

# PERUBAHAN IKLIM DAN PEMANASAN GLOBAL DI INDONESIA; DAMPAKNYA TERHADAP KONDISI BAWAH PERMUKAAN STUDI KASUS : DKI JAKARTA

Rachmat Fajar Lubis dan Robert Delinom

Pusat Penelitian Geoteknologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia  
Jln. Cisitua Sangkuriang, Bandung 40135  
Telp : 022-2503597; Fax : 022-2503654  
e-mail : fajarlubis@lipi.go.id, rdelinom@lipi.go.id

## ABSTRACT

*Indonesia is exposed to climate change, especially with regard to the rising sea level, changes in precipitation and extreme events. This will particularly impact to many sectors in this country. In order to evaluate the impact on subsurface environment, groundwater temperatures in boreholes can be an important source of information on recent climatic changes. Subsurface temperatures in Jakarta city were analyzed to evaluate the effects. As a result the magnitude of surface warming was increase 1.4°C which agreed with the increase of air temperature meteorological data during the last 100 years. This is the preliminary results of significant increase in climate change during the last century in Jakarta. Still today, the information on vulnerability and adaptive measures is not sufficient in order to plan and design appropriate activities on the national level in Indonesia.*

**Keywords:** *Climatic change; Global warming; Temperature change; Subsurface soils*

## PENDAHULUAN

Indonesia yang terletak di antara dua benua dan dua samudra memiliki iklim yang unik serta rentan terhadap perubahan iklim regional dan global. Kerentanan ini khususnya terhadap dampak dari perubahan temperatur, kenaikan permukaan air laut, perubahan curah hujan, serta peningkatan frekuensi, dan intensitas kejadian ekstrim. Sebagai contoh, kejadian El Nino dan La Nina yang membawa peningkatan risiko kekeringan, kebakaran, dan meningkatnya curah hujan. Risiko banjir akibat meningkatnya curah hujan di beberapa wilayah Indonesia terutama bagian selatan ekuator, seperti Pulau Jawa. Kenaikan permukaan laut dan meningkatnya frekuensi kejadian ekstrim ini sangat mempengaruhi Indonesia sebagai Negara Kepulauan. Berdasarkan studi literatur, perubahan iklim global (*climate change*) di dunia saat ini berkisar antara 0,5–0,8°C dalam periode 100 tahun.<sup>1,2</sup> Secara keseluruhan, perubahan iklim juga berdampak pada sektor lainnya. Perubahan

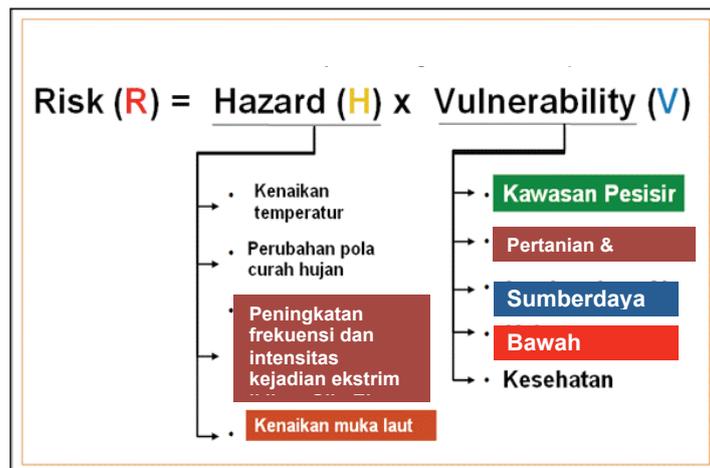
iklim secara umum akan sangat mempengaruhi kehidupan manusia. Beberapa perubahan yang terjadi baik yang berdampak positif ataupun negatif diperkirakan akan menimpa berbagai sektor (Tabel 1).

Berdasarkan Tabel 1 maka model risiko perubahan iklim merupakan parameter dari bencana (*hazard*) dan kerentanan (*vulnerability*) terhadap setiap wilayah yang berbeda-beda (Gambar 1). Perbedaan ini sangat ditentukan kondisi geografisnya. Tantangan yang dihadapi oleh Pemerintah Indonesia dalam perencanaan pola adaptasi ini adalah tidak tersedianya informasi yang relevan. Hal ini mengakibatkan perlunya suatu penelitian detail mengenai dampak yang akan terjadi secara kualitatif dan kuantitatif (*Climate change and global warming roadmap*).

