

PERHITUNGAN WAKTU TRANSIEN DINAMIKA SUHU GLOBAL BERDASARKAN MODEL KIEHL-TRENBERTH

Arsali

Abstrak : Model Kiehl-Trenberth (Model KT), suatu model sederhana tentang Transfer Energi Termal Atmosfer-Permukaan Global, telah dikembangkan guna mendapatkan informasi tentang waktu transien dinamika sistem. Agar diperoleh hasil yang lebih sesuai dengan kondisi realitas, perhitungan dilakukan dengan menetapkan nilai kapasitas panas atmosfer dan permukaan yang mempertimbangkan terjadinya proses difusi dan dengan menerapkan suatu kondisi kuasi setimbang termal antara kedua lapisan dimaksud. Hasil perhitungan menyimpulkan bahwa: (1) waktu transien sebanding dengan beda suhu antara kondisi awal dan kondisi setimbang sistem, (2) Sebagai konsekuensi dari dominasi suhu permukaan, proses transien pada permukaan berlangsung lebih singkat dibandingkan dengan hal yang sama pada atmosfer, dan (3) proses kenaikan suhu berlangsung lebih lama dari proses penurunan suhu. Untuk menguji kelayakan model ini terhadap kondisi real perlu dilakukan perhitungan dengan menyertakan perubahan konsentrasi CO₂ di udara dan menyesuaikannya dengan data hasil observasi yang telah ada.

Kata Kunci : Model Kiehl-Trenberth, suhu permukaan, proses transien

Anstract : The Kiehl-Trenberth Model (The KT Model), a simple model of Global Atmosphere-Surface Thermal Energy Transfer, has been developed to get information of the dynamical system's transient time. In order to obtained the results which more realistic condition, calculation was conducted by specifying heat capacities value of atmosphere and surface considering of diffusion process and by applying a quasi thermal balance condition of the both sub systems above. Results of calculations conclude that: (1) transient time is proportional to the temperature difference of initial condition and balance condition of the system, (2) as consequence from domination of surface temperature, the transient process of the surface take place is shorter than the transient process of the atmosphere, and (3) the process of temperature increase take place is longer than the process of temperature decrease. To investigate the eligibility of the model to real condition we have to recalculate it by figuring in change of CO₂ concentration in the atmosphere and accommodate it with the data observations

Keywords : The Kiehl-Trenberth Model,

PENDAHULUAN

Berbagai model teoretik dan empirik telah diperkenalkan dan dikembangkan guna memperoleh gambaran tentang dinamika iklim global dan upaya prediksi kondisinya yang lebih akurat. Pada sisi yang lain, observasi lapangan menghasilkan kesimpulan tentang bumi yang

semakin panas, dimulai dari masa revolusi industri pada sekitar pertengahan abad ke-19 dan terutama dalam lima dekade terakhir dalam hal mana peningkatan suhu global telah mencapai lebih dari 0.8 °C.

Satu dari banyak hal yang paling banyak disorot sebagai penyebab dari

pemanasan global tersebut adalah meningkatnya konsentrasi CO₂ di udara. Walaupun masih terjadi banyak perdebatan menyangkut metoda pengukuran suhu, kontribusi pengaruh kegiatan antropogenik, dan skenario masa depan yang digunakan; berbagai kajian empirik memperlihatkan korelasi yang sangat kuat antara konsentrasi CO₂ di udara dengan peningkatan suhu dalam lingkup global.

Lepas dari masalah pemanasan global yang diperkirakan masih berlangsung hingga saat ini, bumi diyakini memiliki mekanisme kendali yang memungkinkannya tetap dalam kondisi stabil. Hal ini ditunjukkan melalui stabilitas suhunya yang relatif tak bergeser selama waktu 10.000 tahun terakhir, sebagaimana ditunjukkan oleh proxy data paleoklimatik suhu atmosfer, melalui rekaman data $\delta^{18}O$ GRIP ice core, di sekitar Greenland (Ganepolsky & Rahmstorf, 2002).

