

**PENGEMBANGAN SISTEM PERINGATAN DINI
BENCANA LINGKUNGAN PERAIRAN DARAT**
(Studi Kasus Kematian Massal Ikan di Waduk Jatiluhur)

M. Fakhrudin, Tjandra C, Luki S, Ika A.S, & A. Hamid
Pusat Penelitian Limnologi – LIPI

E-mail : mfakhrudin@limnologi.lipi.go.id

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara kaya dengan sumberdaya air, tercatat lebih dari 500 danau dan waduk besar dengan luas lebih dari 490.000 ha. Danau/waduk selain berfungsi ekonomis (perikanan, pertanian, transportasi, dan pembangkit listrik), juga berfungsi ekologis, antara lain : pengendali iklim mikro dan banjir, imbuhan (recharge) air tanah dan keanekaragaman hayati. Kondisi lingkungan perairan danau/waduk sangat dinamis dipengaruhi oleh aktivitas diperairan danau/waduk maupun yang berada pada daerah tangkapan airnya dan disisi lain sektor yang berkepentingan juga cukup beragam, seperti : perikanan, pariwisata, lingkungan hidup, pertanian, transportasi dan energi listrik. Permasalahan pengelolaan danau/waduk sangat kompleks dan melibatkan banyak pemangku kepentingan, sehingga memerlukan data lingkungan perairan yang akurat, cepat dan real time. Sistem monitoring online yang dikembangkan memanfaatkan teknologi informasi yang terdiri dari : a).Stasiun pengukuran parameter lingkungan perairan yang ditempatkan di danau/waduk, dilengkapi perekam data (data logger) dan perangkat komunikasi (GSM/CDMA) untuk mengirim data secara online ke server. b).Server yang berfungsi mengolah data dan menyebarkan data melalui web, sehingga data lingkungan real time dapat diunduh (download) melalui internet. Selain itu permintaan data dapat dilakukan dengan mengirim pesan singkat (short massanger system/SMS) melalui telfon genggam (handphone). Sistem ini mempunyai kemampuan juga untuk memberikan peringatan dini mengenai banjir, kematian massal ikan di waduk, dan pencemaran, serta keamanan peralatan melalui SMS, email dan jaringan computer (LAN). Makalah ini ditekankan untuk mengungkapkan mengenai pengembangan sistem peringatan dini kematian massal ikan di Waduk Jatiluhur Jawa Barat.

Kata kunci : monitoring, real time, peringatan dini, bencana lingkungan, kematian ikan,

ABSTRACT

In Indonesia there are more than 500 lakes and reservoirs, which cover an area of more than 490,000 ha. In addition, their functions in economy (fisheries, agriculture, transportation and power plants), as well as in ecology, such as micro-climate and flood control, ground water recharge and biodiversity have vital roles in inland water management. Aquatic environmental conditions of lake or reservoir are very dynamic and are affected by its own water body and the catchment area. On the other hand, they also involve various sectors, such as: fisheries, tourism, environment, agriculture, transportation and electrical power. Problems in managing lakes/reservoirs are complex and involve many stakeholders. Thus, the water environment management requires accurate and quick real time data. Through online monitoring system, information technology on water management has been developed consisting of: a). The measurement stations of the environmental parameters that are placed in the waters of lake/reservoir, equipped with data recorders (data logger) and communication devices (GSM / CDMA) to send online data to the server. b). Server that provides processed data and disseminates data via the Web, so that real time environmental data are downloadable via the internet. Furthermore, data requests can be made by sending an SMS through mobile phone. The system is able to provide early warning of floods, mass mortality of fish in reservoirs and pollution level through a safe system via SMS, email and computer network (LAN). This paper emphasizes the development of early warning systems for mass mortality of fish at Jatiluhur reservoir, West Java.

Keywords: monitoring, real-time, early warning system, mass mortality of fish, reservoir

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kaya dengan danau, tercatat lebih dari 500 danau/waduk dengan luas lebih dari 490.000 ha. Danau ini tersebar mulai dari Sabang sampai Merauke, semua pulau besar terdapat danau. Pada saat ini danau tersebut belum dimanfaatkan secara optimal. Padahal danau menyimpan potensi yang cukup besar, baik sebagai obyek wisata, perikanan, pertanian, transportasi, maupun untuk pembangkit listrik. Disamping itu, dari aspek ekologi, danau juga berfungsi sebagai : pengendali iklim mikro, *recharge* air tanah, pengendali banjir, dan habitat berbagai keanekaragaman hayati.

Hasil penelitian yang mengungkapkan beberapa contoh fungsi danau, misalnya : sebagai potensi sumberdaya perikanan tangkap pada Danau Semayang-Melintang mencapai 75 milyar rupiah/tahun (Puslit Limnologi LIPI, 2005); sebagai pengendali banjir (menurunkan puncak banjir 25% di musim penghujan) dan peningkatan aliran dasar (*base flow*) 50% di musim kemarau pada Danau Sentarum (Olivier, K. 1994); Danau Maninjau sebagai pembangkit tenaga listrik sebesar 205 GWH pertahun dan sebagai daerah pariwisata pada tahun 2001 dikunjungi 9.815 wisatawan domestik dan 1.802 wisatawan asing (Puslit Limnologi LIPI, 2005).

