

## Prediksi Suhu Permukaan Lahan dengan Memanfaatkan Teknologi Citra Multi Temporal dan Permodelan *Cellular Automata* di DKI Jakarta

Adi Febrianto ✉ Anang Wahyu Sejati

Magister Departemen Perencanaan Wilayah dan Kota, Universitas Diponegoro, Indonesia

### Info Artikel

*Sejarah Artikel:*

Diterima Februari 2021

Disetujui April 2021

Dipublikasikan Mei 2021

*Keywords:*

*Remote Sensing, Landcover*

*Change, Land Surface*

*Temperature, Cellular*

*Automata, SUHI*

*Prediction.*

### Abstrak

Fungsi Kota yang beragam dan fasilitas yang lengkap membuat Jakarta menjadi magnet destinasi urbanisasi penduduk. Tingginya angka pertumbuhan penduduk membuat kebutuhan lahan menjadi tinggi dan berakibat besarnya alih fungsi lahan terbuka menjadi lahan terbangun yang mengakibatkan naiknya suhu permukaan lahan. Tujuan penelitian ini adalah melihat pola perubahan tutupan lahan dan intensitas suhu permukaan lahan antara tahun 2009 dan 2019 serta memprediksi kondisi yang akan terjadi dimasa yang akan datang tepatnya Tahun 2030. Metode yang dipergunakan adalah menghitung dinamika tutupan lahan dengan klasifikasi terbimbing, penghitungan suhu permukaan lahan dengan memanfaatkan sensor termal citra dan selanjutnya dilakukan prediksi tutupan lahan dengan metode *cellular automata*. Hasil prediksi tutupan lahan juga dipergunakan sebagai masukan dalam memprediksi suhu permukaan lahan. Hasil yang diperoleh adalah tutupan lahan dari tahun 2009 hingga 2019 memperlihatkan penambahan luasan area terbangun dari 83% menjadi 87%. Penambahan area terbangun telah mengokupasi lahan terbuka yang mengakibatkan hilangnya area suhu rendah  $<25^{\circ}\text{C}$  dan munculnya suhu  $>35^{\circ}\text{C}$  dengan peningkatan rata-rata suhu sebesar  $1,4^{\circ}\text{C}$ . Selanjutnya prediksi Tutupan Lahan dengan skenario pengendalian mampu mengendalikan area terbangun, menambah area vegetasi dan perairan. Namun demikian skenario tersebut belum cukup efektif untuk menahan laju panas permukaan kota Jakarta.

### Abstract

Various functions of the city and complete facilities have made Jakarta a magnet for urbanizing. The high rate of population growth makes the land demands to be high and consequently the amount of open space land conversion into built up which resulting in an increase of land surface temperature. The purpose of this research is to see the pattern of land cover change and the intensity of land surface temperature between 2009 and 2019 and to predict conditions that will occur in the future, precisely in 2030. The method used is calculating the dynamics of land cover with supervised classification, calculating the land surface temperature by utilizing a thermal image sensor and then predicting land cover using the *cellular automata* method. The prediction results of land cover are also used as input in predicting land surface temperatures. The results obtained are that the land cover from 2009 to 2019 shows an increase in the area of the built up area from 83% to 87%. The addition of built up area has occupied open land resulting in the loss of low temperature areas  $<25^{\circ}\text{C}$  and the emergence of temperatures  $>35^{\circ}\text{C}$  with an average temperature increase of  $1.4^{\circ}\text{C}$ . Furthermore, the prediction of land cover with control scenarios is able to control the built-up area by increasing the area of vegetation and water. However, this scenario is not effective enough to restrain the surface heat rate of Jakarta.

