

KAJIAN KHARAKTERISTIK SUMBERDAYA IKLIM DANAU MANINJAU

Oleh :
(Apip, M. Fakhrudin, Luki S, dan Iwan Ridwansyah)¹

Pendahuluan

La'tar Belakang

Danau Maninjau adalah salah satu danau di Sumatera Barat yang terletak di Kabupaten Agam. Danau ini 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 pada ketinggian 461,50 m di atas permukaan laut dengan luas 9737,50 hektar serta kedalaman maksimum 165 m. 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.

Beberapa permasalahan yang ada di danau maninjau diantaranya penurunan kualitas air danau yang menyebabkan kerugian secara ekonomi bagi masyarakat atau pun pemerintah daerah setempat baik dari kegiatan usaha budidaya ikan dalam karamba ataupun pariwisata. Masyarakat beranggapan bahwa hal tersebut terjadi akibat adanya perubahan pola tata air serta kotoran air danau (polutan) tidak bisa keluar melalui satu-satunya saluran air keluar yakni Batang Antokan. Selain itu dilaporkan adanya peningkatan kotoran air danau akibat adanya dampak dari kegiatan budidaya ikan dalam karamba jaring apung yang menghasilkan sisa pelet yang tidak termakan oleh ikan yang jatuh ke perairan dan akan mengalami pembusukan sehingga dapat meningkatkan bahan organik. Keadaan ini dianggap telah memicu pertumbuhan alga biru yang bersifat toksik. Disamping itu masyarakat juga melaporkan oleh 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.

Beberapa permasalahan di atas merupakan masalah yang ditemui dalam badan air Danau Maninjau yang merupakan dampak dari interaksi beberapa proses komponen sistem perairan. Salah satu komponen sistem perairan yang akan menentukan proses interaksi atau dinamika badan air adalah sumberdaya iklim. Hampir semua proses dinamika perairan yang terjadi dipengaruhi oleh sumberdaya iklim seperti pola arus, sebaran panas, proses ekofisiologi biota air, dan kondisi hidrometeorologi. Perubahan dan penyimpangan variabel iklim akan mempengaruhi proses-proses yang ada dalam daerah tangkapan sistem perairan serta badan airnya seperti kondisi hidrologi, neraca air, pola arus, sebaran panas, serta proses-proses biokimia yang ada di dalamnya. Arti penting sumberdaya iklim bagi suatu sistem perairan:

- Iklim merupakan sumberdaya alam yang sulit dikendalikan

¹ Tim peneliti Puslit Limnologi LIPI

- Iklim merupakan komponen yang menentukan proses hidrologi serta siklus hidrologi
- Iklim menentukan proses dinamika badan air
- Iklim menentukan proses ekofisiologi biota yang ada di badan air dan daerah tangkapannya
- Adanya kecenderungan penyimpangan dan perubahan variabel iklim akan mempengaruhi proses-proses dinamika dan produktivitas sistem perairan

Variabel iklim sebagai sumberdaya yang sulit untuk dikendalikan maka informasi mengenai kharakteristik serta trend perubahan dari beberapa unsur iklim sangatlah diperlukan. Informasi yang dihasilkan diharapkan dapat dijadikan sebagai salah satu informasi dalam upaya pengelolaan dan pemanfaatan sumberdaya air Danau Maninjau.

Tujuan

- Studi mengenai kondisi, peyimpangan dan perubahan pola variabel iklim (iklim mikro dan regional) Danau Maninjau dengan pendekatan dimensi ruang (spasial) dan waktu.
- Mengetahui keterkaitan prilaku pola unsur iklim dengan beberapa proses dinamika perairan danau maninjau
 - Distribusi spasial arah angin
 - Penyimpangan unsur iklim curah hujan dan tinggi muka air danau
 - Distribusi radiasi surya ke dalam badan air dan hubungannya dengan beberapa aspek ekofisiologi tanaman air

Metode

Kajian kharakteristik sumberdaya iklim ini merupakan sub kegiatan dari Kegiatan Inventarisasi dan Evaluasi Potensi Sumberdaya Perairan Darat Danau Maninjau yang dilakukan dari bulan Maret sampai November 2002.

1. Analisis Mengenai Kondisi, Peyimpangan Dan Perubahan Pola Variabel Iklim (Iklim Mikro Dan Regional) Danau Maninjau Dengan Pendekatan Dimensi Ruang (Spasial) Dan Waktu.

Kajian Iklim Regional Danau Maninjau

Kondisi iklim Danau Maninjau merupakan bagian dari sistem kondisi iklim regional muson (monsoon) yang terletak antara benua Asia dan Australia. Data yang digunakan untuk analisis adalah data unsur iklim sekunder yang diperoleh dari instansi tertentu dengan satuan waktu harian. Data diambil dari beberapa stasiun pengamatan unsur iklim dan stasiun pengamatan curah hujan, baik yang ada di Danau Maninjau ataupun sekitarnya. Stasiun iklim dan penakar curah hujan yang berhasil diinventarisasi datanya adalah stasiun pengamatan curah hujan yang terletak di daerah muko-muko (milik PLTA) serta satu stasiun pengamatan unsur iklim di daerah Tanjung Alai (milik Dinas PSDA Propinsi Sumatera Barat). Selain itu sebagai pembanding digunakan juga stasiun iklim di luar daerah tangkapan Danau Maninjau yaitu stasiun iklim GAW (*Global Atmospheric Watch*) di Palupuh Sumatera Barat yang melakukan monitoring kondisi iklim

regional khususnya wilayah Sumatera Barat dan Stasiun Iklim Tanjung Karang Lampung Selatan. Tabel 1 menunjukan informasi mengenai stasiun dan data yang berhasil diinventarisasi.

Tabel 1. Informasi stasiun iklim dan data yang digunakan untuk analisis

Stasiun	Posisi	Jenis data	Periode
Stasiun penakar hujan PLTA Maninjau	0°17'07.04"LS-100°09'58.0"BT	Data curah hujan dan tinggi muka air	1994-2002 (harian) 1983-2002 (bulanan)
Stasiun Iklim Tanjung Alai (Dinas PSDA Sumbar)	0°25'57" LS-100°04'57" BT	Lama penyinaran, suhu udara, kelembaban udara, kecepatan angin, dan curah hujan	1992-2001 (harian)
Stasiun iklim GAW Palupuh, Kota Tabang	0°12' LU dan 100°09' BT	Radiasi, suhu udara, kelembaban udara, kecepatan angin, dan curah hujan	2001 (harian)
Stasiun iklim Tanjung Karang Lampung Selatan	05°16'LS - 105°11'BT	Radiasi, suhu udara, kelembaban udara, kecepatan angin, dan curah hujan	1992-2002 (harian)

Beberapa metode analisis yang digunakan adalah :

- Penentuan karakteristik nilai rata-rata variabel iklim dalam skala harian dan bulanan.
- Penentuan tipe iklim dengan menggunakan klasifikasi iklim Koppen dan klasifikasi iklim Schmidth-Ferguson
- Analisis kecenderungan (*trend*) perubahan variabel iklim
Dalam metode klimatologi, pola iklim suatu wilayah dapat dijadikan parameter dalam identifikasi perubahan variabel iklim. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan software statistik Minitab 11
- Analisis kejadian hujan deras
- Analisis penyimpangan variabel iklim

Analisis Penyimpangan Variabel Iklim

Salah satu gejala alam yang sangat mempengaruhi kondisi iklim khususnya curah hujan di Indonesia adalah *El Nino*, gejala alam ini mengakibatkan musim yang lebih kering dibandingkan dengan normalnya. Fenomena meteorologi yang ditandai dengan melemahnya angin pasat dan bergesernya pusat konvergensi *Sirkulasi Walker*, sebagai akibat memanasnya suhu muka laut di wilayah Samudera Pasifik sekitar equator bagian timur yang disebut juga dengan *El Nino Southern Oscillation* (ENSO). Gejala ini menyebabkan peningkatan penguapan, perbedaan suhu dan tekanan antara tempat tersebut dengan sekitarnya yang menimbulkan aliran masuk massa udara dari wilayah sekitarnya seperti Indonesia dan menyebabkan kekeringan. Fenomena lain adalah *La Nina*, kebalikan dari gejala *El Nino* yang menimbulkan dampak jeluk curah hujan rata-rata diatas normal dan di beberapa tempat banyak menimbulkan

bencana banjir. Pengaruh kekuatan *El Nino* atau *La Nina* di setiap tempat termasuk di wilayah Indonesia berbeda-beda tergantung pada intensitas kekuatan yang menyebabkan munculnya gejala *El Nino* dan *La Nina*.

Kajian Iklim Mikro Danau Maninjau

Iklim mikro didefinisikan sebagai kondisi fisik lingkungan udara disekitar badan air Danau Maninjau. Jangkauan iklim mikro sejauh faktor gangguan (badan air Danau Maninjau) masih mempengaruhi. Informasi kondisi iklim mikro Danau Maninjau diperoleh dengan melakukan pengukuran langsung beberapa variabel iklim di lapangan. Beberapa jenis data primer yang diukur adalah intensitas radiasi, suhu udara, kelembaban udara, arah dan kecepatan angin. Pengukuran dilakukan sesaat dengan interval waktu tertentu selama beberapa hari. Tempat pengukuran dilakukan di beberapa titik pengambilan sampel/pengukuran parameter limnologi. Nilai variabel iklim mikro yang diambil merupakan rerata dari hasil pengukuran di beberapa lokasi pengukuran tersebut.

Alat yang digunakan:

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



Gambar 1a. Tube Solarimeter



Gambar 1b. Anemometer

Analisis data :

Fluktuasi pola variabel iklim secara harian (*diurnal*)

2. Keterkaitan Prilaku Pola Unsur Iklim Dengan Beberapa Proses Dinamika Perairan Danau Maninjau
 - Distribusi spasial arah angin
Data yang digunakan adalah data iklim regional dan data iklim mikro dengan analisis berupa arah kecepatan angin dalam skala regional dan mikro
 - Penyimpangan unsur iklim curah hujan dan tinggi muka air danau
Penyimpangan unsur iklim curah hujan akibat adanya kejadian *El Nino* akan berpengaruh terhadap jeluk hujan dan tinggi muka air danau. Analisis dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kontribusi pengaruh kejadian *El Nino* terhadap kondisi hidroklimatologi danau maninjau
 - Distribusi radiasi surya ke dalam sistem badan air

- Data hasil pengukuran variabel iklim mikro selain digunakan untuk analisis karakteristik iklim mikro Danau Maninjau juga digunakan untuk estimasi beberapa variabel yang dapat menunjukkan kondisi fisik badan air seperti keseimbangan panas di permukaan (*heat balance*).

Persamaan *heat balance* di permukaan badan air:

$$H_{top} = (1-\alpha_s) H_{s,top} + H_L - H_w \pm H_e \pm H_c \text{ (kJ/m}^2/\text{hari)}$$

H_{top}

; net heat di permukaan

α_s

; albedo/koefisien pemantulan badan air(%)

$H_{s,top}$

; radiasi gelombang pendek yang datang ke permukaan

H_L

; radiasi gelombang panjang dari atmosfer/awan

$$H_L = (1-\alpha_L) E_a \sigma T_A^4 \text{ w m}^{-2}$$

α_L

; % pemantulan radiasi gelombang panjang oleh permukaan air. Nilai rata-rata 0.03

E_a

; emisivitas atmosfer. Swinbank (1963) dan Brutsaert (1975) nilainya 0.6-0.9

σ

; $5.67 \cdot 10^{-8}$ konstanta Stefan-Boltzman

T_A

; suhu mutlak udara

H_w

; pancaran radiasi gelombang panjang dari badan air

$$H_w = E_w \sigma T_w^4 \text{ w m}^{-2}$$

E_w

; emisivitas air 0.97

T_w

; suhu mutlak badan air

H_e

; panas latent untuk evaporasi/kondensasi

$$H_e = f^*(u, \dots)(e_w - e_a)$$

e_w

; tekanan uap air jenuh (mbar)

e_a

; tekanan uap air aktual (mbar)

$f^*(u, \dots)$

; fungsi transfer w m^{-2} mbar

$$f/f^* \approx 0.61 \text{ mbar K}^{-1} \text{ Bowen ratio}$$

$$e_w = 6.1078 e^{(17.239 T)/(T+237.3)}$$

T

; suhu udara ($^{\circ}\text{C}$)

Estimasi penetrasi radiasi surya di beberapa layer dibawah permukaan badan air. Estimasi penetrasi radiasi surya :

$$H_{s,j} = (1-\alpha_s) H_{s,j+1} \exp(-k_e z)$$

$(1-\alpha_s) H_{s,j+1}$ diukur mulai lapisan permukaan

$H_{s,j}$; radiasi surya pada layer ke-j

k_e ; koefisien pemadaman radiasi surya

Menurut Di Toro;

$$k_e = 0.052 C_{ss} + 0.17 C_{det} + 0.31 C_{phy}$$

C_{ss} ; konsentrasi suspended solid pada layer ke-j $\mu\text{g/L}$

C_{det} ; konsentrasi detritus $\mu\text{g/L}$

C_{phy} ; konsentrasi chlorophyll-a $\mu\text{g/L}$

Hasil dan Pembahasan

Indonesia terdiri dari lebih 13000 pulau besar dan kecil, terbentang pada jarak ± 5000 km dimana sebagian besar pulaunya mempunyai pegunungan yang mengakibatkan beragamnya tipe iklim (curah hujan). Di wilayah yang dekat equator mempunyai pola hujan bimodal (mengalami dua puncak hujan) akibat daerah tersebut dilalui ITCZ (*Inter Tropical Convergence Zone*) dua kali dalam setahun. Sedangkan daerah lainnya mengelami musim hujan dan musim kemarau bergantian dengan curah hujan yang sangat beragam.

Indonesia merupakan daerah muson (monsoon) yang terletak antara benua Asia dan Australia. Angin muson dicirikan dengan perubahan arah angin akibat perubahan musim yang dicirikan dengan kharakteristik temperatur udara yang relatif konstan, kelembaban udara yang tinggi, curah hujan yang berlimpah, dan aliran angin yang relatif lemah.

Danau Maninjau terletak di sekitar garis khatulistiwa (equator), secara umum pemindahan energi dan materi pada zona ini terjadi melalui sirkulasi udara umum Sel Hadley (*Hadley Cell*). Sel Hadley merupakan sirkulasi udara antara khatulistiwa (0°) dengan daerah sekitar 30° LU dan 30° LS. Pada sirkulasi ini, penguapan sangat intensif terjadi di sekitar khatulistiwa pada pusat tekanan rendah yang disebut ITCZ yang dicirikan oleh banyaknya awan di daerah tersebut. ITCZ ini bergerak mengikuti gerakan semu matahari (matahari seolah-olah bergerak pada zona $23\frac{1}{2}^\circ$ LU - $23\frac{1}{2}^\circ$ LS) sehingga posisinya selalu berubah sesuai gerakan matahari menurut lintang. Matahari berada di sekitar khatulistiwa pada saat *vernal equinox* (21 Maret) dan *autumnal equinox* (23 September). Matahari berada di belahan bumi selatan $23\frac{1}{2}^\circ$ LS pada saat soltis dingin (22 Desember) dan berada di belahan bumi utara $23\frac{1}{2}^\circ$ LU pada saat soltis panas (22 Juni).

