

STUDI PEMODELAN TEMPERATUR DI WADUK DENGAN MENGUNAKAN METODA CHAPRA (Studi Kasus : Waduk Saguling)

STUDY OF TEMPERATURE MODELING IN RESERVOIR WITH CHAPRA METHOD (Case Study : Saguling Reservoir)

Kancitra Pharmawati¹⁾ dan Suprihanto Notodarmodjo²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Nasional
Jl. PHH. Mustafa No. 23 Bandung, 40124

²⁾Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha No. 10 Bandung 40132

Email: ¹⁾kancitra@yahoo.com; ²⁾suprihanto@yahoo.com

Abstrak: Waduk Saguling berfungsi sebagai pembangkit listrik tenaga air, penyediaan air baku air minum serta waduk untuk pertanian dan perikanan yang dikenal dengan budidaya ikan jaring apung. Temperatur air merupakan parameter penting karena berpengaruh pada spektrum biologi, fisika dan proses-proses kimia yang terjadi di habitat air tawar. Secara umum besarnya suhu air dipengaruhi oleh radiasi sinar matahari, koefisien heat exchange, koefisien difusi vertikal, musim atau cuaca, kedalaman dan kegiatan manusia di sekitar perairan. Dikarenakan temperatur air adalah salah satu komponen yang mempengaruhi kehidupan biota perairan maka perlu diketahui kecenderungan temperaturnya. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan model temperatur yang telah dikembangkan oleh Chapra pada Waduk Ontario yang terstratifikasi untuk mengetahui apakah model tersebut dapat diterapkan di Waduk Saguling. Parameter yang digunakan dalam pemodelan ini antara lain temperatur air, flux energi permukaan, koefisien heat exchange (C_p), radiasi sinar matahari, koefisien difusi vertikal (E_z) serta data klimatologi penunjang lainnya. Pemodelan temperatur yang dilakukan menggunakan metoda numerik beda hingga secara implisit. Dari perhitungan yang telah dilakukan berdasarkan data-data yang ada diperoleh nilai koefisien heat exchange (C_p) Waduk Saguling pada musim basah sebesar $0.0405 \text{ cal/gr}^\circ\text{C}$ dan $0.0276 \text{ cal/gr}^\circ\text{C}$ pada musim kering. Dari hasil pemodelan yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa model temperatur yang dikembangkan oleh Chapra di Waduk Ontario dapat diterapkan juga di Waduk Saguling.

Kata kunci: koefisien heat exchange, koefisien difusi vertikal, radiasi sinar matahari, temperatur, dan Waduk Saguling.

Abstract: Saguling Reservoir has many function such as electrical plant water supply for drinking water, farming and fish habitat which also known as cage fish farming system. Water temperature is an important parameter which impacting to biology spectrum, physic and chemical reaction rates in aquatic ecosystem. In generally, water temperature was affected by solar radiation, heat exchange coefficient, vertical diffusion coefficient, weather, dept and human activity around aquatic environment. Because water temperature is critical component of fish habitat the pattern of temperature is need to be known. The purpose of this study was to applied temperature model which has been developed by Chapra in Lake Ontario to be applied for Saguling Reservoir. Water temperature, surface heat flux, heat exchange coefficient, solar radiation, vertical diffusion coefficient and another additional climatology data set were parameters which used for this model. The temperature model is solved using numeric method finite difference in implicit method. The result from calculation showed that heat exchange coefficient (C_p) for wet season is $0.0405 \text{ cal/gr}^\circ\text{C}$ and $0.0276 \text{ cal/gr}^\circ\text{C}$ for dry season. The research showed that temperature model which has been developed by Chapra could be applied for Saguling Reservoir also.

Keywords: heat exchange coefficient, Saguling Reservoir, solar radiation, temperature, and vertical diffusion coefficient

PENDAHULUAN

Waduk Saguling merupakan waduk yang memiliki fungsi majemuk sebagai waduk untuk penyediaan air baku air minum, waduk untuk pertanian dan perikanan tetapi mempunyai fungsi utama sebagai pembangkit listrik tenaga air. Produksi ikan yang dihasilkan diperoleh dari budidaya ikan jaring apung yang dikenal juga dengan keramba jaring apung. Sayangnya ditemukan banyak kematian ikan di Waduk Saguling ini yang menurut hasil studi terjadi karena adanya beban pencemaran dari budidaya ikan di waduk yaitu pemberian pakan yang berlebih serta proses pembalikan massa air (*up weeling*). *Up weeling* ini terjadi karena adanya peralihan dari musim kering ke musim hujan yang menyebabkan cahaya matahari berkurang sehingga terjadi perubahan temperatur secara tiba-tiba. Temperatur air merupakan parameter penting karena berpengaruh pada spektrum biologi, fisika dan proses-proses kimia yang terjadi di habitat air. Dikarenakan temperatur air adalah salah satu komponen penting yang mempengaruhi kehidupan biota perairannya maka perlu diketahui kecenderungan temperaturnya. Secara umum besarnya temperatur air dipengaruhi oleh radiasi sinar matahari, koefisien heat exchange, koefisien difusi vertikal, musim atau cuaca, serta kedalaman dan kegiatan manusia di sekitar perairan. Salah satu model temperatur yang dikembangkan adalah model temperatur dari Chapra yang sudah diterapkan pada waduk yang tersratifikasi, yaitu Waduk Ontario. Danau atau waduk pada umumnya merupakan sistem yang tidak tercampur sempurna. Gradien temperatur dapat meningkat dengan bertambahnya kedalaman. Tingkat stratifikasi horisontal atau vertikal sebuah waduk dapat memberi dampak yang signifikan terhadap aspek kualitas air dengan adanya kemungkinan terjadi proses penjeratan zat kimiawi di daerah yang pencampuran dan interaksi airnya menurun.

