

## MODELING HIDRODINAMIKA DALAM KONSEP EKOHIKROLOGI EKOSISTEM DANAU

### -Integrasi Proses Hidrologi dan Limnologi-

Iwan Ridwansyah<sup>1</sup>, Apip<sup>2</sup>, & Siti Aisyah<sup>1</sup>

Pusat Penelitian Limnologi – LIPI  
Kompleks LIPI Cibinong, Jl. Dr. Tisna Amijaya, Cibinong – Bogor 16911  
Telp. 021-8757071, Fax. 021-8757076

#### Abstrak

Dalam tahap aplikasi konsep ekohidrologi dapat diterapkan dalam program pengelolaan ekosistem danau yang terintegrasi dengan lingkungan daerah tangkapan airnya yang berupa Daerah Aliran Sungai (DAS). Untuk mendapatkan informasi kuantitatif tentang interaksi antara proses hidrologi DAS dan limnologi terhadap kondisi lingkungan ekologis danau dapat didekati dengan penggunaan model matematik yang dibangun berdasarkan pendekatan proses-proses fisik yang terjadi. Dalam tulisan ini dijelaskan mengenai struktur model 3-D hidrodinamika danau yang dapat digunakan sebagai alat untuk mengkuantifikasi hubungan proses antara distribusi pola arus, suhu air, dan salinitas dengan beban material dari DAS dan faktor meteorologi. Model yang dibangun dirancang untuk alat evaluasi dari beberapa scenario pengelolaan ekosistem danau yang didasarkan pada prinsip ekohidrologi. Untuk tahap awal kegiatan penelitian ini mengambil daerah studi Danau Maninjau-Sumatera Barat.

**Kata Kunci** : danau, DAS, ekohidrologi, hidrologi, limnologi, model, hidrodinamika, Maninjau

#### Konsep Ekohidrologi dalam Pengelolaan Ekosistem Danau

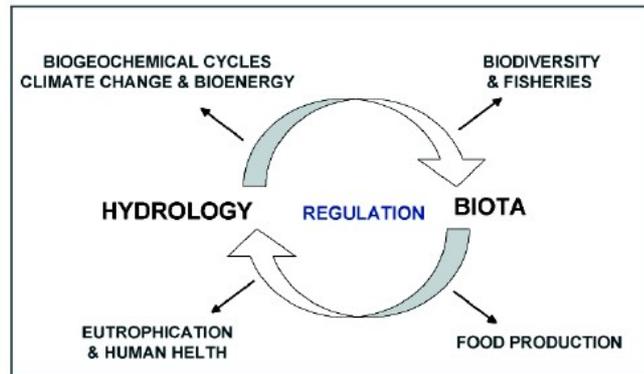
Ekohidrologi merupakan konsep baru dalam bidang perairan yang diaplikasikan untuk pemecahan permasalahan lingkungan, konsep tersebut mendeskripsikan dan mengkuantifikasikan hubungan proses hidrologi dan dinamika biota dalam skala daerah tangkapan air (*catchment area*) dan ekosistem (Zalewski *et al.*, 1997). Tujuan akhir dari konsep ekohidrologi adalah pengelolaan sumberdaya perairan darat secara berkelanjutan dengan indikator adanya perbaikan kondisi ketersediaan dan kualitas sistem perairan. Untuk mencapai tujuan tersebut konsep ekohidrologi didasarkan pada hipotesis yang dikenal sebagai *dual regulation* : (1) pengaturan komponen proses hidrologi dalam suatu ekosistem atau *catchment area* dapat diterapkan untuk mengontrol biota; (2) dan sebaliknya bentuk-bentuk bio-struktur ekosistem yang ada dalam *catchment area* dapat diaplikasikan untuk mengontrol atau mengendalikan proses-proses hidrologi.

Pada prinsipnya konsep ekohidrologi menggunakan komponen ekosistem sebagai alat dalam pengelolaan sumberdaya perairan, yaitu menggunakan biota untuk mengontrol proses-proses hidrologi atau sebaliknya mengoptimalkan fungsi hidrologi untuk mengatur biota. Konsep ini sebagai basis pendekatan secara holistik dalam memahami proses ekologi dan hidrologi sebagai arah dalam mewujudkan pengelolaan sumberdaya perairan secara berkelanjutan (**Gambar 1**).

---

<sup>1</sup> Peneliti Pusat Penelitian Limnologi-LIPI

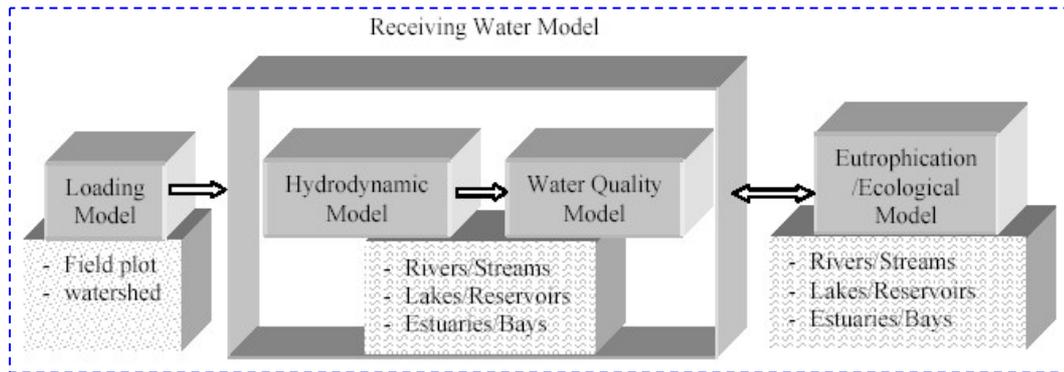
<sup>2</sup> Graduate School of Urban and Environmental Engineering, Kyoto University-Japan



Gambar 1. Konsep dasar ekohidrologi untuk pemecahan masalah lingkungan perairan (Zalewski *et al.*, 2004).

Salah satu aplikasi konsep ekohidrologi adalah untuk pemecahan masalah eutrofikasi yang banyak terjadi di dalam ekosistem danau. Kelimpahan konsentrasi nutrient yang ada di dalam danau menjadi faktor penting untuk tingkat kesehatan ekosistem perairan, dalam konsentrasi yang berlebih kandungan nutrient danau mempunyai dampak negatif dapat menyebabkan pertumbuhan algae dan macrophyte yang berlebihan (*blooming*) dan penurunan rata-rata Dissolved Oxygen (DO) perairan. Aliran sungai adalah salah satu sumber pasokan nutrient untuk lingkungan perairan danau. Debit aliran sungai sebagai sarana transport SSAS (*Suspended Solid And Sediment yield*) dan berbagai jenis nutrient (total phosphorus dan nitrat) dari Daerah Aliran Sungai (DAS) ke dalam sistem danau. Ketika konsentrasi beberapa unsur nutrient yang bersifat kontaminan melebihi batas yang dapat di toleransikan dan untuk menekan resiko ekologi maka usaha-usaha yang bersifat pengendalian dan perbaikan harus segera diambil (*remedial actions*). Kebutuhan dasar yang diperlukan dalam tahap perencanaan, pengendalian dan perbaikan adalah tersedianya informasi kuantitatif tentang interaksi proses hidrologi dan ekologi suatu ekosistem sumberdaya perairan darat, informasi kuantitatif yang menjelaskan hubungan sebab akibat antara kegiatan manusia (*anthropogenic process*), gangguan alam (*natural disturbances*), hidrologi, hidrolika, dan respon limnologi.