Penelitian mengenai kajian kerentanan atau dampak terhadap kondisi bawah permukaan (*subsurface*), hingga saat ini belum pernah dilakukan di Indonesia. Makalah ini mencoba

**Tabel 1.** Kemungkinan Dampak pada Berbagai Sektor Akibat Perubahan Iklim.

Sektor	Kemungkinan dampak yang akan terjadi
Pangan	Menurunnya hasil panen di berbagai daerah dan kemungkinan meningkatnya panen di wilayah dataran tinggi.
Sumber daya air	Pegunungan es mulai menghilang diiringi menipisnya persediaan air di berbagai daerah. Meningkatnya muka air laut
Ekosistem	Kerusakan terumbu karang Meningkatnya kepunahan sejumlah spesies Perubahan perilaku flora dan fauna
Kondisi cuaca yang ekstrim	Meningkatnya intensitas badai, kekeringan, banjir, gelombang panas dan kebakaran hutan



**Gambar 1.** Model Risiko Perubahan Iklim (Modifikasi Dari Af-feltranger Dkk, 2006)

memaparkan permasalahan perubahan iklim ini terhadap kondisi bawah permukaan.

Kajian dampak bawah permukaan hingga saat ini diperkirakan akan berdampak secara kualitatif dan kuantitatif. Dampak kualitatif yang terjadi adalah perubahan cadangan air tanah akibat perubahan pola hujan. Dampak kuantitatif adalah perubahan temperatur bawah permukaan akibat pengaruh perubahan iklim.

Untuk mengetahui secara kuantitatif dan detail pengaruh perubahan iklim ini maka perlu dilakukan uji metodologi penelitian dengan mengambil studi kasus di suatu daerah tertentu. Wilayah DKI Jakarta yang secara geologi termasuk dalam Cekungan Jakarta merupakan suatu model awal (prototipe) yang sangat baik untuk studi ini. Hal ini dikarenakan kelengkapan data bawah permukaan yang ada di wilayah ini. Kota Jakarta merupakan salah satu wilayah yang sangat strategis di Indonesia.

## TEORI DASAR

Temperatur bawah permukaan yang terekam di air tanah merupakan salah satu sumber informasi yang penting untuk mengetahui perubahan iklim. Proses aliran panas dari bawah permukaan bumi akan terekam bersamaan dengan aliran panas yang mengalir secara propagasi dari permukaan.

Untuk merekonstruksi perkembangan perubahan temperatur bawah permukaan ini, digunakan solusi analitis berdasarkan model 1- dimensi hubungan aliran panas di permukaan dan bawah permukaan secara konduktif-advectif linier dalam profil temperatur-kedalaman (T-D)<sup>3</sup>. Dengan menggunakan asumsi materi bawah permukaan bersifat *semi-infinite homogen* dan proses aliran panas adalah 1-dimensi secara konduktif, fluktuasi temperatur di permukaan (kedalaman,  $z = 0$ ) akan mengikuti fungsi:

$$T(z = 0, t_{i-1} < t < t_i) = \Delta T_i \quad (i = 1, 2, \dots, M) \quad (1)$$

di mana  $t$  adalah waktu pada saat pengukuran akan dilakukan dan  $\Delta T_i$  adalah perubahan temperatur setelah pengukuran dilakukan antara  $t_{i-1}$  dan  $t_i$ . Respons temperatur bawah permukaan terhadap perubahan temperatur akan mengikuti persamaan<sup>4</sup>:

$$T(z, t = 0) = \sum_i^M \Delta T_i \left[ \operatorname{erfc} \left( \frac{z}{2\sqrt{k t_i}} \right) - \operatorname{erfc} \left( \frac{z}{2\sqrt{k t_{i-1}}} \right) \right] \quad (2)$$

Fungsi erfc adalah fungsi *error function* terhadap proses nonkonduktif yang mungkin terjadi dan  $k$  adalah nilai difusivitas panas (*thermal diffusivity*) dari material bawah permukaan yang dapat didefinisikan sebagai:

$$k = \frac{K}{\rho C_p} \quad (3)$$

di mana  $K$ ,  $\rho$ , dan  $C_p$  adalah konduktivitas panas batuan (*thermal conductivity*), nilai densitas dan *specific heat* dari material batuan. Tahapan selanjutnya adalah merekonstruksi nilai ini menggunakan proses inversi Bayesian berdasarkan persamaan Tarantola.<sup>5</sup>