© 2021 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:

Gedung C1 Lantai 2 FIS Unnes

Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang, 50229

E-mail: [geografiunnes@gmail.com](mailto:geografiunnes@gmail.com)

ISSN 2252-6285

## PENDAHULUAN

Tingginya angka urbanisasi saat ini menjadi fokus bagi perencana perkotaan untuk menerapkan berbagai solusi untuk dapat mengendalikan *multiplier effect* yang ditimbulkan. Urbanisasi tidak hanya terjadi melalui pergeseran aspek demografi dari wilayah kurang padat menjadi padat, tetapi juga terjadi dengan perubahan lahan yang bersifat pedesaan ke sifat perkotaan (McGranahan, 2015). Tingginya angka urbanisasi dibuktikan melalui perkembangan data yang ada saat ini, bahwa pada abad ke-21 jumlah penduduk yang tinggal di perkotaan sudah mencapai angka 50% dan terus meningkat diperkirakan menjadi 70% di Tahun 2050 (Bokaie et al., 2016).

Peningkatan tersebut tentunya berdampak kepada keseimbangan lingkungan akibat aktivitas manusia dalam memenuhi kebutuhannya (Zhao et al., 2014). Tingginya jumlah penduduk selalu diimbangi dengan kebutuhan lahan yang terus meningkat. Lahan yang jumlahnya tetap atau bahkan terus berkurang, berbanding terbalik dengan kebutuhan ruang aktivitas masyarakat akan mengakibatkan perubahan penggunaan lahan (Fajarini et al., 2015). Pergeseran penggunaan lahan sebagai aspek penting pemenuhan kebutuhan dasar aktivitas manusia, membuat nilai lahan semakin tinggi dan terjadi persaingan antar pengguna lahan.

Perubahan dan keseimbangan lingkungan akibat dari urbanisasi yang tidak terkendali, menyebabkan perubahan signifikan iklim mikro dan suhu lingkungan (Li et al., 2019, Kikon et al., 2016). Pertumbuhan urbanisasi merubah tutupan lahan kedalam struktur antropogenik seperti hilangnya wilayah bervegetasi dan badan air menjadi daerah terbangun (Kikon et al., 2016). Berkurangnya wilayah bervegetasi yang memiliki kemampuan menyerap air akan meningkatkan Suhu Permukaan Lahan sebagai penyebab dari *Urban Heat Island* (UHI) (Zhang et al., 2017., Sejati et al., 2019). *Urban Heat Island* adalah kondisi dimana suhu daerah perkotaan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan daerah sekitarnya atau pedesaan (Zhao et al., 2014).

*Urban Heat Island* tidak hanya terjadi negara industri maju saja seperti di Eropa atau Amerika. Fenomena UHI juga terjadi diseluruh penjuru dunia termasuk kota besar di negara berkembang Asia Tenggara seperti Jakarta, Bangkok dan Manila (Estoque et al., 2017). Jakarta sebagai ibukota Negara Kesatuan Republik Indonesia, tidak hanya memiliki fungsi sebagai pusat pemerintahan, melainkan sebagai pusat perdagangan, jasa dan hunian. Kompleksitas fungsi Jakarta, diikuti dengan pembangunan fasilitas perkotaan yang lengkap untuk menunjang kegiatan penduduknya. Hal tersebut menjadi salah satu faktor penarik penduduk dari luar untuk tinggal dan bekerja di Jakarta. Berdasarkan data BPS, dengan luas 642 Km<sup>2</sup>, penduduk Jakarta di tahun 2019 mencapai angka 10,5 juta jiwa, padahal berdasarkan sensus penduduk tahun 2010 penduduknya hanya berjumlah 9,6 juta jiwa. Hal ini menunjukkan bahwa tingginya laju pertumbuhan penduduk tentunya tidak hanya terjadi secara alamiah, melainkan juga secara non alamiah.