Model matematik dapat digunakan untuk membantu memahami proses dan interaksi tentang pengaruh perubahan kuantitas dan kualitas air dari suatu sumberdaya perairan darat, serta alat untuk mengevaluasi efektivitas dari berbagai strategi pengendalian dan perbaikan sistem perairan yang juga didukung dengan analisis *cost-benefit*. Model hidrodinamika (*receiving water model*) sebagai salah satu model fisika-matematik dapat mengkuantifikasikan proses dinamika pergerakan air danau dan merupakan sub-model hidraulik untuk model kualitas air danau yang meliputi proses transport, pengendapan, sirkulasi, dan stratifikasi. Model hidrodinamik mensimulasikan kondisi fisik limnologi seperti pola arus, stratifikasi panas, dan sebaran suhu. Untuk alat evaluasi aplikasi konsep ekohidrologi dalam pengelolaan ekosistem danau, input dan output model hidrodinamika terintegrasi dengan kelompok model DAS (*loading model*), kelompok model kualitas air danau, dan model eutrofikasi (*ecological model*) yang merupakan gabungan proses hidrologi dan limnologi (**Gambar 2**).



Gambar 2. Hubungan antar kelompok sub model dalam modeling sumberdaya perairan darat.

Integrasi model hidrodinamik tersebut dapat digunakan sebagai alat untuk pengambilan keputusan dalam penentuan jenis strategi pengendalian dan perbaikan kondisi perairan berdasarkan konsep ekohidrologi. Beberapa konsep ekohidrologi yang dapat disimulasikan dalam pemecahan masalah eutrofikasi danau : pengaturan tinggi muka air danau untuk kontrol kondisi trophic, pengaturan waktu pembukaan pintu air (*water release*), aplikasi teknik-teknik ekologi (*ecological engineering*) di DAS, dan fungsi riparian sebagai zona penyangga.

Untuk mengkuantifikasi interaksi proses hidrologi DAS dan fisikal limnologi danau, telah diaplikasikan 3-D hidrodinamik model di Danau Maninjau-Sumatera Barat. Sebagai *tahap awal* hasil kegiatan penelitian akan dijelaskan dalam tulisan ini tentang struktur model dan bagaimana perilaku model dalam mensimulasikan distribusi pola arus dan suhu air di Danau Maninjau, dan sejauh mana faktor lingkungan DAS dan iklim mempengaruhi proses hidrodinamika danau.

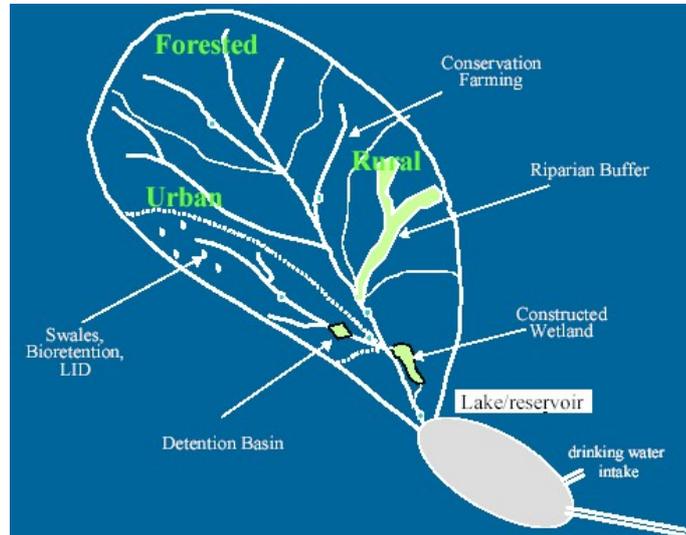
### **Aplikasi Konsep Ekohidrologi dalam Modeling Hidrodinamika di Danau Maninjau (Integrasi Proses Hidrologi dan Limnologi)**

#### **Integrasi Model 3-D Hidrodinamik Danau dan Model DAS (*Loading Models*)**

Seperti telah disebutkan dibagian atas bahwa model hidrodinamika dapat digunakan sebagai alat evaluasi dari berbagai strategi pengelolaan sumberdaya perairan darat berdasarkan konsep ekohidrologi dan untuk melihat pengaruh meteorologi (termasuk gejala penyimpangan unsur iklim) terhadap kondisi limnologi atau ekologi lingkungan danau, hal ini dapat dikarenakan oleh dua alasan. *Pertama*, model hidrodinamik merupakan dasar untuk simulasi proses transport massa di dalam badan air dengan beban material DAS, unsur meteorologi, dan faktor internal (air tanah, panas bumi) sebagai unsur utama gaya penggerak. *Kedua*, variabel input dalam modeling hidrodinamika merupakan respon hidrologi berupa beban material atau polutan dari DAS dan unsur meteorologi.

Beberapa konsep ekohidrologi yang terkait dengan *Best Management Practices* (BMP) dalam skala DAS yang bertujuan untuk menurunkan beban dan konsentrasi polutan dari DAS yang masuk ke danau melalui aliran permukaan (*total runoff*) dapat dikuantifikasikan dan disimulasikan. Berbagai jenis kegiatan BMP pada prinsipnya mempunyai tujuan untuk mengurangi beban material sediment dan nutrient (*trap*) dari DAS agar sesuai dengan alokasi TMDL (*Total*

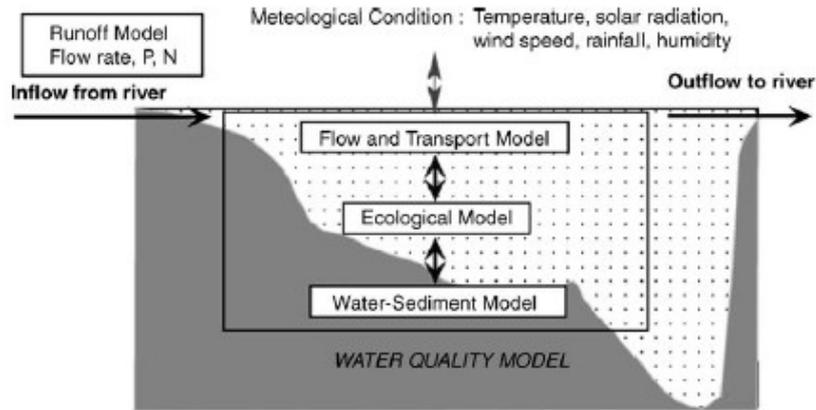
*Maximum Daily Load*) yang dapat diteloransikan. Kegiatan BMP berdasarkan konsep ekohidrologi dalam skala DAS dapat bersifat struktural seperti pembangunan kolam basah atau kering, lahan basah buatan, penggunaan tanaman riparian sebagai penyangga, *vegetative filter strips*, sampai ke non-struktural seperti teknik konservasi air dan tanah, perbaikan teknik pemupukan, dan pengelolaan limbah ternak atau rumah tangga (**Gambar 3**)