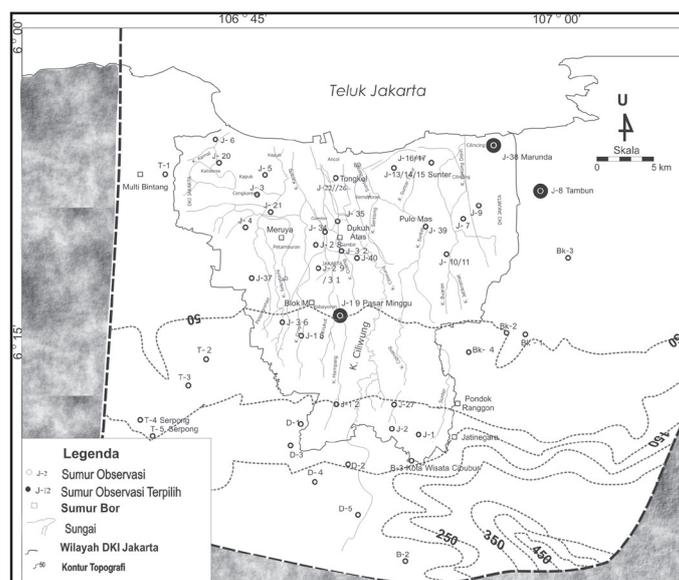
## METODE PENELITIAN

Untuk mendapatkan data dilakukan proses pengambilan data pada bulan Agustus 2008. Pengambilan data dilakukan pada sumur-sumur pantau yang ada pada wilayah Jakarta. Berdasarkan hasil pengukuran, terpilih tiga sumur

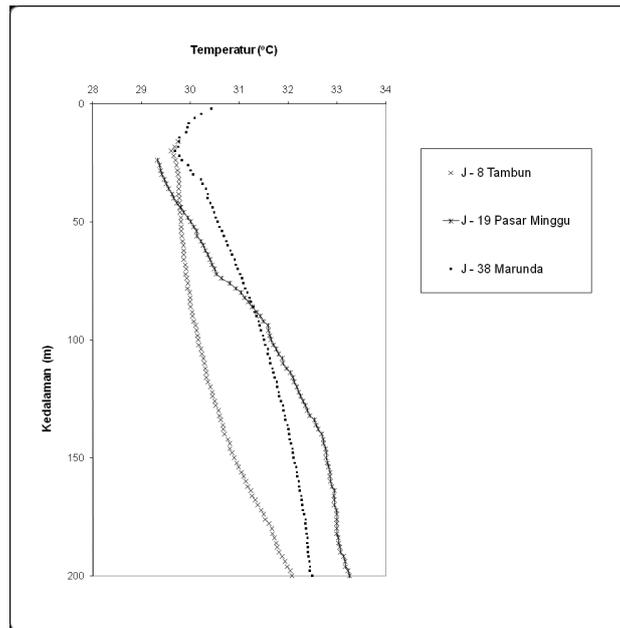
untuk dianalisis secara detail (Gambar 2). Ketiga sumur tersebut berlokasi di Jakarta Utara (J-38 Marunda), Jakarta Timur (J-24 Tambun), dan Jakarta Selatan (J-19 Pasar Minggu).

Jenis data yang diambil adalah data temperatur air tanah. Pengukuran profil temperatur dilakukan dengan interval 2 m dari muka air tanah hingga dasar sumur pantau. Peralatan yang digunakan adalah alat *digital thermister thermometer system* (Technol Seven Ltd, Japan), Kabel pengukur teflon (panjang kabel 400 m) dan dunit data *logging* (Technol Seven Ltd, Japan). Resolusi dari alat ini memiliki tingkat presisi pengukuran  $0,01^\circ\text{C}$  dengan tingkat keakuratan data  $\pm 0,03^\circ\text{C}$ . Sebelum pengukuran telah dilakukan tes kalibrasi di laboratorium dengan menggunakan simulasi pengukuran dengan metode *ice water* pada kondisi  $0,0^\circ\text{C}$  ( $32^\circ\text{F}$ ). Kalibrasi ini dilakukan untuk memastikan bahwa pembacaan data lapangan akurat dan dapat dipercaya.

