatif mudah memperoleh sel metafase dalam waktu relatif singkat dengan biaya relatif murah. Keuntungan lain yaitu mudah mengamati sel metafase pada pinggiran “ring” yang dibuat (Kligerman dan Bloom, 1977).

4.2 Karyotipe Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*)

Modus kromosom yang diperoleh selama pengamatan dari ikan mujair memiliki 22 pasang kromosom (2n = 44). Jumlah kromosom ikan mujair ini sesuai dengan penelitian Poletto *et al*., (2010), mengatakan bahwa kariotipe jenis Tilapia yang diteliti ini yaitu pada *Oreochromis mossambicus* memiliki 2n = 44 kromosom. Hal ini juga didukung oleh Zhu *et al*., (2010), yaitu kariotipe dari *Oreochromis mossambicus* terdiri dari 22 pasang kromosom (2n = 44) (lihat Gambar 21).



(A)



(B)

Gambar 21. Karyotipe ikan mujair (*Oreochromis mossambicus*) berdasarkan ukuran panjang kromosom (A) dan berdasarkan tipe kromosom (B) (foto: diambil pada tanggal 10 November 2011)

Susunan karyotipe kromosom ikan Mujair (22 pasang) tersebut terdiri dari 3 tipe, yaitu submetasentrik, subtelosentris, dan telosentris. Penyusunan pasangan kromosom homolog dilakukan berdasarkan ukuran panjang kromosom dengan melakukan pengurutan panjang dari kromosom terbesar hingga kromosom yang terkecil. Berdasarkan atas tipe kromosom didapatkan data sebagai berikut: tipe submetasentrik terdapat pada pasangan kromosom nomor 2, 3, dan 5; tipe subtelosentrik terdapat pada pasangan kromosom nomor 1, 4, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, dan 17; serta tipe telosentrik terdapat pada pasangan kromosom nomor 8, 11, 18, 19, 20, 21, dan 22. Sehingga dari komposisi kromosom ikan mujair berdasarkan letak sentromernya terdiri dari: 3 pasang submetasentrik, 12 pasang subtelosentrik, dan 7 pasang telosentrik (3SM + 12ST + 7T). Sedangkan kromosom seks atau kromosom kelamin belum teridentifikasi, dikarenakan penelitian yang dilakukan menggunakan metode langsung (jaringan insang) yang belum teridentifikasi jenis kelaminnya. Menurut Kligerman dan Bloom (1977), bahwa kelemahan metode yang digunakan yaitu sulit untuk mengidentifikasi kromosom seks ikan yang diteliti.

Hasil penelitian tersebut sesuai dengan Zhu *et al*., (2010), yaitu kariotipe pada *Oreochromis mossambicus* terdiri dari 22 pasang kromosom (2n = 44), dimana terdapat 3 pasang kromosom submetasentrik, 12 pasang kromosom subtelosentrik, dan 7 pasang kromosom telosentrik.

4.3 Kondisi Kromosom Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*) Akibat Pencemaran

Hasil penelitian yang telah dilakukan pada ikan mujair yang ada di sungai Aloo (tercemar lumpur lapindo) menunjukkan ada beberapa kromosom yang tidak normal atau abnormal (lihat Gambar 22). Kelainan kromosom pada ikan mujair ini terdapat pada pasangan kromosom nomor 11, 13, dan 18. Ketidak normalan kromosom ditunjukkan dengan adanya kromosom yang patah/putus

yaitu kromosom pada nomor 13 dan 18, dan terdapat bentuk kromosom yang melingkar seperti cincin yaitu kromosom pada nomor 11.

Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan adanya perbedaan morfologi kromosom ikan dengan beberapa penelitian sebelumnya. Penelitian yang dilakukan oleh Mahmoud *et al*., (2010), yaitu menunjukkan frekuensi kerusakan kromosom dengan menggunakan uji sel kepala ginjal pada ikan *Oreochromis niloticus* dan *Tilapia zillii* di Sungai Nil, Mesir pada area yang terpolusi (Shanawan drainage canal) dan tidak terpolusi (Bahr Shebeen). Penelitian ini dilakukan pada 5 kelompok ikan, kontrol dan empat kelompok tercemar. Stasiun A dan B berada sebelum sumber limbah sedangkan stasiun C dan D terletak setelah sumber limbah. Penelitian ini menunjukkan bahwa jumlah kromosom diploid pada ikan nila adalah 2n = 44. Tingginya persentase kelainan kromosom yang diamati pada sel kepala ginjal *O. niloticus* dan *T. Zillii* yaitu seperti bentuk sentromerik redaman ("centromeric attenuation"), kromatid istirahat ("chromatid breaks"), kromatid gap ("chromatid gaps"), penghapusan kromatid ("chromatid deletions"), fusi sentrik dan fragmentasi. Hasil saat ini mengungkapkan bahwa nilai-nilai dari berbagai jenis kelainan kromosom pada sel kepala ginjal *T. zillii* di daerah C dan D, hilir untuk sumber limbah (hampir dua kali lipat) daripada ikan di daerah A & B, hulu sumber limbah. Struktural penyimpangan kromosom (misalnya, kromatid penghapusan, kromatid gap, kromatid istirahat, sentromerik redaman, fragmentasi dan fusi sentrik) lebih menonjol di daerah tercemar ikan yang berbeda (Shanawan drainage canal) dibandingkan di daerah yang tidak tercemar (Bahr Shebeen).

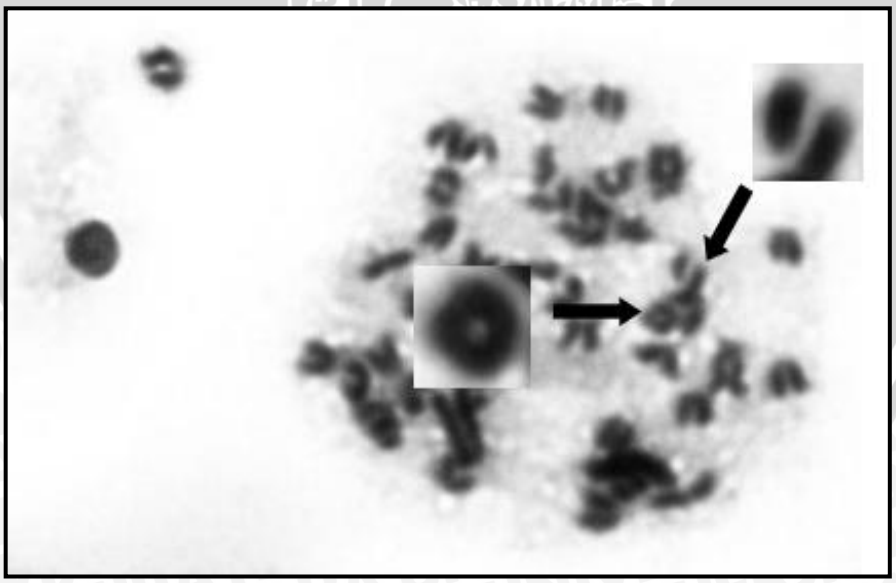
Berbeda pula dengan penelitian Mohamed *et al*., (2008), yaitu menunjukkan frekuensi kerusakan kromosom dengan menggunakan uji jaringan insang pada *Oreochromis niloticus* yang diperlakukan dengan tembaga sulfat ($CuSO_4$) dan timah asetat $(CHCOO)_3Pb$ dengan tiga doses yang berbeda pada

sekala laboratorium yaitu masing-masing dosis: 1/5 th, 1/10 th, dan 1/20 th. Efek dari sulfat tembaga dan timah asetat diamati selama 2, 4, dan 6 minggu dari masing-masing perlakuan ketiga dosis tersebut. Penelitian ini dilakukan pada 300 ikan sehat yang disebut *Oreochromis niloticus* diambil dari ladang ikan Al-Abbassa (Abo Hammad, Provinsi Al-Sharkia, Mesir), dan dibagi dua kelompok yaitu kelompok kontrol dan kelompok yang diberi perlakuan, serta ikan diaklimatisasikan pada kondisi laboratorium selama sedikitnya dua minggu sebelum eksperimen. Hasilnya menunjukkan bahwa tembaga sulfat dan timah asetat menunjukkan aktivitas mitotik yang lebih rendah dari pada kelompok kontrol. Kedua polutan tersebut mampu menginduksi kerusakan DNA makro yang ditunjukkan dengan perbedaan tipe aberasi, seperti penghapusan kromatid, kerusakan kromatid, gap, fragmentasi, penempelan, translokasi, kromosom ring dan atenuasi sentrometrik. Aberasi kromosom tersebut yang menunjukkan lebih banyak muncul yaitu tipe penghapusan kromatid, penempelan dan fragmentasi dari pada aberasi kromosom yang lain.