Semakin tinggi penduduk Jakarta mempengaruhi pola perubahan tutupan lahan dan *Urban Heat Island*. Lahan terbuka Jakarta menurut Rudi (2016), terus mengalami penurunan luas dan berubah menjadi lahan terbangun sejak tahun 1965 hingga 2015. Tahun 1965 lahan terbuka masih sebesar 37,2% namun dua puluh tahun kemudian menjadi 25,85% dan terus menyusut hingga tahun 2000 diangka 9%, sebelum kembali meningkat di tahun 2015 menjadi 9,98%. Berbanding terbalik dengan penurunan luas lahan terbuka, terjadi peningkatan Suhu Permukaan Lahan di Jakarta. Berdasarkan penelitian Tursilowati et al., (2012), di Jakarta telah terjadi distribusi peningkatan suhu permukaan sebesar 4-8°C dari tahun 1989 sampai dengan tahun 2002.

Beberapa penelitian telah dilakukan mengingat besarnya efek urbanisasi terutama pada sisi perubahan tutupan lahan dan peningkatan suhu perkotaan. Meskipun demikian penelitian khususnya mengenai Suhu Permukaan Lahan dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh di Jakarta selama ini terbatas kepada identifikasi masalah dan upaya

mitigasinya. Seperti yang dilakukan oleh Tursilowati di tahun 2012 yang mengidentifikasi perkembangan hubungan antara Tutupan Lahan dengan Suhu Permukaan Lahan di tahun 1989 – 2002. Meneruskan penelitian sebelumnya, Rushayati & Hermawan (2013) melakukan identifikasi pada rentang tahun 2006-2010. Lain hal dengan Limas et al (2014) dan Rushayati et al (2016), yang melakukan kajian tentang upaya mitigasi SUHI perkotaan di Jakarta. Keduanya sama-sama menyoroti tentang perlunya peningkatan lahan terbuka dan penerapan teknologi dalam pengendalian SUHI di Jakarta.

Penelitian serupa di Indonesia tidak berhenti hanya sampai identifikasi saja. Dengan aplikasi metode *celular automata* yang mampu memprediksi pola tutupan lahan dimasa mendatang, beberapa peneliti telah menerapkan aplikasi tersebut pada penelitiannya. Sejati et al. (2019), menerapkan metode tersebut dalam memprediksi tutupan lahan Kawasan Metropolitan Semarang di Tahun 2038 sebagai upaya untuk mengendalikan peningkatan Suhu Permukaan Lahan. Namun sampai saat ini belum ditemukan penelitian di Indonesia yang memprediksi Suhu Permukaan Lahan dengan bersumber dari data prediksi tutupan lahan. Berbeda dengan penelitian Firozjaei et al (2018), telah mampu memprediksi suhu permukaan lahan di Kota Babol, Iran, yang diperoleh dari hasil prediksi tutupan lahan. Hanya saja pada

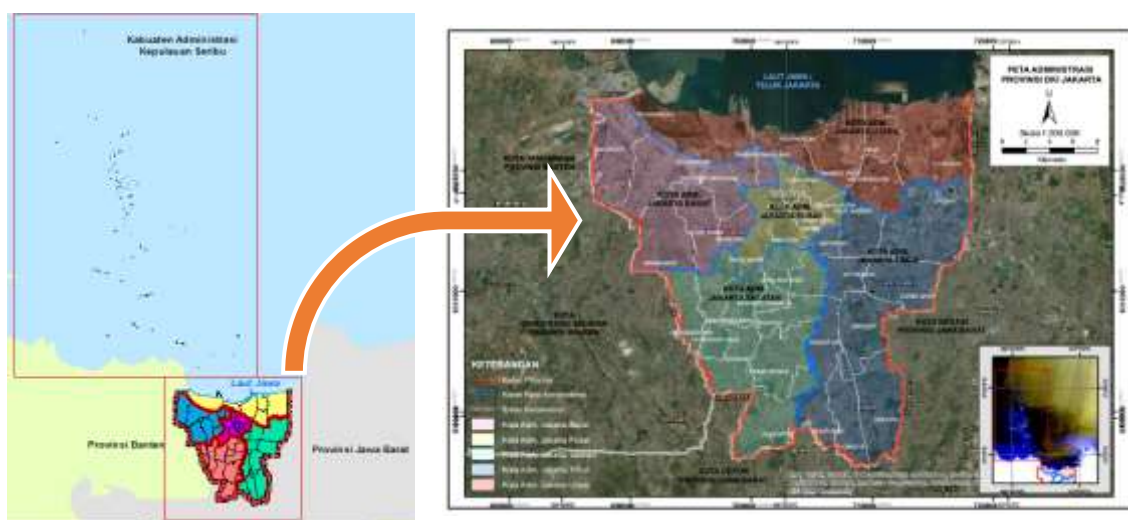
penelitian tersebut tidak memanfaatkan data sensor termal inframerah untuk mendapatkan suhu permukaan melainkan dengan sensor lainnya. Sehingga penelitian ini tidak hanya berfokus kepada identifikasi masalah, melainkan memprediksi kemungkinan tutupan lahan dimasa depan dan melihat kemungkinan peningkatan suhu permukaan lahan di Jakarta.