Di dalam konteks stabilitas suhu global dimaksud di atas, fenomena pemanasan global yang terjadi saat ini perlu difahami sebagai suatu proses penyesuaian (evolusi) keadaan yang terus-menerus yang diakibatkan oleh perubahan beberapa parameter terkait seperti flux radiasi matahari dan konsentrasi gas-gas rumah kaca di udara. Selama evolusi tersebut bumi diduga menjalani masa transien perubahan suhu globalnya dalam rangkaian kondisi-kondisi setimbang seiring dengan perubahan parameter-parameter tersebut di atas.

Perumusan Masalah

Sejauh ini, analisis perkembangan (kenaikan) suhu global telah banyak dilakukan. Penerapan model interaksi termal berdasarkan prinsip kesetimbangan energi (*Enegy Balance Model - EBM*), yang memasukkan faktor kenaikan konsentrasi CO₂ di atmosfer, telah menghasilkan gambaran yang sesuai dengan kenyataan (Arsali & Sugesti, 2005), namun hasil perhitungan tersebut paling tidak masih menyisakan dua pertanyaan mendasar: Bagaimana pola dinamika suhu global di antara kondisi-kondisi setimbang di atas? dan Berapa lama dibutuhkan waktu hingga kondisi setimbang yang baru tercapai?

Kajian di dalam tulisan ini dibatasi hanya pada kasus nilai konsentrasi CO₂ yang tetap. Dinamika sistem dilihat dalam konteks bagaimana suhu global berubah (terhadap waktu) dan berapa lama waktu dibutuhkan untuk mencapai kondisi setimbangnya, dari suatu kondisi awal yang telah ditentukan.

TINJAUAN PUSTAKA

Model Kiehl- Trenberth

Model Kiehl-Trenberth (Model KT) (Kiehl & Trenberth, 1997) adalah model yang mengungkap interaksi energi termal antara lapisan atmosfer dan permukaan bumi, yang dinyatakan oleh persamaan (1) :

$$\frac{dE_A}{dt} = \beta(1 - \alpha_A)S + C_q + \gamma\alpha T_S^4 - 2\sigma T_A^4 \dots\dots\dots(1a)$$

$$\frac{dE_S}{dt} = (1 - \beta)(1 - \alpha_S)S - C_q - \sigma T_A^4 + 2fd\sigma_A^4 \dots\dots\dots(1b)$$

dengan β dan γ masing-masing menyatakan absorpsi radiasi gelombang pendek dan gelombang panjang, α_A dan α_S masing-masing menyatakan refleksi (albedo) atmosfer dan permukaan bumi, f_d fraksi radiasi atmosfer yang kembali ke bumi, dan α konstanta Boltzmann. S dan C_q masing-masing menyatakan konstanta matahari efektif (*Effective Solar Constant*) dan fluks energi konvektif yang muncul dalam bentuk panas laten dan evaporasi.

Ada berbagai perumusan empirik yang menghubungkan parameter-parameter di atas, di antaranya adalah hubungannya dengan Parameter-Parameter Dasar (lihat Tabel 1), yang dengannya perhitungan Model KT dilakukan (Barker & Ross, 1999; Sugesti, 2004). Dari kaitan antar berbagai perumusan empirik tersebut diperoleh hubungan antara konsentrasi CO₂ di udara, f_{CO_2} , dengan Suhu Atmosfer T_A maupun Suhu permukaan T_s .

Tabel 1. Parameter Dasar Model KT (Sumber: Barker & Ross, 1999)

Parameter	Simbol	Nilai	Sumber Rujukan
Albedo udara jernih	α_{a0}	0.05	estimasi
Albedoawan	α_c	0.40	estimasi
Albedogsfrsf esisalju	α_i	0.70	estimasi
Albedo tanah	α_r	0.10	estimasi
Kelembaban relatif	RH	0.8	asumsi
Tinggi skala H ₂ O	H _{H2O}	2 km	asumsi
Fraksi emisi ke bawah	f_d	0.69	Ditetapkan
Intensitas matahari	S	342 Wm ⁻²	K&T,97 ^{*)}
Fluks panas pada T sO	C_{q0}	102 Wm ⁻²	K&T,97
Suhu permukaan (ref)	T_{s0}	288. 0K	K&T,97
Suhu atmosfer (ref)	T_{a0}	253.8 K	-