Waduk Jaliluhur terletak di Kabupaten Purwakarta, yang merupakan satu dari tiga waduk besar *cascade* yang dibangun paling hilir dari Sungai Citarum pada ketinggian 111,5 m dpl (meter dari permukaan air laut). Waduk diatasnya adalah Waduk Cirata pada ketinggian 221 m dpl dan waduk paling atas yaitu Waduk Saguling pada ketinggian 645 m dpl. Waduk Cirata (6.200 ha) dan Waduk Saguling (5.600 ha) mempunyai fungsi utama sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), sedangkan Waduk Jatiluhur (8.300 ha) mempunyai multi fungsi, yaitu PLTA, sumber irigasi dan air baku untuk air bersih/minum, dan sebagai pengendali banjir.

Waduk Jatiluhur yang dibangun pada tahun 1967 merupakan bendungan terbesar yang dibangun di Indonesia, yang juga dinamakan Waduk Ir. H. Juanda. Volume air waduk kondisi normal pada ketinggian air 107 m dpl sebesar 3 miliar m³ dengan debit rata-rata 175 m³/detik dan daerah tangkapan air waduk seluas 4.500 km². Pada Waduk Jatiluhur dibangun 6 unit turbin air untuk pembangkit tenaga listrik dengan daya terpasang 187 mega watt dan produksi tenaga listrik rata-rata 1.000 juta kwh setiap tahun

Budidaya perikanan jaring apung mulai populer sejak dikenalkan kepada masyarakat sebagai upaya *resettlement* penduduk yang terkena genangan waduk pada era 1980-an di Waduk Saguling dan Cirata. Saat ini kegiatan usaha perikanan ini telah menyebar hampir di seluruh tanah air, baik di perairan tergenang, seperti waduk, situ, dan danau, maupun di perairan yang mengalir (sungai). Permasalahan utama budidaya ikan jaring apung hingga saat ini adalah kematian massal ikan yang terjadi secara reguler hampir setiap tahun di danau dan waduk.

Kejadian ini banyak dikaitkan dengan perubahan musim, khususnya awal musim penghujan, dimana perubahan suhu air permukaan waduk/danau menjadi lebih dingin dan menstimulasi proses pengadukan air waduk/danau. Proses pengadukan air ini sebenarnya merupakan fenomena alami yang diduga terjadi di beberapa waduk/danau yang pada umumnya memiliki stratifikasi suhu. Setidaknya ada dua hal yang menyebabkan proses pengadukan ini menjadi fatal pada perikanan budidaya jaring apung:

1. Penumpukan sisa pakan dan sisa metabolisme ikan di dasar waduk atau danau yang menyebabkan kondisi air dasar danau menjadi anoksik dan menstimulasi proses anaerobik yang menhasilkan berbagai senyawa racun, seperti nitrit dan asam sulfida. Pada saat terjadi pengadukan kolom air anoksik beserta kandungan senyawa racunnya ini terangkat ke atas dan terpapar masuk ke dalam jaring-jaring apung.
2. Kondisi ikan di jaring apung yang relatif padat menyebabkan kebutuhan oksigen yang tinggi, sementara karena terkurung dalam jaring, ikan-ikan tersebut tidak dapat menghindari datangnya air anoksik dari bawah. Populasi ikan di luar jaring apung diduga mampu berenang menghindari area pengadukan air sehingga terhindar dari malapetaka air anoksik.

Jumlah kematian ikan yang masif menyebabkan ikan yang mati sulit diangkat dan membusuk di perairan di sekitar jaring apung sehingga menambah parah kondisi kualitas airnya.

Meskipun memiliki resiko bencana kematian massal namun usaha perikanan jaring apung ini tetap menjadi tempat usaha yang menarik. Hal ini kemungkinan disebabkan nilai keuntungan usaha ini bila dihitung dalam siklus tahunan masih besar atau setidaknya cukup untuk memenuhi kebutuhan hidup sehari-hari. Hal lain

yang memaksa masih berlanjutnya kegiatan usaha perikanan jaring apung adalah semakin langkanya lahan ataupun bidang usaha lain yang lebih menguntungkan dibanding usaha perikanan budidaya jaring apung ini. Hal tersebut menunjukkan bahwa usaha perikanan jaring apung merupakan usaha masyarakat yang masih sulit dicari alternatif penggantinya.

Untuk itu perlu dilakukan upaya-upaya untuk mengembangkan usaha perikanan jaring apung yang lebih aman, khusunya terkait dengan antisipasi bencana kematian massal ikan tersebut dengan mengembangkan sistem monitoring lingkungan perairan dan peringatan dini kematian massal ikan di Waduk Jatiluhur.

