

Analisis Fenomena Pulau Panas Perkotaan Kota Bandung Menggunakan Google Earth Engine

Urban Heat Island Phenomenon Analysis of Bandung Metropolitan using Google Earth Engine

Muhammad Malik Ar Rahiem^{1*}, Muhamad Riza Fakhlevi², Muhammad Iqbal Hekmatyar³

¹Institute of Applied Geoscience, Technische Universität Darmstadt, Jerman

² Pusat Teknologi Satelit, Lembaga Penerbangan dan Aeronautika Nasional (LAPAN)

³ Fakultas Pendidikan Matematika IPA (FPMIPA) Universitas Pendidikan Indonesia

^{*}E-mail: malikarrahiem91@gmail.com

ABSTRAK

Pulau Panas Perkotaan (*Urban Heat Island*) adalah fenomena antropogenik akibat pengaruh urbanisasi. Kawasan perkotaan yang terbangun memiliki temperatur yang lebih hangat dibandingkan kawasan sekitarnya. Fenomena Pulau Panas Perkotaan di Kota Bandung diteliti menggunakan data Suhu Permukaan Tanah (*Land Surface Temperature*) yang diakuisisi dari satelit Landsat 8. Lima tahun data satelit dianalisis menggunakan piranti daring Google Earth Engine untuk menganalisis variasi temporal Pulau Panas Perkotaan di Kota Bandung dan sekitarnya. Suhu yang diakuisisi dari satelit dikonversi menjadi estimasi suhu permukaan dengan mempertimbangkan nilai *Normalized Difference Vegetation Index*. Hasil dari penelitian ini adalah peta persebaran rata-rata dan median suhu permukaan di Cekungan Bandung tahun 2013-2018, serta grafik seri waktu suhu permukaan di 3 jenis tata guna lahan yang mewakili daerah kota (sekitar Jalan Sudirman), hutan kota (Hutan Babakan Siliwangi), dan hutan (Tamah Hutan Raya Djuanda). Suhu rata-rata Kota Bandung pada tahun 2013-2018 adalah 26,93 °C (median seluruh data) dan 25,57°C (rata-rata seluruh data). Sementara perbandingan berdasarkan tata guna lahan; daerah kota memiliki suhu permukaan rata-rata 27,30 °C, daerah hutan kota memiliki suhu 21,31°C, dan daerah hutan memiliki suhu 18,60°C. Peta persebaran suhu panas permukaan dari citra Landsat 8 menunjukkan bahwa daerah hutan secara konsisten memiliki suhu paling rendah, diikuti dengan hutan kota, dan kemudian daerah kota menjadi area yang paling panas dengan suhu maksimal hingga 33,73°C. Penggunaan Google Earth Engine yang berbasis komputasi awan sangat memudahkan pengolahan data citra satelit dalam jumlah besar yang selama ini tidak memungkinkan dilakukan dengan cara konvensional (mengunduh dan memproses di komputer).

Kata kunci: Urban Heat Island, Google Earth Engine, Bandung, Suhu Permukaan

ABSTRACT

Urban heat island is an anthropogenic phenomenon which occurs due to urbanization. Built up urban area has significantly higher temperature compare to the surroundings. Urban heat island phenomenon in Bandung Metropolitan, capital city of West Java, Indonesia was observed and analyzed using Brightness Temperature data obtained from Landsat 8 satellite. Five years of data from 2013 to 2018 are analyzed using Google Earth Engine, an online platform to analyze remote sensing data, to analyze temporal variation of urban heat island in Bandung. Acquired temperature data from satellite was converted into land surface temperature considering the Normalized Difference Vegetation Index value. The result of this research was distribution maps of land surface temperature in Bandung Basin of year 2013-2018, and time-series graphic showing the land surface temperature in three different land covers from 2013 to 2018. Average temperature of Bandung City was 26,9 °C (average from median value) and 25,5 °C (average from mean value). Meanwhile, according to the land cover, the city consistently has the highest meantemperature 27,94°C, the city forest has mean temperature of 22,57°C, and the forest has the lowest mean temperature of 19,33°C. Land Surface Temperature map distribution shown that the city is the warmest region compared to the surroundings with maximum temperature of 33,73°C. The utilization of Google Earth Engine which is cloud computing based was really powerful to process huge amount of satellite imagery data. The analysis that was done in this research was not really possible to be conducted conventionally (download and process in personal computer).