Tujuan penelitian ini adalah melihat pola perubahan tutupan lahan dan intensitas suhu permukaan lahan antara tahun 2009 dan 2019 serta memprediksi kondisi yang akan terjadi dimasa yang akan datang tepatnya Tahun 2030 di Provinsi DKI Jakarta.

## METODE

### Data dan Lokasi Studi

Provinsi DKI Jakarta terdiri atas 6 wilayah yang dipisahkan menjadi Daerah Daratan dan Daerah Kepulauan. Daerah Daratan yaitu wilayah yang berada di daratan Pulau Jawa dan terbagi atas 5 Kota Administrasi (Jakarta Barat, Jakarta Pusat, Jakarta Selatan, Jakarta Timur, dan Jakarta Utara), sedangkan Daerah Kepulauan berupa Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu. Namun dalam penelitian ini pembahasan difokuskan kepada daerah Kota Administrasi yang terletak di daratan (Gambar 1).



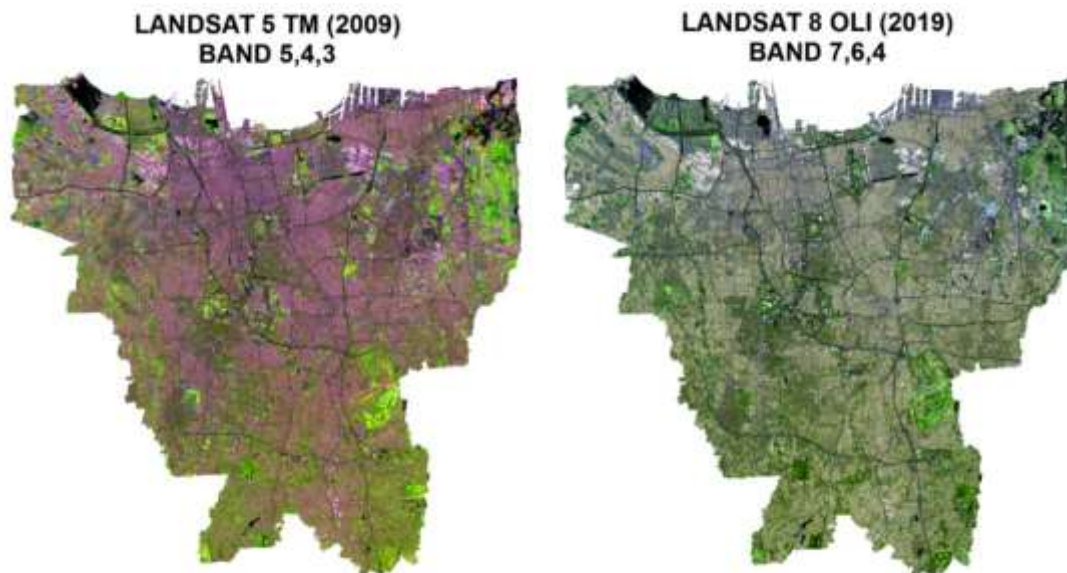
Gambar 1. Pembagian Wilayah Provinsi DKI Jakarta dan Fokus Lokasi Penelitian