KERANGKA PIKIR KEGIATAN

Percampuran badan air atau hidrodinamika dalam danau/waduk ditentukan oleh morfometri danau/waduk, massa jenis air, aliran masuk dan keluar danau, dan faktor cuaca serta efek Coriolis (Tsanis *et al.*, 2007 dan Ji, 2008). Berdasarkan faktor-faktor tersebut maka massa jenis air dan cuaca yang cepat berubah setiap saat.

Massa jenis air (ρ) merupakan parameter dasar dalam hidrodinamika, perbedaan massa jenis air ini mengakibatkan terjadinya stratifikasi lapisan air (epilimnion-metalimnion-hipolimnion) dan menghambat percampuran air secara vertikal. Menurut Ji (2007), massa jenis air ditentukan oleh suhu, salinitas, dan konsentrasi total sedimen tersuspensi. Namun menurut Reading (1996) faktor sedimen tersuspensi menjadi penting pada danau es, sementara faktor salinitas hanya berperan penting pada danau dengan salinitas tinggi atau memiliki mata air hidrotermal dalam. Pada kasus Waduk Jatiluhur faktor salinitas sangat kecil pengaruhnya terhadap berat jenis, karena kualitas air mempunyai kadar garam yang kecil sepanjang tahun.

Laju penurunan nilai massa jenis meningkat seiring meningkatnya suhu. Menurut Allen *et al.*(2005) usaha yang diperlukan untuk mencampurkan dua lapisan air bersuhu 29° dan 30° C lebih besar dari usaha yang diperlukan untuk mencampurkan dua lapisan air bermassa sama yang memiliki suhu 4° dan 5° C. Oleh karena itu, danau di daerah tropis lebih mudah terstratifikasi dibandingkan danau sub tropis. Dilain pihak, sedikit penurunan suhu di danau tropis (mengakibatkan

kenaikan ρ yang relatif tinggi) sehingga dapat menghasilkan arus konveksi yang pada jangka panjang dapat mengakibatkan percampuran air danau secara vertikal.

Pendekatan teknis didasarkan pada hipotesis pemicu fenomena bencana kematian massal ikan:

1. Adanya penumpukan bahan organik di dasar perairan waduk yang menyebabkan kondisi anoksik disertai proses penguraian anaerobik yang melepaskan senyawa beracun kedalam badan air
2. Pendinginan permukaan air waduk akibat perubahan cuaca menstimulasi proses pengadukan air dan membawa air anoksik dan beracun dari dasar perairan ke bagian permukaan sehingga menyebabkan kematian massal ikan di jaring-jaring apung.

Untuk mempelajari fenomena pengadukan air di atas, terutama kondisi kritis parameter suhu yang mendorong terjadinya proses pengadukan tersebut, dilakukan monitoring parameter suhu pada beberapa strata kedalaman air Waduk Jatiluhur secara terus-menerus, dengan menggunakan sistem monitoring on-line dalam jangka yang relatif panjang. Diharapkan selama masa pemantauan tersebut terjadi fenomena pengadukan air waduk. Pengolahan data dinamika suhu dan parameter kimia fisik lainnya akan difokuskan pada sekitar periode pengadukan untuk menemukan kondisi kritis pendorong proses pengadukan tersebut. Berdasarkan data kondisi kritis tersebut dikembangkan sistem peringatan dini yang ditambahkan kedalam sistem monitoring on-line-nya.

PENENTUAN LOKASI MONITORING LINGKUNGAN PERAIRAN

Untuk mementukan Lokasi monitoring online ini telah dilakukan survey di Waduk Jatiluhur pada pertengahan bulan Agustus 2010 dan dilakukan kunjungan ke beberapa instansi disekitarnya yang ada kaitannya dengan Waduk Jatiluhur. Perum Jasa Tirta II instansi yang bertanggung jawab terhadap pengelolaan Waduk Jatiluhur, Dinas Perikanan dan Peternakan Kabupaten Purwakarta instansi yang bertanggung jawab terhadap pembinaan petani keramba jaring apung di waduk, dan Balai Riset Pemuliaan Sumberdaya Ikan – DKP instansi yang melakukan riset perikanan air tawar.

Beberapa hal yang menjadi pertimbangan dalam menentukan lokasi monitoring online adalah :

- Lokasi yang cukup merepresentasikan kualitas air Waduk Jatiluhur dan berada disekitar keramba jarring apung
- Lokasi yang dianggap aman dan tidak berpindah-pindah tempat
- Lokasi yang menjadi salah satu stasiun penelitian Balai Riset Pemuliaan Sumberdaya Ikan – DKP