**Gambar 3.** Skema berbagai jenis kegiatan BMP dalam skala DAS (USEPA 2002a).

Model DAS yang dibangun dengan struktur model memasukan komponen BMP dapat mensimulasikan jumlah alokasi TMDL dari DAS yang masuk kedalam danau dan sekaligus dapat mengevaluasi berbagai skenario alternatif dari BMP melalui proses simulasi. Beberapa model fisika-matematika yang terkait dengan model DAS diantaranya model distribusi spasial-temporal hujan-runoff-sedimen. Beban material sedimen yang terangkut melalui debit aliran sungai dapat berupa material organik dan non-organik, oleh karena itu struktur model akan tergantung pada jenis kegiatan BMP dan konsep ekohidrologi yang dipergunakan. Model hujan-runoff-sedimen untuk prediksi konsentrasi nutrien dari DAS seperti fosfat-P, amonia, nitrat-N, nitrit-N, TN, TP, COD, dan SS dapat diprediksi melalui hubungan jumlah beban atau konsentrasi dan laju aliran per unit penggunaan lahan.

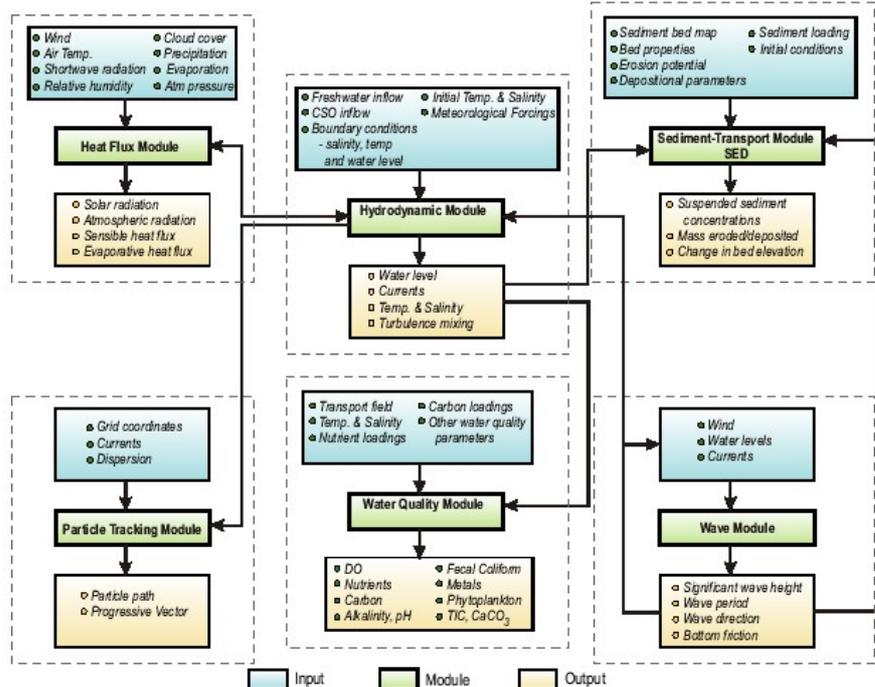
Model hidrodinamika yang merupakan sub model hidraulik dalam model kualitas air danau akan mensimulasikan pengaruh beban material dari daerah tangkapan air atau DAS dan pengaruh iklim mikro disekitar danau terhadap proses fisika limnologi danau. Jadi proses hidrodinamika danau sebagai fungsi dari proses hidrologi, hidrometeorologi, dan fisikal limnologi. Selanjutnya proses fisika limnologi danau seperti pola arus, sebaran panas, dan salinitas akan mempengaruhi kondisi ekologi dan distribusi material di dalam danau seperti yang dideskripsikan di dalam **Gambar 4**. Berbagai skenario aplikasi konsep ekohidrologi dalam bentuk BMP di lingkungan DAS dapat terkuantifikasi dari proses hidrologi yang terjadi.



Gambar 4. Hubungan struktur model hidrodinamika dan struktur model lainnya dalam modeling kualitas air danau.

### Model 3-D Hidrodinamika Danau

Selama beberapa dekade yang lalu berbagai bentuk dan versi model 3-D hidrodinamika untuk badan air telah dikembangkan oleh beberapa lembaga penelitian, mulai dari Princeton Ocean Model (Blumberg and Mellor, 1987). Model hidrodinamika danau yang sedang dikembangkan mengambil konsep dari Estuary and Lake Computer Model (Hodges, *et al.*, 2000) dengan memasukan beberapa modifikasi dalam struktur model. Model tersebut dipergunakan untuk prediksi pola dan kecepatan arus, suhu air, distribusi salinitas dan material di dalam badan air sebagai respon dari tenaga eksternal lingkungan badan air seperti angin, pemanasan atau pendinginan permukaan karena fluktuasi penetrasi radiasi surya, pasang surut, dan debit aliran air atau material yang masuk dan keluar badan air. Model yang dipergunakan mempunyai resolusi waktu per suatu kejadian (*event based*) atau musiman dan menggunakan resolusi spasial dalam ukuran grid atau sel.. Konsep dari struktur model Estuary and Lake Computer Model yang sudah terintegrasi dengan struktur model sedimen dan kualitas air dapat dilihat pada Gambar 5.

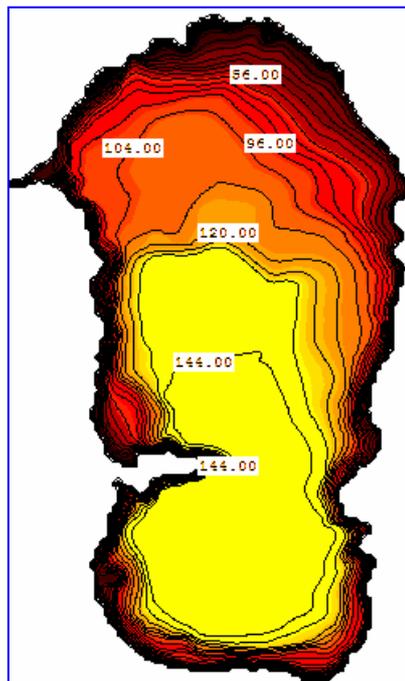


Gambar 5. Hubungan antar komponen dalam struktur model hidrodinamika danau atau badan air.