Data yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah Citra Landsat 5 TM dan 8 OLI Nomor Path 122 dan Rows 64. Data Landsat diperoleh melalui *The US Geological Survey* (USGS) dalam situs <https://earthexplorer.usgs.gov/>, dengan tanggal perekaman tanggal 29 Juli 2009 dan 25 Juli 2019. Tanggal dan bulan perekaman dipilih waktu yang berdekatan agar tidak terjadi perbedaan musim karena sangat mempengaruhi hasil perekaman. Selain itu, pemilihan tahun perekaman dipilih untuk mewakili waktu pra penetapan Peraturan Daerah Rencana Tata Ruang Wilayah Provinsi, saat penelitian ini dilaksanakan dan saat berakhirnya peraturan daerah tersebut.

#### Analisis dan Klasifikasi Tutupan Lahan

Analisis Penggunaan/Tutupan Lahan dilakukan dengan melakukan klasifikasi secara terbimbing terhadap citra satelit. Klasifikasi tutupan lahan perkotaan citra landsat diperlukan *composite band* yang berbeda yaitu Band 5-4-3 pada landsat 6 TM dan Band 7-6-4 untuk Landsat 8 OLI (Gambar 2).

Dalam klasifikasi tutupan lahan terbimbing sistem yang dipergunakan adalah Klasifikasi dengan metode *Support Vector Machine* (SVM). SVM merupakan sistem klasifikasi berbasis statistik non parametrik yang dilengkapi algoritma dalam penentuan kelas lahan (Ullah et al., 2019). Klasifikasi SVM dipergunakan karena memiliki akurasi dan koefisien kappa yang paling baik jika dibandingkan dengan klasifikasi tutupan lahan lainnya (Setyawan et al, 2014).



Gambar 2. *Composite Band* Landsat Untuk Tutupan Lahan Perkotaan

#### Analisis Suhu Permukaan Lahan

*Urban Heat Island* (UHI) dikenal sebagai hubungan antara daerah perkotaan yang luas dan suhu permukaan secara signifikan mempengaruhi perbedaan suhu antara daerah perkotaan dan sub-urban, peri-urban, atau pedesaan (Zhao et al, 2014). Ada dua jenis UHI yang diketahui luas yaitu *Atmospheric UHI* (AUHI) dan *Surface UHI* (SUHI) (Mathew et al, 2018). AUHI terdeteksi dengan membandingkan dua suhu pada lokasi dari stasiun cuaca, sedangkan SUHI diperoleh dari data

penginderaan jauh inframerah termal dengan kemampuan memperoleh dinding-ke-dinding permukaan dan cakupan berkala (Yang et al., 2017). SUHI inilah yang biasa disebut dengan *Land Surface Temperatur* (LST) atau Suhu Permukaan Lahan. Terdapat tiga tahapan untuk memperoleh Suhu Permukaan Lahan sebagai berikut:

1. Konversi *Digital Number* untuk mendapatkan TOA (*Top Of Atmosphere*) *Radiance*  
Konversi *Digital Number* untuk mendapatkan TOA *Radiance* dilakukan dengan

memanfaatkan data TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) yang dibawa Citra Satelit Landsat. Data Sensor Termal pada Landsat 5 TM terdapat pada Band 6 sedangkan Landsat 8 OLI terdapat pada Band 10. Berikut koefisien kebutuhan data perhitungan Suhu Permukaan Lahan (Tabel 1) dan perhitungan konversi Digital Number Band TIRS untuk memperoleh TOA Radiance (1).