Gambar 1. Lokasi Stasiun Online Monitoring di Waduk Jatiluhur

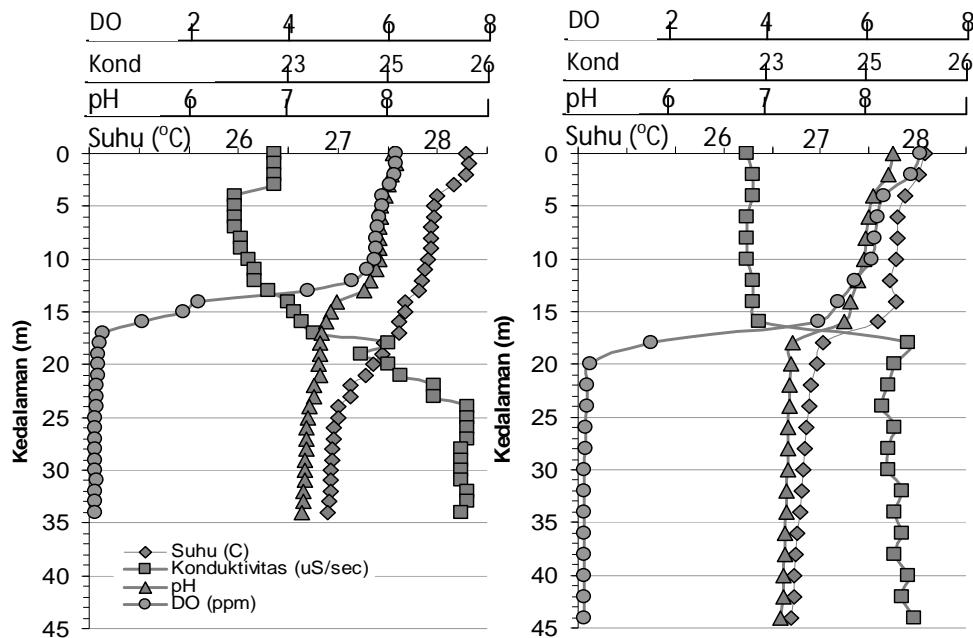
PENENTUAN KRITERIA PERINGATAN DINI KEMATIAN MASSAL IKAN

a. Profil Kualitas Air Waduk Jatiluhur

Survey profil kualitas air Waduk Jatiluhur bertujuan untuk melakukan konfirmasi terhadap laporan-laporan sebelumnya tentang fenomena stratifikasi kolom air waduk. Konfirmasi ini sangat penting untuk mempertegas kebenaran asumsi yang digunakan pada penyusunan kriteria peringatan dini bencana kematian massal ikan, yaitu tentang adanya fenomena stratifikasi suhu yang menyebabkan terjadinya proses umbalan air, serta kondisi kandungan oksigen sangat rendah (anaerobik) pada kolom air dasar (hypolimnion) yang sangat mematikan ikan dalam jaring apung pada saat terjadi umbalan.

Pengukuran kualitas air dilakukan di dua sentra budidaya perikanan jaring apung yang memiliki kedalaman air berbeda. Lokasi pertama memiliki kedalamam sekitar 35 m, sedangkan lokasi kedua kedalamannya mencapai 60 m, namun karena keterbatasan alat ukur, profiling kualitas hanya dilakukan hingga kedalaman 45 m. Pengukuran kualitas air dilakukan menggunakan Water Quality Logger YSI tipe 600 XL V2, yang dilengkapi dengan sensor-sensor pengukur suhu, pH, konduktivitas dan DO. Kondisi cuaca pada saat pengukuran relatif mendung selama beberapa hari terakhir, sementara pada hari pengukuran kekuatan angin cukup besar, sehingga kolom air waduk nampak bergelombang cukup tinggi. Waktu pengukuran berkisar antara jam 13.00 hingga 16.00.

Profil vertikal kualitas air Waduk Jatiluhur pada saat pengukuran disajikan pada Gambar 2. Stratifikasi suhu teramat sangat nyata, dengan lapisan metalimnion (lapisan air antara lapisan atas – epilimnion dan bawah – hypolimnion, dimana teramat melalui karakter perubahan suhu yang cepat dari lapisan atas hingga stabil di lapisan bawahnya) antara kedalaman 12 – 24 m pada kedalaman air 35 m, dan 14 – 18 m pada kedalaman air 60 m. Sementara perbedaan suhu air antara lapisan epilimnion dengan hipolimnion pada saat pengukuran adalah sekitar 1,5 °C. Hal yang perlu menjadi catatan di sini adalah saat pengukuran dilakukan pada kondisi cuaca yang mendung relatif panjang serta kondisi air teraduk karena kondisi angin yang relatif kencang. Langit mendung menyebabkan suhu air di permukaan turun dan mengurangi perbedaan suhu antara lapisan epilimniom dan hypolimnion, seperti yang teramat saat ini. Diduga pada kondisi sinar matahari normal perbedaan suhu antara lapisan epilimnion dan metalimnion ini lebih tinggi. Sementara itu kondisi air yang teraduk diperkirakan menyebabkan lapisan metalimnion menjadi lebih lebar, khususnya di kolom perairan yang lebih dangkal. Meskipun demikian hasil pengamatan ini memperlihatkan stratifikasi suhu yang lebih nyata dibandingkan dengan laporan sebelumnya (Kartamihardja, 2006) yang dilakukan di sekitar lokasi dam.



