

# PERUBAHAN IKLIM DI INDONESIA

M. Blantran de rozari, R. Hidayati dan M. Effendi Manan  
Jurusan Geofisika dan Meteorologi, FMIPA, IPB

## ABSTRAK

Perubahan iklim yang disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi GRK (Gas Rumah Kaca) di atmosfer diragukan kebenarannya oleh beberapa pihak yang menuntut bukti empirik. Tulisan ini mencoba melihat apakah perubahan itu telah terjadi di Indonesia. Penelitian ini mempertimbangkan prinsip neraca bahang dan menggunakan stasiun-stasiun diluar pengaruh "urban heat island". Dengan demikian ada atau tidaknya perubahan itu dapat ditentukan secara pasti. Hasil analisis menunjukkan bahwa perubahan suhu rata-rata secara nyata telah terjadi ditujuh dari 12 stasiun yang dipelajari. Disatu station kenaikan suhu rata-rata terselubung oleh perubahan pada suhu minimum dan maksimum dengan tanda yang berlawanan. Dari empat stasiun lainnya satu memperlihatkan penurunan secara sangat nyata baik suhu minimum maupun embutannya. Sedang stasiun lainnya tidak menunjukkan perubahan yang nyata. Perubahan yang terlihat disini diduga adalah bagian dari perubahan iklim global.

## ABSTRACT

*Global warming due to increased concentration of Greenhouse Gasses according to some, is only an issue as long as there is no empirical evidence to support it. This research aims to find out whether there is such a change in Indonesia. Most important in the study of heat and its exchange, is the energy balance, which forms the basic consideration here. By using data from stations outside the city limits, the influence of the urban heat island is avoided. Any change which emerges, could therefore be assumed to be part of the global change. The results show that the change in the mean temperature is significant at seven of the twelve stations considered. At one other station the evidence of change in the mean temperature is suppressed by the change of opposite signs in the maximum and the minimum temperature. At the four remaining stations, one indicated a highly significant decrease in the minimum temperature as well as in its fluctuations. Only three stations did not reveal any significant change.*

## PENDAHULUAN

Akhir-akhir ini dunia diramaikan oleh isu perubahan iklim bumi yang melalui penelitian laboratorium dalam model-model iklim diperkirakan terjadi akibat membanyaknya gas-gas rumah kaca di udara. Yang meragukan perubahan ini akan terjadi, menuntut hasil penelitian empirik untuk membuktikan kebenaran ramalan tersebut.

Perubahan iklim di zaman purba menyangkut perubahan cukup besar, berskala beberapa derajat Celcius, dan berlangsung selama ribuan tahun. Bahkan dalam zaman modern, lebih dikenal sebagai "zaman es kecil", juga besaran perubahan mencapai 1.5 derajat Celcius. Yang terakhir ini bermula pada awal Abad XIV dan berakhir pada pengujung Abad XIX. Periode paling dingin zaman es kecil, terjadi antara tahun 1650 - 1700 (Lamb, 1978).

Lamb (1978) lebih jauh menunjukkan dua hal yang perlu diperhatikan bila mengulas masalah perubahan iklim. Pertama dalam masa pendinginan sering terjadi periode panas sedangkan dalam masa pemanasan kembali sering terjadi periode dingin. Jadi antara tahun 1300 dan 1650 sering terjadi periode-periode yang lebih panas dari keadaan sebelum atau sesudah periode bersangkutan. Kedua, bahwa perubahan tidak terjadi seketika dan serentak disemua tempat atau wilayah.

Dalam Laporan kajian tentang dampak sosial ekonomi dari perubahan iklim, Blantran de Rozari et al. (1992) mengutip hasil model "Goddard Institute for Space Studies" GISS, yang menunjukkan bahwa dengan konsentrasi CO<sub>2</sub> udara dua kali lipat konsentrasi tahun 1958, di bagian perubahan suhu akan mencapai 3 - 4 °C, sedangkan hujan dibanyak tempat akan bertambah sementara di Indonesia lainnya akan berkurang. Jadi perubahan yang terjadi bisa bersifat positif atau bertambah dan bisa juga berkurang atau negatif.