Berdasarkan penelitian Yadav dan Trivedi (2009) juga berbeda, yaitu menunjukkan frekuensi kerusakan kromosom dengan menggunakan kultur sel darah pada *Channa punctata* yang diperlakukan dengan tiga komponen logam berat yang umum ada di perairan yaitu merkuri klorida ($HgCl_2$) dengan dosis 0,081 mg/l, arsenik trioksida (As_2O_3) 6,936 mg/l dan tembaga sulfat pentahidrat ($CuSO_45H_2O$) 0,407 mg/l pada sekala laboratorium. Aberasi kromosom ini menyebabkan kerusakan seperti kepatahan/keretakan kromoatid (chromatid breaks/B'), kepatahan/ keretakan kromosom (chromosome breaks/B"), dan penggabungan kromatid (chromatid gap/G'). Hasil penelitian yang didapat yaitu presentasi jumlah kerusakan kromosom dalam perlakuan $HgCl_2$ ± 10,25% (kerusakan meliputi gap kromatid, gap kromosom, break kromosom, dan break kromatid), yang paling banyak muncul yaitu pada break kromosom. Perlakuan dengan As_2O_3 ± 10,67% (kerusakan meliputi gap kromatid, gap kromosom, break

kromosom, dan break kromatid), yang paling banyak muncul yaitu break kromatid. Serta perlakuan dengan $CuSO_4 5H_2O$ ± 8,81% (kerusakan meliputi gap kromatid, gap kromosom, break kromosom, dan break kromatid), yang paling banyak muncul yaitu break kromatid.

Perbedaan tersebut kemungkinan dikarenakan oleh perbedaan tempat dan habitat hidup ikan yang di teliti, serta polutan yang terdapat pada perairan suatu tempat sampel. Selain itu, kondisi atau ketahanan ikan oleh masing-masing spesies terhadap perubahan lingkungan (baik fisika maupun kimia) yang disebabkan oleh logam berat atau polutan-polutan yang masuk ke dalam perairan akibat dari aktivitas manusia (pencemaran industri, pencemaran rumah tangga, dan pencemaran lain), sehingga ikan yang ditiliti mengalami perubahan di dalam tubuhnya untuk menyesuaikan diri terhadap perubahan lingkungannya tersebut, yaitu ditandai dengan kerusakan kromosom atau aberasi kromosom, serta berbeda pula kerusakan kromosom atau aberasi kromosom tersebut terhadap spesies ikan yang satu dengan spesies ikan yang lain.



Gambar 22. Aberasi Kromosom Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*) (Foto : Malinda, diambil pada tanggal 25 Oktober 2011, Mikroskop DIC BX51 (Olympus), perbesaran 1000x).

Kromosom yang tidak normal seperti kromosom yang patah tersebut disebut dengan kromosom break (kepatahan/keretakan kromosom). Pernyataan ini diperkuat oleh Yadav dan Sunil (2009), menjelaskan bahwa logam berat (merkuri) menyebabkan aberasi atau kerusakan kromosom tanpa mengurangi jumlah kromosomnya. Kerusakan kromosom diamati dengan jelas dan terdapat beberapa bentuk aberasi yaitu pada saat metafase terjadi kepatahan/keretakan kromoatid ("chromatid breaks"/B'), kepatahan/keretakan kromosom ("chromosome breaks"/B"), dan penggabungan kromatid ("chromatid gap"/G'). Dampak mutagen yang menyebabkan penyimpangan-penyimpangan kromosomal bergantung untuk sebagian pada lamanya sel-sel itu terkena pengaruh mutagen, dan juga oleh sifat mutagen itu. Jika sel-sel itu dikenai pengaruh mutagen pada waktu fase S, suatu pemutusan dapat terjadi pada kedua belahan kromosom yang melakukan replikasi (Pai, 1992). Putusnya kromosom demikian itu dapat terjadi dalam sel somatis maupun dalam sel alat pembiakan. Akibatnya akan dibentuk gamet yang aneuploid (genetik ploidinya tidak benar) sehingga keturunan akan menyimpang dari yang normal atau bahkan akan timbul pengaruh letal (Suryo, 1995).

Sedangkan kromosom yang berbentuk seperti cincin ini disebut dengan kromosom cincin ("ring chromosom"). Menurut Mohamed *et al*., (2008), tingkat penyimpangan kromosom yang tinggi pada ikan yaitu pada ikan dari daerah tercemar mungkin hasil kontaminasi lingkungan yang disebabkan oleh emisi industri atau air yang terkontaminasi dengan logam berat. Polutan tersebut positif menginduksi atau mempengaruhi kerusakan DNA makro yang diwakili oleh berbagai jenis aberasi yaitu antara lain kromatid delesi, kromatid gap, kromatid "breaks", fragmen, "sticness", tranlokasi, kromosom cincin, dan sentromer "attenuation". Kromosom cincin yang sentris dapat terjadi bila sebuah kromosom putus di dua tempat secara perisentris. Terjadinya kromosom ini mungkin sekali

karena adanya pindah silang (“crossing over”) antara kromatid serupa dari kromosom cincin tersebut (Suryo, 1995).

Menurut Czepulkowski (2001), kromosom cincin ini yaitu hasil dari putusnya kedua lengan kromosom dengan bergabungnya kromosom berikutnya pada titik-titik kerusakan untuk membentuk cincin. Segmen kromosom yang putus karena hilang mengakibatkan monosomi parsial untuk daerah itu. Secara klinis ini biasanya menyebabkan dismorfisme yang parah dan keterbelakangan mental pada karier. Kadang-kadang lengan kromosom memadukan secara praktis di telomer tanpa kehilangan kode DNA dan individu-individu ini mungkin secara fenotip normal. Namun, beberapa individu menunjukkan abnormalitas fenotip karena gangguan pembelahan sel selama pertumbuhan janin yang disebabkan oleh cincin sehingga menjadi kusut atau rusak. Hal ini dapat menimbulkan aneoploidi sebagian atau total. Dalam beberapa sel untuk kromosom dapat membentuk cincin. Keberagaman ini, dapat menunjukkan karakteristik yang termasuk keterlambatan pertumbuhan, dari sedikit hingga sedang keterbelakangan mental, dan fitur dismorfik ringan. Kromosom yang lebih besar adalah yang paling rentan terhadap efek ini, karena cincin itu lebih memungkinkan untuk menjadi kusut dan karena itu kurang stabil selama pembelahan sel.

Proses mutasi atau perubahan kromosom tersebut dapat disebabkan oleh adanya pengaruh lingkungan (fisika, kimia) sehingga proses pembelahan sel (meiosis dan mitosis) akan terganggu atau tidak berjalan sebagaimana mestinya, sehingga dapat mengakibatkan adanya perubahan bentuk dan komposisi gen dari suatu kromosom dibandingkan dengan kromosom ikan yang hidup di lingkungan sesuai dengan habitat hidupnya dan tidak tercemar. Akibat dari lumpur Lapindo yang dibuang di dalam sungai mengakibatkan berubahnya keadaan lingkungan perairan, sehingga organisme perairan beradaptasi dengan

perubahan lingkungan tersebut, yaitu ditandai dengan berubahnya karakteristik kromosom menjadi kromosom putus dan kromosom cincin yang mengakibatkan dibentuknya gamet yang aneuploid dan dismorfisme (keterlambatan pertumbuhan), serta keterbelakangan mental pada keturunannya.

4.4 Analisis Kualitas Air

Hasil pengukuran faktor fisika dan kimia yang berupa kualitas air selama pengambilan sampel di Sunga Aloo dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Faktor Fisika dan Kimia di Sungai Aloo selama Pengambilan Sampel

No.	Parameter	Hasil Uji	Nilai Baku Mutu	Referensi
1.	Suhu	30 – 33 °C	28 - 32 °C	Kordi dan Tancung (2007)
2.	pH	8	6,5 – 8,5	Kualitas air golongan B menurut Pemerintah Republik Indonesia No.20 Tahun 1990
3.	DO	2,17 – 2,48 mg/l	> 3 mg/l	PP No.82 Tahun 2001 Tentang Baku Mutu Air Sungai Kelas III
4.	COD	48 mg/l	10 mg/l	Baku mutu air golongan B menurut Keputusan Mentri Negara Kepen-dudukan dan Lingkungan Hidup no. KEP.02/MENKLH/I/1988
5.	TSS	538 mg/l	400 mg/l	Perda No. 2 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air di Provinsi Jawa Timur kelas III
6.	Phenol (C_6H_6O)	2,27 mg/l	0,001 – 0,002 mg/l	Baku mutu air golongan B menurut Keputusan Mentri Negara Kepen-dudukan dan Lingkungan Hidup no. KEP.02/MENKLH/I/1988
7.	Merkuri (Hg)	0,046 mg/l	0,001 mg/l	Kualitas air golongan B menurut Pemerintah Republik Indonesia No.20 Tahun 1990