### **Kondisi Umum Danau Maninjau**

Danau Maninjau yang terletak di Kabupaten Agam Sumatera Barat merupakan danau kaldera yang terbentuk dari aktivitas vulkanik, terletak pada posisi geografis  $0^{\circ} 17' 07.04''$  LS dan  $100^{\circ} 09' 58.0''$  BT, ketinggian 461,50 m dpl. Berdasarkan klasifikasi iklim Schmidt-Ferguson mempunyai karakteristik tipe iklim A dan curah hujan tahunan sekitar 3490 mm. Sumber air danau berasal dari air hujan dan sungai-sungai kecil disekitarnya serta air tanah. Danau ini memiliki satu saluran air keluar yang disebut Batang Antokan yang mengalir ke Samudera India, di pantai Barat Sumatera Barat. Hasil studi batimetri Danau Maninjau (Fakhrudin, *et al.*, 2001) menyatakan beberapa variabel batimetri danau sebagai berikut :

Luas permukaan air	9.737,50 ha
Panjang maksimum	16,46 km
Lebar maksimum	7,5 km
Volume air	10.226.001.629,2 m <sup>3</sup>
Kedalaman maksimum	165 m
Kedalaman rata-rata	105,02 m



**Gambar 6. Batimetri Danau Maninjau (dalam meter).**

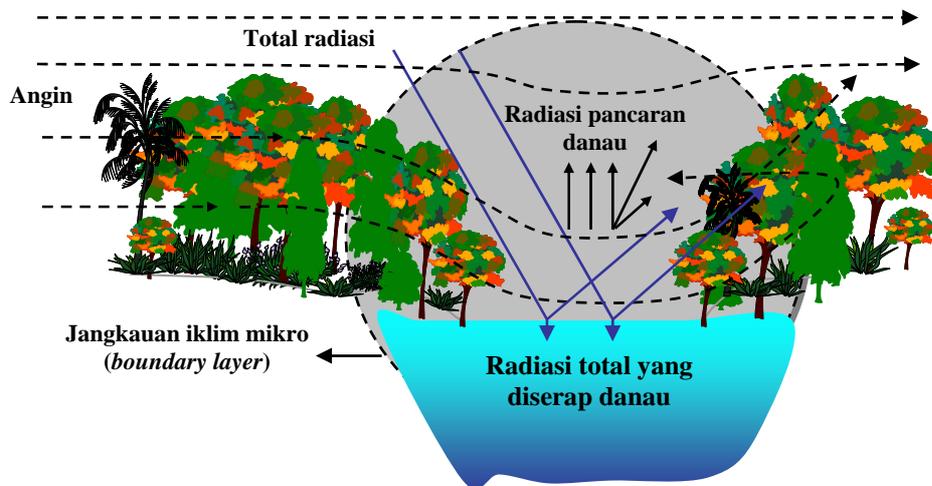
Berdasarkan data penggunaan lahan di kota Maninjau tahun 1991, Danau maninjau dengan luas daerah tangkapan air sebesar 13.260 ha mempunyai pola penggunaan lahan untuk hutan seluas 76.5%, padi sawah 13.4%, ladang/kebun 7.9%, dan pemukiman 2.2%.

Pemanfaatan sumberdaya perairan secara berlebih telah menyebabkan penurunan daya dukung danau yang ditandai oleh penurunan kualitas air yang dikenal eutrofikasi dan perubahan tata air yang menyebabkan adanya kejadian kematian ikan secara massal dan penurunan tinggi muka air. Penurunan kualitas sistem perairan Danau Maninjau telah menyebabkan kerugian secara ekonomi bagi masyarakat dan pemerintah daerah setempat.

**Input Data**

**Meteorologi Data**

Iklim mikro danau mendeskripsikan kondisi sumberdaya iklim disekitar danau secara lebih detail dalam skala diurnal. Sejauh permukaan air dan catchment area danau mempengaruhi unsur iklim danau maka area yang dipengaruhinya merupakan jangkauan iklim mikro danau (**Gambar 7**). Jangkauan ini sangat dipengaruhi oleh kondisi topografi serta penggunaan lahan. Akibat pengaruh tersebut akan membentuk pola dan karakteristik iklim mikro danau. Sistem badan air danau sendiri akan mempengaruhi profil angin, suhu udara, kelembaban udara, dan neraca energi di atas badan air danau (Haltjema, H.M., 1996).



**Gambar 7.** Skematik profil jangkauan iklim mikro di sekitar danau.

Untuk analisis hidrodinamika yang sifatnya kejadian (*short term*) parameter iklim mikro yang diukur secara insitu adalah radiasi matahari, arah dan kecepatan angina, suhu udara, kelembaban, dan hujan.

Kajian karakteristik sumberdaya iklim dengan topik utama interaksi sumberdaya iklim dan dinamika perairan Danau Maninjau dilakukan dari bulan Maret sampai November 2002. Untuk mendapatkan data meteorologi telah dilakukan pengukuran yang dilakukan dari bulan Maret sampai November 2002. Pengukuran dilakukan sesaat dengan interval waktu tertentu mulai tanggal 13 Juli 2002 sampai 16 Juli 2002. Pengukuran dilakukan di beberapa titik (**Tabel 1**).

**Tabel 1.** Lokasi pengukuran unsur iklim mikro di Danau Maninjau

Stasiun	Posisi
Permukaan air danau	Terdistribusi
Tanjung sani	0°22'33.54'' LS - 100°13'52'' BT
Muko-muko	0°15'26.49''LS -100°12'19.69''BT
Tandirih	0°17'46.09''LS-100°13'27.85'' BT

Alat yang dipergunakan (**Gambar 8**) :

Tube solarimeter, termometer udara, RH-meter, dan anemometer.