Gambar 2. Profil vertikal kualitas air Waduk Jatiluhur pada lokasi sentra budidaya perikanan jaring apung dengan kedalaman kolom air berbeda, 35 m (kiri) dan 60 m (kanan)

Hasil pengamatan juga memperlihatkan stratifikasi oksigen terlarut (DO) sejalan dengan stratifikasi suhu di atas. Pada kedalaman 0 – 12 m konsentrasi DO bersisar 5-6 ppm dan menurun tajam hingga mendekati 0 ppm antara kedalaman 12 – 20 m. Pengamatan ini sangat konsisten dengan laporan Kartamihardja (2006), yang juga melaporkan kejadian serupa yang lebih intens di Waduk Cirata dan Waduk Saguling. Hal ini memberikan konfirmasi kondisi lapisan hypolimnion yang anaerobik yang merupakan potensi bahaya terhadap kelangsungan budidaya perikanan di lapisan permukaan air waduk bila terjadi umbalan.

Pengamatan parameter pH memperlihatkan kondisi perairan yang cenderung alkalin, yaitu nilai pH sekitar 8 pada lapisan permukaan, dan menurun hingga mendekati 7 pada lapisan dasar perairan. Sementara itu nilai konduktivitas air meningkat tajam pada lapisan hipolimnion. Effendi (2003) mengaitkan nilai konduktivitas air dengan konsentrasi ion-ion terlarut, baik berasal dari senyawa asam, basa, maupun garam. Peningkatan nilai konduktivitas pada lapisan hypolimnion diduga berkaitan dengan kondisi lapisan air yang anaerobik, yang menyebabkan proses degradasi bahan organik menghasilkan banyak asam sulfida. Dugaan ini diperkuat dengan kenyataan aroma asam sulfida yang sangat kuat, terutama pada kawasan sekitar limpasan air waduk.

b. Penentuan Kriteria Peringatan Dini Bencana Kematian Massal Ikan

Berdasar hasil pengamatan, dapat dipastikan adanya potensi bencana kematian massal ikan akibat pengangkatan air lapisan bawah ke permukaan. Oleh karena itu penyusunan kriteria peringakatan dini bencana kematian massal ikan difokuskan pada dua parameter, yaitu perbedaan suhu antara lapisan permukaan (epilimnion) dan lapisan bawah (hypolimnion), serta kondisi oksigen terlarut di lapisan bawah air waduk tersebut.

Perbedaan suhu diasumsikan bergeser menyempit pada saat udara mendung dan hujan, dan bila keadaan ini berlangsung berhari-hari suhu air pemukaan akan terus turun hingga lebih rendah dari suhu air di lapisan bawahnya. Suhu yang lebih rendah menyebabkan massa jenis air meningkat, sehingga bila massa jenis air permukaan lebih tinggi dari lapisan air di bawahnya akan memicu terjadinya proses umbalan. Berdasar asumsi ini tingkat kerawanan terjadinya umbalan air dibagi dalam beberapa tahap sesuai dengan perbedaan suhu air lapisan permukaan dan lapisan bawah dengan acuan perbedaan suhu rata-rata bulanannya, dimana titik kritis bahaya terjadi pada saat angka relatif perbedaan suhu diatas mendekati $<1\%$ dari rata-rata bulanan terakhirnya.

Pertimbangan kondisi oksigen terlarut terhadap situasi bahaya kematian massal ikan pada saat terjadi umbalan air waduk mengacu pada Effendi (2003), seperti terlihat pada Tabel 1. Berdasar dua kriteria tersebut, peringatan dini bencana kematian massal ikan dikelompokkan dalam beberapa tingkat, seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Kadar oksigen dan pengaruhnya terhadap kelangsungan hidup ikan (Effendi, 2003).

| DO (ppm) | Pengaruh terhadap kelangsungan hidup ikan |
|----------|--|
| <0,3 | Hanya sedikit jenis ikan yang dapat bertahan pada masa pemaparan singkat (<i>short exposure</i>) |
| >0,3-1,0 | Pemaparan lama (<i>prolonged exposure</i>) dapat menyebabkan kematian ikan |
| >1,0-5,0 | Ikan dapat bertahan hidup, tapi pertumbuhannya terganggu |
| >5,0 | Hampir semua organisme akuatik menyukai kondisi ini |

Tabel 2. Kategori peringatan dini kematian massal ikan

| DO $T_e - T_h$ | <0,3 ppm | >0,3-1,0 ppm | >1,0-5,0 ppm | >5 ppm |
|--------------------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|------------------|
| > 80% a* | Normal | Normal | Normal | Normal |
| >60 – 80% a* | Waspada | Normal | Normal | Normal |
| >40 – 60% a* | Siaga I | Waspada | Normal | Normal |
| >20 – 40% a* | Siaga II | Siaga I | Waspada | Normal |
| >1 – 20% a* | Siaga III | Siaga II | Siaga I | Waspada |
| < 1% a* | Bahaya | Siaga III | Siaga II | Siaga I |