4.5.1 Suhu

Suhu air ialah derajat panas air yang dinyatakan dalam suatu panas derajat Celsius (°C) (SNI, 1990). Suhu mempengaruhi aktivitas metabolisme organisme, karena itu penyebaran organisme baik di lautan maupun di perairan air tawar dibatasi oleh suhu perairan tersebut. Suhu sangat berpengaruh terhadap kehidupan dan pertumbuhan biota air. Perubahan suhu air yang drastis dapat mematikan biota air karena terjadi perubahan daya angkut darah. Suhu sangat berkaitan erat dengan konsentrasi oksigen terlarut dalam air dan konsumsi oksigen hewan air. Semakin tinggi suhu air, semakin rendah daya larut oksigen di dalam air, dan sebaliknya (Kordi dan Tancung, 2007). Pola suhu ekosistem air dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti intensitas cahaya matahari, pertukaran panas antara air dengan udara sekelilingnya, ketinggian geografis dan juga oleh faktor kanopi (penutupan oleh vegetasi) dari pepohonan yang tumbuh ditepi. Disamping itu pola temperatur perairan dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor anthropogen (faktor yang diakibatkan oleh aktifitas manusia) seperti limbah panas yang berasal dari air pendingin pabrik dan penggundulan DAS yang menyebabkan hilangnya perlindungan sehingga badan air terkena cahaya matahari secara langsung Brehm dan Meijering (1990) *dalam* Barus (2002). Selain itu, suhu suatu badan air dipengaruhi oleh musim, lintang ("latitude"), ketinggian dari permukaan laut ("altitude"), waktu dalam hari, sirkulasi udara, penutupan awan, dan aliran serta kedalaman badan air (Effendi, 2003).

Berdasarkan hasil pengukuran suhu air yang didapat pada stasiun pengambilan sampel di Sungai Aloo yaitu 30 – 33 °C (lihat Tabel 4). Sedangkan kisaran suhu optimum bagi kehidupan ikan di perairan tropis adalah antara 28 °C – 32 °C (Kordi dan Tancung, 2007). Suhu air di sungai Aloo terlihat bahwa setiap waktunya mengalami peningkatan suhu, hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada kromosom sehingga terjadi keabnormalitasan pada kromosom ikan Mujair.

Menurut (scribd.com, 2011), kecepatan mutasi akan bertambah karena adanya kenaikan suhu. Setiap kenaikan temperatur sebesar 10 °C, kecepatan mutasi bertambah 2 - 3 kali lipat. Sedangkan menurut Pudjirahaju *et al*., (2006), diduga dapat mengakibatkan kerusakan pada benang-benang spindel yang terbentuk saat proses pembelahan sel. Serta menurut Arsianingtyas (2009), yang menyatakan bahwa kejutan suhu dan tekanan dapat merusak mikrotubulus yang membentuk spindel selama pembelahan. Selain itu, Rustidja (1997), kejutan panas disamping menghambat pembentukan spindel juga menghambat pergerakan kutub. Jadi, dari hasil suhu yang didapat di sungai Aloo masih dalam kisaran suhu yang tinggi, sehingga dapat mengganggu bagi kehidupan organisme perairan khususnya ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*).

4.5.2 Derajat Keasaman (pH)

pH (singkatan dari “puissance negatif de H”), yaitu logaritma dari kepekaan ion-ion H (hidrogen) yang terlepas dalam suatu cairan. Derajat keasaman atau pH air menunjukkan aktivitas ion hidrogen dalam larutan tersebut dan dinyatakan sebagai konsentrasi ion hidrogen (dalam mol per liter) pada suhu tertentu atau dapat ditulis: pH = -log $(H)^+$ (Kordi dan Tancung, 2007). Organisme akuatik dapat hidup pada suatu perairan yang mempunyai pH netral dengan kisaran toleransi antara asam lemah sampai basa lemah. Kondisi perairan yang bersifat sangat asam maupun sangat basa akan menyebabkan kelangsungan hidup organisme terganggu. pH yang sangat rendah dapat menyebabkan mobilitas berbagai senyawa logam berat terutama ion aluminium yang bersifat toksik (Barus, 2002).

Berdasarkan hasil pengukuran pH air yang didapat pada stasiun pengambilan sampel di Sungai Aloo yaitu 8 (netral) (lihat Tabel 4). Sedangkan pada penelitian Gunradi dan Suprapto (2007), nilai pH di sungai Aloo di dapat sebesar 8 - 9 (basa). Sebagian besar biota akuatik sensitif terhadap perubahan

pH dan menyukai nilai pH sekitar 7 – 8,5. Nilai pH sangat mempengaruhi proses biokimiawi perairan, misalnya proses nitrifikasi akan berakhir jika pH rendah. Toksisitas logam memperlihatkan peningkatan pada pH rendah (Novotny dan Olem, 1994 *dalam* Effendi, 2003). Menurut Kualitas air golongan B menurut Pemerintah Republik Indonesia No.20 Tahun 1990, baku mutu nilai pH yang diperbolehkan untuk perikanan sebesar 6,5 – 8,5. Jadi, nilai pH yang diperoleh pada sungai Aloo masih dalam kisaran normal bagi kehidupan organisme perairan terutama ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*) dan dapat menghambat pelarutan logam-logam ke dalam air.

4.5.3 "Dissolved Oxigen" (DO)

Oksigen adalah gas yang amat penting bagi hewan. Perubahan kandungan oksigen terlarut di lingkungan sangat berpengaruh terhadap hewan air. Kebutuhan oksigen bervariasi, tergantung oleh jenis, stadia, dan aktivitas (Darojah, 2010). Kadar oksigen yang terlarut di perairan alami bervariasi, tergantung pada suhu, salinitas, turbulensi air, dan tekanan atmosfer. Peningkatan suhu sebesar 1°C akan meningkatkan konsumsi oksigen sekitar 10 %. Kadar oksigen terlarut juga berfluktuasi secara harian ("diurnal") dan musiman, tergantung pada pencampuran ("mixing") dan pergerakan ("turbulence") massa air, aktivitas fotosintesis, respirasi, dan limbah (effluent) yang masuk ke badan air. Selain akibat proses respirasi tumbuhan dan hewan, hilangnya oksigen di perairan juga terjadi karena oksigen dimanfaatkan oleh mikroba untuk pengoksidasi bahan organik (Effendi, 2003).

Berdasarkan hasil pengukuran "Dissolved Oxigen" (DO) yang didapat pada stasiun pengambilan sampel di Sungai Aloo yaitu 2,17 – 2,48 mg/l (lihat Tabel 4), lebih rendah nilainya bila dibandingkan dengan penelitian Agustyani (2010), yaitu berkisar antara 2,34 – 2,63 mg/l. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan oksigen di sungai Aloo mengalami penurunan dan dibawah nilai baku

mutu yang disarankan, karena kadar oksigen yang baik bagi kehidupan organisme perairan yaitu sebesar >3 mg/l berdasakan Perda Jatim no. 2 tahun 2008 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air di Provinsi Jawa Timur kelas III. Kadar oksigen terlarut kurang dari 4 mg/l menimbulkan efek yang kurang menguntungkan bagi hampir semua organisme akuatik. Kadar oksigen terlarut yang kurang dari 2 mg/l dapat mengakibatkan kematian ikan. Selain itu kadar oksigen di perairan juga mempengaruhi proses putusnya suatu kromosom pada makhluk hidup (Suryo, 1995). Jadi, kadar oksigen yang diperoleh pada sungai Aloo tergolong sangat rendah, sehingga tidak layak bagi kehidupan organisme air terutama ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*).

4.5.4 "Chemical Oxygen Demand" (COD)

"Chemical Oxygen Demand" atau kebutuhan oksigen kimia adalah jumlah oksigen yang diperlukan agar bahan buangan yang ada di dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia (Wardhana, 2004). Keberadaan bahan organik dapat berasal dari alam ataupun dari aktivitas rumah tangga dan industri, misalnya pabrik bubur kertas ("pulp"), pabrik kertas, dan industri makanan. Perairan yang memiliki nilai COD tinggi tidak diinginkan bagi kepentingan perikanan dan pertanian (Effendi, 2003).

Berdasarkan hasil pengukuran "Chemical Oxygen Demand" (COD) yang didapat pada stasiun pengambilan sampel di Sungai Aloo yaitu 48 mg/l (lihat Tabel 4), lebih tinggi nilainya bila dibandingkan dengan penelitian Agustyani (2010), yaitu berkisar antara 22 – 30 mg/l. Hal tersebut terjadi dikarenakan banyaknya zat-zat organik yang hanya dapat dioksidasi secara kimiawi saja tetapi tidak secara biologis (Allawijah, 1997). Tingginya nilai COD juga menunjukkan tebalnya lapisan bahan organik yang ada di perairan sehingga dapat menyebabkan rendahnya kadar oksigen terlarut di perairan yang

dibutuhkan oleh organisme untuk respirasi (Effendi, 2003). Berdasarkan Baku mutu air golongan B menurut Keputusan Mentri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup no. KEP.02/MENKLH/I/1988, nilai COD yang diperkenankan 10 mg/l. Jadi, kadar COD yang diperoleh pada sungai Aloo tergolong sangat tinggi dan melebihi baku mutu yang di tentukan, sehingga tidak layak bagi perikanan terutama ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*).