Maksud dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui dan mengevaluasi kondisi temperatur air di Waduk Saguling. Berdasarkan data sekunder yang ada kemudian akan diterapkan pada model temperatur yang telah dikembangkan oleh Chapra dan dievaluasi apakah model tersebut dapat diterapkan pada Waduk Saguling. Tujuan penelitian ini adalah mencari nilai koefisien *heat exchange* (C_p) di Waduk Saguling baik pada musim kering maupun musim basah, mencari parameter yang paling peka (analisa sensitivitas) dan mencoba mengkalibrasi salah satu parameter pada model temperatur yang telah dikembangkan oleh Chapra ini.

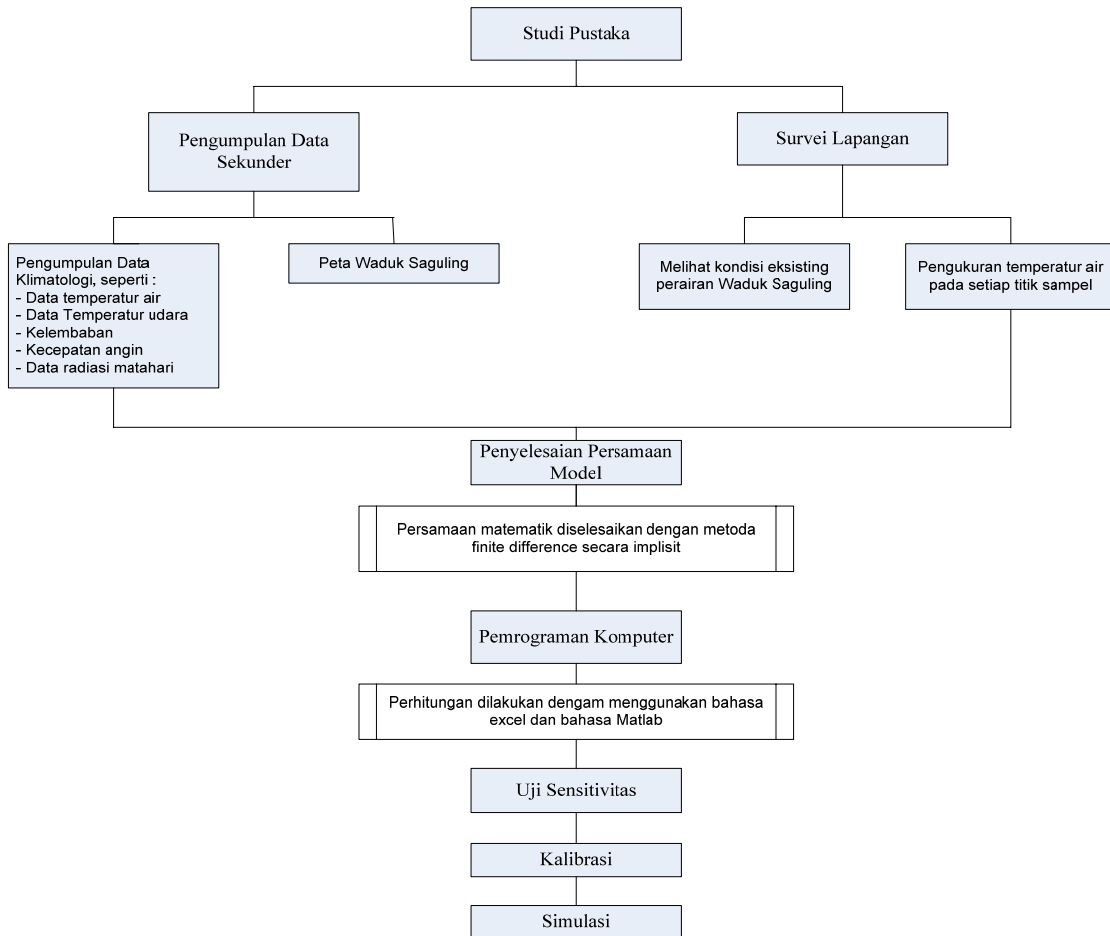
PROSEDUR PENELITIAN

Tahapan penelitian dilakukan meliputi pengumpulan data sekunder, penelitian langsung di lapangan (survey lapangan), penentuan titik sampling di lapangan, penentuan status stratifikasi waduk, penyelesaian persamaan model temperatur dari Chapra, penentuan input program pemodelan, tampilan hasil model simulasi, analisa sensitivitas, kalibrasi model serta analisa dan pembahasan.