Mempelajari perubahan iklim harus pula memperhatikan lingkungan stasion yang datanya digunakan untuk melihat perubahan tersebut. Stasion yang berada di sebuah kota akan berbeda tanggapnya terhadap perubahan global, karena adanya sumber energi tambahan yang berasal dari kegiatan penduduk kota (lihat Hosler & Landsberg 1977).

Dasar pandangan tulisan ini adalah neraca bahang yang secara sederhana ditulis,  $R_n = LE + S + A$ . Dalam hal ketersediaan energi di permukaan ( $R_n$ ) akan meningkat bila air cukup tersedia di permukaan. Sebaliknya bila air tidak tersedia, maka komponen energi terindra ( $S + A$ ) akan meningkat.

Tulisan ini bertujuan untuk melihat apakah suhu, energi terindra, atau evapotranspirasi ( $E$ ) di Indonesia telah meningkat antara tahun 1975 dan 1990.

## BAHAN DAN METODA

### Data

Untuk kajian ini dipilih beberapa stasion dengan catatan sebagai berikut : a) Stasion memiliki catatan cukup panjang, jika mungkin  $\pm 30$  tahun dan, b) tidak terletak dalam kota berpenduduk lebih dari 500.000 jiwa. Yang terakhir ini untuk menghindari tercatatnya perubahan bukan sebagai akibat perubahan iklim global, tetapi semata-mata perubahan karena pengaruh kota sebagai "heat island" (Landsberg dan Maisel 1972).

Jika kedua prasyarat tersebut digabung akibatnya banyak stasion dengan catatan panjang tidak dapat digunakan karena terletak dalam kota. Cukup banyak stasion yang terletak di luar kota seperti di Aceh, Sumatera Utara, Jambi, Bengkulu, Kalimantan Timur, Kalimantan Selatan, NTB, NTT, Timtim dan Maluku. Sumatera Selatan, Jawa Tengah dan Irian Jaya, masing masing-masing ada dua setasion, sedangkan di Sumatera Barat dan Sulawesi Selatan terdapat empat stasion. Jawa Timur dan Jawa Barat masing-masing memiliki delapan dan sepuluh stasion.

Tabel 1. Stasion yang terpilih untuk melihat perubahan iklim di Indonesia.

Nama Stasion	Lintang	Bujur	Elevasi (m dpl)	Periode Catatan
Sukarami	0.95° LS	100.62° BT	920	1977-1990
Kenten	4.00° LS	104.70° BT	4	1975-1989
Darmaga	6.50° LS	106.75° BT	240	1975-1990
Muara	6.67° LS	106.75° BT	260	1975-1990
Margahayu	6.90° LS	107.50° BT	1 250	1077-1990
Cipedes	6.60° LS	107.71° BT	40	1979-1990
Pusakanegara	6.25° LS	107.75° BT	7	1975-1990
Mojosari	7.50° LS	112.58° BT	30	1975-1990
Kendalpayak	8.08° LS	112.70° BT	340	1976-1988
Maros	5.15° LS	119.50° BT	5	1977-1990
Lanrang	3.80° LS	119.50° BT	25	1975-1988
El Tari	9.73° LS	124.17° BT	110	1971-1990

Tetapi stasion-stasion tersebut baru didirikan pada atau tahun 70-an, sehingga kurang memenuhi prasyarat pertama. Oleh karena itu agar *trend* yang terlihat cukup riil, maka dipilih stasion yang memiliki catatan yang lebih dari 10 tahun. Dengan alasan ini serta memperhatikan kesinambungan data maka hanya dapat digunakan sejumlah 12 stasion seperti yang tertera dalam tabel 1. Dari tabel ini dapat dilihat bahwa wilayah Indonesia di sebelah utara katulistiwa dan sebagian besar Indonesia Bagian Timur tidak terwakili. Oleh karena itu kesimpulan yang diperoleh harus dianggap tidak berlaku untuk kedua bagian wilayah tersebut.

Data yang dikumpulkan meliputi suhu maksimum dan minimum, suhu rata-rata, curah hujan serta evaporasi panci klas A setiap bulan selama periode pengamatan stasion yang bersangkutan.