4.5.5 "Total Suspended Solid" (TSS)

Padatan Tersuspensi Total ("Total Suspended Solid" atau TSS) adalah bahan-bahan tersuspensi (diameter > 1 µm) yang tertahan pada saringan millipore dengan diameter pori 0,45 µm. TSS terdiri atas lumpur dan pasir halus serta jasad-jasad renik, yang terutama disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi tanah yang terbawa ke badan air (Effendi, 2003).

Berdasarkan hasil pengukuran "Total Suspended Solid" (TSS) yang didapat pada stasiun pengambilan sampel di Sungai Aloo yaitu 538 mg/l (lihat Tabel 4). Nilai TSS yang diperoleh semakin tinggi dibandingkan dengan penelitian Agustyani (2010), yaitu nilai TSS yang diperoleh antara 24 – 370 mg/l. Hal ini dikarenakan lokasi pengambilan sampel (sungai Aloo) berada dekat dengan hilir, dimana bahan padatan terlarutnya terakumulasi. Selain itu, menurut warga sekitar sungai, sejak skenario pembuangan lumpur lapindo tersebut dilakukan, terjadi pendangkalan sekitar setengah dari tinggi badan orang dewasa. Partikel halus (lumpur) yang terbawa oleh arus dan mengendap didalam badan air sangat berpengaruh pada kehidupan organisme perairan, yaitu dapat menyebabkan: a. rendahnya kemampuan daya ikat oksigen, b. berkurangnya batas pandang ikan, c. selera makan ikan berkurang, sehingga efisiensi pakan rendah, d. ikan sulit bernafas karena insangnya tertutup oleh partikel-partikel lumpur (Gusrina, 2008). Selain itu, padatan tersuspensi bisa bersifat toksik bila dioksidasi berlebih oleh organisme sehingga dapat menurunkan konsentrasi

oksigen terlarut sampai dapat menyebabkan kematian pada ikan (Alabaster dan Lloyd, 1982). Kadar TSS tersebut melebihi nilai baku mutu yang disarankan menurut Perda No. 2 Tahun 2008 kelas III tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air di Provinsi Jawa Timur, nilai TSS yang diperkenankan 400 mg/l. Jadi, kadar total padatan tersuspensi (TSS) yang didapat sangat tinggi dan tidak baik untuk kehidupan organisme perairan khususnya ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*).

4.5.6 Phenol (C_6H_6O)

Phenol merupakan salah satu dari polutan beracun yang utama. Phenol dihasilkan dari industri yang memproduksi polimer sintetik, pigmen, pestisida dan bahan bakar fosil. Phenol menimbulkankan rasa dan bau serta beragam tingkat keracunan tergantung pada klorifikasi dari molekul pheizolic (Sasongko, 2006). Senyawa ini dapat dikatakan aman bagi lingkungan jika konsentrasinya berkisar antara 0,5 – 1,0 mg/l sesuai dengan KEP No. 51/MENLH/ 10/1995 dan ambang batas fenol dalam air baku air minum adalah 0,002 mg/l seperti dinyatakan oleh BAPEDAL (Slamet *et al*., 2005). Pada kadar yang lebih dari 0,01 mg/liter, phenol bersifat toksik bagi ikan (UNESCO/WHO/UNEP, 1992 *dalam* Effendi, 2003).

Berdasarkan hasil pengukuran kadar phenol yang didapat pada stasiun pengambilan sampel di Sungai Aloo yaitu 2,27 mg/l (lihat Tabel 4). Kadar phenol pada sungai Aloo sangat tinggi bila dibandingkan dengan penelitian Herawati (2007), yaitu kadar phenol yang didapat antara 0,001 – 1,197 mg/l. Hal ini melebihi nilai baku mutu yang disarankan menurut Baku mutu air golongan B menurut Keputusan Mentri Negara Kepen-dudukan dan Lingkungan Hidup no. KEP.02/MENKLH/I/1988, nilai phenol yang diperkenankan antara 0,001 – 0,002 mg/l. Menurut Gad dan Saad (2008), menyatakan bahwa kadar phenol yang berlebihan sangat mempengaruhi fisiologi ikan, yaitu dapat menyebabkan gangguan fungsi kelenjar endokrin pada darah, gangguan fungsi hati, efek

genotoksik, dan laju pertumbuhan berkurang. Selain itu, phenol adalah salah satu bahan kimia yang bersifat mutagen yang dapat menyebabkan terjadinya mutasi kromosom (Admin, 2011). Jadi, Kadar phenol di sungai Aloo ini sangat tinggi dan melebihi baku mutu yang disarankan, sehingga phenol ini bersifat racun bagi kehidupan organisme air terutama ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*).

4.5.7 Merkuri (Hg)

Merkuri (Hg) adalah unsur renik pada kerak bumi, yakni hanya sekitar 0,08 mg/kg (Moore,1991 *dalam* Effendi, 2003). Pada perairan alami, merkuri juga hanya ditemukan dalam jumlah yang sangat kecil. Merkuri merupakan satu-satunya logam yang berada dalam bentuk cairan pada suhu normal. Merkuri terserap dalam bahan-bahan partikulat dan mengalami presipitasi. Pada dasar perairan anaerobik, merkuri berikatan dengan sulfur. Merkuri anorganik dapat mengalami transformasi menjadi dimetil merkuri dengan bantuan aktivitas mikroba, baik pada kondisi aerob maupun anaerob. Pada kadar merkuri anorganik yang rendah, akan terbentuk dimetil merkuri; sedangkan pada kadar merkuri anorganik yang tinggi, akan terbentuk monometil merkuri. Pada perairan alami, kadar monometil merkuri dan dimetil merkuri dipengaruhi oleh keberadaan mikroba, karbon organik, kadar merkuri anorganik, pH, dan suhu (Effendi, 2003).

Ikan dapat mengabsorbsi metil-merkuri melalui makanannya dan langsung dari air dengan melewati insang. Oleh karena merkuri terikat dengan protein di seluruh jaringan ikan, termasuk otot, maka tidak ada metoda pemasakan atau pencucian ikan untuk mengurangi kadar merkuri di dalamnya.. Merkuri yang diakumulasi dalam tubuh hewan air akan merusak atau menstimulir sistem enzimatik, yang berakibat dapat menimbulkan penurunan kemampuan adaptasi bagi hewan yang bersangkutan terhadap lingkungan yang tercemar tersebut. Pada ikan, organ yang paling banyak mengakumulasi merkuri adalah

ginjal, hati dan lensa mata. Toksisitas logam-logam berat yang melukai insang dan struktur jaringan luar lainnya, dapat menimbulkan kematian terhadap ikan yang disebabkan oleh proses anoxemia, yaitu terhambatnya fungsi pernapasan yakni sirkulasi dan eksresi dari insang. Unsur-unsur logam berat yang mempunyai pengaruh terhadap insang adalah timah, seng, besi, tembaga, kadmium dan merkuri (Daud, 2009).

Berdasarkan hasil pengukuran kadar merkuri yang didapat pada stasiun pengambilan sampel di Sungai Aloo yaitu 0,046 mg/l (lihat Tabel 4). Sedangkan pada penelitian Gunradi dan Suprapto (2007), kadar Hg yang diperoleh sebesar 1,96 mg/l pada lumpur lapindo, sehingga sangat melebihi baku mutu yang disarankan serta lebih tinggi dari kadar Hg pada sungai Aloo. Hal ini dikarenakan kadar Hg pada sungai Aloo menurut warga sekitar bukan dari semburan lumpur lapindo, tetapi berasal dari limbah pembuangan gas atau pabrik-pabrik lain yang dibuang di aliran sungai pada waktu malam hari. Kadar merkuri pada sungai Aloo lebih dari nilai ambang batas baku mutu yang ditentukan oleh Kualitas air golongan B menurut Pemerintah Republik Indonesia No.20 Tahun 1990 yaitu sebesar 0,001 mg/l, sehingga sangat mengganggu kehidupan organisme diperairan. Menurut Yadav dan Trivedi (2009), kadar logam berat merkuri (Hg) ini dapat menginduksi aberasi kromosom pada ikan. Semakin tinggi nilai Hg di perairan bisa mengakibatkan kerusakan kromosom yang semakin parah dan bahkan bisa mengakibatkan keracunan serta mengakibatkan kematian pada ikan. Sehingga merkuri sangat membahayakan bagi kehidupan makhluk hidup terutama ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*) di sungai Aloo.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian di sungai Aloo, Sidoarjo dapat disimpulkan bahwa :