Keterangan :

DO diukur pada kedalaman 20 - 30 m air waduk

a* = rata-rata nilai ($T_e - T_h$) selama sebulan terakhir

T_e = suhu air rata2 pada kedalaman 0 - 8 meter

T_h = suhu air rata2 pada kedalaman 20 - dasar waduk

SISTEM ONLINE DAN PERINGATAN DINI LINGKUNGAN PERAIRAN

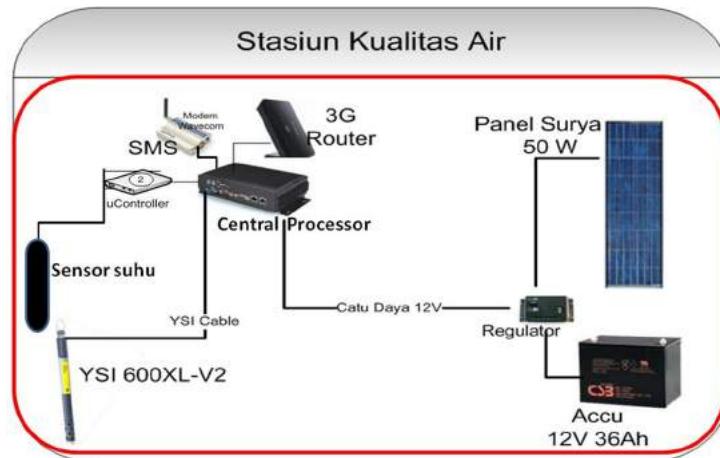
Konfigurasi Perangkat Keras (Hardware)

Peralatan yang digunakan Sistem Online Monitoring dan Peringatan Dini Lingkungan di Waduk Jatiluhur terdiri dari :

- Water Quality Data Logger yang digunakan untuk mengukur kualitas air secara real time pada permukaan air
- Temperatur Data Logger yang digunakan untuk mengukur suhu air secara vertikal dari dasar sampai permukaan air waduk dan suhu udara
- Peralatan untuk transfer data dari lapangan ke *Personal Computer/PC Server* Limnologi Cibinong
- *Solar Cell* untuk memasok listrik
- *Central processor* untuk mengendalikan dan mengintegrasikan semua sistem
- Ponton yang mengapung di waduk untuk dudukan *box panel*, *solar cell*, dan sensor-sensor pengukuran
- *PC Server* terhubung terus-menerus (24 jam) dengan internet yang di *install* di Pusat Penelitian Limnologi LIPI, berfungsi untuk menerima, menyimpan

dan mengolah data yang ditransfer dari Stasiun Monitoring Online Waduk Jatiluhur.

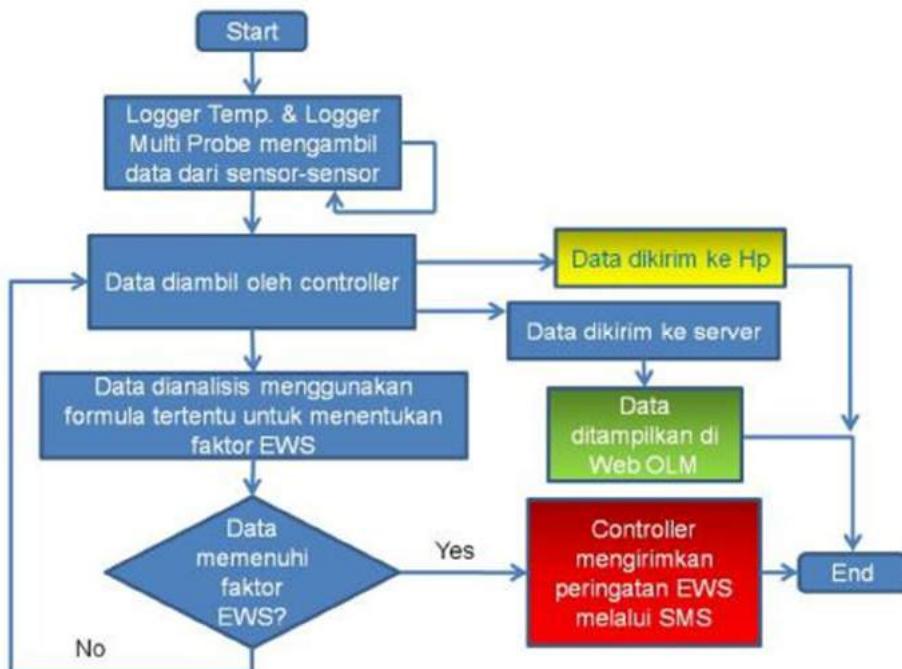
Konfigurasi semua peralatan yang diperlukan dalam sistem monitoring online dan peringatan dini kematian massal ikan di Waduk Jatiluhur dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Konfigurasi Peralatan di Stasiun Waduk Jatiluhur