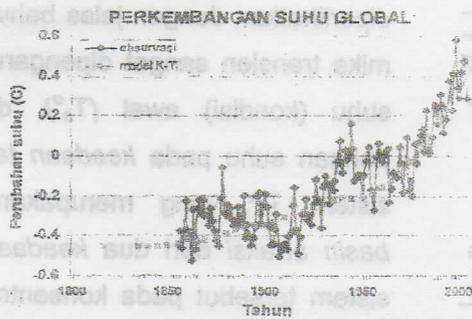
^{*)} Kiehl & Trenberth, 1997

Subu Global pada Kondisi Setimbang

Hasil perhitungan Model KT pada kondisi setimbang (Barker, 1999; Sugesti, 2004) memperlihatkan keberadaan dua *keadaan stabil* dan satu *keadaan tak stabil* suhu. Pada konsentrasi CO₂ 350 ppm misalnya, dua keadaan stabil tersebut di atas ditunjukkan masing-masing oleh pasangan suhu atmosfer dan suhu permukaan $(T_A, T_s)^- = (209.62, 228.84)K$ dan $(T_A, T_s)^+ = (253.79, 288.00)K$, dan satu keadaan tak stabil yang ditunjukkan oleh pasangan suhu atmosfer dan suhu permukaan $(T_A, T_s)^* = (214.58, 240.77)K$. Keadaan stabil pertama menyatakan kondisi iklim pada zaman es, sementara yang kedua menyatakan iklim pada

kondisi hangat. Hal ini sesuai dengan pendapat Budyko (1969) yang menyatakan tentang keberadaan zaman es dan perioda hangat dalam sejarah perkembangan bumi.

Adanya relasi antara konsentrasi CO₂ dengan suhu memungkinkan kita untuk menguji Model KT. Arsali dan Sugesti (2005), dengan menggunakan data hasil pengukuran konsentrasi CO₂ dan suhu global (permukaan) dari berbagai sumber menghasilkan gambaran kesesuaian antara hasil perhitungan model KT dengan data hasil observasi lapangan selama lebih dari 150 tahun ke belakang, (Gambar 1).



Gambar 1. Perkembangan suhu global data hasil observasi dan perhitungan model KT yang dinyatakan terhadap suhu rata-rata tahunan antara 1961-1990. (Sumber. Arsali & Sugesti, 2005).

Subu Global pada Kondisi Transien

Dengan asumsi bahwa kondisi setimbang suhu global akan mengambil salah satu keadaan stabil (bumi dalam keadaan hangat atau dingin) maka sistem akan mengalami evolusi dari kondisi awalnya ke salah satu keadaan stabil yang mungkin dari kondisi setimbangnya. Dalam hal ini maka gambaran tentang dinamika sistem pada kondisi transien dapat diperoleh dengan mengubah persamaan (1a) dan (1b) menjadi persamaan (2a) dan (2b)

$$\frac{dT_A}{dt} = \frac{1}{C_A} [\beta(1 - \alpha_A)S + C_q + \gamma\sigma T_S^4] \dots\dots\dots(2a)$$

$$\frac{dT_S}{dt} = \frac{1}{C_S} [(1 - \beta)(1 - \alpha_A)(1 - \alpha_S)S - C_q - \sigma T_S^4 + 2f_d\sigma T_A^4] \dots\dots\dots(2b)$$

dengan C_A = 10⁷ Wm⁻²K⁻¹ dan C_S = 2 x 10⁸ Wm⁻²K⁻¹ (Marotzke, 2002), masing-masing menyatakan panas jenis atmosfer dan permukaan bumi.

METODA PENELITIAN

Perhitungan numerik pada kondisi transien dilakukan dengan menerapkan Metoda Euler pada persamaan (2a) dan (2b). Dalam perhitungan ini disamping parameter-parameter dasar seperti

dinyatakan pada Tabel 1. juga digunakan nilai-nilai panas jenis atmosfer dan muka bumi, C_A dan C_S yang nilainya dinyatakan pada paragraf terakhir di atas.