a. Jumlah kromosom dari ikan mujair (*Oreochromis mossambicus*) memiliki 22 pasang kromosom (2n = 44).
b. Kariotipe pada ikan mujair didapatkan 3 tipe kromosom berdasarkan letak sentromernya, yaitu submetasentrik (SM), subtelosentris (ST), dan telosentris (T).
c. Komposisi kromosom dari ikan mujair tersebut yaitu tipe submetasentrik terdapat pada pasangan kromosom nomor 2, 3, dan 5; tipe subtelosentrik terdapat pada pasangan kromosom nomor 1, 4, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, dan 17; serta tipe telosentrik terdapat pada pasangan kromosom nomor 8, 11, 18, 19, 20, 21, dan 22 (3SM + 12ST + 7T).
d. Dari pengamatan kromosom ikan mujair terlihat bahwa terdapat beberapa kromosom yang tidak normal atau abnormal. Kerusakan kromosom diamati dengan jelas dan terdapat beberapa bentuk aberasi yaitu pada saat metafase terjadi kepatahan/keretakan kromosom (“chromosom break”) dan kromosom cincin (“ring kromosom”). Kelainan kromosom pada ikan mujair ini terdapat pada pasangan kromosom nomor 11, yaitu terjadinya kromosom cincin, kromosom nomor 13 dan 18, yaitu terjadinya kromosom patah/putus. Aberasi kromosom tersebut dapat mengakibatkan dibentuknya gamet yang aneuploid dan dismorphisme (keterlambatan pertumbuhan), serta keterbelakangan mental pada keturunannya.

e. Faktor lingkungan yang ada pada stasiun pengambilan sampel di Sungai Aloo adalah sebagai berikut: suhu air antara 30 – 33 °C termasuk kedalam kisaran suhu yang normal, pH yaitu 8 termasuk dalam kisaran pH yang normal, DO antara 2,17 – 2,48 mg/l termasuk dalam kisaran DO yang tidak layak bagi kehidupan ikan mujair, COD yaitu 48 mg/l termasuk dalam kisaran yang melebihi nilai baku mutu yang disarankan dan sangat mengganggu kehidupan ikan mujair, TSS yaitu 538 mg/l termasuk dalam kisaran yang melebihi nilai baku mutu yang disarankan dan dapat mengganggu kehidupan ikan mujair, phenol yaitu 2,27 mg/l termasuk dalam kisaran yang melebihi nilai baku mutu yang disarankan dan bersifat toksik bagi ikan mujair, dan Hg yaitu 0,046 mg/l termasuk dalam kisaran yang melebihi nilai baku mutu yang disarankan dan sangat mengganggu kehidupan ikan mujair.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang didapat, disarankan bahwa diperlukan penelitian lebih lanjut tentang karakteristik kromosom ikan yang tercemar atau terkena limbah dari beberapa titik pengambilan sampel di Sungai Aloo, dan pada preparasi kromosom digunakan organ-organ yang lain pada ikan agar dapat mengetahui karakteristik kromosom yang lebih jelas, serta optimasi metode preparasi kromosom agar didapatkan karakteristik kromosom yang lebih bagus dan ditemukan idiogram ikan secara spesifik.

Untuk industri dan perusahaan disarankan buangan limbah industri harus ditangani/diolah terlebih dahulu sebelum memasuki perairan agar tidak mencemari lingkungan dan tidak mengganggu kehidupan organisme yang ada di perairan tersebut, serta pabrik-pabrik disarankan memiliki IPAL (Instalasi Pengolahan Limbah) sesuai standart internasional.

DAFTAR PUSTAKA

Admin. 2011. Mutasi Gen dan Kromosom. http://budisma.web.id/biologi-kelas-xii/mutasi-gen-dan-kromosom/. Desember, 14, 2011.

Agustyani, S. P. 2010. Analisis Kualitas Air Sungai Aloo, Sidoarjo Berdasarkan Keanekaragaman dan Komposisi Fitoplankton. Program Studi Biologi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.

Alatas, Z. 2003. Indikator Biologik Kerusakan Tubuh akibat Pajanan Radiasi. Jurnal Cermin Dunia Kedoteran No. 138 hal. 41-45.

Alabaster, J. S. dan R. Lloyd. 1982. Water Quality Criteria for Freshwater Fish. Second Edition. Food and Agriculture Organization of United Nations. Butterworths. London.

Allawijah, F. 1997. Studi Komposisi dan Kelimpahan Alga Periphyton sebagai Bioindikator Pencemaran di Hulu Sungai Brantas Jawa Timur. Fakultas Perikanan Universitas Brawijaya. Malang. (tidak diterbitkan)

Andriani, I. 2000. Bioekologi, Morfologi, Kariotip dan Reproduksi Ikan Hias Rainbow Sulawesi (*Telmatherina ladigesi*) di Sungai Maros, Sulawesi Selatan. Program Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Ariyo. 2007. Tragedi Lumpur Lapindo. http://ariyo.wordpress.com/page/6/. Juli, 20, 2011.

Arsianingtyas, H. 2009. Pengaruh Kejutan Suhu Panas dan Lama Waktu Setelah Pembuahan Terhadap Daya Tetas dan Abnormalitas Larva Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). Fakultas Perikanan Dan Kelautan. Universitas Airlangga. Surabaya.

Avise, J. C. 1998. The Genetic Gods: Evolution and Belief in Human Affairs. Harvard University Press. Cambridge, MA.

Barch, M. J. 1991. The AGT Cytogenetics Laboratory Manual. Lippincot-Raven Publisher. Philadelpia. New York. 10-11;180-183.

Barus, T.A. 2002. Pengantar Limnologi. Jurusan Biologi Fakultas MIPA. Universitas Sumatera Utara. Medan.

Budiono, A., R. C. Tarumingkeng dan J. Haluan. 2003. Pengaruh Pencemaran Merkuri Terhadap Biota Air. Makalah Pengantar Falsafah Sains (PPS702). Program Pasca Sarjana S3 Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Courout, D. dan A. Happe. 1986. Improved Methods of Direct Chromosome Preparation in Rainbow Trout, *Salmo gairdneri*. Aquaculture, 52;255-261.

Czepulkowski, B. 2001. Analyzing Chromosomes. First published. BIOS Scientific Publishers Limited. Leukaemia Sciences Laboratories. The Rayne Institute. London. UK.

Campbell, N. A., J. B. Reece, dan L. G. Mitchell. 2002. Biologi. Edisi Kelima Jilid 1. Penerbit Erlangga. Jakarta.

Carman, O. 1990. Ploidi Manipulation in Some Warm-Water Fish. Master's Thesis. Tokyo University of Fisheries. Japan

Carman, O. 1992. Chromosome manipulation set in some warm water fish. Dissertation Doctor of Fisheries Science. The Tokyo University of Fisheries. Japan.

Carvella, P., L. Ramella, C. A. Robotti, G. Sella. 1987. Chromosome Analysis of Three Spesies of *Patella* (Archaeogastropoda). In Vav Brink, J. M dan Kianta, B. (Eds). Genetica 77: 97-103.

Chahaya S, I. 2003. Ikan Sebagai Alat Monitor Pencemaran. Bagian Kesehatan Lingkungan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Sumatra Utara. USU Digital Library. Sumatra Utara.

Cholik, F., G. J. Ateng., R.P. Poernomo, J. Ahmad. 2005. Akuakultur Tumpuan Harapan Masa Depan Bangsa. Masyarakat Perikanan Nusantara (MPN) dan Taman Akuarium Air Tawar TMII. Jakarta.

Cook, P. C. 1978. Karyotipe Analysis of The Gobieid Genus *Quietula*. Jordan and Everman. J. Fish. Biol. 12:173-174.

Darojah, Y. 2010. Keanekaragaman Jenis Makrozoobentos Di Ekosistem Perairan Rawapening Kabupaten Semarang. Jurnal. http://digilib.unnes-.ac.id/gsdl/collect/skripsi/archives/HASHa1c4.dir/doc.pdf. Juni, 01, 2010.

Daud, A. 2009. Bahaya Logam Berat Pada Ikan. http://daud.blogspot.com/ archive.html. Januari, 13, 2011.

De Robertis, E. D. P., dan E. M. F. De Robertis. 1988. Cell and Molecular Biology eight edition. International Edition. Info-Med Limited All Right Reserved. Hongkong.

E-dukasi. net. 2011. Ragam Mutasi pada Kromosom dan Gen. http://www.e-dukasi.net/index.php?mod=script&cmd=Bahan%20Belajar/Materi%20Pok ok/view&id=331&uniq=3642. Juli, 11, 2011.

Effendie, M. I. 1997. Faktor-Faktor Genetic. http://hobiikan.blogspot.com/-2008/08/faktor-faktor-genetic-kromosom-ikan.html. Oktober, 15, 2011.

Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air: Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.

Eldridge, F. E. 1985. Cytogenic of Livestocks. Te Avi Publishing Company, Inc. America.

Gad, N. S., dan A. S. Saad. 2008. Effect of Environmental Pollution by Phenol on Some Physiological Parameters of *Oreochromis niloticus*. Global Veterinaria 2 (6): 312-319, ISSN 1992-6197.

Geonarso, D. 1988. Perubahan faal ikan sebagai Indikator kehadiran insektisida dan Detergen dalam air. Disertasi. ITB. Bandung.

Gross, M. C., C. H. Schneider, G. T. Valente, J. I. R. Porto, C. Martins, dan E. Feldberg. 2010. Comparative Cytogenetic Analysis of the Genus Symphysodon (Discus Fishes, Cichlidae): Chromosomal Characteristics of Retrotransposons and Minor Ribosomal DNA. Cytogenet Genome Res, DOI: 10.1159/000279443.

Gunradi, R dan S. J. Suprapto. 2007. Penelitian Endapan Lumpur di Daerah Porong Kabupaten Sidoarjo Profinsi Jawa Timur. Prosiding Pemaparan Hasil Kegiatan Lapangan dan Non Lapangan Tahun 2007 Pusat Sumber Daya Geologi. 11 hal.

Gusrina. 2008. Budiday ikan jilid 1. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah. Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta.

Hanyawanita. com. 2010. Wapres Tinjau Lokasi Lumpur Panas. http://www.hanyawanita.com/_hot_news/article. Juni, 10, 2011.

Hartono, D. P. 2003. Karakteristik Kromosom Ikan Kerapu. Program Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Hasan, I.M. 2002. Pokok-Pokok Materi Metodologi Penelitian dan Aplikasinya. Ghalia Indonesia. Jakarta.

Haryadi, Martono, Priyatmoko, W., Pramutanto, dan Yusrambono. 2008. Kehidupan Lumpur Edisi 17. Media Solusi. Lembaga Kajian LC. 18-24 Maret. 12 hal. EMAIL: mediasolusi@gmail.com.

Herawati, N. 2007. Analisis Risiko Lingkungan Aliran Air Lumpur Lapindo Ke Badan Air (Studi Kasus Sungai Porong dan Sungai Aloo-Kabupaten Sidoarjo).Tesis Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro. Semarang.

Jusuf, M. 2001. Genetika I Struktur dan Ekspresi Gen. Sagung Seto. Jakarta. Kementerian Lingkungan Hidup. 2004. Pengendalian Pencemaran Air. Jakarta.

Kimia Analitik-MIPA. 2011. Metode Pengujian Kualitas Kimia Air. Fakultas Kimia. Universitas Brawijaya. Malang.

Kligerman, A.D. & S. E. Bloom. 1977. Rapid Chromosome Preparation from Sollid Tissue Of Fishes. J. Fish. Res. Board, Canada. 34: 266-269.

Kordi, M.G.H. dan A. B. Tancung. 2007. Pengelolaan Kualitas Air (Dalam Budidaya Perairan). Rineka Cipta. Jakarta.

Kirpichnikov, N. S. 1979. Genetic Base of Fish Selection. Springer Verlaag Berlin, Heidelberg. New York.

Levan, A., K. Fredga, dan A. A. Sandberg. 1964. Nomenclature for Centromeric Position on Chromosomes. Hereditas, 52: 201-220.

Lukito O. 2007. Menyoal Lumpur Lapindo. http://okilukito.wordpress.com-/2007/11/13/sdm-payah-sdi-parah-dkp-hobi-bangun-pelabuhan/. Diakses tanggal 10 Juni 2010

Mahmoud, A., M. Zowail, G. Yossif, and K. Sharafeldin. 2010. Cytogenetical Studies on Some River Nile Species From Polluted and Nonpolluted Aquatic Habitats. Egypt. Acad. J. Biologi. Sci., 2 (1): 1-8, ISSN: 2090-0759.

Martinez, C. B. R. dan M. P. C. Marina. 2007. Histopathology of gills, kidney and liver of a Neotropical fish caged in an urban stream. Laboratory of Animal Ecophysiology, Department of Physiological Sciences State University of Londrina (UEL). Neotropical Ichthyology, 5(3):327-336.

Matsumoto, S. T., M. S. Mantovani, M. I. A. Malaguttii, A. L. Dias, I. C. Fonseca, dan M. A. M. Morales. 2006. Genotoxicity and Mutagenicity of Water Contaminated With Tannery Effluents as Evaluated by The Micronucleus Test and Comet Assay Using The Fish *Oreochromis niloticus* and Chromosome Aberrations in Union Root-Tips. Genetics and Mulecular Biology, 29, 1, 148-158. Brazilian Society of Genetics. Brazil.

Mohamed, M. M., S. A. El-Fiky, Y. M. Soheir, dan A. I. Abeer. 2008. Cytogenetic Studies on the Effect of Copper Sulfate and Lead Acetate Pollution on *Oreocromis niloticus* Fish. Asian Journal of Cell Biology 3 (2): 51-60. Departement of Marine Biotechnology. Faculty of Fisheries. Kagoshima University. Kagosima. Japan.

Mulyanto. 2008. Metode Sampling (Diktat Kuliah). Fakultas Perikanan. Universitas Brawijaya. Malang.

Marzuki. 1991. Metodologi Riset. Cetakan Kelima. Bagian Penerbitan Fakultas Ekonomi Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Nurhayati. 1997. Karyotipe Ikan Rainbow Famili Atherinidae. Skripsi Program Studi Budidaya Perairan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Nasution, S. 2007. Metodologi Research. Bumi Aksara. Jakarta.

Pai, A. C. 1992. Dasar-Dasar Genetika Edisi Kedua. Penerbit Erlangga. Jakarta.

Passarge, E. 2007. Color Atlas of Genetics 3rd Edition. Thieme Stuttgart. New York. 200-204.

Pemancing. com. 2009. Ikan Mujair ikan yang paling banyak menjadi obyek pemancingan alam. http://pemancing.com/ikan-mujair. Juni, 10, 2011.

Pendidikan Biologi. 2010. MUTASI. UIN Alauddin Makassar. http://biology-.mutasi.com/Linked_Set_blood_cells_comparison.php. Desember, 9, 2010.

Poletto, A. B., I. A. Ferreira, D. C. Cabral-de-Mello, R. T. Nakajima, J. Mazzuchelli, H. B. Ribeiro, P. C. Venere, M. Nirchio, T. D. Kocher, and C. Martins. 2010. Chromosome Differentiation Patterns During Cichlid Fish Evolution. BMC Genetics 2010, 11:50, doi: 10.1186/1471-2156-11-50.

Pudjirahaju, A., K. Bungas dan K. Yuliany. 2006. Pengaruh Perbedaan Suhu Kejutan Panas terhadap Keberhasilan Gynogenesis pada Ikan Mas (Cyprinus carpio L.). Journal of Tropic Fisheries, 1(2):126-131.

Rustidja. 1997. Kromosom Ikan Lele Dumbo (Clarias gariepinus) Polyploid. Fakultas Perikanan. Universitas Brawijaya. Malang.

Said, D. S., O. Carman, Hidayat, dan Abinawanto. 2003. Studi Kromosom Ikan Pelangi (*Melanotaenia lacustris*). Jurnal Iktiologi Indonesia, Vol. 3, No. 2.

Salim, A. 2009. Deskripsi Dan Interpretasi. http://www.ktiguru.org. Juni, 10, 2011.

Sasongko, L. A. 2006. Kontribusi Air Limbah Domestik Penduduk Di Sekitar Sungai Tuk Terhadap Kualitas Air Sungai Kaligarang Serta Upaya Penanganannya (Studi Kasus Kelurahan Sampangan dan Bendan Ngisor Kecamatan Gajah Mungkur Kota Semarang). Program Magister Ilmu Lingkungan. Program Pasca Sarjana. Universitas Diponegoro. Semarang.

Scribd. Com. 2011. http://www.scribd.com/doc/6108784/Mutasi-Dapat-Terjadi-Pada-Tingkat-DNA-GEN-Dan-KROMOSOM. Juni, 19, 2011.

Setyowati, A., D. Hidayati, Awik, P.D.N., dan N. Abdulgani. 2010. Studi Histopatologi Ikan Belanak (*Mugil cephalus*) di Muara Sungai Aloo Sidoarjo. Program Studi Biologi, Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Surabaya.

Sharma, A. 1976. The Chromosomes. Oxford and IBH Publishing Company, Inc. New Delhi. 286p.