Survei lapangan dilakukan bersama karyawan Unit Bisnis Pembangkitan Saguling, Indonesia Power bagian pemantauan kualitas air. Survei ini dilakukan sebanyak dua kali dengan membawa alat ukur temperatur untuk berbagai kedalaman yang terdapat pada Laboratorium Hidrolika Departemen Teknik Lingkungan ITB.

Ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada pembuatan model dengan penerapan persamaan matematis yang telah terdapat pada literatur. Penelitian ini lebih menekankan pemecahan persamaan yang telah ada pada literatur, serta analisa yang dapat diambil setelah melakukan simulasi.

Untuk memudahkan penerapan model temperatur dari Chapra, digunakan suatu program dengan bahasa komputer. Dalam penelitian ini perhitungan dan profil dalam bentuk grafik menggunakan bahasa excel dan bahasa matlab.



Gambar 1. Bagan Alir Tahapan Penelitian.

Penentuan input dalam pembuatan program komputer meliputi perhitungan untuk data-data mentah menjadi data input yang dibutuhkan untuk pemodelan serta penetapan nilai-nilai konstanta yang dibutuhkan untuk input model. Input yang dibutuhkan yaitu total heat flux permukaan (J), radiasi sinar matahari (J_{sn}), radiasi udara gelombang panjang (J_{an}), radiasi di air (J_{br}), konduksi (J_c), evaporasi (J_e), temperatur udara (T_{udara}), temperatur di permukaan air (T_s), temperatur awal daerah hipolimnion (T_{hi}), temperatur akhir daerah hipolimnion (T_{hs}), temperatur daerah epilimnion (T_{es}), temperatur air rata-rata yang masuk ke sistem (T_{in}), kelembaban relatif (R_h), kecepatan angin (U_w), volume daerah hipolimnion (V_h), luas permukaan danau (A_s), luas daerah termoklin (A_t), lama terjadinya stratifikasi (t_{st}) debit sistem (Q), densitas air (ρ), koefisien heat exchange (C_p), koefisien difusi vertikal (E_z), perbedaan kedalaman (Δz) dan waktu penyinaran (t).

Sedangkan variabel konstanta yang dibutuhkan dalam model adalah, konstanta Stefan Boltzman (S), konstanta gelombang panjang (A), koefisien refleksi (R_I), emisivitas air (E_m), Koefisien Bowen (C_i), fraksi radiasi matahari di permukaan (F_a) dan koefisien extinction (k_e).

Input tersebut kemudian dimasukkan ke dalam persamaan model temperatur dari Chapra yang diselesaikan menjadi persamaan lebih sederhana dengan metoda numerik beda hingga terhadap kedalaman (d) dan waktu (t) secara implisit. Persamaan model tersebut adalah

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[E(z) \frac{\partial T}{\partial z} \right] + \frac{Jsn(z)As}{\rho Cp}$$

yang kemudian diturunkan menjadi persamaan beda hingga implisit yang lebih sederhana menjadi :

$$\frac{T_i^{j+1} - T_i^j}{\Delta t} = \frac{E(z)}{\Delta z^2} \left[(1-\alpha)(T_{i-1}^j - 2T_i^j + T_{i+1}^j) + \alpha(T_{i-1}^{j+1} - 2T_i^{j+1} + T_{i+1}^{j+1}) \right] + \frac{Jsn(z)As}{\rho Cp}$$

$$T_i^{j+1} = \left\{ T_i^j + \frac{\Delta t \cdot E(z)}{\Delta z^2} \left[(1-\alpha)(T_{i-1}^j - 2T_i^j + T_{i+1}^j) + \alpha(T_{i-1}^{j+1} + T_{i+1}^{j+1}) \right] \right\} / \left(1 + \frac{2\alpha \cdot \Delta t \cdot E(z)}{\Delta z^2} \right) + \frac{Jsn(z)As}{\rho Cp}$$

Dimana :

T = Temperatur

Z = Kedalaman

E(z) = Koefisien difusi vertikal terhadap kedalaman

Jsn(z) = Radiasi matahari total terhadap kedalaman

As = Luas permukaan danau

ρ = Densitas air

Cp = Koefisien heat exchange

α = Koefisien implisit

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan penentuan status stratifikasi waduk berdasarkan data sekunder dengan menganggap sembilan titik sampling sebagai satu sistem dan dari perhitungan diperoleh nilai bilangan froud sebesar 0,00528. Dikarenakan bilangan froudnya lebih kecil dari 0,1 dapat disimpulkan bahwa kondisi Waduk Saguling adalah terstratifikasi kuat. Hasil perhitungan ini sekaligus menguatkan data lapangan yang diperoleh yang menunjukkan bahwa kondisi temperatur di Waduk Saguling adalah terstratifikasi.