Adanya pergerakan semu matahari dan ITCZ menyebabkan fenomena angin muson indo-Australia. 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*).

Dari tahun ke tahun sifat monsun tidaklah sama baik arah kecepatannya maupun sifat massa udara yang dibawanya. Demikian pula keadaan cuaca yang ditimbulkannya juga tidak sama, ada tahun-tahun yang curah hujannya lebih basah dari tahun-tahun yang lain. Pada musim pancaroba variasi cuaca atau iklim dari tahun ke tahun lebih besar. Keadaan cuaca rata-rata yang dihasilkan dari fenomena monsun ini dalam jangka panjang akan menentukan kharakteristik unsur iklim dari suatu wilayah dalam hal ini kondisi iklim regional sekitar Danau Maninjau disamping faktor kharakteristik wilayah yang juga mempengaruhi kondisi iklim mikronya.

Sumberdaya Iklim Regional Danau Maninjau

1. Lama penyinaran dan Intensitas radiasi surya

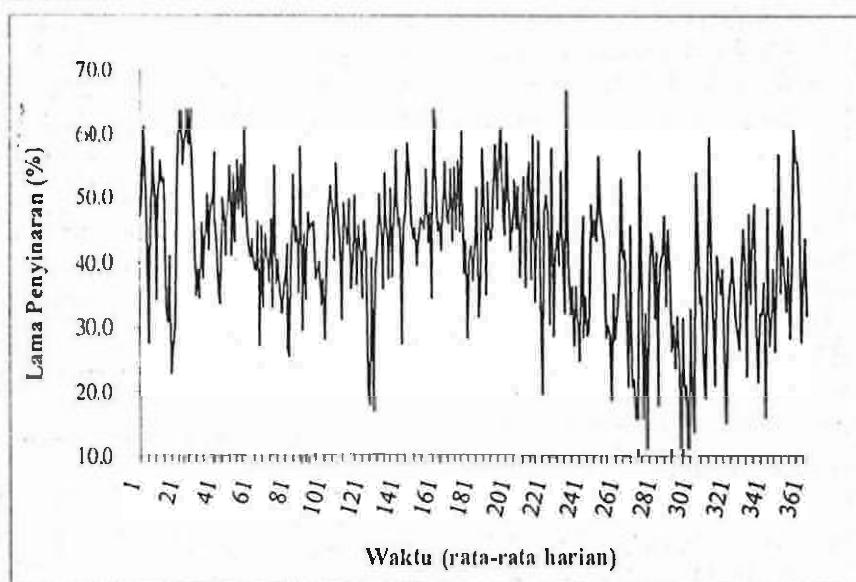
Penerimaan radiasi surya di permukaan bumi sangat bervariasi menurut tempat dan waktu. Menurut tempat variasi ini umumnya disebabkan oleh perbedaan letak lintang serta keadaan atmosfer terutama awan. Pada skala mikro arah lereng sangat menentukan jumlah radiasi yang diterima. Perubahan jumlah penerimaan radiasi surya menurut lintang disebabkan oleh sudut inklinasi bumi (66.5°) yang mengakibatkan perbedaan sudut datang. Disamping itu, jarak matahari bumi tidak selalu tetap karena garis edar bumi mengelilingi matahari berupa ellips sehingga dikenal istilah jarak terdekat matahari-bumi (*perihelion*) yang terjadi pada tanggal 5 Juli dan jarak terjauh (*aphelion*) pada tanggal 3-5 Januari. Perbedaan jarak ini mengakibatkan perbedaan kerapatan fluks (intensitas) radiasi surya yang sampai dipermukaan bumi.

Hubungan antara tingkat keawanan, lama penyinaran, dan penerimaan radiasi surya dipermukaan bumi adalah sebagai berikut:

$$Q_s/Q_A = a + b n / N; \quad n \leq N, \quad Q_s \leq Q_A$$

Q_s adalah radiasi yang sampai permukaan bumi (MJ m⁻²), n adalah rata-rata lamanya matahari bersinar cerah selama 1 hari (jam), dan N adalah panjang hari (jam). Q_A adalah radiasi angot yaitu radiasi di puncak atmosfer.

Perbedaan menurut waktu dapat terjadi secara harian (diurnal) maupun musiman. Perbedaan diurnal terjadi akibat gerak rotasi bumi. Sedangkan perbedaan musiman disebabkan sudut inklinasi bumi karena adanya pergerakan sumbu matahari diantara $23 \frac{1}{2}^{\circ}$ LU dan $23 \frac{1}{2}^{\circ}$ LS yang mengakibatkan perbedaan sudut datang pancaran radiasi surya pada lintang yang berbeda.



Gambar 1. Pola lama penyinaran radiasi surya rata-rata harian selama 10 tahun (1992-2001).

Dalam daerah tropik seperti Indonesia, lama penyinaran dan intensitas radiasi sangat dipengaruhi oleh kondisi keawanan. Kondisi keawanan akan tinggi pada saat musim hujan tiba. Dari Gambar 1, lama penyinaran rata-rata

harian di Danau Maninjau dan sekitarnya berkisar antara 0% (0 jam) sampai 65% (5.2 jam) lebih. Nilai-nilai tersebut merupakan nilai persentase lama penyinaran (jam) terhadap waktu pengukuran selama 8 jam (pengukuran dilakukan dari pukul 08.00-16.00 WIB).

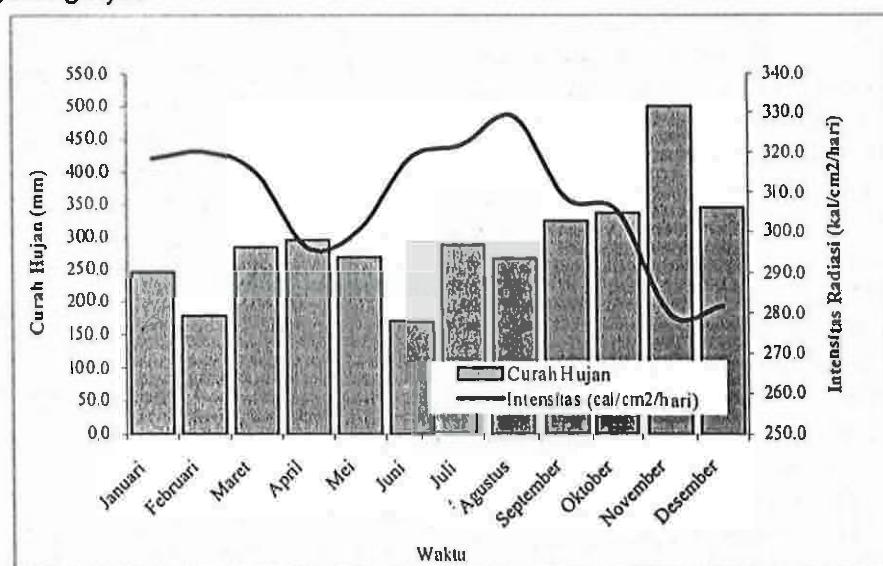
Pada musim kemarau dimana keawanannya rendah maka nilai lama penyinaran akan meningkat. Karena wilayah Danau Maninjau dan sekitarnya mempunyai pola hujan bimodal, maka pola lama penyinaran akan meningkat saat curah hujan menurun. Lama penyinaran mengalami peningkatan pada bulan Mei-Agustus dan pada bulan Desember-akhir Februari (Gambar 1). Nilai lama penyinaran 40-65%. Pada periode Mei-Agustus matahari dan ITCZ bergerak menuju $23^{\circ}1/2^{\circ}$ LU dan bertiup angin timur menyebabkan tingkat keawanannya cenderung rendah karena merupakan periode musim kemarau. Periode Desember-akhir Februari secara umum merupakan musim hujan di Indonesia, tetapi karena Danau Maninjau terletak di sekitar garis khatulistiwa menyebabkan tingkat keawanannya tertinggi terjadi pada bulan November setelah itu matahari dan ITCZ bergerak menuju $23^{\circ}1/2^{\circ}$ LS sehingga tingkat keawanannya berkurang kembali. Nilai lama penyinaran pada saat musim penghujan yaitu periode Maret-Mei dan September-November berkisar antara 0-40%.

Tabel 1. Data unsur iklim stasiun Tanjung Alai (rata-rata 1992-2001)

Bulan	T-Maks rata-rata ($^{\circ}$ C)	T-Min rata-rata ($^{\circ}$ C)	T-rata-rata ($^{\circ}$ C)	RH rata-rata (%)	Eo (mm)	V-Angin (km/hari)		Intensitas Radiasi rata-rata (cal/cm ² /hari)	Hujan (mm)
						Rata-rata	Maks		
Januari	30.58	15.88	23.23	95.20	108.4	28.0	92.4	318.8	246.8
Februari	30.24	15.04	23.14	95.26	99.1	25.5	76.2	320.5	179.8
Maret	32.35	15.78	24.07	95.95	106.4	23.1	111.6	315.0	283.4
April	31.2	15.50	23.35	95.31	112.7	22.6	56.8	296.1	294.3
Mei	31.87	15.88	23.88	96.05	118.7	17.7	51.7	300.5	267.7
Juni	32.93	15.80	24.37	96.45	103.4	21.9	56.8	318.6	171.3
Juli	31.84	15.06	23.45	96.57	121.7	19.3	45.2	321.8	289.1
Agustus	32.29	15.74	24.02	96.11	113.9	22.4	65.3	328.9	267.6
September	30.08	15.40	22.74	95.97	113.6	24.7	69.7	308.6	323.4
Okttober	30.03	15.76	22.90	93.48	121.0	30.7	161.5	305.3	335.4
November	30.63	15.20	22.92	93.08	106.3	21.0	55.2	279.5	497.8
Desember	31.19	15.16	23.18	93.07	109.3	24.9	71.5	281.6	343.4
Rata-rata	31.02	15.68	23.35	95.20		23.5		307.9	
Total					1334.2				3499.9

Dari tabel 1 diketahui nilai sebaran intensitas radiasi merupakan fungsi dari nilai lama penyinaran. Pola harian atau bulanan intensitas radiasi mengikuti pola lama penyinaran. Nilai intensitas radiasi matahari rata-rata harian per bulan di Danau maninjau dan sekitarnya pada musim kemarau (Mei-Agustus dan Desember-akhir Februari) diperkirakan berkisar antara 281.6-328.9 cal/cm²/hari. Pada musim penghujan (Maret-Mei dan September-November) penerimaan intensitas radiasi surya berkisar antara 279.5-315 cal/cm²/hari. Pola sebaran fluktuasi intensitas radiasi surya berlawanan dengan pola sebaran fluktuasi curah hujan karena intensitas radiasi surya dipengaruhi oleh tingkat keawanannya dan topografi (Gambar 2). Danau

Maninjau merupakan danau tektonik yang dikelilingi oleh sistem pegunungan sehingga berbentuk seperti sebuah kaldera dan terletak pada ketinggian 461,50 m. akibat kondisi tersebut danau maninjau menerima pancaran radiasi matahari langsung lebih lambat tetapi kehilangan pancaran radiasi matahari langsung akan lebih cepat akibat adanya bentang pegunungan yang mengelilinginya.



Gambar 2. pola sebaran fluktuasi intensitas radiasi dan curah hujan.

Tingkat kesuburan suatu ekosistem perairan dapat digambarkan dengan produktivitas primer suatu ekosistem. Indikator variabel produktivitas primer diantaranya ukuran kuantitatif produk fotosintesis seperti kandungan oksigen (DO), jumlah dan kelimpahan komponen produsen. Tumbuhan air dan fitoplankton merupakan komponen produsen. Tumbuhan air dan fitoplankton sebagai organisme yang mempunyai zat hijau daun (klorofil) akan menangkap energi yang berasal dari radiasi surya dalam pembentukan bahan organik seperti karbohidrat, protein, dan lemak. Laju fotosintesis dipengaruhi oleh beberapa faktor baik faktor intern (genetik) maupun faktor ekstern (lingkungan). Faktor lingkungan yang sangat penting dalam proses fotosintesis diantaranya adalah faktor iklim dan cuaca seperti intensitas radiasi surya, lama penyinaran, kualitas radiasi, dan suhu.

Makin rendah intensitas radiasi surya, makin rendah laju fotosintesis karena produksi ATP (Adenosin Trifosfat) dan NADPH (Nikotinamid Adenosin Dinukleotida Fosfat Hydrogen) tidak cukup tinggi (Januar, D dan Justika, S.B., 1983). Pada fotosintesis terjadi dua macam reaksi yaitu reaksi terang dan reaksi gelap. Reaksi terang atau fotokimia adalah reaksi yang membutuhkan sinar matahari. Sedangkan reaksi gelap adalah reaksi kimia yang terjadi secara terus menerus pada keadaan ada atau tanpa cahaya atau sinar matahari. Reaksi terang adalah reaksi pengumpulan dan penyimpanan energi dari matahari yang menghasilkan senyawa berkadar energi tinggi berupa ATP dan NADPH.

Dilihat dari potensi wilayah sumberdaya iklim regional maka intensitas radiasi dan lama penyinaran di Danau Maninjau relatif berlimpah pada periode Mei-Agustus dan pada periode Desember-akhir Februari. Sehingga

bila faktor lingkungan air lainnya (sifat fisik dan kimia) mendukung maka produktivitas primer beberapa biota akan meningkat. Tetapi jika berbicara mengenai badan air kelimpahan ini akan dipengaruhi juga oleh kondisi fisik perairan seperti kandungan suspended solid dan banyaknya biota per lapisan air yang bertindak sebagai buffer dari pancaran radiasi ke dalam perairan.

2. Suhu Udara

Suhu udara di permukaan bumi makin rendah dengan bertambahnya lintang seperti halnya penurunan suhu menurut ketinggian. Pada penyebaran suhu menurut letak lintang, sumber energi utama berasal dari daerah tropika yang merupakan penerima energi radiasi terbanyak. Variasi suhu menurut tempat juga dipengaruhi oleh posisi daerah terhadap daratan dan lautan serta keadaan unsur iklim seperti perawanhan. Variasi menurut tempat juga sangat dipengaruhi oleh waktu.

Di daerah tropika fluktuasi suhu udara rata-rata harian relatif konstan sepanjang tahun sedangkan fluktuasi suhu diurnal (variasi antara siang dan malam hari) lebih besar daripada fluktuasi suhu udara rata-rata harian. Pada Tabel 1 nilai suhu udara maksimum rata-rata bulanan selama 10 setahun (1992-2001) di Danau Maninjau berkisar antara 30.03-32.93°C dan suhu udara minimum 15.04-15.88°C serta suhu udara rata-rata tahunan 22.74-24.37°C. Pada variasi diurnal, suhu maksimum tercapai setelah radiasi maksimum. Sebelum suhu udara maksimum, radiasi surya datang masih lebih besar dari radiasi pancaran. Setelah suhu udara mencapai maksimum, radiasi pancaran akan lebih besar dari radiasi yang datang (radiasi surya neto) sehingga suhu udara akan terus menurun sampai tercapainya suhu udara minimum pada pagi hari.