Keywords: Urban Heat Island, Google Earth Engine, Bandung, Land Surface Temperature

1. PENDAHULUAN

Kota Bandung dikenal sebagai kota pegunungan yang sejuk dan nyaman. Namun beberapa tahun ke belakang ini, suhu kota semakin tidak menentu dan bahkan bisa sangat panas (Iqbal, 2017). Penelitian dari

Widya Ningrum dan Ida Narulita (Ningrum & Narulita, 2018) menunjukkan peningkatan suhu rata-rata Kota Bandung antara tahun 2005 hingga tahun 2016 sebesar 1,3 °C. Dugaan utamanya tentu karena perubahan tata guna lahan. Semakin banyak lahan hijau yang tergantikan oleh bangunan permanen dan jalan beraspal.

Beberapa studi pun menunjukkan hubungan antara perubahan tata guna lahan dengan suhu permukaan (Foley dkk., 2005; Ravanelli dkk., 2018). Konsentrasi bangunan dan permukiman di kawasan urban mengakibatkan kawasan ini menyerap lebih banyak panas sehingga suhunya lebih tinggi dari sekitarnya. Jika diamati menggunakan sensor temperatur, kawasan ini seolah membentuk titik panas. Fenomena ini dikenal sebagai fenomena Pulau Panas Perkotaan atau *Urban Heat Island*. Dengan semakin mengancamnya pemanasan global, para perencana kota harus merespon efek Pulau Panas Perkotaan ini dengan lebih serius.

Fenomena Pulau Panas Perkotaan biasa diobservasi dengan mengukur suhu di permukaan melalui stasiun cuaca. Namun dengan keterbatasan alat yang ada di Indonesia, cara ini tidak begitu memungkinkan. Cara lain yang biasa digunakan adalah dengan memanfaatkan citra satelit yang mampu mengakuisisi data panas inframerah sehingga bisa mendapatkan data suhu panas permukaan tanah. Cara biasa yang dilakukan adalah membandingkan data suhu panas permukaan dari dua atau tiga tahun yang berbeda dengan dua atau tiga tahun interval (Ramdani & Setiani, 2014; Wibowo & Rustanto, 2013; Tursilowati, 2010). Teknik ini dilakukan mengingat besarnya ukuran data satelit sehingga tidak memungkinkan pengolahan banyak data dalam sekali waktu.

Hal ini kemudian menjadi kendala besar dalam pemanfaatan data citra satelit. Seiring dengan perkembangan teknologi dan semakin baiknya resolusi gambar yang diambil oleh satelit, ukuran data semakin membengkak, sehingga membutuhkan tenaga komputasi yang tinggi (Ravanelli dkk., 2018). Oleh karena itu perlu ada perubahan perspektif dalam mengolah data citra satelit, yaitu dengan memanfaatkan teknologi komputasi awan.

Dalam penelitian ini, fenomena Pulau Panas Perkotaan di kota Bandung tahun 2013-2018 akan diobservasi dan dianalisis dengan menggunakan piranti lunak daring Google Earth Engine (GEE) (Gorelick dkk., 2017). Google Earth Engine adalah fasilitas komputasi awan yang didesain untuk menyimpan dan memproses *big-data* kebumih (jumlah data yang ada skalanya Petabyte, >1000 Terrabyte). Ketika NASA membuka akses data Landsat pada tahun 2008, Google mengarsip dan menaunkannya dengan fasilitas komputasi awan yang tersedia terbuka, bisa digunakan siapa saja. (Mutanga & Kumar, 2019). Dengan GEE maka pengolahan citra satelit tidak lagi dilakukan secara konvensional; mengunduh dan memproses, tapi dengan cara menyusun naskah pemrograman untuk memerintahkan komputer super GEE untuk mengolah data menjadi seperti yang diinginkan.

Penggunaan Google Earth Engine menghemat sangat banyak waktu pengolahan dan juga memungkinkan pengguna untuk mengolah data berukuran besar yang sebelumnya hanya mungkin diolah menggunakan komputer berkapasitas prosesor tinggi. Metode yang umum digunakan dalam menganalisis data temporal biasanya adalah membandingkan dua citra yang diambil di waktu berbeda. Dalam makalah ini, data yang digunakan adalah semua citra Landsat 8 yang diakuisisi antara tahun 2013-2018. Dengan menganalisis citra yang sedemikian banyak, bisa didapatkan gambaran temporal yang lebih akurat dan bisa dibuat suatu seri waktu pengukuran.