**Gambar 8a. Tube Solarimeter**



**Gambar 8b. Anemometer**

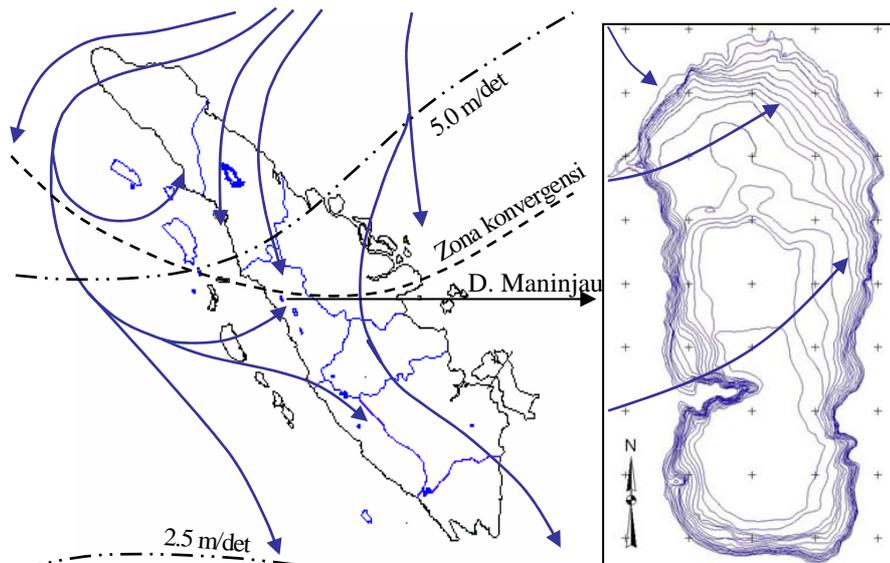
Berdasarkan hasil analisis sensitivitas variabel model hidrodinamika, salah satu unsur iklim yang paling dominan pengaruhnya adalah arah dan kecepatan angin. Jika dilihat dari proses fisik yang terjadi, arah dan kecepatan angin mempunyai arti penting bagi ekosistem suatu badan air diantaranya angin akan mempengaruhi pola pengadukan danau, iklim mikro danau, dan laju evapotranspirasi danau (neraca air danau). Pola pengadukan danau yang dipengaruhi oleh faktor angin diantaranya adalah gelombang dan pola arus danau. Arah dan kecepatan angin akan berpengaruh terhadap pola dan besar kecepatan. Hal ini diperkuat dengan adanya laporan masyarakat yang mengatakan seringkali terjadi adanya gejala alam tubo belerang yakni proses umbalan (*upwelling-down welling*) air danau yang membawa kotoran dan gas-gas beracun dari dasar perairan ke kolom air bagian atas yang menyebabkan kematian ikan. Dilihat dari proses dinamik sistem perairan, salah satu faktor yang sangat menentukan kejadian *upwelling-down welling* adalah arah dan kecepatan angin yang ekstrim. Pola arah dan kecepatan angin di Danau maninjau dipengaruhi oleh kondisi iklim regional dan iklim mikro danau.

Pola angin regional danau maninjau merupakan bagian dari sistem pola angin monsoon yang menyebabkan adanya musim penghujan dan musim kemarau. Pada bulan Desember, Januari, Februari (musim dingin di belahan bumi utara-matahari ada di belahan bumi selatan) terdapat pusat tekanan tinggi di Asia dan pusat tekanan rendah di Australia menyebabkan angin yang berhembus di Indonesia pada umumnya angin barat (*west monsoon*). Sebaliknya pada bulan Juni, Juli, Agustus terjadi pusat tekanan rendah di Asia (musim panas di belahan bumi utara-matahari ada di belahan bumi utara) dan pusat tekanan tinggi di Australia menyebabkan angin yang berhembus di Indonesia pada umumnya adalah angin timur (*east monsoon*). Prakiraan pola masing-masing angin monsoon tersebut di wilayah Sumatera khususnya sekitar Danau Maninjau dapat dilihat pada **Gambar 9**.

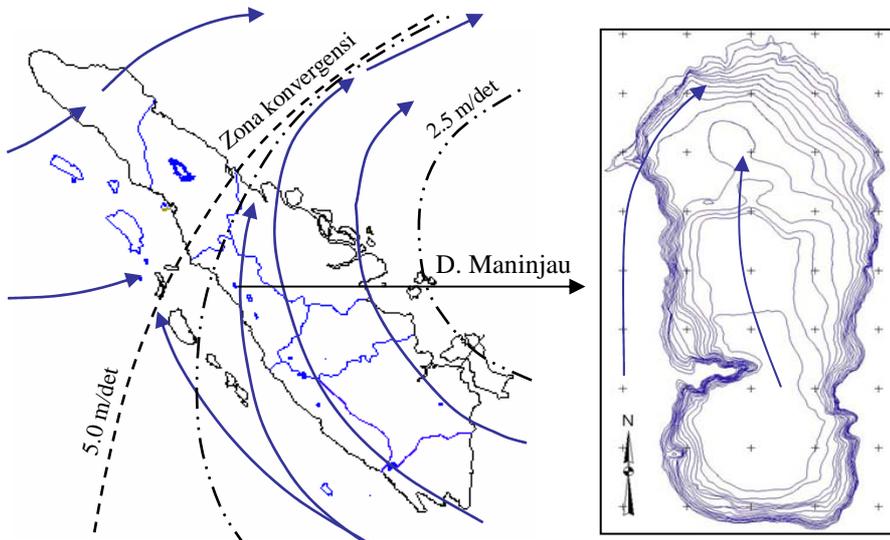
Dari **Gambar 9** terlihat di sebelah barat-barat daya Danau Maninjau sepanjang tahun merupakan wilayah konvergensi. Wilayah tersebut semakin rapat mendekati Danau Maninjau terutama pada periode Oktober-April. Pada periode ini disebelah barat pantai-pantai Sumatera terutama sepanjang pantai barat Daerah Istimewa Nangro Aceh, Sumatera Utara, dan Sumatera Barat terbentuk pusat siklonik. Pada periode April-Oktober wilayah konvergensi agak bergeser ke

sebelah barat tetapi Danau Maninjau masih merupakan bagian dari wilayah konvergensi tersebut. Pembentukan pusat tekanan rendah (siklon) di wilayah ini sering terjadi, massa udara melalui media angin (aliran siklonik) akan masuk kedalam sistem (wilayah konvergensi), udara tersebut menumpuk dipusat tekanan rendah dan dipaksa untuk naik sehingga menimbulkan banyak awan dan hujan. Pembentukan wilayah konvergensi dapat menjadi gejala awal berbagai gangguan cuaca. Menurut Handoko (1995), di daerah tropika sebuah pusat tekanan rendah atau wilayah konvergensi dapat berubah menjadi pusaran udara dashyat berupa badai atau angin ribut.

Profil angin monsoon pada bulan Oktober-April



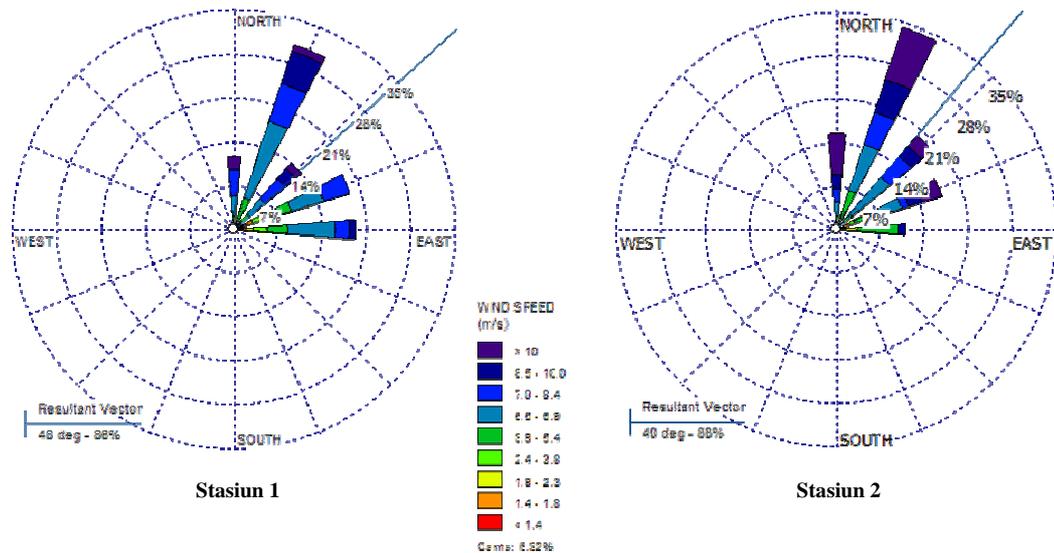
Profil angin monsoon pada bulan April-Oktober