Arti penting suhu udara bagi sistem perairan akan menentukan besarnya penguapan air, tingkat kesejukan udara di sekitar danau, dan transfer panas antara lapisan udara dengan badan air. Intensitas radiasi dan suhu udara merupakan sumber panas bagi sistem perairan (suhu air). Apabila intensitas cahaya cukup tinggi, maka makin tinggi suhu, makin tinggi laju fotosintesis. Akan tetapi apabila intensitas cahaya rendah, maka kenaikan suhu tidak diikuti oleh kenaikan fotosintesis, karena pada keadaan demikian, reaksi terang tidak berlangsung cukup (Darmawan, J & Justika, S.B., 1983)

3. Kelembaban Udara

Kelembaban udara menggambarkan kandungan uap air di udara yang dapat dinyatakan sebagai kelembaban nisbi (RH). Kelembaban nisbi membandingkan antara kandungan/tekanan uap air aktual dengan keadaan jenuhnya atau pada kapasitas udara untuk menampung air. Kapasitas udara untuk menampung uap air tersebut (pada keadaan jenuh) ditentukan oleh suhu udara. Kapasitas udara untuk menampung uap air semakin tinggi dengan naiknya suhu udara, maka pada tekanan uap air actual yang relatif tetap antara siang dan malam hari mengakibatkan RH akan lebih rendah pada siang hari tetapi lebih tinggi pada malam hari.

Danau Maninjau mempunyai kelembaban udara rata-rata bulanan yang tinggi dan konstan berkisar pada 93.07-96.57% dengan rata-rata tahunan 95.20% (Tabel 1). Kelembaban nisbi pada suatu tempat tergantung pada suhu yang menentukan kapasitas udara untuk menampung uap air serta

kandungan uap air aktual di tempat tersebut. Jika daerah kajian basah dan panas, maka penguapan akan besar yang berakibat pada RH yang tinggi. Sebaliknya suhu yang rendah juga dapat menyebabkan kapasitas udara untuk menampung air relatif kecil sehingga menyebabkan RH tinggi. Nilai RH di Danau Maninjau mengalami penurunan terutama pada musim hujan dan cenderung naik di musim kemarau dan ini merupakan suatu fenomena yang unik. Pada musim penghujan kisaran nilai RH bulanan mencapai minimum sekitar 93.07% sedangkan pada musim hujan kemarau naik sampai kisaran 96.57%. Danau sebagai ekosistem perairan darat tergenang menyebabkan daerah Maninjau sepanjang tahun relatif basah sehingga nilai RH lebih dominan ditentukan faktor suhu dan radiasi surya. Pada musim kemarau lebih banyak massa air danau yang diuapkan karena adanya peningkatan energi radiasi surya dan didukung oleh penurunan suhu udara minimum yang berakibat kapasitas udara untuk menampung air relatif kecil. Kondisi tersebut sebaliknya pada musim hujan, karena keawanan tinggi maka jumlah massa air danau yang teruapkan lebih sedikit karena energi penggerak massa air berkurang.

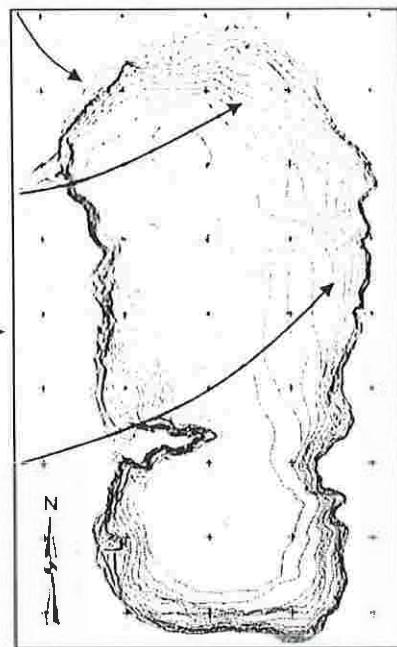
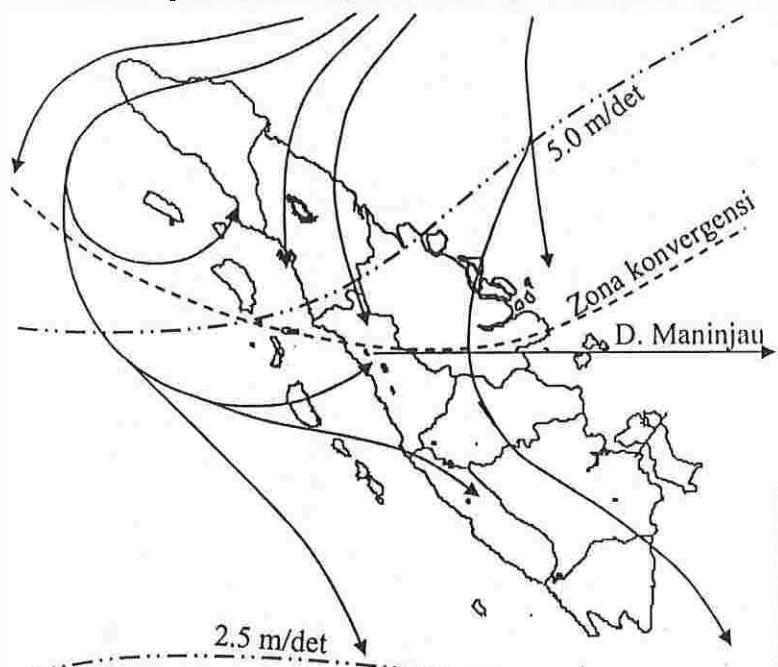
4. Angin

Angin merupakan gerakan massa udara yang bergerak secara vertical atau horizontal dari daerah yang mempunyai pusat tekanan tinggi (antisiklon) menuju daerah yang mempunyai pusat tekanan rendah (siklon). Perbedaan tekanan ini disebabkan karena perbedaan suhu yang merupakan fungsi radiasi surya (Handoko, 1995).

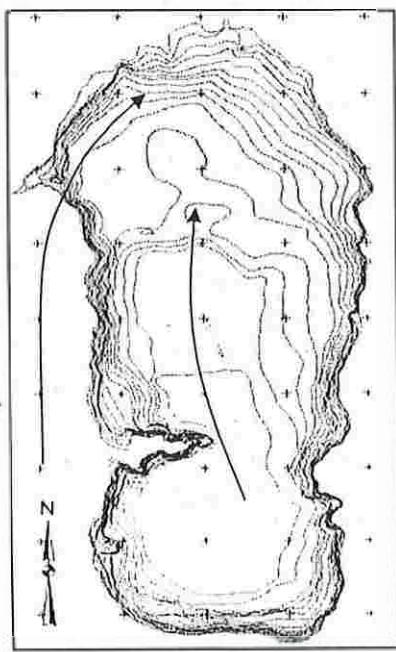
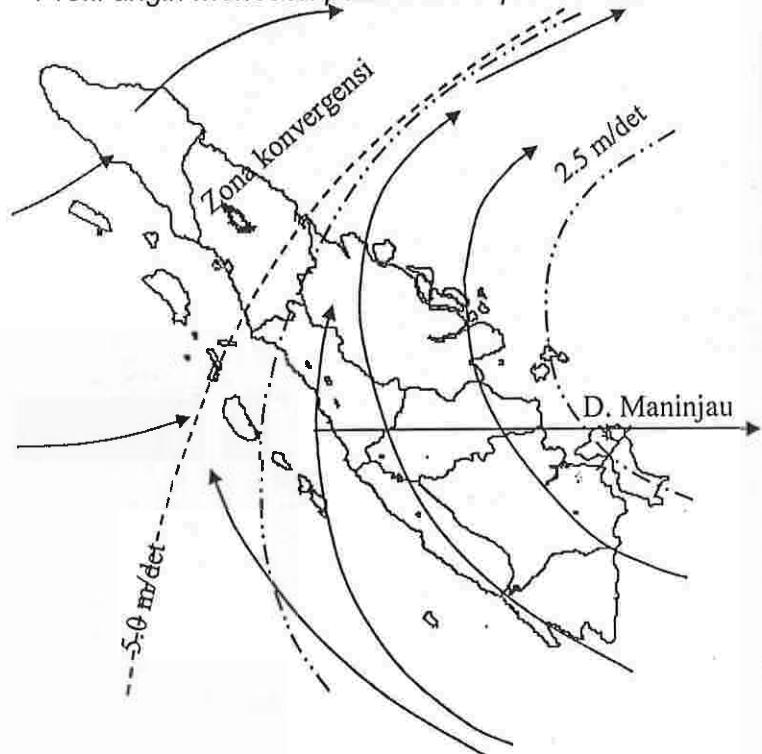
Arti penting angin bagi ekosistem suatu badan air diantaranya angin akan mempengaruhi pola pengadukan danau, iklim mikro danau, dan laju evapotranspirasi danau (neraca air danau). Pola pengadukan danau yang dipengaruhi oleh faktor angin diantaranya adalah gelombang dan pola arus danau. Arah dan kecepatan angin akan berpengaruh terhadap pola dan kecepatan keduanya.

Indonesia sebagai bagian dari wilayah equator sehingga termasuk wilayah *doldrums*. Wilayah yang umumnya mempunyai sifat angin tenang kecuali angin-angin lokal yang disebabkan oleh bادai guntur (pemanasan konvektif). Sebagai wilayah yang dilalui ITCZ maka aktivitas pembentukan awan cumulus dan bادai guntur sangat intensif. Selain itu Indonesia merupakan daerah monsoon yang terletak antara benua Asia dan Australia, pengaruh angin pasat timur laut dan angin pasat tenggara tidak begitu jelas terutama untuk daerah Indonesia Barat seperti wilayah regional Danau Maninjau.

Profil angin monsoon pada bulan Oktober-April



Profil angin monsoon pada bulan April-Oktober



Keterangan:

- Arah kecepatan angin
- - - Zone konvergensi
- - - Kecepatan angin m/det

Sumber pustaka :
Mc Alpine et.al,

Gambar 3. Prakiraan pola angin regional Danau Maninjau dan sekitarnya.

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 3.

Danau Maninjau dan wilayah sekitarnya yang terletak disekitar garis equator mengalami proses pemanasan yang sangat intensif yang dapat menurunkan kerapatan atmosfer dan mengangkat sejumlah massa udara. 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.

Dari Gambar 3 terlihat di sebelah barat-barat daya Danau Maninjau sepanjang tahun merupakan wilayah konvergensi. Wilayah tersebut semakin merapat mendekat 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.

Seperti telah disebutkan di atas, arah dan kecepatan angin mempunyai arti penting bagi sistem perairan dalam proses pengadukan massa air danau. Arah dan kecepatan angin di danau akan menentukan gelombang dan pola arus yang terjadi. Angin berfungsi sebagai tenaga penggerak selain adanya gradien suhu antar lapisan air baik secara vertikal atau horizontal. Masyarakat melaporkan 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 segi proses dinamik sistem perairan, kejadian *upwelling* dapat terjadi selain disebabkan oleh adanya arah dan kecepatan angin yang ekstrim juga adanya gradien suhu yang lebih besar antar lapisan air. Gradien suhu akan sangat dipengaruhi oleh penerimaan energi radiasi surya dan aktivitas vulkanik dasar danau.

Beberapa fenomena alam sumberdaya iklim regional yang dapat digunakan sebagai indikator dalam monitoring kejadian *upwelling* di Danau Maninjau diantaranya adanya proses pemanasan yang intensif di sekitar wilayah Danau Maninjau sehingga wilayah konvergensi yang terlihat pada Gambar 3 berada di atas badan air Danau Maninjau. Waktu-waktu yang perlu diwaspadai terjadinya gangguan cuaca khususnya angin adalah periode

Maret-April dan September-Oktober. Periode tersebut merupakan musim peralihan atau pancaroba, pada musim pancaroba variasi cuaca atau iklim dari tahun ke tahun lebih besar. Hal ini dapat dilihat dari nilai kecepatan angin maksimum rata-rata yang sering terjadi paling tinggi terjadi pada bulan Maret dan Oktober (Tabel 1). Jika dilihat dari pola angin rata-rata bulanan di Stasiun Tanjung Alai (Tabel 1), Kecepatan angin yang terjadi umumnya lebih tinggi pada saat musim hujan. Dari hasil pengamatan secara visual selama survey bulan Juli 2003 terlihat ketika mau terjadi hujan keadaan cuaca disekitar Danau Maninjau begitu cepat berubah, kemudian diikuti dengan tiupan angin berkecepatan tinggi dan hujan relatif deras. Angin yang berkecepatan tinggi akan mempercepat gerakan turbulen dan pembentukan awan.

5. Curah Hujan

Hujan merupakan salah satu bentuk presipitasi. Menurut tipenya, hujan dapat dibagi menjadi hujan konvektif, orografis, dan hujan frontal. Tipe hujan yang banyak terjadi di daerah tropik adalah hujan orografis dan konvektif. Penerimaan hujan tertinggi terdapat di sekitar equator pada sabuk $15^{\circ}\text{LU}-10^{\circ}\text{LS}$ (Handoko, 1995). Daerah ini (ITCZ) merupakan daerah pertemuan dua massa udara tropis (daerah konvergensi). Pengangkatan massa udara yang hangat, lembab dan tidak stabil terjadi secara aktif.