Penetapan Kondisi Awal

Kondisi awal suhu global dinyatakan relatif terhadap pasangan nilai suhu kesetimbangan pada keadaan tak stabil (T_A, T_S)* = (214.5848, 240.7662)K,

yang bersesuaian dengan satu dari tiga stabilitas sistem pada kondisi setimbang dengan konsentrasi CO₂ 350 ppm. Jika (T_A, T_S)^o menyatakan kondisi awal dari pasangan suhu global maka nilai-nilai uji dikaitkan dengan keadaan tak stabil dapat dinyatakan dalam bentuk umum

$$T_A^o = T_A^* \pm \Delta T \quad (3a)$$

Dan

$$T_S^o = T_S^* \pm \Delta T \quad (3b)$$

dengan ΔT = 0.5, 2, 5, dan 10K, sehingga diperoleh data pasangan kondisi awal global seperti pada Tabel2.

(T _A , T _S) ^o	Kondisi Awal Suhu untuk ΔT terkait (K)			
	0.5	2	5	10
T _A ⁺ +ΔT	254.2945	255.7945	219.5848	258.7945
T _S ⁺ +ΔT	288.4997	289.9997	245.7662	292.9997
T _A ⁺ +ΔT			209.5848	
T _S ⁺ +ΔT			245.7662	
T _A ⁺ +ΔT			235.7662	
T _S ⁺ +ΔT			219.5448	
T _A ⁺ +ΔT	253.2945	251.7945	209.5848	248.7945
T _S ⁺ +ΔT	287.4997	285.9997	235.7662	282.9997

Melalui perhitungan numerik dicatat waktu yang dibutuhkan bagi sistem untuk mencapai kondisi setimbang yang dinyatakan dengan persyaratan

$$|T_A - T_A^*| \leq \epsilon \quad (4a)$$

dan

$$|T_S - T_S^*| \leq \epsilon \quad (4b)$$

dengan ε = 10⁻⁴ K. Tanda + dan - masing-masing menyatakan keadaan *setimbang hangat* dan keadaan *setimbang dingin* dari suhu global atmosfer (T_A) dan permukaan (T_S) bumi. Waktu tercatat untuk masing-masing suhu atmosfer dan suhu

permukaan yang memenuhi ketentuan sesuai dengan persamaan (4a) dan (4b) di atas dinyatakan sebagai waktu transien masing-masing sub sistem (lapisan) dimaksud.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dinamika dan Stabilitas Transien

Gambaran tentang dinamika dan stabilitas iklim global dari model KT dalam kondisi transien telah diungkapkan oleh Arsali dkk (Arsali et al, 2006). Pada tulisan tersebut diperlihatkan dengan jelas bahwa dinamika transien sangat dipengaruhi oleh suhu (kondisi) awal (T_S^o), dikaitkan dengan suhu pada keadaan tak stabil sistem T_S^{*}, yang merupakan batas *basin atraksi* dari dua keadaan stabil sistem tersebut pada konsentrasi CO₂ yang telah ditetapkan. Jika T_S^o > T_S^{*} maka suhu permukaan akan naik menuju ke suhu keadaan *setimbang hangat* (T_S⁺) sementara jika T_S^o < T_S^{*} maka suhu permukaan turun ke keadaan *setimbang dingin* (T_S⁻).

Hal serupa berlaku juga untuk suhu atmosfer T_A, dikaitkan dengan suhu pada keadaan tak stabilnya, T_A^{*}. Namun untuk pasangan suhu pada kondisi awal tertentu, misal (T_A, T_S)^o = (209.5848, 245.7662)K, ternyata bahwa T_A tidak berevolusi menuju T_A⁻ (dalam hal mana T_A^o < T_A^{*} = 214.5848K) tetapi, ke luar dari basin atraksinya, naik menuju ke T_A⁺, sebagai konsekuensi

Kejadian yang serupa juga diperlihatkan untuk pasangan suhu pada kondisi awal (T_A, T_s)⁰ = (219.5848, 235.7662) K.

Waktu Transien: Peran Proses Difusi dan Kondisi Kuasi Setimbang Termal.

Kajian terdahulu (Arsali et al, 2006) memperlihatkan bahwa dibutuhkan waktu transien yang jauh lebih lama jika nilai-nilai panas jenis atmosfer C_A dan permukaan C_s ditetapkan secara langsung pada kondisi akhir (maksimum)nya.