### Analisis Data

Data evaporasi digunakan untuk menduga ETP (evaporasi potensial) dengan mengkalikannya dengan  $K_p = 0.7$  (Doorenbos & Pruitt, 1975). Dalam hal tidak tersedia data panci klas A, maka ETP diduga dari suhu rata-rata berdasarkan pendekatan Thornthwaite (Mather 1974).

Dari data curah hujan dan ETP disusun neraca air yang menghasilkan antara lain evapotranspirasi aktual (ETA), yang dalam neraca bahang dinyatakan sebagai E dari komponen LE. Kecenderungan meningkat atau berkurangnya suhu serta ETA dianalisis dengan metoda "Spearman rank test",  $R_s$ , yang selanjutnya diuji dengan "t statistics" sebagai berikut:

$$r_s = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n di^2}{n(n^2 - 1)}$$

$di$	=	$ke - i$
$ki$	=	peringkat data ke $i$
$i$	=	nomor urut data dari kecil ke besar
$n$	=	jumlah data

$$t_{hit} = r_s \sqrt{\left( \frac{n-2}{1-r_s^2} \right)}$$

Trend dianggap nyata bila nilai  $t_{hit} > t_n - 2$  dengan  $\alpha/2$ . Besar perubahan ditentukan berdasarkan regresi linear sederhana  $Y = a + bx$  dimana :

Y = besaran unsur iklim

X = waktu (bulan) berurut dari 1, Januari tahun pertama, hingga bulan terakhir catatan data

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Suhu rata-rata yang tidak berubah tidak menunjukkan tiadanya perubahan. Ini disebabkan karena suhu-suhu tinggi (maksimum) bertambah tetapi pada waktu yang sama suhu-suhu rendah (minimum) berkurang, atau sebaliknya. Oleh karena itu disini selain dianalisis suhu rata-rata, juga dianalisis suhu maksimum dan minimum. Hasil analisis suhu dan ETA dicantumkan pada tabel 2.

Lima dari dua belas stasion yang dianalisis memperlihatkan *trend* suhu rata-rata yang meningkat dengan sangat nyata. Kelimanya menunjukkan *trend* kenaikan suhu rata-rata yang tidak dapat dipungkiri. Kelima stasion tersebut adalah Kenten, Muara, Margahayu, Pusakanegara dan Maros. Dua stasion lainnya yakni Kendalpayak serta Lanrang hanya memperlihatkan *trend* yang nyata. Suhu rata-rata pada lima stasion yang lainnya dapat dikatakan tidak mengalami perubahan. Tetapi apa yang telah dikemukakan sebelum ini tentang perubahan dengan tanda yang berlawanan, jelas terlihat pada kasus stasion Darmaga. Stasion ini terletak 4 Km dari pinggiran kota Bogor ke arah barat laut, dan dikelilingi oleh hutan kecuali ke arah barat. Terlihat bahwa *trend* meningkat ( $r_s \rightarrow 0.4$ ) pada suhu minimum diimbangi oleh *trend* menurun suhu maksimum, walaupun dengan  $r_s$  yang lebih kecil. Oleh karena itu, harus dikatakan bahwa juga di Darmaga tidak dapat dikatakan tidak terjadi perubahan. Dengan demikian, maka ada 8 dari 12 stasion yang dipelajari telah memperlihatkan kecenderungan berubah.

Belum dapat dipastikan mengapa suhu maksimum di Darmaga justru turun sementara suhu minimumnya meningkat. Ada kemungkinan hal ini disebabkan karena di sebelah barat dari taman alat stasion ini terdapat sebuah danau kecil (setu) yang menghalang kenaikan suhu maksimum dengan menguapkan air lebih banyak. Makin banyaknya uap air dalam udara di atas stasion akan menghalang masuknya pancaran surya dan lolosnya pancaran gelombang panjang dari bumi.

Dari empat stasion lainnya, stasion Mojosari memperlihatkan perubahan suhu minimum yang berlawanan dengan asumsi perubahan suhu bumi. *Trend* yang dialami stasion tersebut bersifat sangat nyata sehingga tidak dapat dikatakan tidak ada perubahan. Namun sulit dijelaskan mengapa hanya suhu minimum yang berubah dan dengan tanda negatif.