Tabel 2. Curah hujan rata-rata bulanan (mm) stasiun PLTA Maninjau

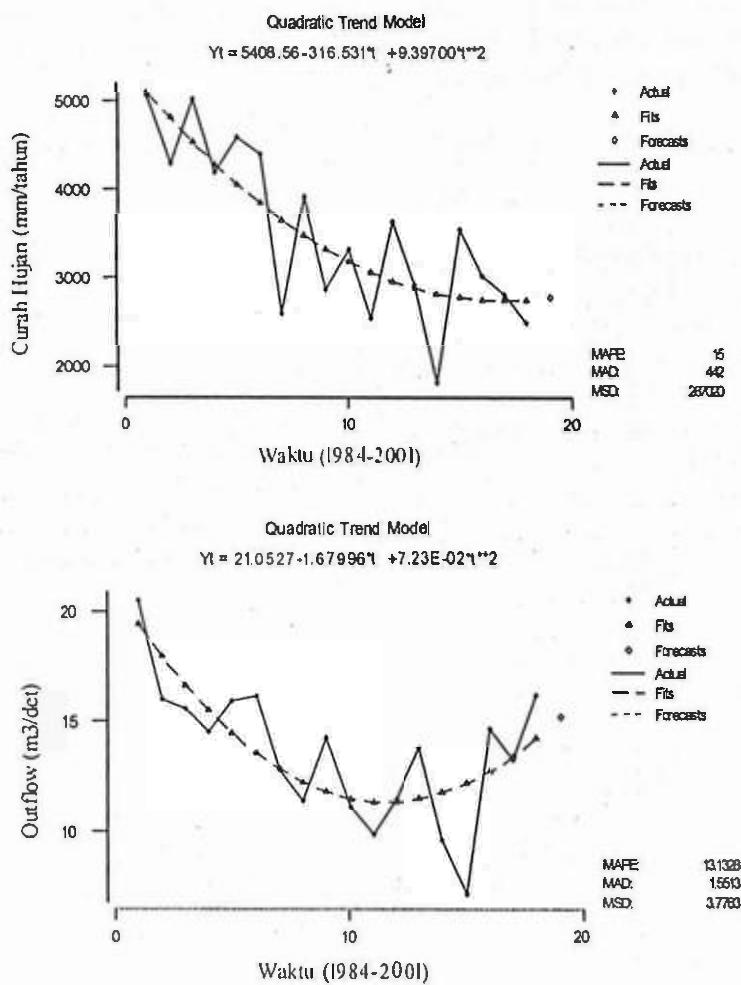
Tahun	Bulan												Kriteria bulan			Q (%)
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	BB	BL	BK	
1983									369.0	552.0	343.0	480.0	-	-	-	
1984	8.0	242.0	368.0	603.0	353.0	388.0	470.0	279.0	783.0	320.0	811.0	433.0	11.0	0.00	1.00	
1985	495.0	149.0	355.0	313.0	295.0	321.0	338.0	190.0	589.0	290.0	566.0	410.0	12.0	0.00	0.00	
1986	249.0	186.0	451.0	332.0	529.0	238.0	664.0	434.0	453.0	558.0	753.0	178.0	12.0	0.00	0.00	
1987	285.0	234.0	231.0	396.0	343.0	123.0	282.0	294.0	279.0	501.0	605.0	630.0	12.0	0.00	0.00	
1988	409.0	312.0	369.0	301.0	246.0	168.0	110.0	398.0	526.0	263.0	1088.0	412.0	12.0	0.00	0.00	
1989	362.0	400.0	364.0	316.0	398.0	190.0	341.0	280.0	388.0	388.0	644.0	333.0	12.0	0.00	0.00	
1990	361.0	83.0	192.0	172.0	222.0	119.0	416.0	193.0	191.0	183.0	311.0	144.0	11.0	1.00	0.00	
1991	244.0	130.0	538.0	133.0	457.0	53.0	208.0	231.0	319.0	250.0	799.0	567.0	11.0	0.00	1.00	
1992	42.0	134.0	154.0	574.0	129.0	17.0	245.0	353.0	294.0	365.0	400.0	160.0	10.0	0.00	2.00	
1993	292.0	154.5	246.0	253.0	390.0	133.8	388.0	98.1	260.2	288.8	488.3	322.4	11.0	1.00	0.00	
1994	138.3	264.4	245.0	288.1	183.0	220.2	279.9	151.4	92.2	100.4	222.3	358.4	11.0	1.00	0.00	
1995	227.9	167.2	300.0	275.0	387.0	259.5	242.0	264.8	374.0	460.1	342.7	330.4	12.0	0.00	0.00	
1996	172.7	271.6	288.6	316.0	66.6	110.9	175.9	296.3	214.1	453.0	294.9	254.6	11.0	1.00	0.00	
1997	296.5	114.0	225.4	243.0	191.7	47.9	92.5	63.7	40.3	35.3	263.0	180.1	7.0	2.00	3.00	
1998	333.9	89.9	264.0	137.6	136.2	121.6	379.0	573.0	365.5	204.5	428.3	502.1	11.0	1.00	0.00	
1999	318.9	110.5	262.7	172.9	237.8	182.6	181.6	153.6	275.3	300.3	412.7	421.5	12.0	0.00	0.00	
2000	141.1	29.6	183.0	312.9	54.5	197.2	291.7	339.6	132.0	432.3	408.2	292.1	10.0	0.00	2.00	
2001	169.0	256.7	160.2	159.0	200.1	193.2	99.1	223.6	199.9	428.0	278.1	115.2	11.0	1.00	0.00	
2002	144.0	87.5	187.7										-	-	-	
Rata-rata	246.8	179.8	283.4	294.3	267.7	171.3	289.1	267.6	323.4	335.4	497.8	343.4	11.1	0.44	0.50	4.52

BB; bulan basah yaitu bulan dengan hujan $> 100 \text{ mm}$

BL ; bulan lembab yaitu bulan dengan hujan 60-100 mm

BK; bulan kering yaitu bulan dengan hujan $< 60 \text{ mm}$

Menurut BMG hari hujan adalah hari dengan penerimaan hujan 0.5 mm atau lebih. Berdasarkan kriteria ini di Danau Maninjau curah hujan rata-rata tahunan sekitar 3499.9 mm (Tabel 1). Curah hujan rata-rata bulanan selama 20 tahun (1983-2002) bervariasi antara 171.3 mm sampai 497.8 mm. Berdasarkan Gambar 2, Danau Maninjau mengalami 2 puncak hujan dalam setahun yaitu April-Mei dan Oktober-November akibat daerah tersebut dilalui ITCZ sebanyak dua kali dalam setahun. Apabila dilihat dari dinamika sistem iklim regional, pada bulan Oktober matahari melintasi equator menuju belahan bumi selatan ($231/2^{\circ}$ LS) yang akan diikuti oleh pergerakan ITCZ yang dikenal sebagai pertanda bahwa pada tempat yang dilaluinya akan mempunyai curah hujan yang tinggi. Pada bulan Maret matahari kembali melintasi equator menuju belahan bumi utara ($231/2^{\circ}$ LU) yang diikuti oleh pergerakan ITCZ tetapi massa udara yang dibawanya relatif lebih kering dibanding pada bulan Oktober sehingga jeluk hujan yang dihasilkannya lebih sedikit. Keragaman curah hujan di Danau Maninjau juga dipengaruhi oleh sistem topografi yang memungkinkan terjadinya tipe hujan orografis. Kondisi ini menyebabkan Danau Maninjau memiliki sifat relatif basah, terjadi hujan sepanjang tahun.

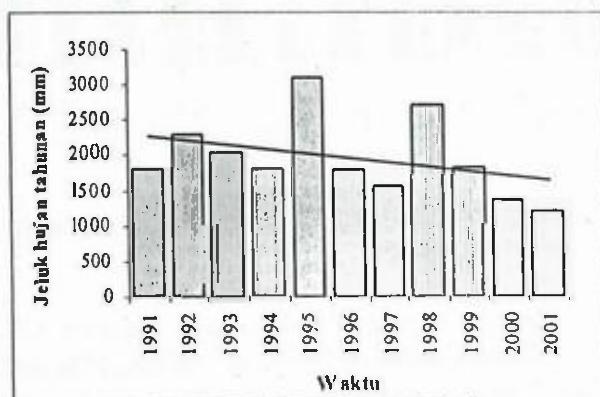


Gambar 4. Pola perubahan (*trend*) curah hujan dan debit luaran (*outflow*) tahunan Danau Maninjau.

Curah hujan rata-rata bulanan pada musim yang lebih kering atau kemarau berkisar antara 171.3-267.6 mm. Sedangkan pada musim hujan berkisar antara 283.4-497.8 mm (Tabel 2). Salah hal yang cukup menarik untuk dikaji adalah adanya kecenderungan penurunan jeluk hujan dan debit luaran tahunan danau dalam kurun waktu 1984-2001 (Gambar 4).

Danau Maninjau sejak tahun 1983 digunakan untuk pembangkit tenaga listrik dengan kapasitas 68 MW dengan memanfaatkan air Danau Maninjau. PLTA ini dibuat dengan cara membendung Batang Antokan dan mengalirkan air keluar melalui terowongan untuk dimanfaatkan sebagai penggerak turbin. Dari Gambar 4, terlihat adanya trend penurunan jeluk hujan tahunan berpengaruh terhadap debit luaran Danau Maninjau. Fluktuasi tinggi muka air dan debit danau mempunyai pola yang sejalan dengan pola curah hujan. Sistem danau meskipun mempunyai volume yang cukup besar tetapi curah hujan yang jatuh di danau atau catchment area mempunyai kontribusi yang cukup besar.

Adanya trend penurunan curah hujan tahunan dalam beberapa tahun terakhir dapat disebabkan oleh banyak faktor sehingga perlu kajian yang komprehensif. Secara teoritis perubahan ini dapat disebabkan oleh perubahan faktor lingkungan dalam skala mikro, regional, atau global. Ketiga faktor tersebut dapat merubah tiga komponen meteorologi yang menjadi penentu utama dan besarnya kejadian hujan yaitu : (i) jumlah massa air *precipitable*; (ii) laju konvergensi atau tenaga orografis sebagai penggerak massa udara; dan (iii) gerakan vertikal massa udara. Air *precipitable* menyatakan sumber air yang potensial tersedia di kolom atmosfer untuk jatuh sebagai hujan. Besarnya air *precipitable* sangat tergantung pada jumlah air di permukaan, energi penguapan, dan wilayah konvergensi (siklon). Pergeseran wilayah konvergensi akibat perubahan sirkulasi global atau regional dapat mempengaruhi jeluk kejadian hujan. Berdasarkan Gambar 5, trend penurunan jeluk hujan tahunan pada beberapa tahun terakhir tidak hanya terjadi di sekitar Danau Maninjau tetapi juga terjadi wilayah Sumatera lainnya yaitu stasiun Tanjung Karang Lampung. Berdasarkan informasi kondisi curah hujan tahunan di dua tempat tersebut dapat diduga telah terjadi perubahan pola sirkulasi regional yang berakibat pada perubahan pola sebaran curah hujan baik secara spasial ataupun intensitasnya.

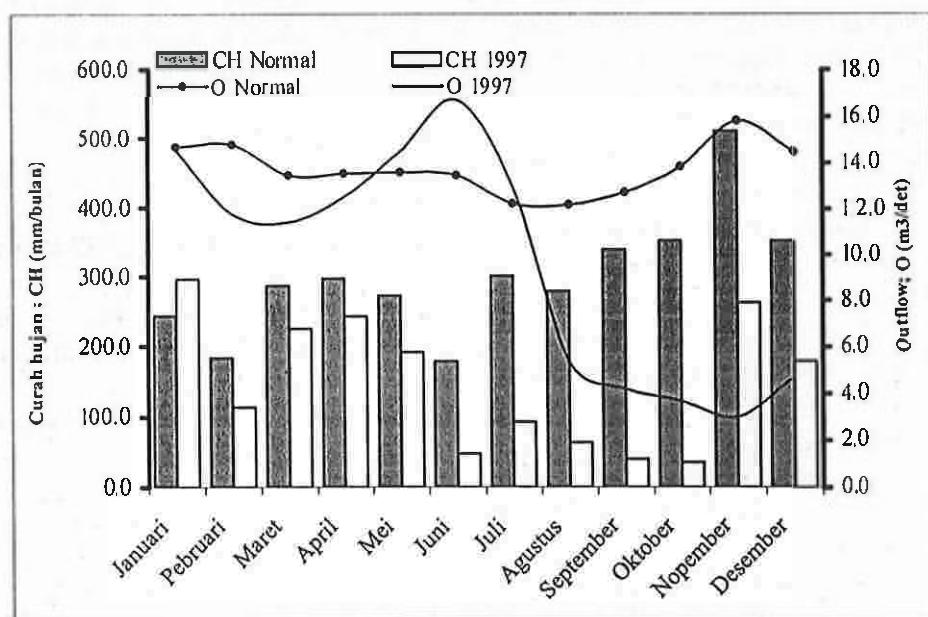


Gambar 5. Pola perubahan (*trend*) curah hujan tahunan stasiun Tanjung Karang - Lampung (05°16' LS dan 105°11' BT).

6. Analisis Penyimpangan Unsur Iklim

Gangguan siklon tropis yang sering terjadi di sekitar garis 10° LU pada bulan Agustus, September, Oktober, serta November dan sekitar garis 10° LS pada bulan Desember, Januari, dan Februari dapat mempengaruhi sirkulasi angin monsoon di Indonesia. Peristiwa gangguan tersebut menyebabkan adanya kejadian curah hujan yang menyimpang dari kondisi normalnya. Kejadian curah hujan dibawah normal sering dikatakan dengan peristiwa El-Nino dan jika diatas normal sering disebut La-Nina. Besarnya dampak dari kedua peristiwa tersebut tergantung pada intensitas kekuatan yang menyebabkan munculnya gejala El-Nino dan La-Nina.

Danau Maninjau mempunyai kondisi curah hujan yang relatif tinggi sepanjang tahun. Tidak terlihat musim kemarau yang cukup dominan, selama musim kemarau melanda sebagian besar wilayah Indonesia khususnya Sumatera, Danau Maninjau masih menerima kejadian hujan. Salah satu kondisi alam yang sangat mempengaruhi variasi curah hujan di Danau Maninjau adalah adanya gejala ENSO (*El Nino-Southern Oscillation*). Dampak gejala ENSO yang cukup kuat intensitasnya di Indonesia paling akhir terjadi pada tahun 1997. Gejala ini mempunyai pengaruh terhadap kondisi curah hujan di Danau Maninjau dan berdampak tidak langsung terhadap penurunan debit luaran danau. Penurunan debit luaran danau akan mempengaruhi tingkat produksi PLTA Maninjau.



Gambar 6. Dampak kejadian ENSO 1997 terhadap jeluk hujan dan debit luaran Danau Maninjau.

Berdasarkan Gambar 6, pada saat adanya gejala ENSO 1997 kondisi curah hujan bulanan Danau Maninjau mulai Februari-Desember berada di bawah normal. Musim hujan pertama yang terjadi pada periode Maret-Juni tidak mengalami keterlambatan tetapi jeluk hujannya berada dibawah rata-rata kondisi normal. Musim hujan kedua yang biasanya terjadi mulai bulan Agustus mengalami pergeseran menjadi akhir November itu pun masih

dibawah curah hujan bulanan rata-rata pada kondisi normal. Dampak ENSO 1997 (Tabel 3) menurunkan hampir 50.1% curah hujan tahunan yang terjadi terhadap kondisi normalnya. Apabila dilihat dari skala bulanan, gejala ENSO 1997 menurunkan hampir 48.5%-90% rata-rata curah hujan bulan Agustus-Desember dari rata-rata normalnya. Penurunan curah hujan mempunyai dampak terhadap debit luaran rata-rata danau. Akibat gejala tersebut debit rata-rata luaran rata-rata tahunan turun sekitar 30% dari kondisi rata-rata normal. Pada periode Agustus-Desember, debit rata-rata turun 56.12%-80.96% dari kondisi normal. Informasi ini akan lebih bermanfaat apabila dibuat persamaan korelasi antara besarnya dampak ENSO (curah hujan dan debit) dengan nilai SOI (Southern Oscillation Indeks). Persamaan tersebut dapat digunakan untuk memprediksi dampak berdasarkan prakiraan intensitas kekuatan *El Nino* atau ENSO yang akan terjadi.