2. METODE

2.1 Data dan Peralatan

Data suhu permukaan tanah didapat dari citra Landsat 8 dengan filter tanggal 1 Januari 2013 hingga 19 Mei 2019. Satelit Landsat 8 merupakan satelit milik Amerika Serikat yang diluncurkan pada tahun 2013. Satelit ini merupakan penerus dari satelit Landsat 1, 2, 3, 4, 5, dan 7. Satelit Landsat 9 direncanakan akan diluncurkan pada tahun 2020.

Satelit Landsat 8 dilengkapi dengan sensor panas inframerah (TIRS – *Thermal Infrared Sensor*), yang merekam data pada Kanal 10 dan 11 dengan panjang gelombang antara 10.6 – 11.19 μm dan 11.5 – 12.51 μm . Keduanya memiliki resolusi spasial 100 meter, tapi disampel ulang menjadi resolusi 30 meter.

Citra Landsat 8 dipilih karena resolusi spasialnya yang paling baik, meskipun resolusi temporalnya tidak sebaik citra MODIS yang setiap hari mempublikasikan data baru. Meskipun demikian, citra MODIS memiliki resolusi spasial yang tak sebaik citra Landsat, yaitu 1 km. Citra Landsat 8 memiliki resolusi temporal 16 hari. Citra lain yang bisa digunakan adalah citra Sentinel-2 dan Sentinel-3 dari European Space Agency (ESA) (Malenovsky dkk., 2012).

Di Bandung, secara total diambil 125 citra dengan filtrasi cakupan awan maksimal 30%, tertanggal 21 Mei 2013 hingga 4 April 2019. Kesemua data ini diolah dengan menggunakan piranti daring Google Earth Engine dengan naskah pemrograman terlampir dalam tautan berikut:

<https://github.com/malikarrahiem/urbanheatislandbandung>.

Di dalam repositori tersebut, juga tersedia data-data lain yang memungkinkan penelitian ini untuk direplikasi oleh siapapun.

Kode pemrograman ini merupakan modifikasi dari kode pemrograman yang telah ada sebelumnya (Cak, 2017). Data ini kemudian dibandingkan dengan data yang dipublikasikan oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG).

Peta dan visualisasi dibuat menggunakan piranti lunak ArcGIS 10.5.1.

2.2 Teori

Sensor panas inframerah (TIRS) yang merekam data pada Kanal 10 dan 11 bermanfaat untuk melakukan pemetaan suhu permukaan dan untuk mengestimasi kelembaban tanah. TIRS mendeteksi panjang gelombang yang diemisikan Bumi, dengan mengetahui bahwa intensitas gelombang ini tergantung suhu permukaan. Panjang gelombang inframerah ini di luar jangkauan pandangan manusia.

Data disaring dengan menggunakan batas ambang awan 30%, meskipun kemudian didapatkan nilai-nilai sangat rendah (negatif) yang diinterpretasikan sebagai nilai awan. Kemudian nilai NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) dianalisis menggunakan nilai Kanal 4 dan Kanal 5.

Beberapa studi mendeskripsikan tentang cara mengestimasi suhu permukaan tanah menggunakan data citra satelit. Salah satu yang paling sering digunakan adalah persamaan berikut (Artis & Carnahan, 1982).

$$T = TB / [1 + (\lambda * \frac{TB}{c2}) * \ln(e)] \dots \dots \dots (1)$$

Di mana: TB adalah Temperatur keterangan cahaya yang didapat dari Kanal 10, λ adalah panjang gelombang emisi, $c2$ adalah $h*c/s=1.4388*10^{-2}$ m K, h adalah konstanta Planck = $6.626*10^{-34}$ J s, s adalah konstanta Boltzmann = $1.38*10^{-23}$ J/K, c adalah kecepatan cahaya = $2.998*10^8$ m/s, dan e adalah emisivitas permukaan tanah.