Dalam penelitian ini, penerapan model temperatur dari Chapra dibuat dalam dua kondisi, yaitu pada musim basah (yang dikenal dengan musim hujan) dan pada musim kering (yang dikenal dengan musim kemarau). Dari pengumpulan data sekunder yang dilakukan, data temperatur air yang ada sejak tahun 2001 hingga tahun 2005 yang masing-masing tahunnya terbagi menjadi 4 (empat) triwulan. Triwulan I (sekitar Bulan Januari – Bulan Maret), Triwulan II (sekitar Bulan April- Bulan Juni), Triwulan III (sekitar Bulan Juli – Bulan September), dan Triwulan IV (sekitar Bulan Oktober – Bulan Desember). Pembagian musim basah dan musim kering diasumsikan sama dengan musim basah dan musim kering pada kondisi normal yaitu musim kering pada Bulan April sampai Bulan September yaitu pada Triwulan II dan Triwulan III sedangkan musim basah pada Bulan Oktober sampai Bulan Maret yaitu pada Triwulan IV dan Triwulan I.

Untuk mencari koefisien heat exchange (Cp) pada musim basah dan musim kering harus dilakukan perhitungan nilai heat flux di permukaan terlebih dahulu. Perhitungan nilai heat flux ini terdiri dari nilai radiasi gelombang pendek matahari, nilai radiasi gelombang panjang, nilai radiasi di air, nilai konduksi, nilai evaporasi. Nilai radiasi gelombang pendek matahari diperoleh dari data sekunder yang berasal dari Laboratorium Surya, Jurusan Teknik

Mesin, Institut Teknologi Bandung serta dari sudi literatur (Kreider, 1982) dengan mengasumsikan bahwa kondisi iklim di Indonesia mendekati kondisi iklim equinox di negara yang memiliki 4 musim.

Tabel 1. Nilai Radiasi Gelombang Pendek Matahari.

Musim	Jsn (Cal/cm ² /d)
Kering	246.347
Basah	217.445

Sedangkan nilai radiasi udara gelombang panjang (Jan) ini sama pada semua titik sampling pada waktu yang sama, karena nilai ini merupakan fungsi dari kondisi klimatologi di waduk

Tabel 2. Nilai Radiasi Udara Gelombang Panjang Waduk Saguling.

Musim	T _{udara} (°C)	RH (%)	e _{sat} (mmHg)	e _{udara} (mmHg)	Jan (cal/cm ² /d)
Kering	28	87.4	28.27	24.586	614.47
Basah	27.89	87	28.28.	24.588	612.76

Nilai radiasi di air merupakan fungsi dari temperatur di permukaan air. Dikarenakan adanya perbedaan temperatur di permukaan air pada setiap titik sampling, maka nilai ini dihitung pada setiap titik sampling.

Tabel 3. Nilai Radiasi di Air pada Setiap Titik Sampling Waduk Saguling.

Daerah	Musim Basah		Musim Kering	
	Ts (°C)	Jbr (cal/cm ² /d)	Ts (°C)	Jbr (cal/cm ² /d)
Trash Boom Selacau	28.24	934.663	28.39	936.475
Cihaur	28.6	938.272	28.99	943.981
Cimerang	28.77	941.337	28.50	937.843
Muara Cihaur	29.10	945.385	28.95	943.459
Muara Cipatik	28.93	943.220	28.95	943.442
Muara Ciminyak	28.95	943.506	29.24	947.065
Muara Cijere	29.05	944.783	29.34	948.312
Muara Cijenuk	28.81	847.301	28.86	942.345
Muara Cijambu	28.67	940.026	28.37	936.234

Untuk perhitungan nilai evaporasi ini sama pada semua titik sampling pada waktu yang sama, karena nilai ini merupakan fungsi dari kondisi klimatologi di waduk.

Tabel 4. Nilai Evaporasi di Waduk Saguling.

Musim	e _{udara} (mmHg)	Uw (m/s)	e _s (mmHg)	Je (cal/cm ² /d)
Basah	24.58	2.68	28.27	96.723
Kering	24.85	2.76	28.44	96.584

Nilai konduksi ini merupakan faktor dari kecepatan angin, temperatur udara dan temperatur di permukaan air. Dikarenakan adanya perbedaan temperatur di permukaan air pada setiap titik sampling, maka nilai ini dihitung pada setiap titik sampling.

Tabel 5. Nilai Konduksi pada Setiap Titik Sampling.