Tahun kejadian *El-Nino* atau *La Nina* didasarkan pada data anomali suhu muka laut (SML) dan indeks osilasi selatan (SOI) disekitar Samudra Pasifik bagian timur. Kejadian *El Nino* ditandai oleh SOI yang bernilai negatif atau anomali SML yang positif. Untuk menentukan intensitas *El Nino* digunakan data anomali SML pada wilayah nino-1. Data SML atau SOI diakses dari homepage <http://www.csiro.au> pada nino 3 dan 4. Intensitas kekuatan *El Nino* (Quinn, 1978).

Kategori	Anomali SML
Kuat	>3°C
Sedang	(2-3.5)°C
Lemah	(1-2.5)°C
Sangat lemah	(0-1.5)°C

Tabel 3. Dampak gejala ENSO 1997 terhadap curah hujan (CH; mm) dan debit luaran danau (O; m³/det)

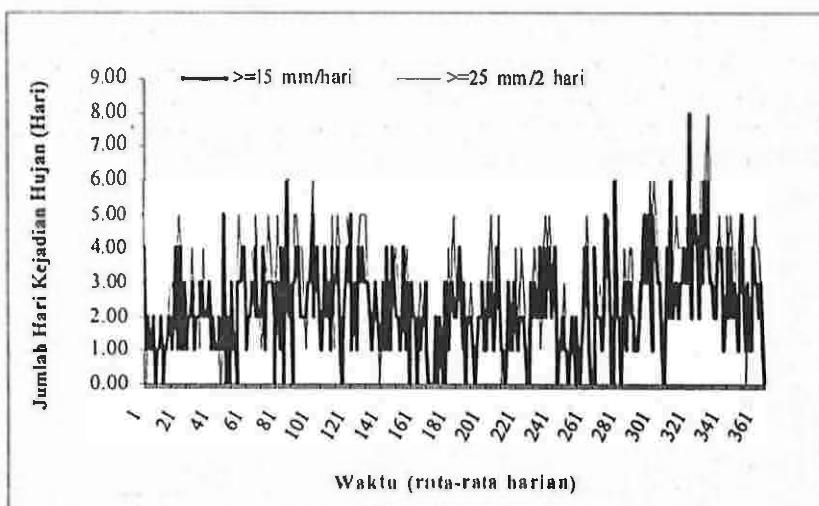
Bulan	CH Normal	CH 1997	O Normal	O 1997	Perubahan CH (%)	Perubahan O (%)
Januari	244.0	296.5	14.63	14.48	21.5	-1.00
Pebruari	183.4	114.0	14.72	11.71	-37.9	-20.45
Maret	286.6	225.4	13.41	11.36	-21.4	-15.28
April	297.3	243.0	13.47	12.47	-18.3	-7.41
Mei	272.2	191.7	13.54	14.44	-29.6	6.67
Juni	178.6	47.9	13.40	16.65	-73.2	24.26
Juli	300.7	92.5	12.17	12.90	-69.2	5.96
Agustus	279.6	63.7	12.13	5.32	-77.2	-56.12
September	339.1	40.3	12.66	4.20	-88.1	-66.82
Oktober	352.1	35.3	13.80	3.66	-90.0	-73.47
November	510.9	263.0	15.76	3.00	-48.5	-80.96
Desember	352.4	180.1	14.47	4.67	-48.9	-67.72
Rata-Rata	-	-	13.67	9.57	-	-30.0
Total	3596.8	1793.3	-	-	-50.1	-

7. Analisis Curah Hujan Deras

Curah hujan sangat besar pengaruhnya terhadap kondisi hidrologi DAS dibanding unsur iklim lainnya. Curah hujan merupakan salah satu faktor yang akan mempengaruhi banyaknya aliran permukaan (*runoff*). Apabila curah hujan yang jatuh telah menyebabkan lengas tanah jenuh maka sisa hujan yang jatuh akan menjadi aliran permukaan. Disamping hal tersebut, energi kinetik akibat tumbukan butiran air hujan terhadap tanah akan menentukan jumlah tanah yang tererosi yang selanjutnya akan mengalami proses sedimentasi.

Kejadian hujan yang dapat menyebabkan adanya aliran permukaan dan erosi terutama adalah kejadian hujan yang termasuk kedalam fenomena kejadian hujan deras. Fenomena curah hujan deras dalam analisis ini meliputi kejadian hujan dengan jeluk tertentu yang terjadi selama satu atau beberapa hari. Hujan deras didefinisikan sebagai hari dengan jeluk hujan ≥ 15 mm/hari atau ≥ 25 mm/2 hari. Gambar 7 menunjukkan jumlah dan pola kejadian hujan deras rata-rata dalam setahun selama periode 1992-2001. Kejadian hujan deras hampir terjadi sepanjang tahun dan mencapai puncaknya pada puncak musim hujan yaitu Maret-Juni dan Agustus-Desember.

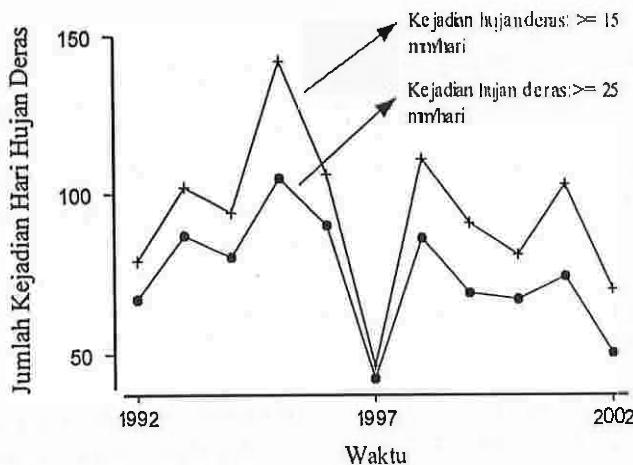
Pengaruh adanya hujan deras terhadap sistem danau adalah pengangkutan material dari catchment area. Material tersebut dapat berupa air aliran permukaan (*runoff*) dan material sedimen. Kejadian hujan deras akan membawa sedimen terutama yang berbentuk *suspended load* ke dalam danau sehingga akan meningkatkan tingkat kekeruhan atau turbiditas danau. Peningkatan *suspended load* akan mengurangi penetrasi radiasi matahari kedalam danau, hal ini akan berpengaruh terhadap proses-proses dinamika perairan dan ekofisiologi biota danau.



Gambar 7. Trend perubahan jeluk hujan maksimum selama periode 1991-2001

Seperti halnya dengan jeluk hujan tahunan yang mempunyai kecenderungan menurun dalam beberapa tahun terakhir (1983-2002), jumlah hari hujan yang didefinisikan sebagai hujan deras juga mempunyai nilai yang cenderung turun (Gambar 8). Selama periode 1992-2002, jumlah kejadian

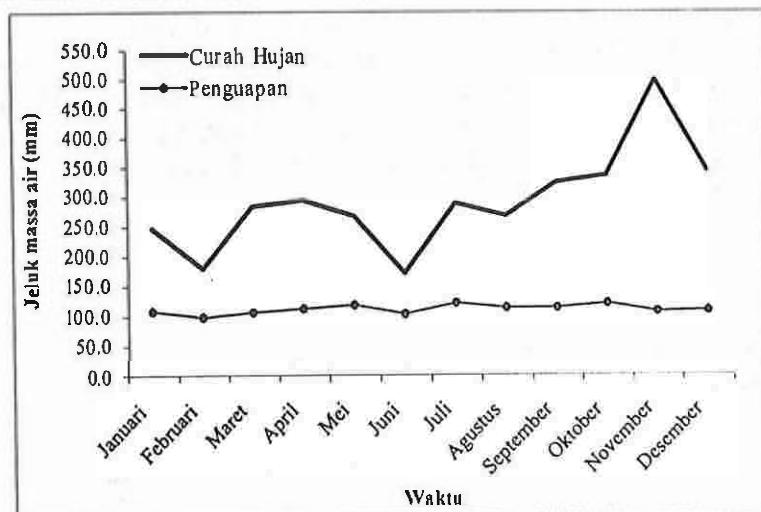
hujan deras dengan kriteria hari-hari yang mempunyai jeluk hujan lebih dari 15 mm/hari atau lebih dari 25 mm/2hari tercatat paling tinggi 1995 yang mencapai 140 hari untuk kriteria pertama dan 105 untuk kriteria kedua. Pada tahun 1997 terjadi gejala ENSO yang menyebabkan penurunan kejadian hujan deras yang cukup nyata dalam kurun waktu 10 tahun terakhir ini.



Gambar 8. Trend perubahan jumlah kejadian hujan deras.

7. Evapotranspirasi Danau

Dari Gambar 8 nampak bahwa variasi bulanan penguapan atau evapotranspirasi (Eo) di stasiun Tanjung Alai dengan menggunakan alat Panci Klas A mempunyai variasi yang kecil antara 100-125 mm/bulan. Variasi Eo yang kecil dan curah hujan bulanan yang relatif tinggi menyebabkan Danau Maninjau mempunyai pola neraca air umum rata-rata (CH-Eo) yang surplus sepanjang tahun (Gambar 9). Curah hujan rata-rata sepanjang tahun lebih besar dari Eo rata-rata.



Grafik 9. Hubungan fluktuasi curah hujan (CH) dan evapotranspirasi (Eo) bulanan.

Kondisi ini dapat menyebabkan kandungan lengas tanah di catchment area Danau Maninjau selalu berada dalam keadaan kapasitas lapang atau jenuh kecuali pada kondisi tahun-tahun dimana terdapat gejala penyimpangan unsur iklim. Bila terjadi hujan akan menyebabkan sebagian besar dari massa air hujan yang jatuh akan cepat menjadi aliran permukaan langsung atau aliran dibawah permukaan (*subsurface runoff*) ke danau.

8. Tipe Iklim

Meskipun pola perilaku unsur iklim di bumi cukup rumit, tetapi ada kecenderungan bahwa karakteristik dan pola tertentu dari unsur-unsur iklim di berbagai daerah yang letaknya saling berjauhan sekalipun, menunjukkan perilaku yang serupa apabila faktor utamanya sama. Faktor utama tersebut dapat berupa salah satu unsur iklim atau letak geografisnya. Metode yang digunakan untuk memperoleh efisiensi informasi mengenai perilaku dan karakteristik iklim maka dibuat sistem klasifikasi iklim.

Klasifikasi iklim Danau Maninjau dan sekitarnya :

Klasifikasi Koppen

Dasar klasifikasi ini adalah suhu udara dan hujan rata-rata bulanan maupun tahunan. Berdasarkan hasil pengolahan empirik data iklim PLTA Danau Maninjau selama periode 1992-2001, maka daerah ini mempunyai tipe iklim Koppen Afa. Dari kriteria tersebut maka Danau Maninjau mempunyai iklim hujan tropik dengan suhu bulan terdingin $>18^{\circ}\text{C}$, Kondisi lingkungan catchment area selalu basah, hujan rata-rata tiap bulan $> 60 \text{ mm}$.

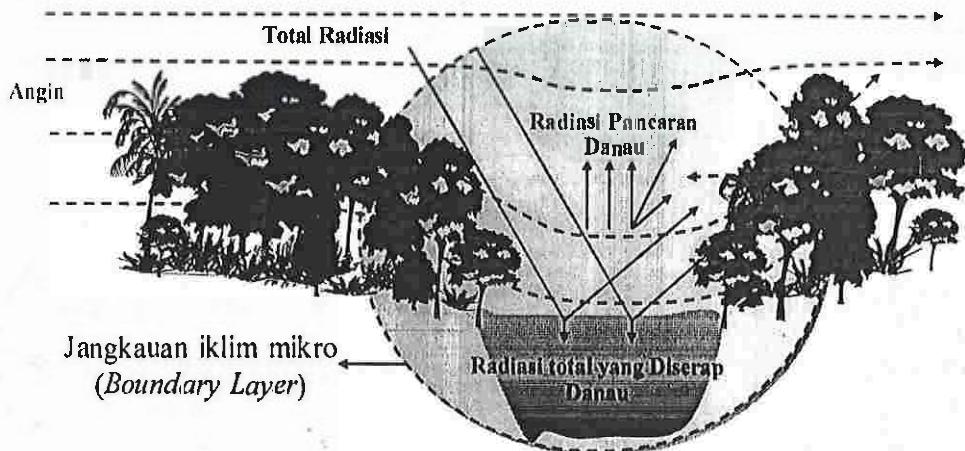
Suhu udara berkisar antara $15\text{-}30^{\circ}\text{C}$. Jika kelembaban siang hari tinggi, terjadi pendinginan pada malam hari. Biasanya pada dini hari terdapat kabut atau embun dengan suhu titik embun $15\text{-}20^{\circ}\text{C}$ (Handoko, 1995).

Klasifikasi Schmidth-Ferguson

Sistem klasifikasi ini banyak digunakan dalam bidang kehutanan dan perkebunan. Penentuan tipe iklim menurut klasifikasi ini hanya memperhatikan unsur iklim hujan dan memerlukan data hujan bulanan paling sedikit 10 tahun. Proses penentuan tipe iklim berdasarkan klasifikasi di atas dapat dilihat pada Tabel 2. Danau maninjau berdasarkan klasifikasi iklim Schmidth-Ferguson memiliki jumlah bulan basah (BB) 11.1/tahun, bulan lembab (BL) 0.44/tahun, dan bulan kering (BK) 0.50/tahun. Danau maninjau memiliki tipe iklim A dengan nilai $Q=4.52\%$. Daerah tersebut berarti bersifat sangat basah dengan vegetasi hutan hujan tropika, hutan lebat dan hijau.

Kajian Iklim Mikro Danau Maninjau

Iklim mikro Danau Maninjau mendeskripsikan kondisi sumberdaya iklim disekitar danau secara lebih detail dalam skala diurnal. Sejauh permukaan air dan catchment area danau mempengaruhi unsur iklim maka area yang dipengaruhinya merupakan jangkauan iklim mikro (Gambar 10). Jangkauan ini sangat dipengaruhi oleh kondisi topografi serta penggunaan lahan. Akibat pengaruh tersebut akan membentuk pola dan karakteristik iklim mikro danau. Sistem danau akan mempengaruhi profil angin, suhu udara, kelembaban udara, dan neraca energi.



Gambar 10. Profil jangkauan iklim mikro di sekitar danau.