Siagian, W. K. 2006. Karakteristik Kromosom Ikan Manvis (*Pterophyllum scalare*). Sekolah Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Slamet, R., Arbianti, dan Daryanto. 2005. Pengolahan Limbah Organik (Fenol) dan Logam Berat (Cr^{6+} atau Pt^{4+}) Secara Simultan Dengan Fotokatalis TiO_2, ZnO- TiO_2, dan CdS- TiO_2. MAKARA, TEKNOLOGI, VOL. 9, NO. 2, NOPEMBER 2005: 66-71. Departemen Teknik Gas dan Petrokimia, Fakultas Teknik. Universitas Indonesia. Depok.

Sofy, H. I., Layla, A. M., dan Iman, M. K. A. 2008. Karyotipic Diversity of Some Tilapia Species. Nature and Science, 6(1), ISSN: 1545-0740.

Soemarwoto, O. 1990. Beberapa Masalah Mendesak dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup. Widyapura No. 1 tahun VII/1990. Pusat penelitian dan Pengembangan dan Perkotaan dan Lingkungan DKI. Jakarta.

Standard Methods. 1982. For The Examination of Water and Waste-Water. Sixteenth edition. APHA, AWWA, WPCR. Wasington DC.

Standar Nasional Indonesia (SNI). 1990. Bidang Pekerjaan Umum Mengenai Kualitas Air. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.

Suryabrata. 1994. Metodologi Penelitian. Rajawali Press. Jakarta.

Suryo. 1995. Sitogenetika Cetakan Pertama. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

———. 2005. Genetika Manusia Cetakan ke-8. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

———. 2008. Genetika Cetakan Ke-12. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Sutanmuda. 2008. Budidaya Ikan Mujair. http://sutanmuda.wordpress.com/. Juni, 19, 2011.

Sutisna, D. H., dan R. Sutarmanto. 1995. Pembenihan Ikan Air Tawar. Kanisius. Yogyakarta.

Sutrisna, N. A. 2002. Perbandingan Karyotipe Sapi Bali (*Bos sondaicus*) dan Banteng (*Bos banteng*). Program Studi Teknologi Produksi Ternak. Jurusan Ilmu Produksi Ternak. Fakultas Peternakan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Taufiq, R. 2008. Walhi Desak Bapedal Teliti Kandungan Lumpur Lapindo. http://hotmudflow.wordpress.com/. Juni, 19, 2011.

Thode, G., G. Martinez, J. L. Ruiz, J. R. Lopez. 1987. A complex Chromosomal Polymorphism in *Cobius fallax* (Gobiidae, Perciformes). In Van Brink. J. M dan Kianta, B (Eds) Genetica 76: 65-71.

Tugaswaty, T. 1987. Metoda Penelitian Kwalitas Air. Penataran Metoda Penelitian Ilmu Lingkungan. Lembaga Penelitian Universitas Indonesia. Jakarta.

Vitanouva. net. 2006. Ekosistem Air Tawar Kali Porong Rusak Karena Lumpur Lapindo. http://www.vitanouva.net/index. Juni, 19, 2011.

Wardhana, W. A. 2004. Dampak Pencemaran Lingkungan Edisi Revisi. Penerbit Andi. Yogyakarta.

Wetter, L. R., dan F. Constabel. 1991. Metode Kultur Jaringan Tanaman. Edisi ke Dua. Penerjemah : Mathilda B. Widianto. Bandung.

Widayati, D.E., Aunurrohim, dan N. Abdulgani. 2010. Studi Histopatologi Insang Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*) pada Konsentrasi Sublethal Air Lumpur Sidoarjo. Program Studi Biologi. Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.

Wikipedia. org. 2011[a]. Mujair. http://id.wikipedia.org/w/index.php?title=Mujair&-action=edit. Juni, 19, 2011.

Wikipedia. Org. 2011[b]. Pencemaran lingkuan perairan. http://id.wikipedia.org/wiki. Juni, 19, 2011.

Yadav, K. K. dan S. P. Trivedi. 2009. Chromosomal Aberations in a Fish, *Chanal punctata* After In Vivo Exposure to Three Heavy Metals. Mutation Research 678: 7-12.

Yatim, W. 2003. Genetika Edisi Ke 5. Penerbit Tarsito. Bandung.

Zhu, H. P., M. X. Lu, F. Y. Gao, Z. H. Huang, L. P. Yang, dan J. F. Gui. 2010. Chromosomal Localizaton of rDNA Genes and Genomic Organization of 5S rDNA in *Oreochromis mossambicus*, *O. Urolepis hornorum* and Their Hybrid. Indian Academy of Sciences. J. Genet. 89, xx–xx.

LAMPIRAN

Lampiran 1 . Alat dan Bahan yang Diperlukan untuk Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Parameter	Alat	Fungsi
Perendaman ikan dengan larutan kolkisin	• Akuarium ukuran 15 x 10 x 15 cm • Aerasi	• Untuk tempat ikan yang akan direndam dengan larutan kolkisin • Untuk pasokan oksigen
Pengambilan dan Preparasi Jaringan	• Scalpel • Pinset • Cawan petri	• Untuk membedah ikan dan diambil insangnya • Untuk mengambil insang ikan yang telah difiksasi dalam larutan carnoy • Untuk tempat jaringan ikan
Pembuatan preparat	• Gelas obyek • Scalpel • Gelas gerus • Pipet tetes • Bunsen	• Tempat untuk obyek yang akan diamati • Untuk mencacah insang ikan • Untuk menggerus insang ikan • Untuk mengambil larutan carnoy dan suspensi sel pada jaringan ikan • Untuk mengeringkan suspensi sel jaringan ikan pada gelas obyek
Pewarnaan	• Jar • Mikroskop DIC BX 51 (Olympus)	• Tempat untuk sampel kromosom yang akan diwarna. • Untuk pengamatan kromosom dan foto kromosom
Suhu (SNI, 1990)	• Thermometer Hg	• Untuk mengukur suhu perairan
pH (SNI, 1991)	• Kotak standar pH	• Untuk mencocokkan warna pada pH paper dan nilai pH perairan
DO (Hariyadi et al., 1992)	• DO meter	• Untuk menguji kadar oksigen di perairan
COD (Hariyadi et al., 1992)	• Botol • Cuvet • Pipet tetes • Pipit volum • Reaktor COD • Erlenmeyer • Statif • Buret	• Untuk mengambil sampel air • Untuk tempat sampel • Untuk mengambil larutan • Untuk mengambil larutan dengan volume tertentu • Untuk memanaskan sampel • Untuk tempat sampel setelah dingin • Penyangga buret • Untuk titrasi larutan
Phenol (SNI, 1990)	• Pipet tetes • Gelas ukur • Spektrofotometer U-Vis	• Untuk mengambl larutan • Untuk mengukur air sampel yang akan di uji phenolnya • Untuk mengukur kadar phenol perairan

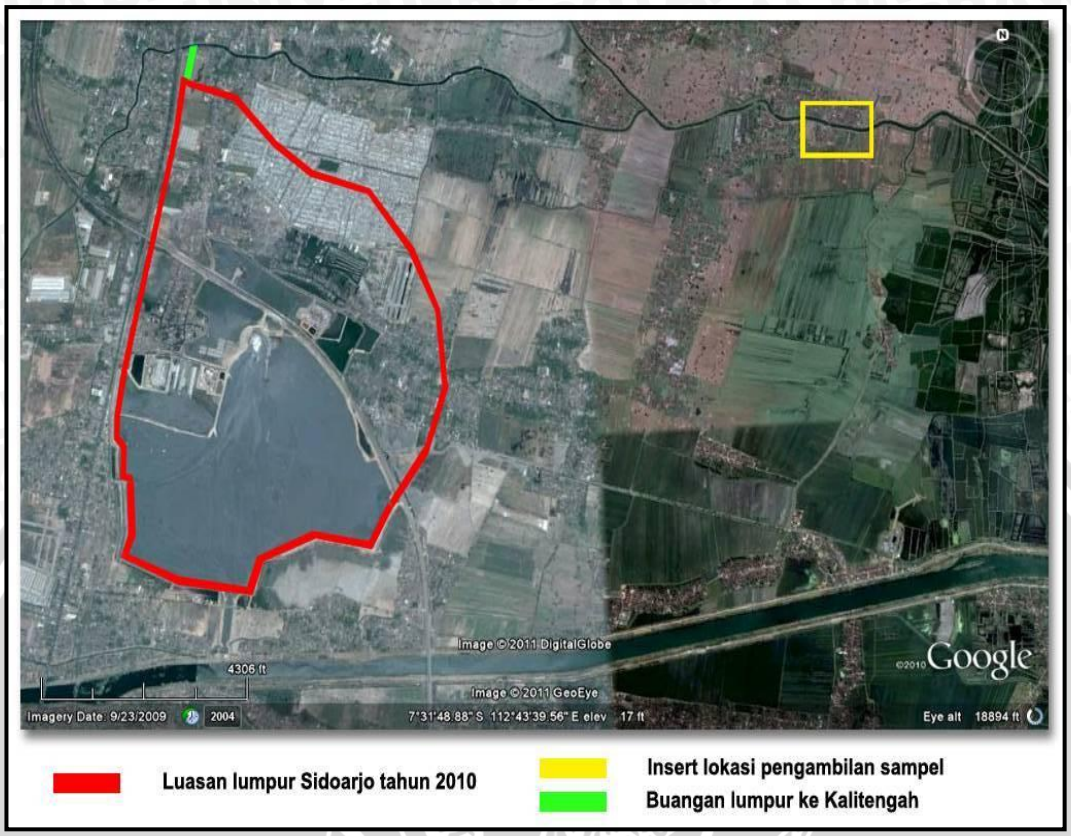
Parameter	Alat	Fungsi
"Total Suspended Solid" (TSS) (SNI, 2004)	• Timbangan digital • Oven • Desikator • Pipet volum	• Untuk menimbang tanah dengan ketelitian 0,1 gr • Untuk mengeringkan sampel lumpur • Untuk pendinginan dan penyeimbang suhu • Untuk mengambil larutan dengan volume tertentu
Merkuri (Hg)	• Labu ukur • Saringan membran pori • Erlenmeyer • AAS	• Untuk mengukur sampel air • Untuk menyaring agar endapan tidak tercampur dengan air sampel • Tempat air sampel setelah di saring • Untuk mengukur kadar merkuri perairan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