Dari analisis deviasi suhu terhadap rata-ratanya, terlihat bahwa baik simpangan suhu maksimum, minimum serta rata-rata berkurang dengan sangat nyata (Tabel 3). Apa yang diperlihatkan oleh Tabel 3 memperkuat yang diperlihatkan oleh Tabel 2, yakni bahwa perubahan yang terjadi diikuti oleh embutan yang makin besar.

Membesarnya embutan ini menunjukkan ketidakstabilan yang menjadi ciri dari iklim yang kadang kala berubah. Perkecualian terjadi pada suhu maksimum di Darmaga, Cipedes dan Mojosari, sedangkan untuk suhu rata-rata di Cipedes dan Mojosari serta untuk suhu minimum di Mojosari dan Muara. Dalam kasus-kasus perkecualian ini fluktuasi bukannya bertambah tetapi berkurang.

Embutan suhu yang kecil merupakan ciri iklim maritim dan disebabkan oleh air (lautan) yang menekan perubahan yang menyolok dari suhu. Terjadinya hal serupa di tempat yang sebelumnya menunjukkan iklim yang bersifat lebih ke benuaan, bisa dijelaskan bila hujan di tempat-tempat tersebut bertambah banyak.

Tabel 2. Hasil analisis trend suhu dengan metode rank test menurut Pearson.

Nama Stasiun	Jumlah Data	T. Maks		T. Min		T. Rata-rata		E T A	
		$r_s$	$t_{hit}$	$r_s$	$t_{hit}$	$r_s$	$t_{hit}$	$r_s$	$t_{hit}$
Sukarami	156	-0.24	0.302	0.054	0.668	0.021	0.258	0.073	0.748
Kenten	180	0.028	0.380	0.503	9.514**	0.268	4.172**	0.202	2.749**
Darmaga	192	-0.152	2.119*	0.395	5.935**	0.105	1.450	0.518	2.749**
Muara	180	0.515	8.019**	-0.177	1.572	0.367	5.623**	0.391	5.332**
Margahayu	180	0.092	1.231	0.575	9.639**	0.551	8.813**	0.319	4.571**
Cipedes	108	-0.014	0.148	0.009	0.089	0.008	0.085	0.176	1.733
Pusakanegara	168	0.119	1.548	0.289	3.887**	0.214	2.821**	-0.068	0.868
Mojosari	168	0.064	0.852	-0.350	4.879**	0.005	0.063	-0.144	1.874
Kendalpayak	156	0.233	3.302**	0.072	0.933	0.157	2.120*	0.071	0.891
Maros	192	0.307	5.076**	0.357	6.127**	0.514	10.164**	-0.204	2.690**
Lanrang	168	0.148	2.060	0.186	2.660**	0.182	2.590*	-0.096	1.134
El Tari	180	0.081	1.091	0.083	1.111	0.115	1.546	-0.043	0.571

\* Nyata pada  $P = 0.05$   
 \*\* nyata pada  $P = 0.01$

Tabel 3. Hasil analisis trend deviasi suhu dengan metode rank

Nama Stasiun	Jumlah data	T. Maks		T. Min		T. Rata-rata		E T A	
		$r_s$	$t_{hit}$	$r_s$	$t_{hit}$	$r_s$	$t_{hit}$	$r_s$	$t_{hit}$
Sukarami	156	-0.057	0.709	0.79	0.988	0.047	0.589	0.183	0.193
Kenten	180	0.024	0.358	0.641	1.4285**	0.367	4.915**	0.158	2.134*
Darmaga	192	-0.269	3.857**	0.543	8.912**	0.092	1.269	0.605	10.486**
Muara	180	0.515	8.019**	-0.117	1.572	0.367	5.263**	0.394	5.394**
Margahayu	180	0.071	0.948	0.638	11.067**	0.614	10.457**	0.611	10.494**
Cipedes	108	-0.067	0.694	0.044	0.449	-0.033	0.340	0.197	1.952
Pusakanegara	168	0.144	1.870	0.470	6.863**	0.355	4.893**	-0.106	1.366
Mojosari	168	-0.329	4.647**	-0.371	5.333**	-0.411	6.011**	-0.203	2.676**
Kendalpayak	156	0.341	5.213**	0.189	2.606*	0.340	5.190**	0.181	2.284*
Maros	192	0.343	5.825**	0.505	9.896**	0.568	11.920**	-0.158	2.067*
Lanrang	168	0.226	3.314	0.251	3.732**	0.292	4.480**	-0.124	1.705
El Tari	180	0.112	1.504	0.017	0.943	0.133	1.786	-0.033	0.439