Daerah	Musim Basah				Musim Kering			
	T udara (oC)	U _w (m/d)	T _s (oC)	Jc (cal/cm2/d)	T udara (oC)	U _w (m/d)	T _s (oC)	Jc (cal/cm2/d)
Trash Boom Selacau	27.88	2.68	28.24	3.99	28	2.76	28.39	5.56
Cihaur	27.88	2.68	28.6	8.16	28	2.76	28.99	12.98
Cimerang	27.88	2.68	28.77	10.23	28	2.76	28.50	6.82
Muara Cihaur	27.88	2.68	29.10	14.25	28	2.76	28.95	12.33
Muara Cipatik	27.88	2.68	28.93	12.32	28	2.76	28.95	12.36
Muara Ciminyak	27.88	2.68	28.95	12.52	28	2.76	29.24	16.28
Muara Cijere	27.88	2.68	29.05	13.61	28	2.76	29.34	17.11
Muara Cijenuk	27.88	2.68	28.81	9.38	28	2.76	28.86	10.98
Muara Cijambu	27.88	2.68	28.67	9.32	28	2.76	28.37	5.32

Dari hasil perhitungan nilai radiasi udara gelombang panjang, nilai radiasi di air, nilai evaporasi, nilai konduksi dan asumsi nilai radiasi gelombang pendek matahari pada musim basah dan musim kering akan didapatkan nilai heat flux di permukaan.

Tabel 6. Nilai Heat Flux Permukaan Waduk Musim Basah.

Stasiun	Jan (cal/cm2/d) Musim Basah	Jbr (cal/cm2/d) Musim Basah	Jc (cal/cm2/d) Musim Basah	Je (cal/cm2/d) Musim Basah	Jsn (cal/cm2/d) Musim Basah	J(Total Flux) (cal/cm2/d) Musim Basah
Trash Boom Selacau	612.76	934.6633333	3.993333333	96.72333333	217.445	-205.175
Cihaur	612.76	938.2722222	8.166666667	96.72333333	217.445	-212.9572222
Cimerang	612.76	941.3377778	10.23555556	96.72333333	217.445	-218.0916667
Muara Cihaur	612.76	945.3855556	14.25666667	96.72333333	217.445	-226.1605556
Muara Cipatik	612.76	943.22	12.32333333	96.72333333	217.445	-222.0616667
Muara Ciminyak	612.76	943.5066667	12.52	96.72333333	217.445	-222.545
Muara Cijere	612.76	944.7833333	13.61222222	96.72333333	217.445	-224.9138889
Muara Cijenuk	612.76	847.3011111	9.382222222	96.72333333	217.445	-123.2016667
Muara Cijambu	612.76	940.0266667	9.322222222	96.72333333	217.445	-215.8672222
						-207.8859877

Tabel 7. Nilai Heat Flux Permukaan Waduk Musim Kering.

Stasiun	Jan (cal/cm2/d) Musim Kering	Jbr (cal/cm2/d) Musim Kering	Jc (cal/cm2/d) Musim Kering	Je (cal/cm2/d) Musim Kering	Jsn (cal/cm2/d) Musim Kering	J(Total Flux) (cal/cm2/d) Musim Kering
Trash Boom Selacau	614.47	936.475	5.566	96.584	246.347	-177.808
Cihaur	614.47	943.981	12.986	96.584	246.347	-192.734
Cimerang	614.47	937.843	6.815	96.584	246.347	-180.425
Muara Cihaur	614.47	943.459	12.332	96.584	246.347	-191.558
Muara Cipatik	614.47	943.442	12.361	96.584	246.347	-191.57
Muara Ciminyak	614.47	947.065	16.279	96.584	246.347	-199.111
Muara Cijere	614.47	948.312	17.106	96.584	246.347	-201.185
Muara Cijenuk	614.47	942.345	10.98	96.584	246.347	-189.092
Muara Cijambu	614.47	936.234	5.32	96.584	246.347	-177.321
						-188.9782222

Dari hasil perhitungan nilai heat flux ini kemudian dihitung koefisien heat transfer-nya sehingga dihasilkan koefisien heat exchangenya.

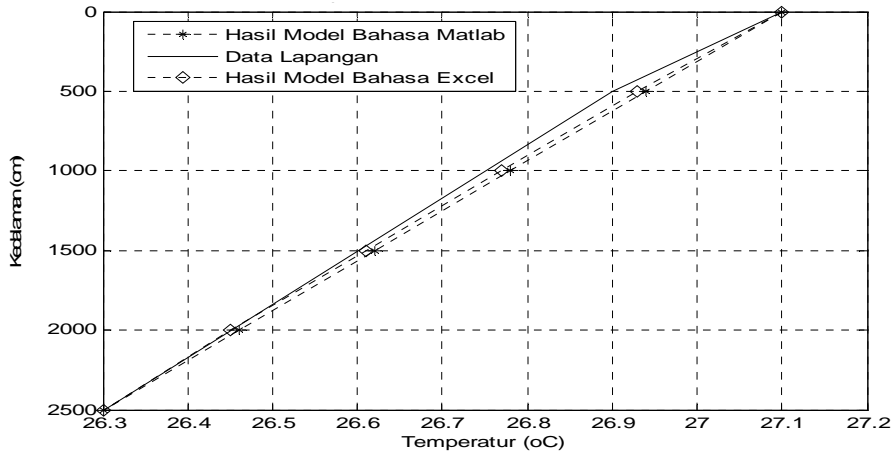
Tabel 8. Nilai Koefisien Heat Exchange Waduk Saguling Musim Basah.