Dalam metode ini, perhitungan emisivitas permukaan tanah menjadi cukup sulit karena setiap tata guna lahan memiliki nilai emisivitas yang berbeda. Oleh karena itu beberapa studi mengestimasi emisivitas permukaan tanah dengan menggunakan nilai NDVI (Sobrino, Jiménez-Muñoz, & Paolini, 2004; Valor & Caselles, 1996; Van De Griend & Owe, 1993).

Persamaan paling sederhana yang paling sering digunakan adalah persamaan dari berikut (Stathopoulou, Cartalis, & Petrakis, 2007):

$$e = 0.017 * PV + 0.963 \dots \dots \dots (2)$$

Di mana PV adalah proporsi vegetasi dan bisa dikalkulasi menggunakan nilai NDVI:

$$PV = \left[\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right]^2 \dots \dots \dots (3)$$

Persamaan ini dipilih, terlepas dari banyaknya persamaan lain yang telah dikembangkan, karena kesederhanaannya dan kemudahannya untuk dimasukkan sebagai kode Google Earth Engine. Selain itu persamaan ini juga biasa digunakan di kawasan urban.

Kedua persamaan ini dimasukkan ke dalam kode Google Earth Engine untuk menganalisis data Kanal 10 dan Kanal 11 dari 125 seri citra Landsat 8 dari tanggal 21 Mei 2013 hingga 4 April 2019.

2.3 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di Cekungan Bandung, Jawa Barat, yang termasuk ke dalam 4 kabupaten/kota, yaitu Kota Bandung, Kota Cimahi, Kabupaten Bandung, dan Kabupaten Bandung Barat, dengan area fokus di Kota Bandung (**Gambar 1**). Tiga plot area dipilih mewakili 3 jenis bentang alam di kota Bandung, yaitu kota, hutan kota, dan hutan. Area kota dipilih di sekitar Jalan Sudirman, area hutan kota dipilih di Hutan Babakan Siliwangi, dan area hutan dipilih di sekitar Maribaya. Pemilihan lokasi ini dengan asumsi bahwa tutupan lahan ini memiliki suhu yang berbeda.

Pada **Tabel-1** berikut ditampilkan nilai perbandingan antara suhu rata-rata di Cekungan Bandung dengan suhu rata-rata di Kota Bandung. Analisis median berarti nilai yang digunakan adalah nilai median dari 125 data, sementara analisis rata-rata berarti nilai yang digunakan adalah nilai rata-rata dari 125 data. Meskipun sudah dilakukan penyaringan awan, tetap didapatkan nilai-nilai negatif yang mengindikasikan keberadaan awan (misal di bagian pegunungan di selatan Cekungan Bandung). Oleh karena itu nilai minimal tidak ditampilkan. Secara rata-rata, suhu di Kota Bandung lebih panas dari pada suhu di sekitarnya, dengan perbedaan antara 4,65 – 4,8 °C.