**Keterangan :** → Arah kecepatan angin  
 - - - - - Zone konvergensi  
 — — — — — Kecepatan angin m/det  
 Diolah dari data : McAlpine *et al.*, 1983

**Gambar 9.** Prakiraan pola angin regional Danau Maninjau dan sekitarnya.

Berdasarkan kajian iklim mikro disekitar danau dan posisi topografi, Danau Maninjau dipengaruhi juga oleh tipe angin lokal yaitu angin darat dan angin laut karena Danau Maninjau terletak disebelah timur pantai barat Sumatera Barat dan sistem pegunungan Gunung Tandikat. Angin laut terjadi pada siang hari dengan intensitas tinggi terutama pada musim kering, sebaliknya pada malam hari masa udara yang lebih dingin bergerak dari daratan menuju ke permukaan laut sehingga terjadi angin darat.



**Gambar 10.** Hasil pengamatan arah dan kecepatan angin di Danau Maninjau (13-14 Juli 2002).

**Gambar 10** menunjukkan hasil pangamatan arah angin di sekitar badan air danau. Kecepatan angin rata-rata diurnal disekitar Danau Maninjau selama pengukuran 0.58 m/det sampai diatas 10 m/det dengan arah angin rata-rata menuju timur laut. Berdasarkan pengamatan visual arah dan kecepatan angin terbesar datang dari celah yang ada disekitar PLTA Maninjau.

### **Data Hidrologi**

Luaran dari proses hidrologi DAS yang masuk kedalam sistem danau akan mempengaruhi proses-proses limnologi. Proses fisika limnologi yang terjadi dalam bentuk proses hidrodinamika salah satu faktornya dipengaruhi oleh fluktuasi kondisi debit aliran sungai yang mempunyai karakteristik secara kuantitas atau kualitas. Secara kuantitas dan kualitas, data aliran sungai yang dibutuhkan dalam modeling hidrodinamika adalah debit aliran sungai, kondisi suhu air dan salinitas, dan kandungan sedimen melayang. Fluktuasi dari nilai data-data tersebut akan mencerminkan kondisi DAS.

Untuk melihat interaksi secara kuantitatif dampak proses hidrologi atau aplikasi konsep ekohidrologi DAS terhadap kondisi limnologi danau, data-data hidrologi tersebut dapat diperoleh dari pengamatan secara real time atau dengan mengintegrasikan model hidrodinamika dengan modeling hidrologi DAS, dimana output model DAS berfungsi sebagai input untuk model hidrodinamika.

### **Sampling Data**

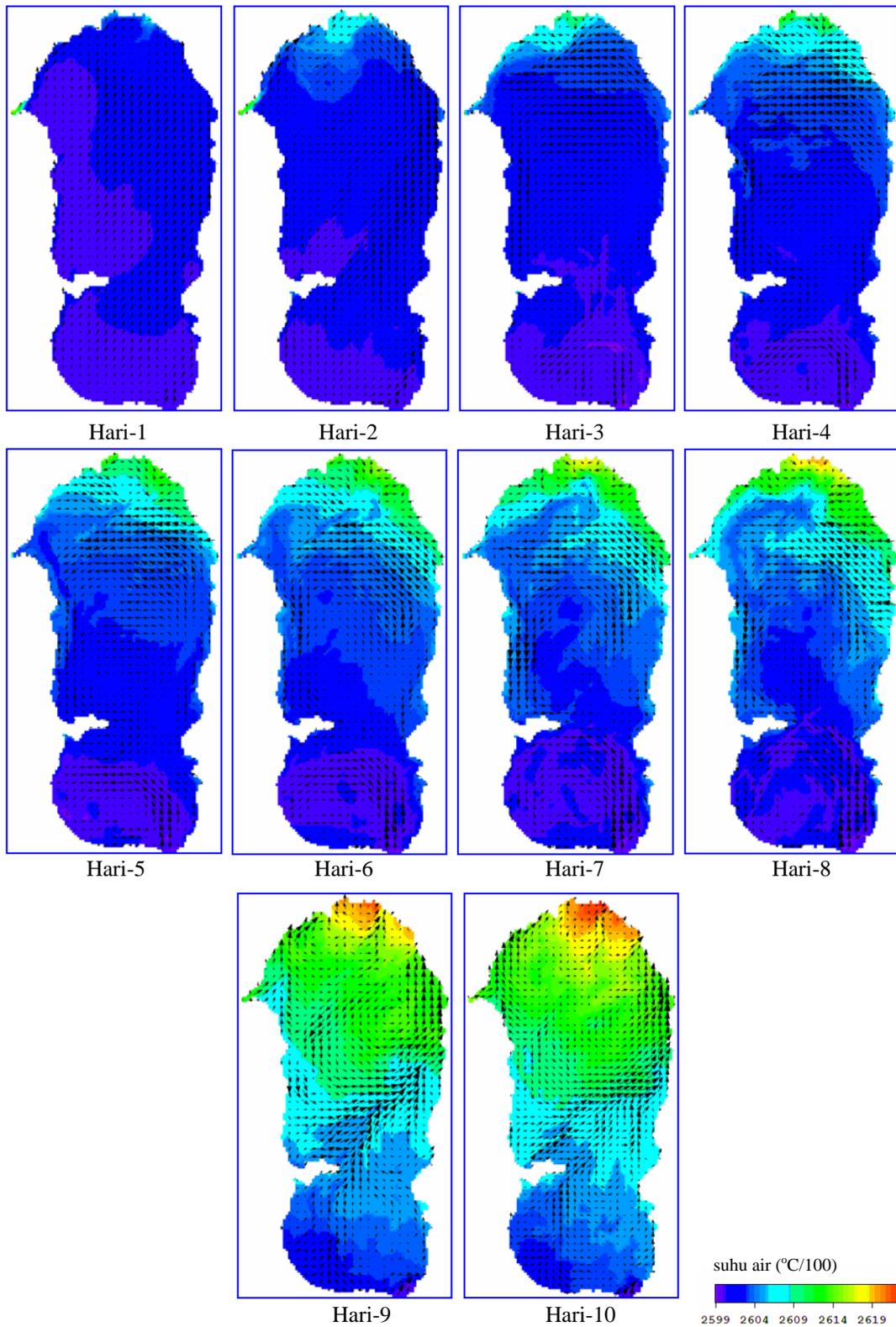
Untuk tahap proses validasi dan kalibrasi luaran model dan untuk mendapatkan kondisi nilai awal (*initial condition*) dari kondisi fisika limnologi danau, maka diperlukan data hasil pengukuran lapangan. Model yang sedang dikembangkan mempunyai kondisi awal yang bersifat *unsteady state* sehingga diperlukan nilai kondisi awal untuk semua variabel model. Data fisika limnologi yang diperoleh dari proses sampling adalah suhu air, salinitas, dan kandungan sedimen. Resolusi spasial model berdasarkan grid dan per lapisan kedalaman, sehingga diperlukan teknik pengambilan lokasi sampling yang akurat, agar data yang diperoleh benar-benar bisa mencerminkan nilai keragaman yang ada di lapangan. Lokasi sampling terdistribusi merata diseluruh badan air danau, dan setiap parameter sampling diambil per kedalaman lapisan air.