Daerah	J (cal/cm ² /d) (Flux Energi)	Tin (oC)	Te (oC)	Th (oC)	Vt (cm/d)	Cp (cal/groC)
Trash Boom Selacau	-205.175	28.01	28.1	26.8	0.823421913	0.194690576
Cihaur Kampung Cipeundeuy	-212.957222	28.24	27.7	26.9	4.505167868	0.060019474
Cimerang	-218.091667	28.51	30.2	27.3	3.092924618	0.024697416
Muara Cihaur						
Kampung Maroko	-226.160556	28.49	29.8	26.9	7.207436949	0.010990706
Muara Cipatik	-222.061667	28.18	28.8	26.7	3.39020475	0.031682135
Muara Ciminyak	-222.545	28.08	28.4	27.3	19.50865212	0.010533882
Muara Cijere	-224.913889	28.53	30.1	27.1	4.660456244	0.016339964
Muara Cijenuk	-123.201667	28.31	28.6	26.8	8.591192405	0.008092467
Intake (Muara Cijambu)	-215.867222	27.84	28.1	26.7	19.46376253	0.008046792
						0.040565935

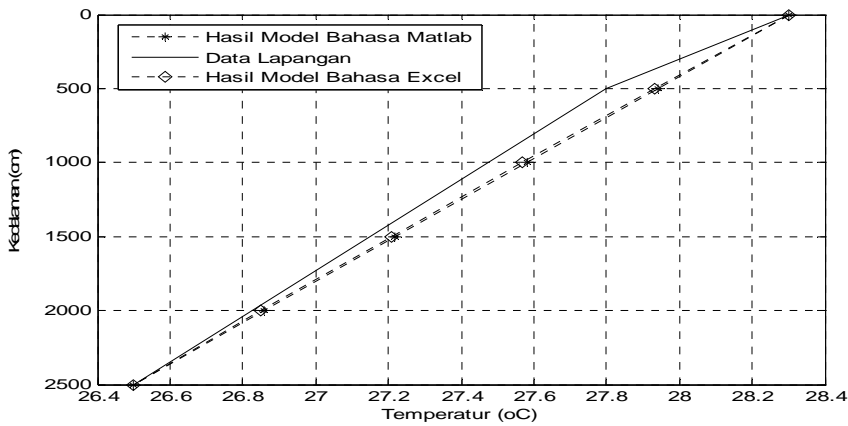
Tabel 9. Nilai Koefisien Heat Exchange Waduk Saguling Musim Kering.

Daerah	J (cal/cm ² /d) (Flux Energi)	Tin (oC)	Te (oC)	Th (oC)	Vt (cm/d)	Cp (cal/groC)
Trash Boom Selacau	-177.808	28.34	28.2	26.9	4.216551352	0.032949104
Cihaur Kampung Cipeundeuy	-192.734	28.56	29.7	27.5	3.44616587	0.025821509
Cimerang	-180.425	28.27	28.1	26.8	1.440988347	0.097834044
Muara Cihaur						
Kampung Maroko	-191.558	28.71	28.7	27.4	8.942132886	0.016738146
Muara Cipatik	-191.57	28.7	28	26.4	5.287600023	0.023000937
Muara Ciminyak	-199.111	29.02	28.6	26.1	3.545141382	0.022820024
Muara Cijere	-201.185	29.04	29.3	26.7	7.231608899	0.010868708
Muara Cijenuk	-189.092	28.41	29.4	28.99	36.64985902	0.012782164
Intake (Muara Cijambu)	-177.321	28.11	28.2	27.2	28.47207135	0.006326047
						0.027682298

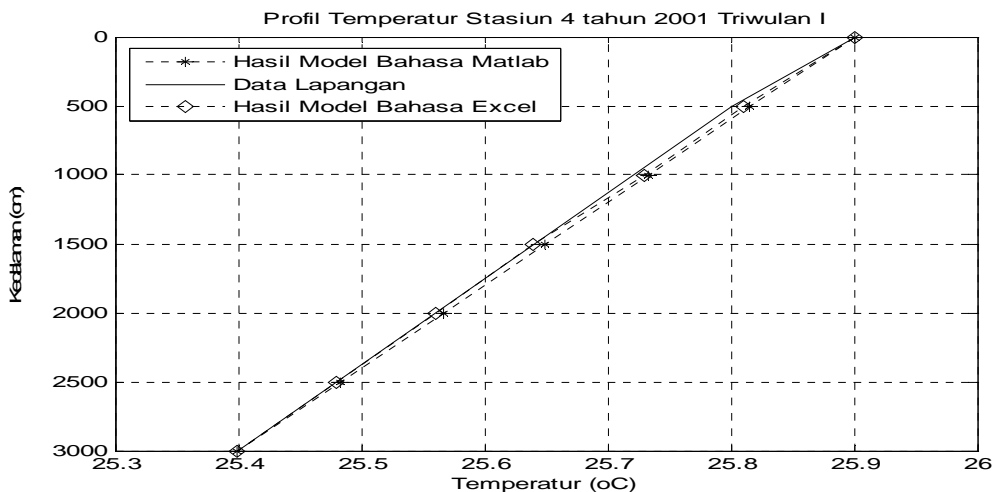
Dari perhitungan nilai koefisien heat exchange pada musim basah dan musim kering ini kemudian dimasukkan ke dalam persamaan matematika yang dikembangkan oleh Chapra yang diselesaikan menjadi persamaan lebih sederhana dengan metoda numerik beda hingga terhadap kedalaman (d) dan waktu (t) secara implisit dengan asumsi pengukuran temperatur dilakukan pada waktu yang bersamaan pada pukul 11 siang. Contoh profil temperatur dari hasil perhitungan model yang diterapkan adalah



Gambar 2. Profil Temperatur Stasiun 3 Tahun 2002 Triwulan III.