Dengan menetapkan nilai C_A dan C_s berubah secara gradual, sesuai dengan pencapaian kedalaman penetrasi dari proses difusi termal pada masing-masing lapisan, dan dengan memperlakukan setiap langkah proses sebagai suatu kondisi kuasi setimbang maka waktu transien berlangsung lebih cepat, mendekati perkiraan waktu transien yang lebih rasional.

Pendekatan berdasarkan mekanisme diifusi menghendaki agar nilai C_A dan C_s diperoleh melalui perumusan

$$C_A = c_{pA} \rho_A h_{TA} \tag{5a}$$

dan

$$C_S = c_{pS} \rho_S h_{TS} \tag{5b}$$

dengan $c_{pX}, \rho_X,$ dan h_{TX} masing-masing menyatakan *panas jenis, rapat massa, dan kedalaman penetrasi* karakteristik lapisan X (masing-masing untuk atmosfer, A, dan permukaan, S). Dalam kaitannya dengan proses menuju kesetimbangan iklim nilai h_{TX} berkait dengan mekanisme difusi termal yang secara umum dapat dirumuskan

sebagai

$$h_{TX} = \sqrt{d_{TX} T} \tag{6}$$

D_{TX} dan τ_X masing-masing menyatakan *difusivitas termal dan waktu karakteristik* berkait dengan kedalaman penetrasi karakteristik (h_{TX}) dimaksud.

Parameter h_{TX} dan τ_X sekaligus menyatakan besaran optimal pencapaian kondisi setimbang termal iklim global. Dalam hal ini h_{TX} menunjukkan kedalaman/ketebalan minimal lapisan X (diukur dari permukaan: tanah atau laut) dalam hal tak ada lagi perbedaan suhu pada berbagai kondisi musim, sementara τ_X menyatakan waktu yang diperlukan untuk penyesuaian menuju kondisi yang menyatakan kesetimbangan distribusi suhu terhadap kedalaman/ketebalan akibat perubahan suhu di permukaan.

Pengukuran maupun perhitungan dengan berbagai pendekatan menghasilkan nilai tipikal dari parameter-parameter berhubungan dengan kapasitas panas untuk lapisan atmosfer, tanah, dan laut sebagaimana dinyatakan pada Tabel 3.

Tabel 13. Nilai tipikal berbagai parameter terkait Kapasitas Panas atmosfer, tanah, dan laut

Lapisan	Panas Jenis ($c_p, \text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$)	Rapat Massa (ρ, kgm^{-3})	Kedalaman Penetrasi (h_T, m)
Atmosfer	1004	1	10000
Tanah	1300	1950	4
Laut	4182	1024	50

Catatan : Adaptasi dari berbagai sumber (Marotzke, 2002; Resnick, Halliday, & Krane, 1992)

Di dalam realisasinya perhitungan untuk lapisan permukaan dilakukan dengan mengambil data untuk tanah dan laut, dengan kontribusi masing-masing 30% dan 70%, sesuai perkiraan perbandingan luas permukaan keduanya dalam skala global,

Sementara itu, guna memperoleh nilai kapasitas panas yang lebih realistis, perumusan seperti pada persamaan (5a) dan (5b) dituliskan kembali dalam bentuk dinamis sebagai

$$C_A(t) = c_{pA} \rho_A h_A(t) \quad (7a)$$

untuk lapisan atmosfer, dan

$$C_s(t) = c_{pS} \rho_s h_s(t) \quad (7b)$$

untuk lapisan permukaan, dengan

$$h_X(t) = \sqrt{D_{TX} t} \quad (8)$$

bernilai maksimum pada

$$h_{TX} = h_X(t = \tau_X) \quad (9)$$

Guna memahami evolusi iklim pada skala global yang relatif berubah lambat, dengan berbagai komponen harmonik, fluktuasi, dan perbedaan dampaknya pada berbagai lokasi di bumi, konsep tentang *kondisi kuasi setimbang*, yang berlangsung secara bertahap, agaknya dapat digunakan sebagai salah satu pendekatan. Dalam hal ini maka kesetimbangan awal sistem dapat dianggap telah terpenuhi pada keadaan tatkala kapasitas panas lapisan permukaan telah mencapai nilai yang sama dengan nilai kapasitas panas (maksimum) atmosfer, $C_A = 10^7 \text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$.