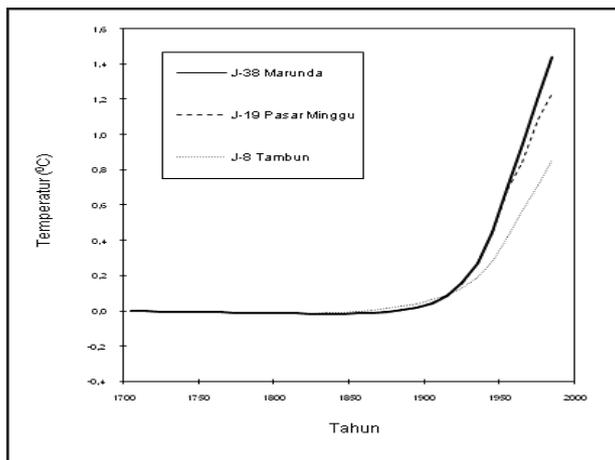
Sumur pantau yang digunakan adalah sumur berdiameter 3–6 inci (7,62–15,24 cm) dengan konstruksi pipa besi dan memiliki satu *screen*. Pengukuran ini merupakan pengukuran ulang pada tiga lokasi sumur pantau terpilih dengan kedalaman lebih dari 200 m. Penelitian dilakukan pada sumur-sumur tersebut dan dikompilasi dengan data pengukuran pada tahun sebelumnya (tahun 2004, 2006, dan 2007). Berdasarkan



Gambar 2. Lokasi dari Sumur Pantau Jakarta Terpilih.



**Gambar 3.** Temperatur-Kedalaman (T-D) pada Sumur Pantau dengan Kedalaman Lebih dari 200 m.



**Gambar 4.** Perubahan Nilai Temperatur Berdasarkan Data T-D pada Sumur Observasi dalam Kurun Waktu Tahunan

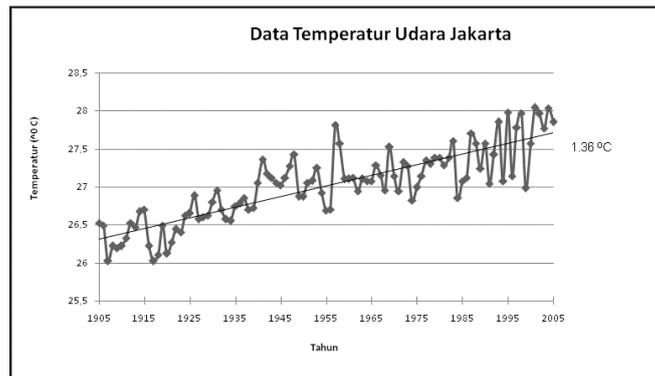
data-data tersebut dilakukan solusi analitik dan analisis grafis pada sumur-sumur pantau tersebut.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

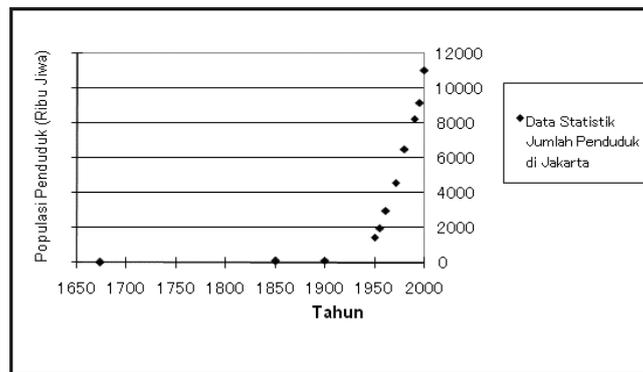
Hasil pengukuran data temperatur terhadap kedalaman (profil T-D) dari ketiga sumur ini (Gambar 3) menunjukkan pola kenaikan temperatur dengan nilai gradien yang berbeda-beda.

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan (2), profil T-D sumur terpilih menunjukkan perubahan temperatur yang bervariasi antara 0,8–1,4°C dalam periode 100

tahun (Gambar 4). Perubahan ini jauh lebih tinggi dari perubahan iklim global (*climate change*) di dunia yang memiliki nilai 0,5–0,8°C.<sup>1,2</sup> Nilai perubahan hasil perhitungan ini pun dapat dikonfirmasi dengan data perubahan suhu udara di Jakarta selama 100 tahun yang tercatat di stasiun klimatologi Jakarta<sup>6</sup> yang menunjukkan nilai kenaikan yang sama (Gambar 5), khususnya di wilayah Jakarta Utara (Gambar 4). Hasil ini menunjukkan bahwa kenaikan temperatur bawah permukaan di daerah Jakarta tidak hanya disebabkan oleh perubahan iklim dunia (*global warming*), tetapi juga disebabkan oleh faktor lain.