\* Nyata pada  $P = 0.05$   
 \*\* nyata pada  $P = 0.01$

Jika dugaan terakhir tadi benar, maka evapotranspirasi aktual (ETA) di ketiga tempat tersebut akan bertambah. Tetapi hasil Analisa ETA hanya menunjukkan *trend* perubahan yang sangat nyata di Darmaga. Cipedes juga memperlihatkan *trend* yang positif namun tidak nyata. Sebaliknya *trend* deviasi ETA yang sangat nyata di Mojosari memiliki tanda negatif. Ini berarti bahwa selain ETA di Mojosari berkurang secara sangat nyata, juga embutan semakin berkurang. Dengan kata lain suhu dan ETA di Mojosari makin stabil dan tidak ada tanda-tanda perubahan.

Apa yang terlihat di Mojosari kiranya dapat dijelaskan sebagai berikut. Berkurangnya embutan ETA secara sangat nyata menunjukkan berkurangnya secara konsisten fluktuasi kadar uap udara di Mojosari. Kadar uap dalam udara di Mojosari sendiri belum berkurang secara nyata seperti terlihat dari tidak nyatanya  $r_s$  ETA. Walaupun demikian, uap udara di sana tidak efektif lagi menghalangi lolosnya pancaran bumi ke angkasa pada malam hari. Hal ini yang menyebabkan *trend* suhu minimum menjadi negatif. Pada siang hari kendati banyak radiasi surya yang mencapai permukaan, banyak pula bahang yang lolos kembali ke angkasa sehingga suhu maksimum tidak berubah dengan nyata sedangkan deviasinya berkurang dengan sangat nyata.

Di tiga tempat yang tidak menunjukkan suatu perubahan pada suhu, yaitu Sukarami, Cipedes dan El Tari, semuanya dapat dijelaskan dengan meningkatnya evapotranspirasi aktual di Sukarami dan Cipedes walaupun dengan besaran yang tidak nyata. Di El Tari tidak ada data yang menunjukkan ada atau tidaknya perubahan pada unsur-unsur iklim yang di analisis.

Dari posisi geografi tempat-tempat yang datanya dianalisis terlihat bahwa sebaran perubahan tidak terbatas di barat atau di timur maupun di sebelah utara atau di sebelah selatan. Namun bila dilihat dari ketinggian tempat, jelas bahwa dalam suhu minimum maupun rata-rata, tempat yang elevasinya rendah secara konsisten menunjukkan perubahan yang nyata atau sangat nyata (Tabel 4).

Tabel 4. Tanda dan signifikansi dari perubahan dilihat dari ketinggian tempat.

Tempat	T. Maksimum	T. Minimum	T. Rata-rata	ETA
Margahayu	+	+ **	+ **	+ **
Sukarami	-	+	+	+
Kendalpayak	+ **	+	+ *	+
Muara	+ **	-	+ **	+ **
Darmaga	- *	+ **	+	+ **
El Tari	+	+	+	-
Cipedes	-	+	-	+
Mojosari	-	- **	-	-
Lanrang	- *	+ **	+ **	-
Pusakanegara	+	+ **	+ **	-
Maros	+ **	+ **	+ **	-
Kenten	+ **	+ **	+ **	+ **

Di tempat-tempat yang lebih tinggi letaknya, perubahan yang nyata, terjadi secara acak. Demikian pula halnya dengan *trend* suhu maksimum maupun ETA.