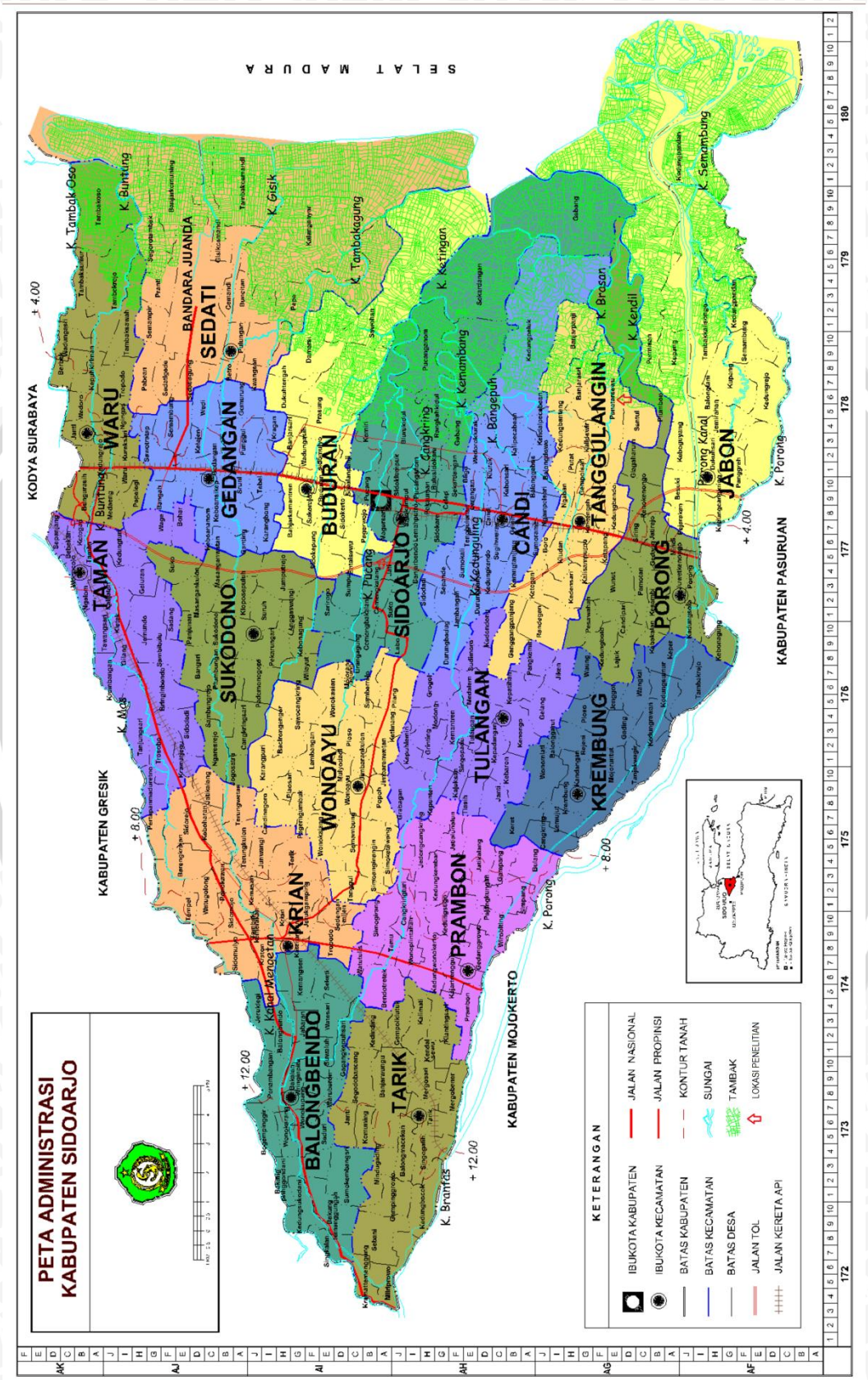
Parameter	Bahan	Fungsi
Pengambilan dan Preparasi Jaringan	• kolkisin • Ikan mujair • 0,075 M KCL • Tissue • Carnoy	• Untuk menghentikan pembelahan sel saat proses metafase • Sebagai obyek penelitian • Untuk perlakuan hipotonik agar insang tidak kering dan untuk proses pemecahan dinding sel, serta sel membesar dan kromosom menyebar letaknya • Untuk membersihkan sisa cairan KCL pada insang • Untuk memfiksasi jaringan insang agar bentuk dan keutuhan kromosom terjaga
Pembuatan preparat	• Suspensi sel • Tissue • Larutan carnoy	• Untuk sampel yang akan diamati kromosomnya • Untuk membersihkan sisa cairan carnoy pada insang • Untuk proses fiksasi jaringan
Pewarnaan	• Akuades • Giemsa	• Untuk membersihkan sisa giemsa pada gelas obyek, dan mengencerkan giemsa • Untuk pewarnaan kromosom
Suhu	• Air sampel	• Sebagai sampel yang akan diukur suhunya
pH	• pH paper • Air sampel	• Untuk mengukur pH perairan • Sebagai sampel yang akan diukur pHnya
DO	• Air sampel • Tissue • Aquades	• Sebagai sampel yang akan diukur Donya • Untuk mengelap DO meter • Untuk menetralkan nilai DO meter

Parameter	Bahan	Fungsi
COD	• Air sampel • $K_2Cr_2O_7$ 0,1 M • H_2SO_4 + $AgSO_4$ • $C_{12}H_8N_2$ • $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ • Aquades	• Sebagai sampel yang akan diukur CODnya
Phenol	• Air sampel • NaOH 8% • Asam sulfat • $NaNO_2$ 4,8 % • H_2SO_4	• Sebagai sampel yang akan diukur phenolnya • Untuk mensuasanakan basa • Sebagai pelarut • Sebagai pelarut • Sebagai pelarut
"Total Sus-pended Solid" (TSS)	• Kertas saring • Air sampel	• Untuk menyaring sampel • Untuk pencucian sampel
Merkuri (Hg)	• Air sampel • Kertas saring • Aquaregia deges • Aquades	• Untuk diukur kadar Hg nya • Untuk menyaring air ampel • Untuk suasana asam • Untuk penambahan volume tertentu

Lampiran 2. Denah Lokasi Penelitian



Lampiran 3. Peta Kawasan Sungai Aloo



Lampiran 4. Keadaan Lokasi Pengambilan Sampel Di Aliran Sungai Aloo

Saluran air Lumpur dari Pond menuju ke sungai

Pembuangan air Lumpur ke Sungai

Pembuangan air Lumpur ke Sungai

Aliran sungai Aloo

Ikan di aliran sungai banyak yang mati

Lampiran 5. Dokumentasi Pengujian Kromosom

<table>
<tr><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td colspan="2">Ikan Mujair yang dijadikan objek penelitian</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>Insang ikan gabus di rendam dalam KCl</td><td>Insang di cacah kecil-kecil</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>Ikan di gerus dengan menggunakan penggerus seperti gelas</td><td>Ikan di rendam dengan larutan carnoy dengan beberapa tahapan (larutan carnoi = 1 asam asetat :3 metanol)</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>Pembuatan preparat dengan meneteskan suspensi di atas objek glas</td><td>Bunsen untuk memanaskan preparat</td></tr>
</table>

Perendaman dengan larutab giemsa yang konsentrisinya 1:9 (1 ml giemsa : 9 ml aquades)	Preparat dibilas dengan air yang bersih
Di lihat di mikroskop dan setelah kromosom d dapat di foto	