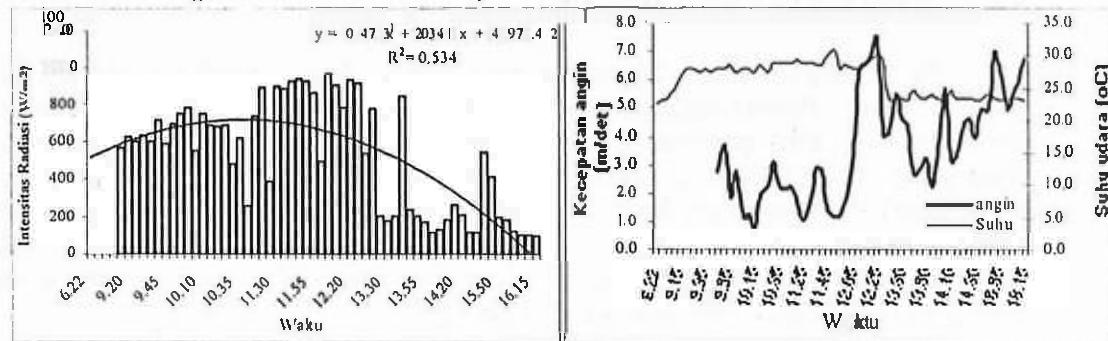
Radiasi surya merupakan faktor utama dalam mempengaruhi kondisi iklim mikro disamping ketinggian. Kondisi iklim mikro dan regional danau akan mempengaruhi kondisi suhu udara, kelembaban udara, angin, dan turbulensi di atas danau serta lingkungan yang lebih luas. Secara umum neraca bahang pada permukaan danau dipengaruhi oleh jumlah radiasi surya yang masuk dan keluar danau (Q_s) dan radiasi gelombang panjang yang masuk dan keluar danau (Q_l), neraca bahang ditunjukkan oleh besarnya radiasi neto (Q_n). Q_n merupakan selisih antara Q_s dan Q_l yang masuk dengan Q_s dan Q_l yang keluar. Besarnya Q_s atau Q_n yang masuk atau keluar dipengaruhi oleh faktor lingkungan lokal yaitu albedo (pantulan) dari permukaan air, arah dan sudut kemiringan radiasi, dan penutupan pegunungan atau land use. Pada siang hari $Q_n > 0$ dan malam hari $Q_n < 0$. Profil Q_n yang dihasilkan mempunyai peran dalam pembentukan iklim mikro danau.

Pada siang hari, Q_s jauh lebih besar dari Q_l sehingga $Q_n > 0$. Radiasi neto yang positif ini akan digunakan untuk memanaskan udara (H), penguapan (λE), pemanasan air danau atau tanah (G).

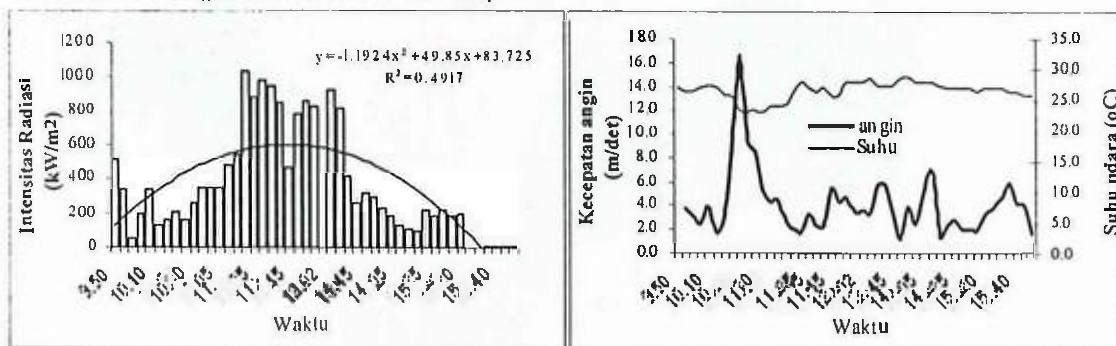
$$Q_n = H + \lambda E + G$$

Pada malam hari $Q_n < 0$, sehingga bukan pemanasan udara, tanah atau air yang terjadi melainkan proses pendinginan. Panas latent penguapan (λE) selalu lebih besar, tanah lembab lebih dingin dari tanah kering karena panas yang diterima diubah menjadi panas latent oleh air. Berikut adalah hasil pengukuran beberapa unsur iklim danau yang dapat memberikan informasi mengenai profil serta perubahan unsur cuaca atau iklim secara diurnal.

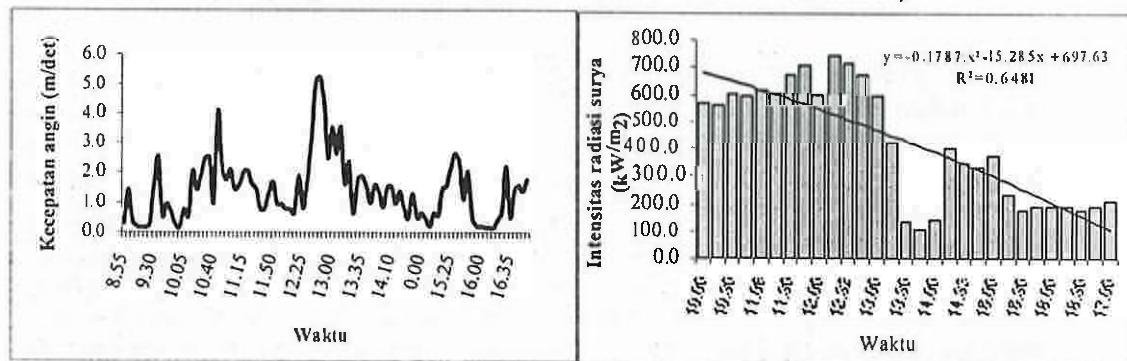
13 Juli 2002 (permukaan air danau)



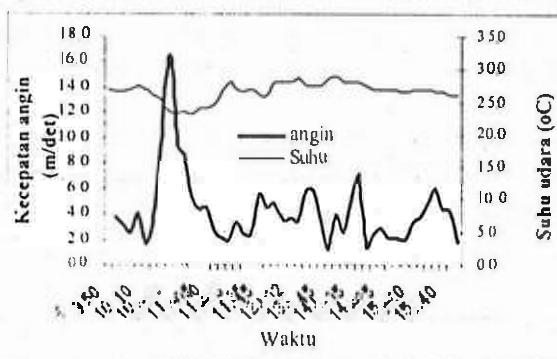
14 Juli 2002 (permukaan air danau)



15 Juli 2002 (Tanjung Sani; 0°22' 33.54" S dan 100°13' 15.02" E)

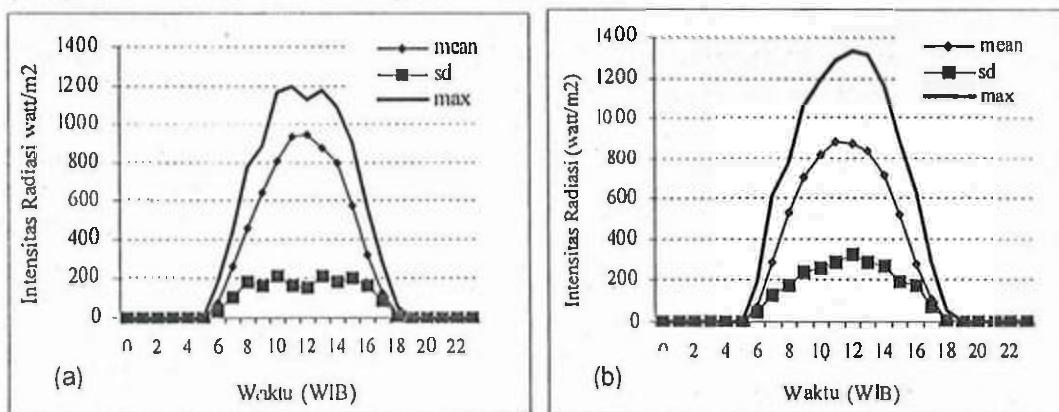


(Muko-muko; 0°15'26.49" S dan 100°12'19.69" E)



			kembali pada sore hari kemudian diikuti dengan hujan dan angin kencang (gelombang air danau tinggi)
15 Juli 2002	Muko-muko	$0^{\circ}15'26.49''$ S dan $100^{\circ}12'19.69''$ E	Kondisi cerah berawan, hujan terjadi pada siang hari, kemudian cerah kembali menjelang sore hari
	Tanjung Sani	$0^{\circ}22'33.54''$ S dan $100^{\circ}13'15.02''$ E	
16 Juli 2002	PLTA Maninjau	$0^{\circ}17'37.28''$ S dan $100^{\circ}08'54.37''$ E	Sepanjang hari kondisi cuaca cerah berawan, tidak terjadi hujan
	Tandirih	$0^{\circ}17'46.09''$ S dan $100^{\circ}13'27.85''$ E	

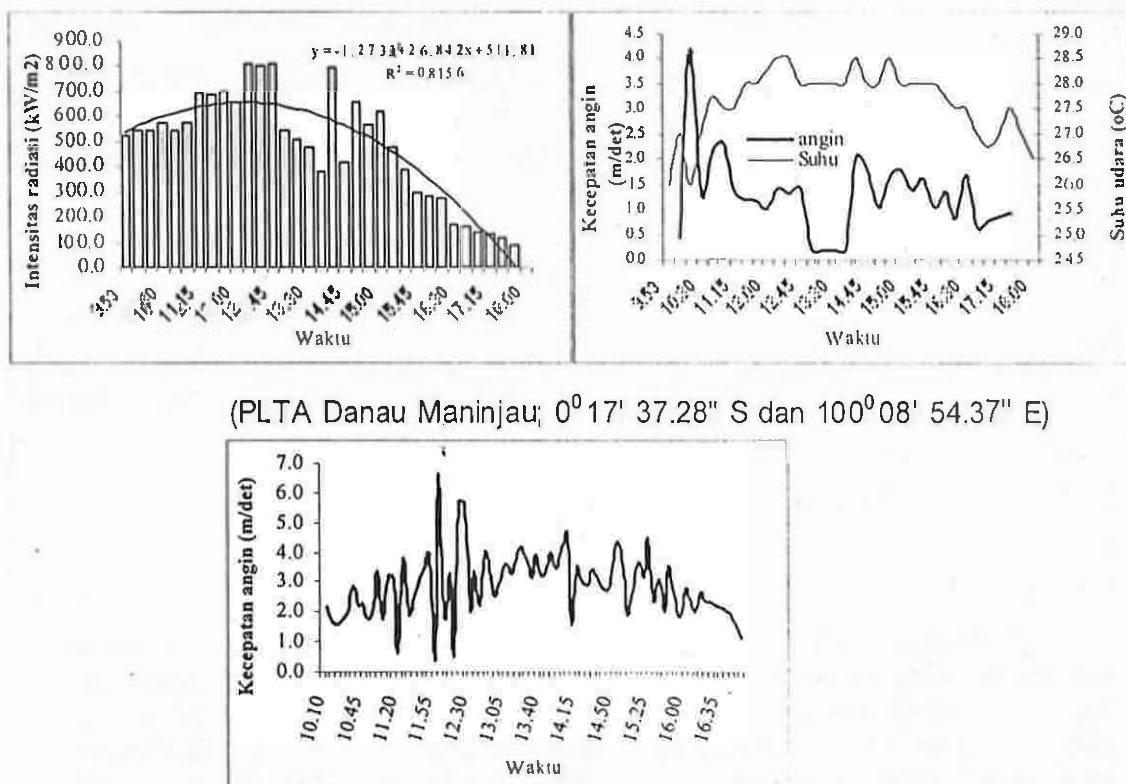
Intensitas radiasi yang berfungsi sebagai sumber energi bagi kehidupan biota danau secara umum mempunyai pola berbentuk parabola, intensitas radiasi mencapai puncaknya pada siang hari. Penerimaan energi terbesar danau rata-rata terjadi pada kisaran waktu 11.30-13.30 WIB dengan intensitas 600-1000 watt/m². Intensitas yang terjadi cukup tinggi karena Danau Maninjau terletak pada sabuk equator dan terletak di daerah pegunungan dengan ketinggian 461.50 m dpl. Intensitas radiasi meningkat dengan ketinggian, dengan meningkatnya ketinggian massa udara di atas tempat observasi menurun sehingga radiasi pantul atau balik berkurang dan radiasi langsung yang diterima danau efektif. Pengaruh ketinggian tempat terhadap intensitas radiasi dapat dilihat pada Gambar 12. Data Intensitas radiasi dan kecepatan angin di stasiun GAW Palupuh Sumatera Barat yang mempunyai ketinggian 864.5 m dpl lebih rendah dari nilai intensitas radiasi yang terukur di Danau Maninjau.



Sumber data: Stasiun iklim GAW Palupuh (data tahun 2001)

Gambar 12. Data intensitas radiasi rata-rata diurnal stasiun GAW Palupuh bulan Mei 2001 (a) dan bulan Oktober 2001 (b).

16 Juli 2002 (Tandirih; $0^{\circ} 17' 46.09''$ S dan $100^{\circ} 13' 27.85''$ E)

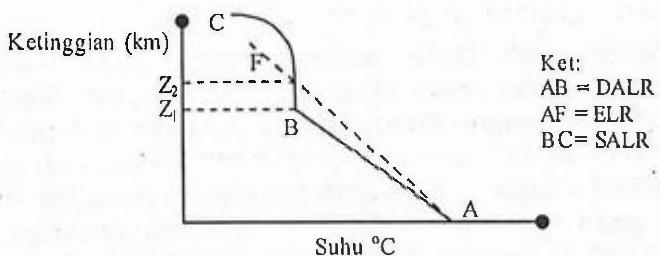


Gambar 11. Hasil pengukuran unsur iklim mikro (kecepatan angin, intensitas radiasi, dan suhu udara) Danau Maninjau selama periode waktu 13 Juli- 16 Juli 2003.