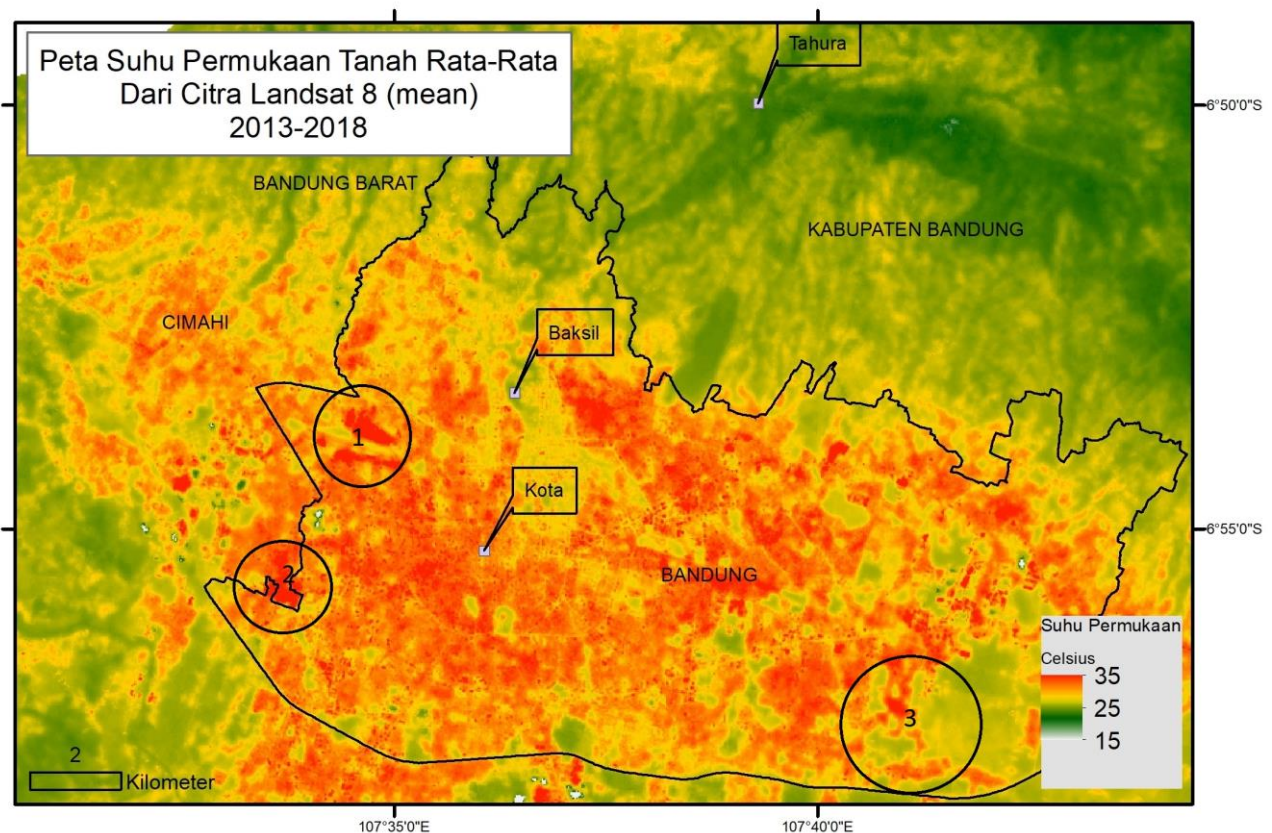
Tabel 6. Tabel 1 Perbandingan suhu Cekungan Bandung dengan suhu Kota Bandung tahun 2013-2018

	Analisis Median		Rata-rata	
	Rata-rata (°C)	Maksimal (°C)	Rata-rata (°C)	Maksimal (°C)
Cekungan Bandung	22,28	33,74	20,77	33,61
Kota Bandung	26,93	33,73	25,57	32,88
BMKG	-	-	25,53 ^(*)	

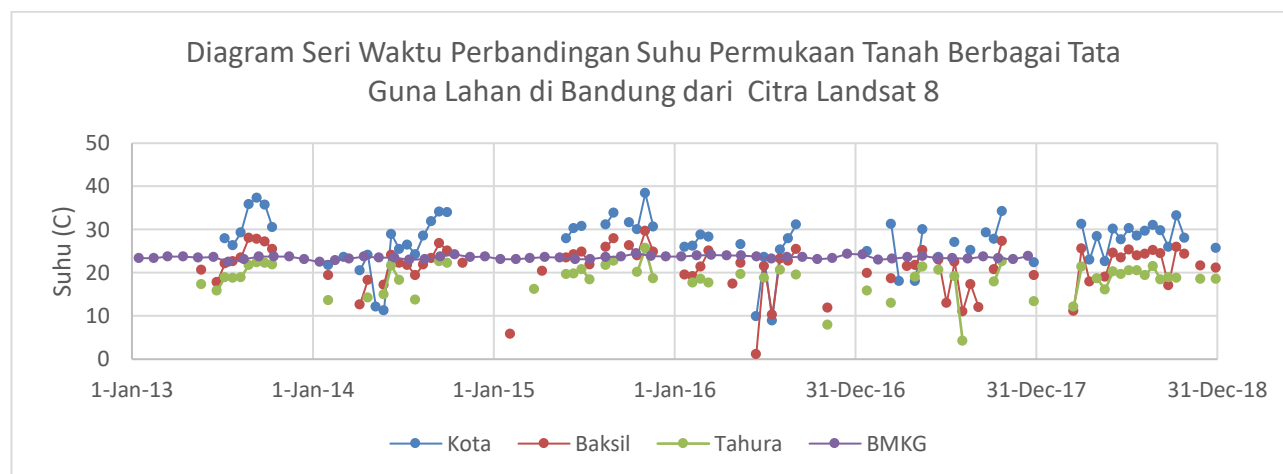
(*) keterangan data BMKG bertanggal 2013-2017