### **Simulasi Data Hidrologi-Meteorologi dan Respon Hidrodinamika**

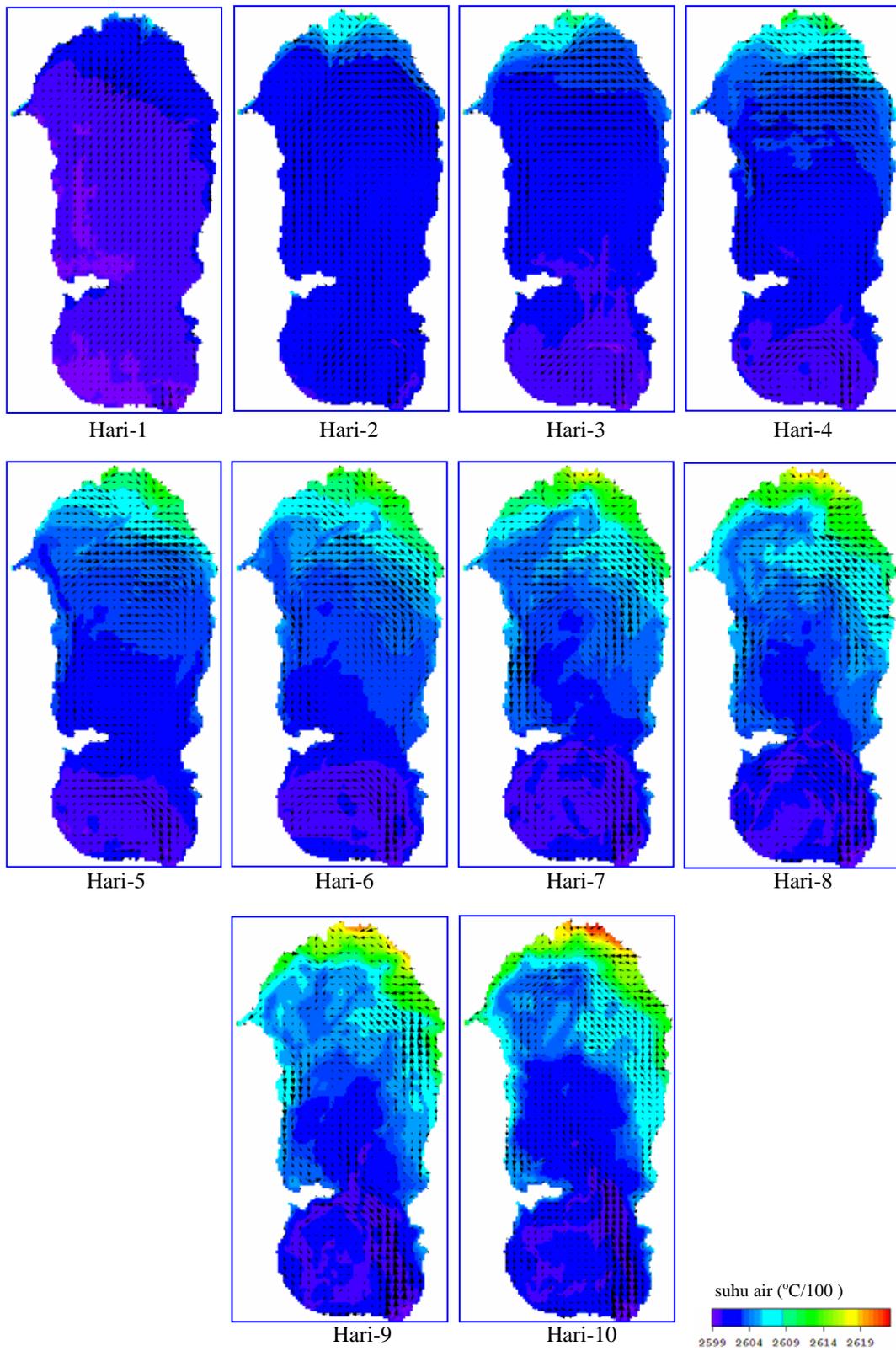
Untuk melihat perilaku model terhadap kondisi hidrologi dan meteorologi telah dilakukan simulasi dan aplikasi awal model 3-D hidrodinamika untuk Danau Maninjau. Resolusi spasial yang dipergunakan 100 x 100 m, badan air danau dibagi dalam 4 lapisan kedalaman air. Arah angin secara umum bertiup kearah timur laut dengan kecepatan berfluktuasi antara 0.58 m/det sampai diatas 10 m/det. Semua aliran sungai Danau Maninjau yang bersifat musiman diasumsikan mengalir secara maksimum, suplai total aliran permukaan diasumsikan secara dominan dari arah selatan danau dikarenakan daerah tangkapan air danau bagian selatan mempunyai lereng yang curam. Untuk perhitungan numerik semua nilai kondisi awal aliran sungai diasumsikan merata untuk semua kedalaman yaitu diatas 500 m<sup>3</sup>/s dan kandungan konsentrasi sedimen untuk jenis *cohesive* dan *non cohesive* masing-masing 10 mg/l, suhu air 26 °C, dan salinitas 0. Faktor internal seperti pengaruh panas bumi, air tanah diabaikan, secara numerik pengaruh panas dari internal danau sudah tercermin dari nilai kondisi awal suhu air atau salinitas danau.

**Gambar 11** dan **Gambar 12**, menunjukkan hasil simulasi respon hidrodinamika danau maninjau terhadap kondisi hidrologi dan meteorologi dengan menggunakan data seperti diatas. Gambar 11 menunjukkan kondisi rata-rata per hari hidrodinamika danau di bagian lapisan permukaan selama 10 hari, sedangkan Gambar 12 menunjukkan kondisi rata-rata per hari hidrodinamika danau di lapisan air bagian bawah. Simulasi respon hidrodinamika pada masing-masing gambar menunjukkan pola distribusi suhu, arah dan kecepatan arus secara spasial dan temporal. Dilihat dari distribusi suhu air, badan air danau bagian utara lebih tinggi dari bagian selatan hal ini dikarenakan akibat pengaruh perbedaan kedalaman. Dilihat dari peta batimetri, bagian utara lebih dangkal dari selatan, sehingga friksi antar material atau partikel dalam air lebih tinggi disamping suplai penetrasi radiasi surya lebih tinggi, sehingga bagian utara mempunyai distribusi suhu air lebih tinggi. Adanya perbedaan suhu tersebut, menyebabkan pola arus dominan menuju utara, disamping itu dipengaruhi juga oleh faktor angin yang dominan menuju timur laut dan outlet danau yang ada dibagian barat laut danau. Kecepatan arus selama periode simulasi secara umum berkisar dari 0-2.7 m/s. Proses simulasi dilakukan selama 10 hari dengan periode hitungan setiap 10 detik, akibat akumulasi input hidrologi dan meteorologi yang diasumsikan

konstan, maka terlihat hasil simulasi distribusi suhu air yang lebih tinggi sampai hari ke-10 terus mengalami peningkatan.