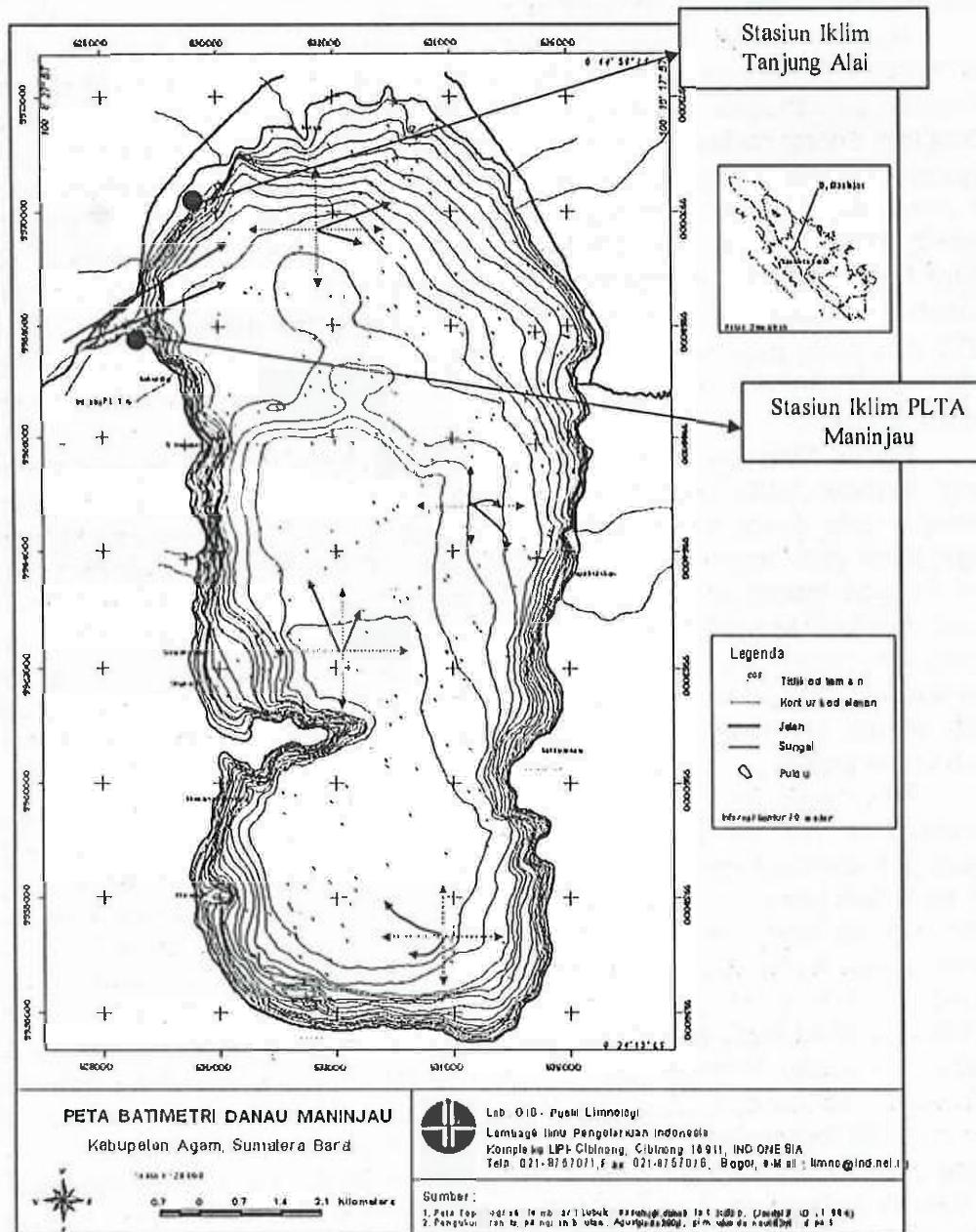
Hasil pengukuran beberapa variabel unsur iklim mikro dilakukan mulai tanggal 13 Juli 2002 sampai 16 Juli 2002 (Gambar 11) menunjukkan nilai intensitas radiasi maksimum yang terukur pada saat itu sekitar 1000 watt/m² yang diukur di daerah Tanjung Sani pada tanggal 15 Juli. Kecepatan angin maksimum sekitar 16.2 m/det yang terjadi pada tanggal 16 Juli, serta sebaran suhu udara antara 20°C-30°C yang terjadi dari pagi-sore hari. Secara umum kondisi cuaca selama pengukuran dapat dilihat pada Tebal 4.

Tabel 4. Lokasi pengamatan dan kondisi cuaca selama pengukuran variabel unsur iklim mikro danau

Pengamatan	Lokasi	Posisi Geografi	Kondisi cuaca
13 Juli 2002	Permukaan air danau	-	Cerah pada pagi hari-siang hari, hujan dan cuaca buruk pada sore hari, diikuti dengan tiupan angin kencang
14 Juli 2002	Permukaan air danau	-	Mendung, cuaca buruk, angin kencang, diikuti hujan pada pagi hari-menjelang siang hari, cerah pada siang hari, mendung



Gambar 13. Kurva perubahan suhu (dT/dZ) untuk keadaan tidak stabil bersyarat.



Gambar 14. Hasil pengamatan arah angin di beberapa lokasi permukaan lapisan badan air Danau Maninjau (13-14 Juli 2002).

Selain disebabkan oleh faktor sudut datang radiasi, kemiringan permukaan, dan ketinggian, intensitas radiasi yang jatuh ke permukaan danau sangat tergantung pada keawanan. Kondisi cuaca yang sering menyebabkan kejadian hujan terutama pada pagi dan sore hari mempunyai pengaruh terhadap sebaran radiasi harian. Pengaruh keawanan terhadap intensitas radiasi dapat dilihat pada Gambar 11, hasil pengukuran intensitas radiasi pada tanggal 15 Juli 2002 di Tanjung Sani mulai pukul 12.30 WIB mengalami penurunan hal ini disebabkan karena peningkatan tingkat keawanan karena menjelang hujan. Pada saat menjelang hujan intensitas radiasi rata-rata yang terukur berkisar antara 0-200 watt/m².

Radiasi keluar atau pancaran dan radiasi balik atau pantulan dari permukaan danau merupakan faktor utama dalam proses pemanasan udara. Fluktuasi pemanasan udara ditunjukkan oleh variasi nilai suhu udara. Pada siang hari energi radiasi yang masuk permukaan air danau akan lebih banyak digunakan untuk menguapkan air (panas laten; λE) dan meningkatkan suhu air danau (G). Energi yang digunakan untuk pemanasan udara menjadi lebih sedikit, ruang massa udara menjadi lebih sempit dan kandungan uap air di udara tinggi. Akibat hal tersebut suhu udara disekitar Danau Maninjau relatif rendah dan sejuk. Suhu udara siang hari mencapai maksimum sekitar $\pm 30^{\circ}\text{C}$ dan pada pagi hari sekitar $\pm 20^{\circ}\text{C}$. Suhu minimum yang umumnya terjadi pada dini hari mencapai $\pm 16^{\circ}\text{C}$. Kelembaban udara cukup tinggi antara 90-100%.

Danau Maninjau terletak disebelah timur pantai barat Sumatera Barat yang terletak pada sistem pegunungan diantaranya Gunung Tandikat. Sehingga bila dilihat dari posisi topografi, Danau Maninjau mempunyai tipe angin lokal yaitu angin darat dan angin laut. Angin laut terjadi pada siang hari dengan intensitas tinggi terutama pada musim kering. Angin laut ini dapat menjadi sangat kuat dan masuk ke darat sampai sejauh ± 50 km (Handoko, 1995). Pada malam hari masa udara yang lebih dingin bergerak dari daratan menuju ke permukaan laut dan disebut angin darat. Angin darat tidak sekuat angin laut karena perbedaan suhu antara daratan dan lautan lebih besar pada siang hari daripada malam hari.

Fenomena adanya angin laut yang berhembus sampai Danau Maninjau menyebabkan terjadinya tipe hujan orografis. Hujan orografis terjadi jika kondisi lingkungan atmosfer dalam keadaan tidak stabil bersyarat. Hal ini terjadi jika laju penurunan suhu adiabatik kering (*Dry Adiabatic Lapse Rate*; DALR) lebih besar dari penurunan suhu lingkungan (*Environmental Lapse Rate*; ELR) tetapi lebih besar dari laju penurunan adiabatik jenuh (*Saturated Adiabatic Lapse Rate*; SALR). Dalam kondisi tidak stabil bersyarat $\text{SALR} < \text{ELR} < \text{DALR}$ (Gambar 13). Kantong massa udara yang suhunya lebih rendah dari suhu atmosfer dapat terdorong naik hingga ketinggian tertentu diatas aras kondensasi (Z_2) yaitu gerakan angin laut yang masuk hingga ke pegunungan (orografik). Setelah melewati ketinggian Z_2 suhu kantong massa udara lebih besar dari suhu atmosfer sehingga lebih ringan dan terus naik. Di bawah ketinggian Z_2 awan-awan strati banyak terbentuk, dan di atas ketinggian Z_2 akan terbentuk awan kumuli.

Dilihat dari bentuk catchment area, Danau Maninjau mempunyai luas daerah tangkapan yang relatif sempit 13.260 ha jika dibandingkan luas permukaan airnya 9.737, 50 ha. Kondisi danau relatif tertutup karena batas catchment area berupa punggungan dari sebuah sistem pegunungan. Salah satu celah yang memungkinkan terjadinya pertukaran massa udara luar ke dalam atau keluar sistem danau adalah melalui celah yang ada disekitar bangunan PLTA Danau Maninjau. Hasil pengamatan arah kecepatan angin ditunjukkan oleh Gambar 14.

Kombinasi faktor radiasi atau panas dan angin akan menentukan keberadaan struktur lapisan air danau. Arah dan kecepatan angin seperti pada gambar 14 merupakan faktor penggerak utama gerakan air yang terjadi hampir pada semua lapisan. Terdapat dua gerakan air (Goldman, R.C and Horne, A.J, 1983) yaitu gelombang (*rhythmic waves*) dan arus (*arrhythmic currents*). Umumnya arus dan gelombang terjadi secara bersamaan. Gelombang merupakan gerakan naik turunnya partikel air secara vertikal (*no net flow*) sedangkan arus menunjukkan arah dan gerakan air dari satu tempat ke tempat lainnya akibat adanya perbedaan kerapatan air baik secara horizontal atau vertical. Arus dan gelombang akan menentukan pola pengadukan massa air danau sehingga akan mempengaruhi variasi kedalaman lapisan epilimnom, thermoclin, dan hypolimion.

Pada siang hari selama pengamatan kondisi cuaca menunjukkan fluktuasi yang cepat berubah. Jika akan terjadi hujan umumnya didahului oleh kecepatan angin yang meningkat sehingga akan diikuti oleh kenaikan tinggi gelombang air danau. Arah gelombang umumnya mengikuti pola angin. Gelombang umumnya bergerak dari arah barat laut danau yaitu dari arah celah PLTA ke arah timur. Kecepatan angin rata-rata diurnal disekitar Danau Maninjau terdapat pada Tabel 4. Kecepatan angin rata-rata terbesar terjadi di PLTA Maninjau 1.1.19 m/det. Arah dan kecepatan angin terbesar umumnya berasal dari celah yang ada disekitar PLTA Maninjau.

Tabel 4. Hasil pengukuran kecepatan angin rata-rata selama 24 jam

Lokasi	Waktu	Posisi	V-angin rata-rata (m/det)
Tandirih	13 Juli 2002	0° 17' 46.09" S dan 100° 13' 27.85" E	0.91
Tandirih	14 Juli 2002	0° 17' 46.09" S dan 100° 13' 27.85" E	0.58
Tandirih	16 Juli 2002	0° 17' 46.09" S dan 100° 13' 27.85" E	0.73
Tandirih	17 Juli 2002	0° 17' 46.09" S dan 100° 13' 27.85" E	1.40
Tanjung Sani	15 Juli 2002	0° 22' 33.54" S dan 100° 13' 15.02" E	0.91
PLTA Maninjau	15 Juli 2002	0° 17' 37.28" S dan 100° 08' 54.37" E	1.05
PLTA Maninjau	16 Juli 2002	0° 17' 37.28" S dan 100° 08' 54.37" E	1.19

Stratifikasi panas antar lapisan air danau sangat dipengaruhi oleh kesetimbangan panas yang terjadi. Nilai beberapa komponen yang

mempengaruhi besarnya neraca panas terdapat pada Tabel 5. Neraca panas sebagai fungsi dari suhu udara air. Besarnya panas yang diterima permukaan air danau merupakan selisih antara $H_n + H_l$ dengan $H_w + H_c + H_e$. Energi panas yang diterima mempengaruhi pola distribusi spasial suhu air. Lapisan yang menerima panas lebih besar akan menurunkan nilai kerapatan air (density), sehingga lapisan air danau sebelah atas mempunyai kerapatan lebih rendah dibandingkan lapisan air yang ada dibawahnya. Kejadian tubo belerang yang menyebakan kematian ikan di Danau Maninjau merupakan fenomena alam akibat terjadinya pengadukan antara massa air lapisan atas dengan massa air lapisan bawah. Angin dan energi panas dapat mendorong massa air lapisan atas bergerak ke arah vertikal akibatnya massa air yang ada dibawah ter dorong dan bergerak keatas. Massa air dari lapisan bawah umumnya banyak membawa material yang bersifat toksik bagi biota danau seperti ikan.

Tabel 5. Data estimasi neraca bahang atau panas di lapisan permukaan air danau $z = 0 \text{ m}$

		13 Juli 2002	14 Juli 2002	15 Juli 2002	16 Juli 2002
Radiasi surya yang datang ($\text{kJ/m}^2 \text{ hari}$)	H_s	11668,63	8293,09	10473,9313685,14	
Albedo	α	0,03	0,03	0,03	0,03
Radiasi surya yang diterima permukaan air danau ($\text{kJ/m}^2 \text{ hari}$)	H_n	11318,57	8044,29	10159,71	13274,58
	E_a	0,75	0,75	0,75	0,75
	σ	5,67E-08	5,67E-08	5,67E-08	5,67E-08
	T_A	299,27	299,56	299,96	300,59
Radiasi gelombang panjang atmosfer/awan (wb/m^2)	H_l	1,23E-05	1,24E-05	1,24E-05	1,23E-05
	E_w	0,97	0,97	0,97	0,97
	T_w	301,2289	301,3289	301,4239	301,0009
Radiasi gelombang panjang air danau (wb/m^2)	H_w	-452,836	-453,836	-452,346	-452,936
	$f(u)$	15	15	15	15
Radiasi panas terasa atau sensible (wb/m^2)	H_c	-29,376	-24,955	-18,958	-9,482
	ew	30,724	30,724	30,724	30,724
	ea	29,680	29,680	29,680	29,680
	$ew-ea$	1,044	1,044	1,044	1,044
	$(u)^*$	24,59016	24,59016	24,59016	24,59016
Radiasi panas laten untuk penguapan danau (wb/m^2)	H_e	-25,688	-25,688	-25,688	-25,688

Distribusi radiasi matahari yang masuk kedalam massa air danau berpengaruh terhadap distribusi panas dan kelimpahan biota dengan asumsi faktor lingkungan lainnya mendukung. Berdasarkan distribusi radiasi surya secara vertikal terdapat *photic zone* dan *aphotic zone*. *Photic zone* mempunyai cakupan area mulai dari permukaan air danau sampai kedalaman dimana penetrasi radiasi yang masuk tinggal < 1% dari total radiasi yang datang diperlukaan (Goldman, R.C and Horne, A.J, 1983).

Rantai makanan yang terjadi dalam sistem danau meliputi produsen, konsumen, dan pengurai. Biota yang bertindak sebagai produsen adalah tumbuhan air dan fitoplankton. Tingkat kesuburan suatu ekosistem perairan dapat digambarkan dengan produktivitas primer suatu ekosistem. Indikator variabel produktivitas primer diantaranya ukuran kuantitatif produk fotosintesis

seperti kandungan oksigen (DO), jumlah dan kelimpahan komponen produsen. Tumbuhan air dan fitoplankton sebagai komponen produsen akan mengubah CO_2 dan H_2O dengan input energi radiasi matahari menjadi energi kimia.

Senny, S., *et.al* (2000) mengatakan, pada kondisi terkendali populasi tumbuhan air mempunyai peran sebagai penyaring nutrisi dari daratan, sumber pakan ikan, tempat berlindung ikan-ikan, menyimpan telur-telur ikan, sebagai pemasok oksigen, menurunkan konsentrasi polutan, dan dapat menjadi bagian estetika ekosistem perairan.