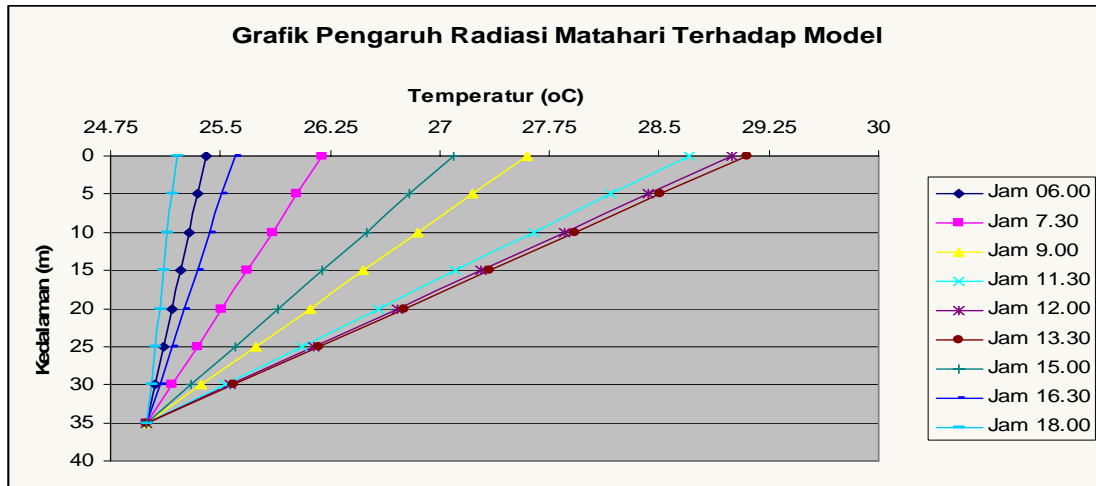


Gambar 3. Profil Temperatur Stasiun 3 Tahun 2005 Triwulan IV.



Gambar 4. Profil Temperatur Stasiun 4 Tahun 2001 Triwulan I.

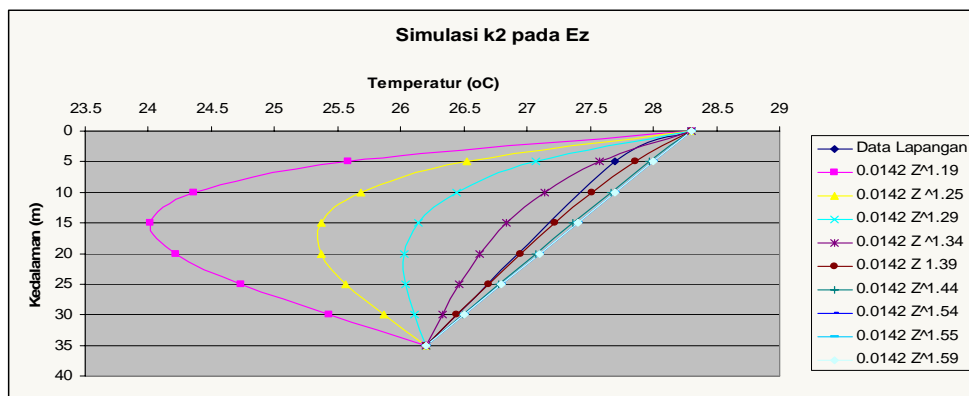
Dari gambar tersebut, terlihat bahwa profil yang dihasilkan berdasarkan perhitungan juga menunjukkan adanya stratifikasi temperatur di Waduk Saguling. Uji sensitivitas dilakukan terhadap radiasi matahari. Radiasi matahari mulai terlihat setelah pukul 06.00 yang kemudian semakin meningkat hingga puncaknya pada tengah hari yang kemudian akan kembali menurun saat matahari akan terbenam sekitar pukul 18.00.