3.2 Perbandingan Suhu Berdasarkan Tata Guna Lahan

Selanjutnya adalah membandingkan suhu permukaan tanah dari berbagai tata guna lahan di Cekungan Bandung. **Gambar 3** berikut adalah perbesaran dari Gambar 2 di atas. Di gambar ini terlihat bahwa daerah kota berada di wilayah berwarna merah yang bersuhu lebih panas. Hutan kota Babakan Siliwangi (Baksil) yang berpohon dan berada di bantaran Ci Kapundung memiliki warna kuning kehijauan yang mengindikasikan suhunya lebih rendah. Sementara kawasan Tahura di bagian utara berwarna hijau gelap yang mengindikasikan suhu yang paling rendah. Beberapa wilayah yang berwarna merah pekat kemungkinan besar terkait dengan kawasan bandara (1) dan industri (2). Sementara itu di bagian tenggara Kota Bandung bisa diamati area panas yang mulai menyebar karena perubahan tata guna lahan dari persawahan menjadi pemukiman di kawasan Gedebage dan sekitarnya (3).



Gambar 3 Peta suhu permukaan tanah rata-rata Kota Bandung tahun 2013-2018



Gambar 4 Diagram seri waktu perbandingan suhu permukaan tanah berbagai tata guna lahan di Bandung

Pada **Gambar 4**, suhu permukaan tanah di kota, hutan kota, dan hutan di Kota Bandung diplot ke dalam sebuah grafik seri waktu. Dari 121 data yang tersedia, terdapat 66 data di kota, 72 data di hutan kota, dan 58 data di hutan yang bisa digunakan. Hal ini karena keberadaan awan yang mengakibatkan data bernilai minus atau sangat rendah. Data pertama tertanggal 21 Mei 2013 dan data terakhir tertanggal 29 Desember 2018.

Suhu rata-rata di kota adalah 27,30 °C, sementara di hutan kota adalah 21,31 °C, dan di hutan adalah 18,60°C. Grafik di atas juga menunjukkan bahwa suhu di kota secara konsisten lebih panas dari pada suhu di hutan kota, dan suhu di hutan.

Suhu rata-rata di setiap tata guna lahan ini dibandingkan terhadap suhu rata-rata yang dilaporkan oleh BMKG. Menurut BMKG, suhu rata-rata di Kota Bandung pada antara tahun 2013-2017 adalah 23,53°C.

Setiap tahun, suhu paling panas tercatat di bulan September – November, sementara trend dingin tidak teramati. Ada banyak data kosong sehingga tidak memungkinkan pembuatan grafik yang menerus. Hal ini mengakibatkan data variasi temporal tidak bisa diinterpretasi dengan baik. Selain itu banyak juga data yang bernilai negatif atau sangat rendah, sehingga pengeplotan diagram seri waktu menjadi tidak menerus.

Dapat disimpulkan bahwa pembuatan diagram seri waktu menggunakan citra satelit cukup sulit untuk dilakukan. Perlu dilakukan banyak teknik filtrasi agar data yang dihasilkan lebih baik. Meski demikian, data citra satelit yang dikompositkan (seperti pada **Gambar 3**) memberikan gambaran spasial yang sangat baik yang bermanfaat bagi para perencana kota dalam merencanakan pengembangan kota dan daerah. Hal ini tentu memberikan gambaran lebih jelas daripada data yang tersedia sekarang, yaitu data stasiun BMKG.

Dalam penelitian ini, resolusi temporal yang digunakan sangat kasar, sesuai dengan resolusi citra Landsat 8, yaitu 16 hari. Ke depannya data kosong dapat diisi oleh citra satelit yang memiliki resolusi temporal lebih baik, misal citra MODIS yang memiliki resolusi temporal 1 hari. Sangat menarik juga apabila terdapat data sensor suhu yang terpasang di permukaan yang dipasang di banyak tempat di Kota Bandung.