**Gambar 5.** Perubahan Temperatur Udara di Jakarta dalam Kurun Waktu 100 Tahun<sup>6</sup>



**Gambar 6.** Data Pertumbuhan Penduduk Jakarta<sup>7</sup>

Berdasarkan analisis data permodelan dan data pengukuran, terlihat satu pola yang serupa. Kedua data tersebut menunjukkan perubahan kenaikan temperatur yang signifikan sejak tahun 1950. Jika dibandingkan dengan data pertumbuhan penduduk Jakarta (Gambar 6), terdapat kemiripan dari masing-masing pola. Hal ini menunjukkan adanya kemungkinan penambahan kenaikan temperatur udara dan bawah permukaan akibat dari perkembangan kegiatan urbanisasi kota Jakarta.

#### KESIMPULAN

Perubahan panas bawah permukaan menunjukkan besaran  $1,4^{\circ}\text{C}$  yang sesuai dengan data meteorologi 100 tahun terakhir. Mengacu kepada data pemanasan global dunia yang mengindikasikan kenaikan  $0,5-0,7^{\circ}\text{C}$  selama 100 tahun, penelitian ini menunjukkan peningkatan temperatur bawah permukaan yang lebih tinggi dari pemanasan global rata-rata. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa temperatur bawah permukaan di daerah DKI Jakarta tidak hanya mengindikasikan

perubahan temperatur akibat perubahan iklim, tetapi juga disebabkan oleh faktor lain.

Perubahan ini akan memberikan dampak pada kehidupan di masa mendatang. Adaptasi dapat mengurangi risiko yang disebabkan oleh perubahan iklim. Strategi adaptasi memerlukan integrasi kebijakan pada sektor dan proses rencana pembangunan agar dapat berjalan dengan efektif.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Masno Ginting, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia atas bimbingan dan arahnya dalam penulisan karya tulis ilmiah ini. Ir. Haris Pindratno, M.M., Pemerintah Daerah Khusus Ibukota Jakarta dan Lambok M. Hutasoit Ph.D., Institut Teknologi Bandung untuk izin pengukuran lapangan dan saran-sarannya. Ir. Abdurahman Assegaf, M.T., Universitas Trisakti Jakarta; Dr. Akinobu Miyakoshi, Geological Survey of Japan, AIST; Prof. Makoto Yamano, ERI The University of Tokyo; Prof. Yasuo Sakura, *Chiba University*;

dan Prof. Makoto Taniguchi, *RIHN, Kyoto-Japan* untuk dukungan dan masukannya. Penelitian ini dibiayai oleh Riset Kompetitif LIPI dan *project 2-4 "Human impacts on urban subsurface environment"*, *Research Institute for Humanity and Nature (RIHN) Japan*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- <sup>1</sup>Huang S., Pollack, H.N., Shen, P.Y. 2000. Temperature trends over the past five centuries reconstructed from borehole temperatures. *Nature* 403: 756–758.
- <sup>2</sup>Hansen, J., Lebedeff S. 1987. Global trends of measured surface air temperature. *Journal of Geophysics Research* 92: 13345–13372.
- <sup>3</sup>Goto, S., Kim H.C., Uchida Y., and Okubo Y. 2005. Reconstruction of the ground surface temperature history from the borehole temperature data in the southeastern part of the Republic of Korea. *J. Geophys. Eng* 2: 312–319.
- <sup>4</sup>Carslaw H.S., Jaeger J.C. 1959. *Conduction of Heat in Solids*, second ed. Oxford University Press, New York.
- <sup>5</sup>Tarantola A. 1987. *Inverse problem theory: Methods for data fitting and model parameter estimation*. Elsevier Amsterdam.
- <sup>6</sup>Kementerian Lingkungan Hidup Negara Kesatuan Republik Indonesia, Badan Meteorologi Indonesia, NOA. 2007. *Data Temperatur Udara DKI Jakarta*. KLH, Jakarta.
- <sup>7</sup>Biro Pusat Statistik Negara Kesatuan Republik Indonesia 2005. *Jakarta Dalam Angka*. BPS, Jakarta