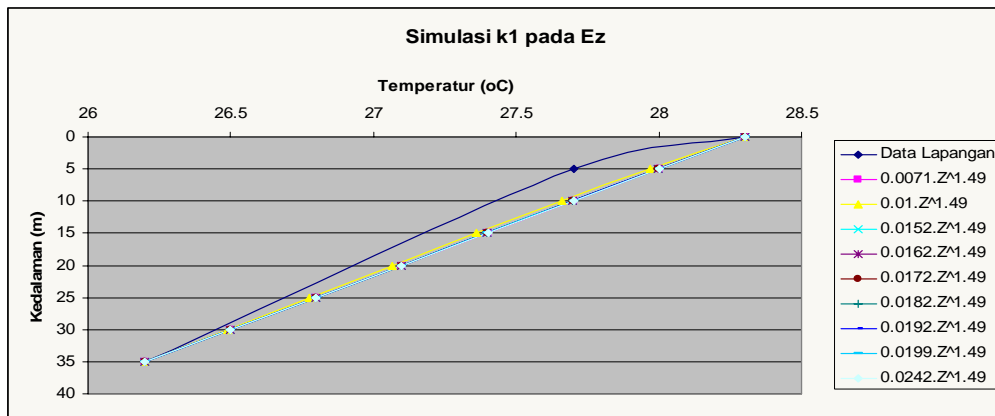
Gambar 5. Pengaruh Radiasi Matahari terhadap Model.

Dari gambar tersebut terlihat bahwa radiasi matahari sangat mempengaruhi profil temperatur yang terbentuk. Radiasi matahari ini dipengaruhi oleh lamanya penyinaran dan saat terjadinya penyinaran. Sinar matahari sangat mempengaruhi resim temperatur di waduk, karena akan menyebabkan temperatur di permukaan akan bertambah panas sedangkan pada lapisan bawah temperatur belum berubah.

Setelah dilakukan analisa sensitivitas, maka perlu dilakukan kalibrasi, yaitu usaha untuk menentukan kesesuaian yang paling baik antara data hasil perhitungan komputer dengan data lapangan. Parameter koefisien difusi vertikal Waduk Saguling pada perhitungan ini menggunakan data literatur yaitu $Ez = 0.0142 Z^{1.49}$ yang ditemukan oleh Mortimer (yaitu koefisien difusi vertikal pada danau), sehingga perlu dilakukan simulasi secara lanjut untuk mengetahui besarnya koefisien difusi vertikal pada Waduk Saguling. Dari rumus $Ez = 0.0142 Z^{1.49}$ dapat disederhanakan menjadi $Ez = k1 Z^{k2}$. Untuk menentukan kesesuaian data hasil perhitungan dengan data lapangan maka dilakukan simulasi dengan mengganti nilai k1 dan k2 secara trial dan error sampai didapatkan nilai k1 atau k2 yang paling sensitif terhadap hasil model yang paling mendekati dengan data lapangan.



Gambar 6. Simulasi k2 pada Ez.



Gambar 7. Simulasi k1 pada Ez.

Dari gambar terlihat bahwa dengan penggantian nilai k_2 berpengaruh besar sekali terhadap model dibandingkan dengan penggantian nilai k_1 , yang berarti nilai k_2 mempunyai tingkat sensitivitas yang lebih besar dibandingkan dengan nilai k_1 sehingga dari hasil trial error ini didapatkan nilai yang paling mendekati data lapangan yaitu $Ez = 0.0142 Z^{1.39}$. Nilai ini tidak bisa langsung diaplikasikan pada waduk sebab sebenarnya koefisien difusi vertikal pada Waduk Saguling tidak semua sama pada setiap stasiun karena dipengaruhi oleh kondisi klimatologi stasiun setempat, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut lagi untuk mengetahui nilai difusi vertikal Waduk Saguling sebenarnya.

KESIMPULAN

Sifat temperatur di Waduk Saguling adalah terstratifikasi artinya terdapat perbedaan temperatur di lapisan atas dan di dasar perairan sehingga model temperatur yang telah dikembangkan oleh Chapra di Lake Ontario dapat juga diterapkan pada Waduk Saguling. Dari hasil perhitungan dengan menggunakan model Chapra didapat nilai koefisien heat exchange rata-rata di Waduk Saguling adalah $0.0405 \text{ cal/gr}^\circ\text{C}$ untuk musim basah dan $0.0276 \text{ cal/gr}^\circ\text{C}$ untuk musim kering. Lamanya penyinaran dan radiasi gelombang pendek matahari ($J_{sn} = \text{solar shortwave radiation}$) akan mempengaruhi nilai total *heat flux* di permukaan yang selanjutnya akan mempengaruhi resim temperatur yang akan terbentuk. Perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut lagi untuk mengetahui nilai koefisien difusi Waduk Saguling sehingga dapat berguna untuk penelitian-penelitian selanjutnya, misalnya proses pengadukan massa air di permukaan yang akan mengakibatkan proses pembalikan massa air (*up weeling*).

Daftar Pustaka

- Chapra, Steven C & Raymond P. Canale. Numerical Methods for Engineer, Mc Graw Hill Book Company, 2002.
- Chapra, Steven C Surface Water Quality Modeling, Mc.Graw Hill International Edition, New York, 1997.
- Incropera, Frank P & DeWitt David P. Introduction to Heat Transfer, John Wiley and Sons, Inc.New York, 2002.
- Kreuzig, E. Advanced Engineering Mathematics, John Wiley and Sons, Inc.New York, 2002.