Sebaran *trend* perubahan embutan memeperlihatkan gambaran yang sama sebaran *trend* perubahan unsurnya. Perubahan yang nyata secara konsisten terjadi dibawah ketinggian 40 m dpl.

Dari semua yang telah dibahas di atas dapat dikatakan bahwa telah terjadi perubahan iklim di sebagian wilayah Indonesia. Memang hasil analisis regresi tidak menunjukkan besaran perubahan yang nyata kecuali di Margahayu untuk suhu minimum dan dan suhu rata-rata. Namun besaran *trend* perubahan embutan cukup nyata di lima stasion, yakni Kenten, Muara Margahayu, Maros dan Lanrang, pada parameter suhu yang berbeda-beda.

Idso (1984) menunjukkan bahwa disebelah utara dari 23.5° LS telah terjadi kenaikan suhu yang cukup tinggi hingga  $\pm 1945$ , sesudah itu turun. Di selatan lintang tadi, perubahan suhu tidak sebesar yang terjadi di utara, tetapi kenaikan terus berlangsung hingga 1980.

Turunnya kembali suhu di sebelah utara oleh Broecker (1975) dikatakan adalah akibat dari pendinginan oleh siklus 180 tahun (Maunder minimum). Di sebelah selatan, pendinginan itu terhalang oleh lautan yang merupakan prosentase permukaan terluas. Lautan luas dengan kapasitas termal sangat besar itu mampu memperlemah perubahan yang besar, sehingga kenaikan suhu seperti di sebelah utara diredupkan sedangkan penurunannya kembali dibendung.

Perlu dicatat bahwa sebagian besar data yang digunakan berada pada periode sesudah tercapainya Maunder Minimum pada tahun 70-an, sehingga yang terlihat disini diduga merupakan cermin dari yang terjadi secara global.

## KESIMPULAN

Dari 12 stasion yang dianalisis tujuh diantaranya menunjukkan peningkatan suhu secara nyata sedangkan satu stasion lagi menunjukkan penurunan untuk suhu maksimum dan trend positif untuk suhu minimum sehingga meniadakan trend perubahan yang nyata pada suhu rata-rata. Hanya di Lima stasion dan pada parameter suhu yang berlainan, besaran perubahan-perubahan itu memiliki arti signifikan.

Tiga stasion tidak menunjukkan sesuatu perubahan sedang sebuah lagi bukan saja memperlihatkan arah trend suhu minimum yang berlawanan, tetapi juga memiliki kecenderungan akan makin stabil suhu dan ETA-nya.

Perubahan ini selaras dengan perubahan secara global sehingga diduga apa yang terlihat di Indonesia merupakan cermin dari perubahan global. Jadi perubahan di Indonesia yang terlihat disini adalah bagian dari perubahan iklim di bumi.

## DAFTAR PUSTAKA

Blantran de Rozari, Koesoebiono, N. Sinukaban, D. Murdiyarso and K. Makarim 1992. Assessment of Socio-economic Impacts of Climate Change in Indonesia, in *Potential Socio-economic Effects of Climate Change in South-east Asia*. Parry et al. (eds). *United Nations Enviroment Programme: 31-54*.

Broeker, W. S. 1975 super-interglacial, *Science* 189: 460-63.

Doorenbos, J. dan W. O. Pruitt 1975. *Crop Water Requirements. U.N. Food and Agricultural Organization. No. 24.*

Hosler, Charles L. and H. E. Landsberg 1977 The effect of localized Man-made Heat and Moisture Source, in Mesoscale Weather Modifications. in *Energy and Climate (Revelle et al. eds.) National Research Council. 96 - 105.*

Lamb, H. H., 1977. *Climate, History and the Modern World. Methuen, London.*

Landsberg, H. E. and T. N. Maisel 1972. Micrometeorological Observations in an area of urban growth, *Boundary Layer Meteorology 2: 369 - 9.*

Lawson, M. P., R. C. Balling Jr., A. J. Peters and D. C. Rundquist 1981, Spaticial Analysis of Secular Fluctuation, *Journal of Meteorology, 1: 325 - 32.*

Mather, John R. 1974. *Climatology: Fundamentals and Applications McGraw-Hill Coy. New York.*