3.3 Teknik Komputasi Berbasis Awan dan Repositori Daring

Dalam makalah ini digunakan teknologi pengolahan data citra satelit berbasis komputasi awan dengan Google Earth Engine. Teknik ini sudah berkembang pesat selama beberapa tahun belakangan dan mengubah cara pandang terhadap data satelit. Selain GEE yang berasal dari Amerika Serikat, Uni Eropa dengan program Copernicusnya juga membuat aplikasi serupa yang memungkinkan komputasi berbasis awan (K. Bereta dkk., 2019). Terdapat lima platform yang ditawarkan oleh Copernicus untuk mengolah data citra satelit, kesemuanya berbasis komputasi awan. Lima platform ini yaitu: Creodias, Sobloo, Mundi, Onda, dan Weekeo (Lachezar, Lyubka, Kolev Vasil, & Frye Stuart, 2018).

Namun dibandingkan dengan kelima platform ini, GEE masih lebih banyak digunakan karena forumnya yang hidup dan publikasi menggunakan GEE sudah cukup banyak. Dengan basis kode pemrograman, pengguna dapat dengan mudah memodifikasi program sesuai dengan keinginan. Pengguna juga dapat berbagi kode yang dimiliki, atau memodifikasi kode yang dibagikan pengguna lain.

Hal berbeda lain yang dilakukan dalam makalah ini adalah pemanfaatan repositori daring. Dengan memanfaatkan Github, yaitu platform repositori daring dari Amerika, peneliti bisa menyimpan data yang digunakan dalam penyusunan makalah. Peneliti juga dapat berbagi kode program untuk kemudian dapat dimanfaatkan peneliti lain. Pemanfaatan repositori daring merupakan implementasi dari sains terbuka yang sangat penting agar riset dapat mudah direplikasi oleh siapa saja.

4. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini fenomena Pulau Panas Perkotaan di Kota Bandung ditunjukkan dengan menganalisis 125 citra satelit dari tahun 2013 hingga 2018. Pengolahan citra satelit sebanyak ini tidaklah memungkinkan dengan cara konvensional akibat terbatasnya kapasitas pengolahan komputer. Namun keberadaan piranti lunak Google Earth Engine memungkinkan terlaksananya penelitian ini. Kota Bandung memiliki suhu yang lebih panas daripada sekitarnya. Suhu rata-rata Kota Bandung tahun 2013-2018 adalah antara 25,57 – 26,93 °C. Angka ini sedikit lebih rendah dari rata-rata yang dilaporkan oleh BMKG yaitu 25,53 °C, sementara suhu rata-rata di Cekungan Bandung tahun 2013-2018 adalah antara 20,77 – 22,28 °C. Fenomena Pulau Panas Perkotaan ini sangat berkaitan erat dengan tata guna lahan. Di kawasan kota, suhu rata-rata pada tahun 2013-2018 adalah 27,30 °C, sementara di kawasan hutan kota suhunya adalah 21,31 °C, dan di kawasan hutan suhu rata-ratanya adalah 18,60 °C.

Pengeplotan temperatur terhadap waktu tidak memberikan hasil yang memuaskan karena masih banyak data yang bernilai rendah dan negatif akibat tutupan awan. Selain itu jeda waktu antar data sangat panjang sehingga kemenerusan grafik tidak cukup baik. Meski demikian pembuatan peta komposit suhu panas permukaan menghasilkan peta persebaran spasial suhu permukaan yang sangat penting bagi para perencana kota untuk merencanakan pengembangan Kota Bandung ke depannya.