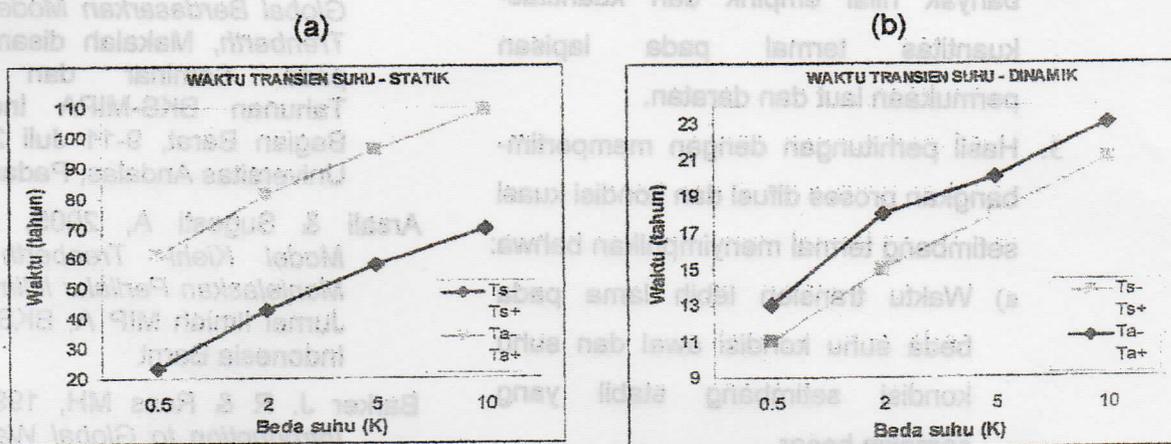
Model transfer energi termal menjelaskan bahwa sebagian besar (lebih dari

85%) energi termal pada lapisan atmosfer diperoleh dari permukaan, yang berarti permukaan adalah sumber energi utama atmosfer. Berangkat dari asumsi ini maka dibutuhkan minimal sejumlah energi yang sama dengan kapasitas energi dari atmosfer untuk ditransfer ke atmosfer hingga tercapai kesetimbangan di antara keduanya. Perhitungan empirik pada kondisi ini menghasilkan penetrasi termal pada lapisan laut dengan kedalaman 2.4 m, yang dengan kemampuan penyerapan radiasi matahari sebesar 35Wm^{-2} (Marotzke, 2002) hanya membutuhkan waktu karakteristik 3.5 hari. Bandingkan dengan nilai tipikal tingkat kedalaman penetrasi dan waktu karakteristik lautan yang masing-masing bernilai 50 m dan 60 hari (Marotzke, 2002).

Gambar 2 memperlihatkan hasil perhitungan yang mengaitkan antara waktu transien terhadap beda suhu antara kondisi awal dan suhu pada kondisi setimbang stabil sistem. Sebagaimana diperlihatkan, semakin besar beda suhu antar dua kondisi tersebut semakin lama proses transien berlangsung. Gambar 2 juga memperlihatkan bahwa pendekatan nilai dinamik C_A dan C_s dan penerapan konsep kondisi kuasi setimbang termal mampu mereduksi waktu transien secara berarti. Kurva bertanda + (-) menyatakan perbedaan bernilai positif (negatif) antara suhu pada kondisi awal yang lebih besar (kecil) terhadap suhu kondisi setimbang

stabilnya. Ini juga dapat diartikan sebagai proses transien melalui penurunan (pening-

katan) suhu hingga tercapai suhu setimbang stabil yang baru.