Jumlah dan kelimpahan fitoplankton secara musiman akan dipengaruhi oleh jumlah dan jenis nutrien, intensitas radiasi surya dan kecerahan, kepadatan populasi tumbuhan air terutama kelompok tumbuhan yang daunnya muncul di permukaan air (*emergent*), waktu tinggal, suhu, konsumen zooplankton, dan kompetisi antar spesies. Fitoplankton dapat menjadi sumber pakan yang besar bagi ikan atau anakan ikan di perairan selain tumbuhan air serta organisme yang hidup atau melekat pada tumbuhan air

Tabel 6. Data estimasi penetrasi radiasi surya ke dalam sistem danau pada bulan Juli 2002

Stasiun	D (m)	SS (mg/L)	klorofil-a (mg/m ³)	K _e	Intensitas radiasi (kJ/m ² hari)	Tingkat penurunan penetrasi (%)
DM 4	0	0,00	2,23	0,69	10159,7131	0,0
0° 18' 28.8" LS	1	6,00	0,88	0,58	5494,7384	-45,9
100° 11' 35.0"						
BT	2	7,20	2,81	1,25	441,1862	-95,7
	3	0,00	2,52	0,78	41,1518	-99,6
	4	2,40	3,21	1,12	0,4537	-100,0
	5	0,00	2,52	0,78	0,0088	-100,0
	6	4,40	2,88	1,12	1,0229E-05	-100,0
	7	4,80	1,47	0,70	7,1974E-08	-100,0
	8	0,00	1,61	0,50	1,2784E-09	-100,0
	9	0,00	2,57	0,80	9,6442E-13	-100,0
	10	8,80	3,59	1,57	1,4271E-19	-100,0
	12	3,20	5,04	1,73	1,3487E-28	-100,0
	15	0,00	2,81	0,87	2,7159E-34	-100,0
	20	0,00	2,23	0,69	2,5431E-40	-100,0
	30	0,00	0,66	0,21	5,1320E-43	-100,0
	40	0,00	0,33	0,10	8,1125E-45	-100,0
	60	0,00	0,33	0,10	1,6370E-47	-100,0
	80	0,00	0,30	0,09	1,0298E-50	-100,0
	100	0,60	0,95	0,33	6,5190E-65	-100,0
	120	0,00	1,14	0,35	2,6044E-83	-100,0
DM 2	0	0,00	2,39	0,74	10159,7131	0,0
0° 17' 07.4" LS	1	0,00	2,17	0,99	3676,7565	-63,8
100° 09' 58.0"						
BT	2	0,00	2,46	1,14	366,0782	-96,4
	3	0,00	2,55	0,79	33,0525	-99,7
	4	0,00	2,45	0,88	0,9374	-100,0
	5	0,00	3,98	1,23	0,0018	-100,0
	6	0,00	2,85	1,11	2,3222E-06	-100,0

7	spl.habis	2,69	1,08	1,1399E-09	-100.0
8	0,00	3,09	0,96	5,2337E-13	-100.0
9	0,00	2,50	0,78	4,7333E-16	-100.0
10	0,00	2,23	1,15	4,6734E-21	-100.0
12	0,00	3,26	1,18	3,3299E-27	-100.0
15	0,00	2,39	0,74	4,9291E-32	-100.0
20	0,00	1,03	0,32	7,8589E-35	-100.0
30	0,00	1,79	0,56	44091E-42	-100.0

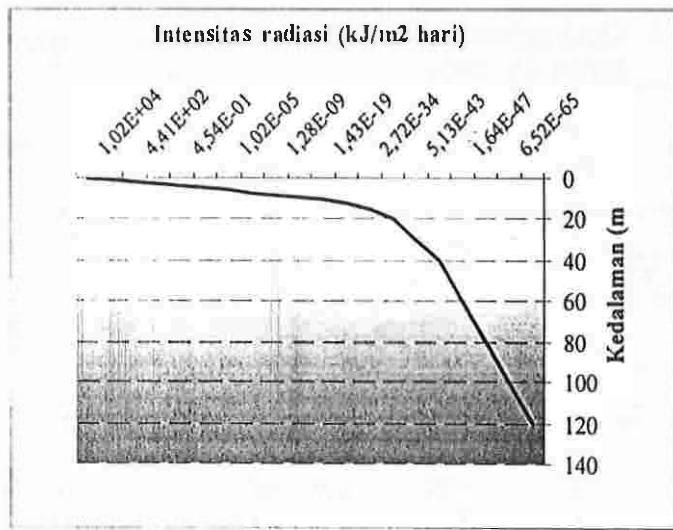
Depan intake

PLTA	0	0,40	1,24	0,38	10473,9310	0.0
0° 17' 30.4" LS	1	1,60	0,62	0,50	6330,0580	-39.6
100° 09' 05.0"						
BT	2	0,00	0,70	0,59	1934,8492	-81.5
	3	0,00	0,85	0,26	875,2369	-91.6
	4	0,00	2,53	0,91	23,2033	-99.8
	5	0,00	0,00	0,00	23,2033	-99.8

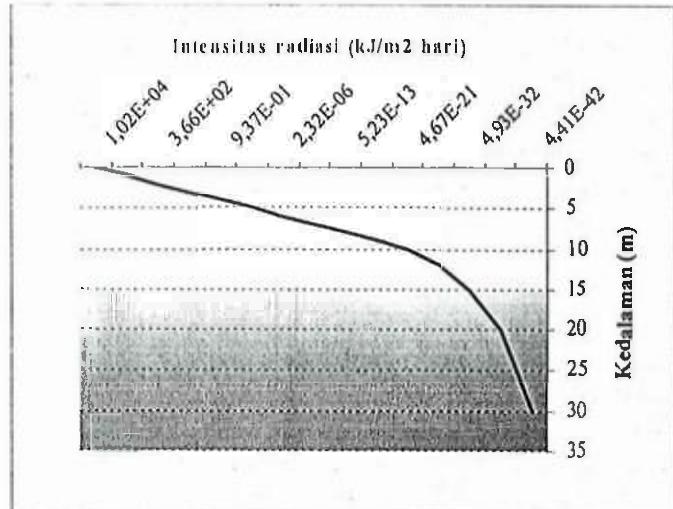
Ket:

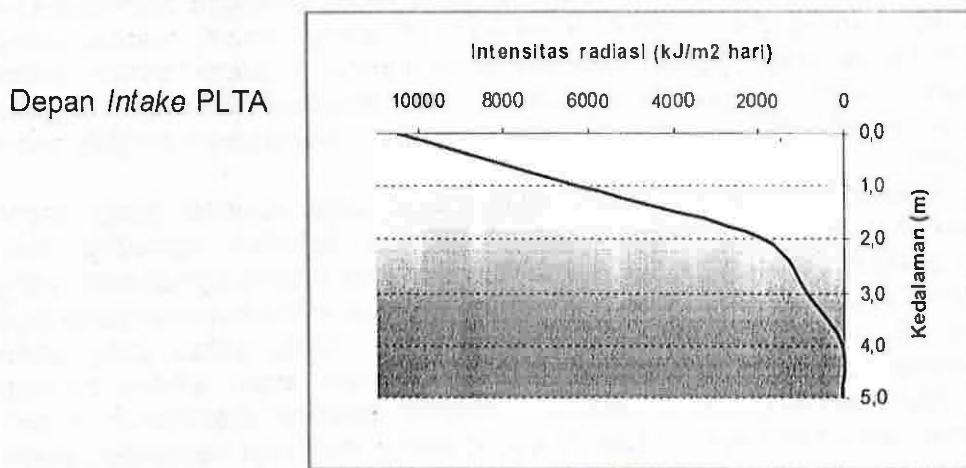
Sumber data Suspended Solid (SS) dan klorofil-a : tim peneliti Puslit Limnologi LIPI lainnya untuk kajian D. Maninjau.

DM4



DM 2





Gambar 15. Pola estimasi penetrasi intensitas radiasi surya ke dalam sistem danau pada bulan Mei 2002.

Organisme yang mempunyai zat hijau daun (klorofil) seperti tumbuhan air dan fitoplankton akan menangkap energi yang berasal dari radiasi surya dalam pembentukan bahan organik seperti karbohidrat, protein, dan lemak. Laju fotosintesis dipengaruhi oleh beberapa faktor baik faktor intern (genetik) maupun faktor ekstern (lingkungan). Faktor lingkungan yang sangat penting dalam proses fotosintesis diantaranya adalah faktor iklim dan cuaca seperti intensitas radiasi surya dan kualitas radiasi.

Intensitas radiasi dan kualitas cahaya yang masuk kedalam danau akan mengalami proses pemadaman. Proses pemadaman ini disebabkan oleh halangan oleh beberapa material atau biota yang ada di dalam danau seperti kandungan suspended solid dan biota air. Estimasi penetrasi intensitas radiasi untuk berbagai kedalaman lapisan air ditunjukkan dalam Tabel 6. 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 15 menunjukkan pola distribusi intensitas radiasi secara vertikal pada bulan juli 2003.

Kesimpulan

Danau Maninjau mempunyai tipe iklim Af_a berdasarkan klasifikasi iklim Koppen dan tipe iklim A berdasarkan klasifikasi iklim Schmidth-Ferguson. Berdasarkan kedua klasifikasi tersebut, Danau Maninjau mempunyai karakteristik nilai unsur iklim regional ; curah hujan tahunan sekitar 3499.9 mm, evapotranspirasi tahunan 1334.2 mm, suhu udara rata-rata 23.35 °C, kelembaban udara rata-rata 95.20 %, kecepatan angin rata-rata 23.5 km/hari, flux radiasi rata-rata 307.9 cal/cm²/hari, dan lama penyinaran 0-5.2 jam/hari.

Danau Maninjau dan wilayah sekitarnya terletak disekitar garis equator mengalami proses pemanasan yang sangat intensif sehingga pembentukan pusat tekanan rendah (siklon) di wilayah ini sering terjadi, massa udara melalui media angin (aliran siklonik) akan masuk kedalam sistem pusat tekanan rendah (wilayah konvergensi), udara tersebut menumpuk dipusat tekanan rendah dan dipaksa untuk naik sehingga menimbulkan banyak awan dan hujan.

Beberapa fenomena alam sumberdaya iklim regional yang dapat digunakan sebagai indikator dalam monitoring kejadian *upwelling* atau *downwelling* di Danau Maninjau diantaranya adanya proses pemanasan yang intensif di sekitar wilayah Danau Maninjau sehingga wilayah konvergensi bisa berada di atas badan air Danau Maninjau. Waktu-waktu yang perlu diwaspadai terjadinya gangguan cuaca khususnya angin adalah periode Maret-April dan September-Okttober. Periode tersebut merupakan musim peralihan atau pancaroba. Hal ini dapat dilihat dari nilai kecepatan angin maksimum rata-rata yang sering terjadi paling tinggi terjadi pada bulan Maret dan Oktober.

Terdapat kecenderungan penurunan jeluk hujan dan debit luaran tahunan danau dalam kurun waktu 1984-2001. Trend penurunan jeluk hujan tahunan berpengaruh terhadap debit luaran Danau Maninjau. Fluktuasi tinggi muka air dan debit danau mempunyai pola yang sejalan dengan pola curah hujan. Sistem danau meskipun mempunyai volume yang cukup besar tetapi curah hujan yang jatuh di danau atau catchment area mempunyai kontribusi yang cukup besar.

Dampak gejala ENSO 1997 yang cukup kuat intensitasnya mempunyai pengaruh terhadap kondisi curah hujan di Danau Maninjau dan berdampak tidak langsung terhadap penurunan debit luaran danau. Dampak ENSO 1997 menurunkan hampir 50.1% curah hujan tahunan yang terjadi terhadap kondisi normalnya. Dilihat dari skala bulanan, gejala ENSO 1997 menurunkan hampir 48.5%-90% rata-rata curah hujan bulan Agustus-Desember dari rata-rata normalnya. Penurunan curah hujan mempunyai dampak terhadap debit luaran rata-rata danau. Akibat gejala tersebut debit rata-rata luaran rata-rata tahunan turun sekitar 30% dari kondisi rata-rata normal. Pada periode Agustus-Desember, debit rata-rata turun 56.12%-80.96% dari kondisi normal.

Jumlah hari hujan yang didefinisikan sebagai hujan deras juga mempunyai nilai yang cenderung turun. Selama periode 1992-2002, jumlah kejadian hujan deras dengan kriteria hari-hari yang mempunyai jeluk hujan lebih dari 15 mm/hari atau lebih dari 25 mm/2hari tercatat paling tinggi 1995 yang mencapai 140 hari untuk kriteria pertama dan 105 hari untuk kriteria kedua.

Hasil pengukuran beberapa variabel unsur iklim mikro dilakukan mulai tanggal 13 Juli 2002 sampai 16 Juli 2002 menunjukkan nilai intensitas radiasi maksimum yang terukur pada saat itu sekitar 1000 watt/m² yang diukur di daerah Tanjung Sani pada tanggal 15 Juli. Kecepatan angin maksimum sekitar 16.2 m/det yang terjadi pada tanggal 16 Juli, serta sebaran suhu udara antara 20°C-30°C yang terjadi dari pagi-sore hari. Penerimaan energi terbesar danau rata-rata terjadi pada kisaran waktu 11.30-13.30 WIB dengan intensitas 600-1000 watt/m².

Arah gelombang umumnya mengikuti pola angin. Gelombang umumnya bergerak dari arah barat laut danau yaitu dari arah celah PLTA ke arah timur. Kecepatan angin rata-rata terbesar terjadi di PLTA Maninjau 1-1.19 m/det. Arah dan kecepatan angin terbesar umumnya berasal dari celah yang ada disekitar PLTA Maninjau.

Dari tiga lokasi yang diambil data suspended solid (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.

Daftar Pustaka

- Darmawan, Januar dan Justika S. Baharsjah. 1983. *Dasar-dasar Fisiologi Tanaman*. PT Suryandaru Utama, Semarang.
- Goldman, Charles Rand 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.
- Handoko. 1995. *Klimatologi Dasar; Landasan Pemahaman Fisika Atmosfer dan Unsur-unsur Iklim*. Edisi kedua. Pustaka Jaya, Jakarta.
- Jumin, Hasan Basri. 2002. *Arkeologi; Suatu Pendekatan Fisiologis*. PT RajaGrafindo
- Lerman, Abraham and D. Imboden. 1995. *Physics and Chemistry of Lakes*. Second Edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Limnologi, LIPI. 1999. *Hasil-hasil Penelitian Puslitbang Limnologi Tahun 1998/1999*. Puslitbang Limnologi, Cibinong
- Proyek Pengembangan dan Peningkatan kemampuan Teknologi dan Puslit Limnologi – LIPI. 2001. *Permasalahan Danau Maninjau dan Pendekatan Permasalahannya*. Puslit Limnologi, Cibinong.