Penelitian ini hanya menggunakan satu basis data saja, yaitu data citra Landsat 8. Data tambahan hanyalah data dari BMKG yang persebaran spasialnya tidak cukup baik. Hal ini menimbulkan banyak kekurangan, terutama sulitnya menginterpretasi variasi temporal akibat kosongnya data. Untuk penelitian selanjutnya, sangat penting untuk mengelaborasi data-data yang ada, baik data citra satelit dengan resolusi temporal tinggi (misal citra MODIS), juga dengan data permukaan, baik data sensor BMKG, maupun data dari Pemerintah Kota Bandung dan Pemerintah Provinsi Jawa Barat.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada NASA dan USGS yang telah menyediakan data Landsat 8 secara gratis. Juga kepada Google yang telah mengembangkan piranti lunak Google Earth Engine yang memungkinkan banyak hal baru terwujud dalam penelitian ilmu kebumih.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Artis, D. A., & Carnahan, W. H. (1982). Survey of Emissivity Variability in Thermography of Urban Areas. *Remote Sensing of Environment*, 12, 17. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(82\)90043-8](https://doi.org/10.1016/0034-4257(82)90043-8)
- Cak, A. D. (2017, Desember). *Characterizing Temporal and Spatial Changes in Land Surface Temperature Across The Amazon Basin Using Thermal and Infrared Satellite Data*. Dipresentasikan pada American Geophysical Union, Fall Meeting 2017.
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., ... Snyder, P. K. (2005). Global Consequences of Land Use. *Science*, 309(5734), 570. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Iqbal, D. (2017, Oktober 19). Sisi Lain Perubahan Iklim, Cuaca di Kota di Jabar Makin Panas. *Mongabay*. Diambil dari <https://www.mongabay.co.id/2017/10/19/sisi-lain-perubahan-iklim-cuaca-di-kota-di-jabar-makin-panas/>
- K. Bereta, M. Koubarakis, D. Pantazi, G. Stamoulis, H. Caumont, U. Daniels, ... F. Wahyudi. (2019). Providing Satellite Data to Mobile Developers Using Semantic Technologies and Linked Data. *2019 IEEE 13th International Conference on Semantic Computing (ICSC)*, 348–351. <https://doi.org/10.1109/ICOSC.2019.8665579>
- Lachezar, F., Lyubka, P., Kolev Vasil, & Frye Stuart. (2018). *Challenges and Solutions for Utilizing Earth Observations in the “Big Data” era*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2391936>
- Malenovsky, Z., Rott, H., Cihlar, J., Schaepman, M. E., García-Santos, G., Fernandes, R., & Berger, M. (2012). Sentinels for science: Potential of Sentinel-1, -2, and -3 missions for scientific observations of ocean, cryosphere, and land. *Remote Sensing of Environment*, 120, 91–101. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.09.026>
- Mutanga, O., & Kumar, L. (2019). Google Earth Engine Applications. *Remote Sensing*, 11(5), 591. <https://doi.org/10.3390/rs11050591>

- Ningrum, W., & Narulita, I. (2018). Deteksi Perubahan Suhu Permukaan Menggunakan Data Satelit Landsat Multi-Waktu Studi Kasus Cekungan Bandung. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19, 145. <https://doi.org/10.29122/jtl.v19i2.2250>
- Ramdani, F., & Setiani, P. (2014). Spatio-temporal analysis of urban temperature in Bandung City, Indonesia. *Urban Ecosystems*, 17(2), 473–487. <https://doi.org/10.1007/s11252-013-0332-1>
- Ravanelli, R., Nascetti, A., Cirigliano, R., Di Rico, C., Leuzzi, G., Monti, P., & Crespi, M. (2018). Monitoring the Impact of Land Cover Change on Surface Urban Heat Island through Google Earth Engine: Proposal of a Global Methodology, First Applications and Problems. *Remote Sensing*, 10(9), 1488. <https://doi.org/10.3390/rs10091488>
- Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., & Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 90(4), 434–440. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.02.003>
- Stathopoulou, M., Cartalis, C., & Petrakis, M. (2007). Integrating Corine Land Cover data and Landsat TM for surface emissivity definition: application to the urban area of Athens, Greece. *International Journal of Remote Sensing*, 28(15), 3291–3304. <https://doi.org/10.1080/01431160600993421>
- Tursilowati, L. (2010). Pulau panas perkotaan akibat perubahan tata guna dan penutup lahan di bandung dan bogor. *Jurnal Sains Dirgantara*, 3(1). Diambil dari http://jurnal.lapan.go.id/index.php/jurnal_sains/article/view/640/558
- Valor, E., & Caselles, V. (1996). Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American areas. *Remote Sensing of Environment*, 57(3), 167–184. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(96\)00039-9](https://doi.org/10.1016/0034-4257(96)00039-9)
- Van De Griend, A. A., & Owe, M. (1993). On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. *International Journal of Remote Sensing*, 14(6), 1119–1131. <https://doi.org/10.1080/01431169308904400>
- Wibowo, A., & Rustanto, A. (2013). SPATIAL - TEMPORAL ANALYSIS OF URBAN HEAT ISLAND IN TANGERANG CITY. *Indonesian Journal of Geography*, 45, 15.