Gambar 2. Waktu transien sebagai fungsi beda suhu antara suhu pada kondisi awal dengan suhu pada kondisi setimbang stabilnya. Terlihat reduksi waktu yang cukup berarti antara hasil perhitungan (a) pada kondisi statik, dengan C_A dan C_s konstan; dan (b) pada kondisi dinamik dengan menetapkan nilai C_A dan C_s meningkat secara gradual melalui pertimbangan proses difusi dan kondisi kuasi setimbang termal

Secara umum juga diperoleh kesimpulan bahwa proses transien pada lapisan permukaan berlangsung lebih lambat dibandingkan dengan hal yang sama pada lapisan atmosfer. Hal ini dapat dimaklumi dengan mengingat bahwa permukaan memang lebih mendominasi perubahan (sebagaimana dikemukakan pada pembahasan tentang aspek stabilitas di atas). Sementara itu, dari sudut pandang arah perubahan, perhitungan dengan mempertimbangkan proses difusi dan kondisi kuasi setimbang termal memberikan gambaran yang lebih sesuai dengan hasil observasi, dalam hal mana proses penurunan suhu berlangsung lebih cepat daripada kenaikan suhu, walaupun perbedaannya tak cukup signifikan jika dibandingkan dengan yang terjadi dalam kenyataan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Telaah dinamika iklim global dari model KT pada kondisi transien secara umum telah mampu memperjelas gambaran tentang proses dan mekanisme kerja terkait perubahan suhu global, baik di atmosfer maupun permukaan. Penelitian ini menghasilkan temuan-temuan:

1. Waktu transien bernilai terlalu besar jika perhitungan dilakukan dengan nilai C_A dan C_s yang konstan sebagaimana dinyatakan pada beberapa referensi, sehingga perlu dilakukan perhitungan dengan mempertimbangkan proses difusi dan kondisi kuasi setimbang termal
2. Perhitungan dengan mempertimbangkan proses difusi dan kondisi kuasi setimbang termal menghasilkan

kan penjabaran model yang lebih realistik, dengan memasukkan lebih banyak nilai empirik dari kuantitas-kuantitas termal pada lapisan permukaan laut dan daratan.

3. Hasil perhitungan dengan mempertimbangkan proses difusi dan kondisi kuasi setimbang termal menyimpulkan bahwa:
 - a) Waktu transien lebih lama pada beda suhu kondisi awal dan suhu kondisi setimbang stabil yang semakin besar.
 - b) Sebagai konsekuensi dari kapasitas panas permukaan yang jauh lebih besar maka waktu transiennya lebih lambat dibandingkan dengan waktu transien pada atmosfer.
 - c) Kenaikan suhu global berlangsung lebih lambat dibandingkan dengan penurunan suhu, sebagaimana juga gambaran pola evolusi iklim global berdasarkan data hasil observasi.

Walaupun perhitungan dengan pendekatan ini menghasilkan gambaran yang lebih rasional menyangkut kondisi transien iklim global namun konfirmasinya dengan data lapangan membutuhkan pendekatan yang lebih realistik melalui pertimbangan perubahan pada konsentrasi CO_2 di udara dan fluktuasi fluks radiasi matahari. Dengan demikian masih diperlukan beberapa analisis kuantitatif lanjutan yang diharapkan mampu memberi konfirmasi lebih dekat dengan data rekaman hasil observasi yang telah ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsali, Monado F, & Mardiansyah W, 2006, *Dinamika Transien Suhu Global Berdasarkan Model Kiehl-Trenberth*, Makalah disampaikan pada Seminar dan Rapat Tahunan BKS-MIPA Indonesia Bagian Barat, 9-11 Juli 2006 di Universitas Andalas, Padang.
- Arsali & Sugesti A, 2005, *Analisis Model Kiehl-Trenberth untuk Menjelaskan Perilaku Iklim Global*, Jurnal Ilmiah MIP A, BKS MIP A Indonesia Barnt
- Barker J. R & Ross MH, 1999, *An Introduction to Global Warming*, Am. J. Phys. 67: 1216-1226.
- Barker JR. 1999,
- Kiehl, J.T & Trenberth, K.E. 1997. *Earth's Annual Global Mean Energy Budget*, Bull. Am. Meteorol Soc, 78: 197-208:
- Marotzke J, 2002, *Lecture 7: Passive Ocean Models*,
- Renick R, Halliday D, & Krane SK, 1992, *PHYSICS*, vol. 1, 4th ed., John wiley & Sons Inc. New York
- Sugesti A. 2004. *Model Kesetimbangan Radiatif Dua-lapis untuk Prediksi Suhu Global Permukaan Bumi*. Skripsi, Jurusan Fisika FMIPA-Universitas Sriwijaya, Inderalaya, Ogan Ilir, Sumatra Selatan.