Pengembangan Perangkat Lunak (Software)

Perangkat lunak (*Software*) yang digunakan dalam Sistem Online dan Peringatan Dini Lingkungan ini merupakan hasil pengembangan yang sepenuhnya dibangun oleh Pusat Penelitian Limnologi LIPI, yang mengikuti alur pada Gambar 4. *Software* ini di *install* pada sistem yang berada didua lokasi, yaitu *Central Processor* (ARM) yang berada di lapangan/waduk dan Komputer Server di Pusat Penelitian Limnologi LIPI. Perangkat lunak yang terdapat di *Central Processor* terdiri dari 1 aplikasi dan Komputer Server terdapat 5 aplikasi. Lebih jelasnya jenis dan fungsi perangkat lunak dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 4. Alur software yang dikembangkan

Tabel 3. Jenis dan Fungsi Perangkat Lunak yang di *instal* dalam sistem

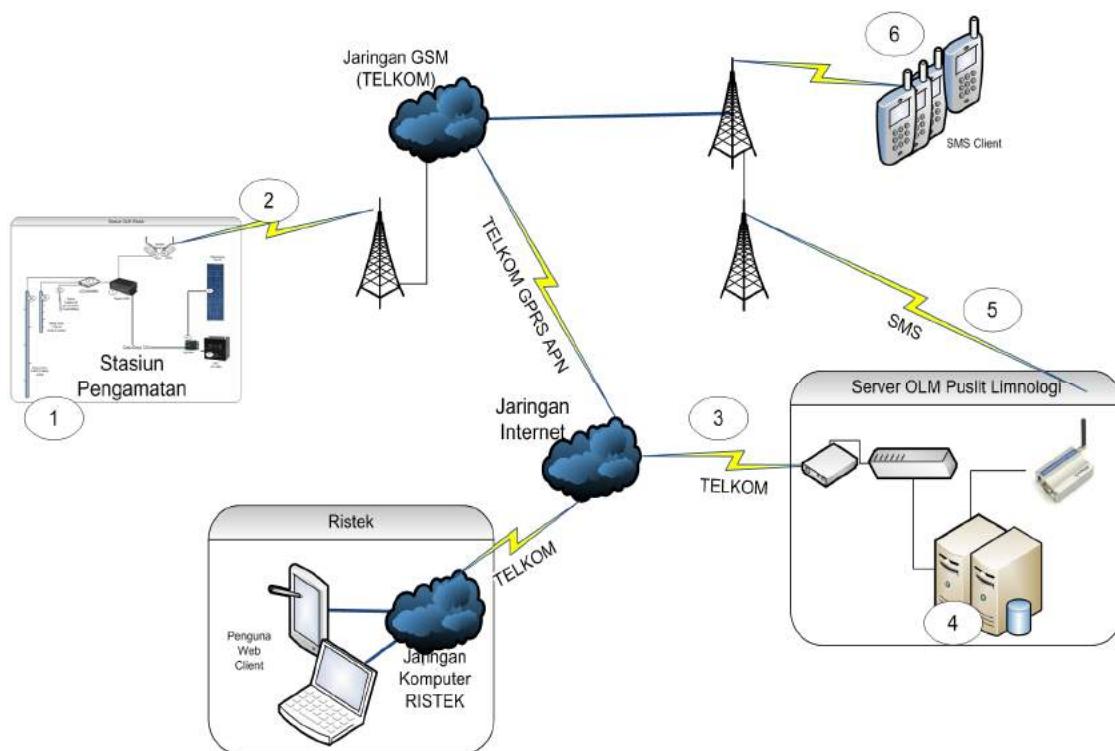
| No | Perangkat Lunak | Fungsi/Kegunaan |
|--------------------------|------------------|--|
| Central Processor | | |
| 1 | OLM Data Feeder | <ul style="list-style-type: none"> a. Mengambil serta mengumpulkan data dari <i>logger</i>. b. Menyimpan data ke dalam bentuk file teks pada memory. c. Mengirimkan data tersebut ke Server FTP <i>via</i> internet melalui saluran GPRS. |
| Komputer Server | | |
| 2 | XAMPP | <ul style="list-style-type: none"> a. <i>Server Web</i> b. <i>Server Database</i> c. <i>Server FTP</i> |
| 3 | OLM Data Daemon | <ul style="list-style-type: none"> a. Mendownload file data dari Server FTP. b. Melakukan <i>parsing</i> file data. c. Melakukan perhitungan, kemudian memasukkan data ke dalam server database. |
| 4 | SMS Engine | Mengatur penerimaan dan pengiriman SMS melalui modem yang terhubung ke komputer. |
| 5 | OLM Alert Server | Menerima peringatan (<i>alert</i>) dari stasiun/site kemudian mengirimkannya ke nomer-nomer <i>handphone</i> yang telah ditentukan. |
| 6 | OLM Web | Aplikasi berbasis web untuk menampilkan data-data online monitoring dalam bentuk tabular dan grafik. |