**Gambar 11.** Profil pola arus dan suhu air rata-rata dibagian permukaan danau.



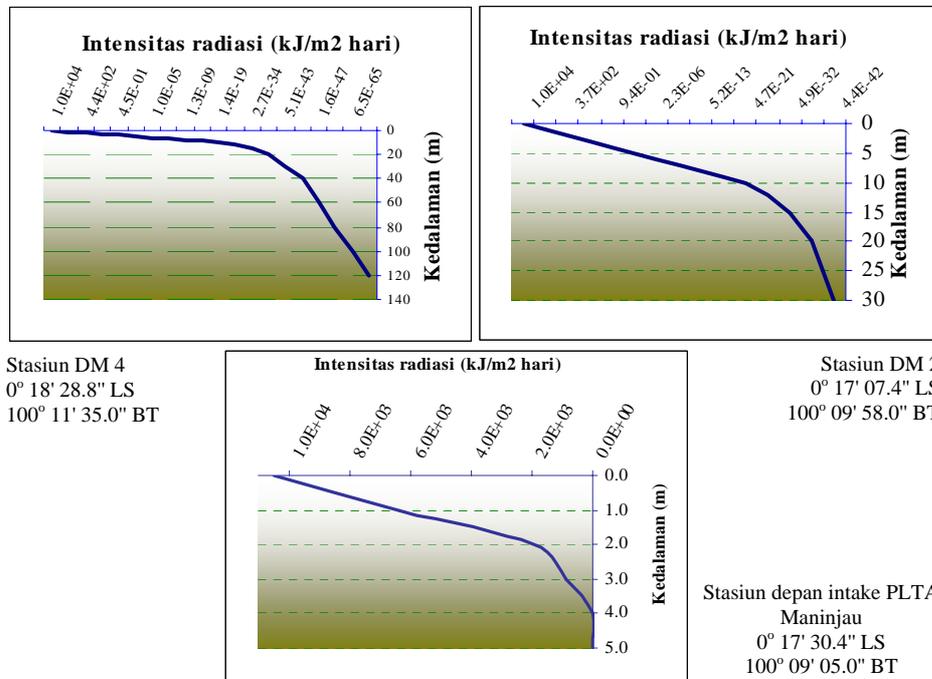
Gambar 12. Profil pola arus dan suhu air rata-rata dibagian dasar danau.

Pola distribusi arah arus untuk lapisan air bagian bawah dipengaruhi oleh arus balik dari arus permukaan akibat pengaruh tumbukan dengan lapisan dinding danau yang lebih dangkal, secara keseluruhan pola arus danau memenuhi karakteristik danau sebagai sistem tertutup, arah pola arus mempunyai sifat seperti sirkulasi tertutup kecuali disekitar inlet dan outlet danau yang dipengaruhi oleh debit dan beban material sebagai masukan dan luaran.

**Aplikasi Informasi Hidrodinamika Untuk Prediksi Penetrasi Radiasi Surya**

Salah satu pemanfaatan informasi hidrodinamika danau adalah untuk pendugaan kelimpahan radiasi surya dalam badan air. Energi radiasi surya penting untuk kelangsungan proses ekologis biota danau. Radiasi surya yang masuk kedalam danau akan mengalami proses pemadaman yang disebabkan oleh halangan beberapa material dan biota seperti kandungan SS dan biota air. Modeling hidrodinamika menyediakan informasi spasial dan temporal sebaran SS.

Nilai intensitas radiasi matahari rata-rata harian per bulan di atas Danau maninjau dan sekitarnya pada musim kemarau (Mei-Agustus dan Desember-akhir Februari) diperkirakan berkisar antara 11844-13818 kJ/m<sup>2</sup>/hari. Pada musim penghujan (Maret-Mei dan September-November) penerimaan intensitas radiasi surya berkisar antara 11760–13230 kJ/m<sup>2</sup>/hari. Dari tiga lokasi yang diambil data SS dan klorofil-a nya pada bulan Juli 2002 umumnya pada kedalaman 4 m proses pemadaman radiasi mencapai 100% kecuali pada lokasi dekat intake. Di lokasi tersebut sampai kedalaman 5 m proses pemadaman belum mencapai 100%. Hal ini karena di dekat intake terjadi proses pengeluaran air danau untuk kepentingan PLTA, sehingga kandungan SS dan tumbuhan air atau phytoplankton menjadi berkurang. **Gambar 13** menunjukkan pola distribusi intensitas radiasi secara vertikal pada bulan juli 2003.



**Gambar 13.** Estimasi pola penetrasi radiasi surya danau pada bulan Juli 2002 dengan model 1-D penetrasi radiasi surya.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Fakhrudin, Hendro, W., Luki, S, dan Iwan, R.** 2001. Permasalahan Danau Maninjau dan Pendekatan Permasalahannya. Puslit Limnologi, Cibinong.
- Goldman, Charles R and Alexander J. Horne.** 1983. *Limnology*. McGraw-Hill Book Company
- Handoko.** 1994. *Dasar Penyusunan dan Aplikasi Model Simulasi Komputer Untuk Pertanian*. Jurusan geofisika dan Meteorologi, FMIPA – IPB.
- Haltjema, H.M.** 1996. *Hydrological Science and Technology*. American Institute of Hydrology.
- Hodges, B.R., Imberger, J., Saggio, A., and Winters, K.B.** 2000. Modeling Basin-Scale Internal Waves in a Stratified Lake. *Limnol. Oceanogr.*, 45(7), 1603-1620.
- Lerman, Abraham and D. Imboden.** 1995. *Physics and Chemistry of Lakes*. Second Edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.
- McAlpine, Keig and Falls, R.** 1983. *Climate of Papua New Guinea*. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) with Australian National University Press, Canberra, Australia.
- Takara, K., Nakayama, D., Tachikawa, Y., Sayama, T., Nakagawa, H., Satofuka, Y., Egashira, S., and Fujita, M.** 2001. A Rainfall-Sediment-Runoff Model in the Upper Brantas River, East Java, Indonesia. *Annual of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University.*, No. 44 B-2, pp. 247-257.
- Zalewski M.** 2000. Ecohydrology - the scientific background to use ecosystem properties as management tools toward sustainability of water resources. Guest Editorial Ecological Engineering 16:1-8.