Cara Kerja Sistem Peringatan Dini Kematian Massal Ikan

Sistem Peringatan Dini Kematian Massal Ikan ini dapat beroperasi dengan menggunakan saluran komunikasi data GPRS dan SMS. Stasiun pengamatan di Waduk Jatiluhur setiap saat dapat mengirimkan data menggunakan protokol pengiriman file FTP (*File Transfer Protocol*) dengan menggunakan jaringan GPRS langsung ke *PC Server OLM* di Pusat Penelitian Limnologi LIPI Cibinong. Data yang diterima Server OLM akan diproses dan direkam kembali ke *database* server OLM. Jika server OLM mendeteksi terdapat data OLM yang memungkinkan terjadi kondisi lingkungan perairan memenuhi kriteria peringatan dini kematian missal ikan maka server OLM akan mengirimkan SMS ke pengguna *handphone* yang tercatat di *database*. Peringatan dini juga akan mendeteksi keamanan sistem dari pencurian atau kondisi tenaga listrik.

Aplikasi OLM berbasis web akan membaca data pada OLM *database server* dan memproses serta menampilkan pada web *browser* pengguna data. Informasi yang ditampilkan pada layar pengguna terdapat bagian terbuka (tanpa harus login) dan bagian yang diamankan (harus memasukan *user* dan *password*). Aplikasi OLM ini juga dilengkapi dengan aplikasi berbasis SMS interaktif langsung ke stasiun pengamatan. Untuk menggunakan sistem SMS interaktif ini pengguna layanan ini dapat langsung menghubungi nomor GSM stasiun pengamatan melalui SMS dengan *password*.

Untuk memonitor aktivitas pengguna SMS interaktif ini stasiun pengamat saat menjawab SMS ke penggunaan SMS interaktif ini juga mengirimkan nomor HP pengguna dan aktivitas yang dilakukan ke server OLM.



Gambar 5. Cara kerja sistem

PENUTUP

Kriteria peringatan dini bencana kematian massal ikan perlu diperbarui terus-menerus dengan melakukan kalibrasi pada saat terjadi kematian massal ikan di Waduk Jatiluhur, selain stratifikasi suhu air, juga dilakukan pengukuran secara stratifikasi pada kolom air waduk untuk parameter *dissolve oxygen* dan pH.

Sistem Monitoring online dan Peringatan Dini Lingkungan semacam ini dapat dikembangkan untuk danau atau waduk lain, mengingat Indonesia mempunyai lebih dari 500 waduk dan danau besar yang menyebar di seluruh nusantara. Hasil monitoring lingkungan perairan ini dapat digunakan untuk koordinasi antar pemangku kepentingan, sehingga akan memudahkan dalam pengelolaan lingkungan perairan danau dan waduk.

DAFTAR PUSTAKA

- Ji, Zhen-Gang. 2008. *Hydrodynamics and Water Quality: Modeling Rivers, Lakes and Estuaries*. Wiley-Interscience.
- Jorgensen, S.E. & R.A. Vollenweider. 1989. Guidelines of Lake Management; Vol.1: Principle of Lake Management. International Lake Committee, UNEP. 199 pp.

- Kartamihardja, E.S. 2006. Status Lingkungan Perairan Umum Daratan sebagai Habitat Perikanan di Indonesia. Makalah dipresentasikan pada ‘Forum Diskusi Limnologi di Jakarta, tanggal 6 Desember 2006.
- Olem, H. and G. Flock (eds.). 1990. Lake and Reservoir Restoration Guidance manual, 2nd edition. EPA 440/4-90-006. Prep. by N. Am. Lake Manage. Soc. for U.S. Environ. Prot. Agency, Washington, D.C.
- O’Sullivan, P. E dan C. S. Reynolds. 2004. The Lakes Handbook: Limnology and limnetic ecology. Wiley-Blackwell.
- Ryding,S.O. and Rast.W, 1989. The Control of Eutrophication of Lakes and Reservoirs. UNESCO Paris and The Parthenon Publishing Group.
- Reading, H. G.1996. Sedimentary environments: processes, facies, and stratigraphy. Wiley-Blackwell.
- Sombu, I.B. 2006. Pengelolaan Sumberdaya Air di Era Desentralisasi: Koordinasi dan Penguatan Kelembagaan. Makalah dipresentasikan pada ‘Forum Diskusi Limnologi di Jakarta, tanggal 6 Desember 2006.
- Tsanis, Ioannis K, Jian Wu, Huihua Shen. 2007. Environmental hydraulics: hydrodynamic and pollutant transport modeling of lakes and coastal waters. Elsevier.
- Welch, P. S. 1952. Limnology. Mc Graw-Hill Book Company, Inc.
- Wetzel, R. G. 1983. Limnology. W. B. Saunders College Publ., Philadelphia.