**Tabel 1.** Produk Informasi Landsat 8 OLI dan 5 TM untuk Analisis Suhu Permukaan Lahan.

No	Year	Citra	Perekaman	Band	RMB	RAB	K1	K2
1	2009	Landsat 5 TM	29 Juli 2009	6	0,0003342	0,1	774,8853	1.321,0789
2	2019	Landsat 8 OLI	25 Juli 2019	10	0,055375	1,18243	607,76	1.260,56

Sumber: Tabulasi Rawdata Citra Landsat, 2020

## 2. Penghitungan TOA Radiance untuk Suhu Permukaan Lahan.

Nilai TOA Radiance merupakan data acuan untuk memperoleh nilai Land Surface Temperatur. Perhitungan Suhu Permukaan Lahan dengan memanfaatkan sensor TIRS menghasilkan Suhu Permukaan Lahan dalam satuan Kelvin. Berikut perhitungan Suhu Permukaan Lahan dalam satuan kelvin (2).

$$T = \frac{K2}{\ln((K1/L\lambda)+1)} \quad \text{.....(2)}$$

Dimana:

T = Suhu Permukaan Lahan (O Kelvin)

L $\lambda$  = TOA Spectral Radiance

K1 = Konstanta Thermal K1

K2 = Konstanta Thermal K2

## 3. Konversi Suhu Permukaan Lahan ke dalam Satuan Celcius

Suhu Permukaan Lahan yang dihasilkan melalui perhitungan sensor TIRS masih berupa suhu dalam satuan kelvin, sehingga untuk melihat suhu dalam satuan celcius diperlukan konversi. Konversi suhu dalam satuan kelvin kedalam celcius disajikan dalam rumus dibawah ini (3).

$$LST_{oc} = T - 273,15 \quad \text{.....(3)}$$

Dimana:

LST oC = Suhu Permukaan Lahan oCelcius

T = Suhu Permukaan Lahan oKelvin

## Prediksi Tutupan Lahan Dengan Analisis Markof Chain dan Cellular Auto Mata

Analisis Markof Chain merupakan sebuah matriks transisi peluang perubahan antar jenis klasifikasi penggunaan dan tutupan lahan. Hal ini dilakukan untuk mengukur sejauh mana peluang

$$L\lambda = MLQ_{cal} + AL \quad \text{.....(1)}$$

Dimana :

L $\lambda$  = TOA Spectral Radiance (dalam satuan Watts/(m<sup>2</sup> \* srad \*  $\mu$ m))

ML = Nilai RMB

Qcal = Nilai Digital Number

AL = Nilai RAB

masing-masing tutupan lahan mengokupasi tutupan lahan lainnya. Nilai Kappa menggambarkan perbedaan antara kondisi aktual dengan model tutupan lahan yang dihasilkan, semakin tinggi nilainya semakin baik dan akurat prediksinya (Sejati et al., 2019) (Tabel 2).

**Tabel 2.** Klasifikasi Nilai Kappa

Nilai Kappa	Klasifikasi
$\leq 0,2$	Sangat Buruk
0,21 – 0,4	Buruk
0,41 – 0,6	Cukup
0,61 – 0,8	Baik
0,81 – 1,00	Sangat Baik

Sumber: (Sejati et al., 2019)

## Prediksi Suhu Permukaan Lahan

Prediksi Suhu Permukaan Lahan diperoleh berdasarkan rata-rata perubahan SPL yang disebabkan oleh perubahan penggunaan/tutupan lahan (Firozjaei et al., 2018). Dengan didapatkannya Prediksi penggunaan/tutupan lahan pada tahun tertentu, maka akan diperoleh data perubahan lahan yang akan mempengaruhi besaran Suhu Permukaan Lahan. Sehingga Perubahan tersebut dapat menentukan besaran perubahan Suhu Permukaan Lahan pada Tahun yang ditentukan.

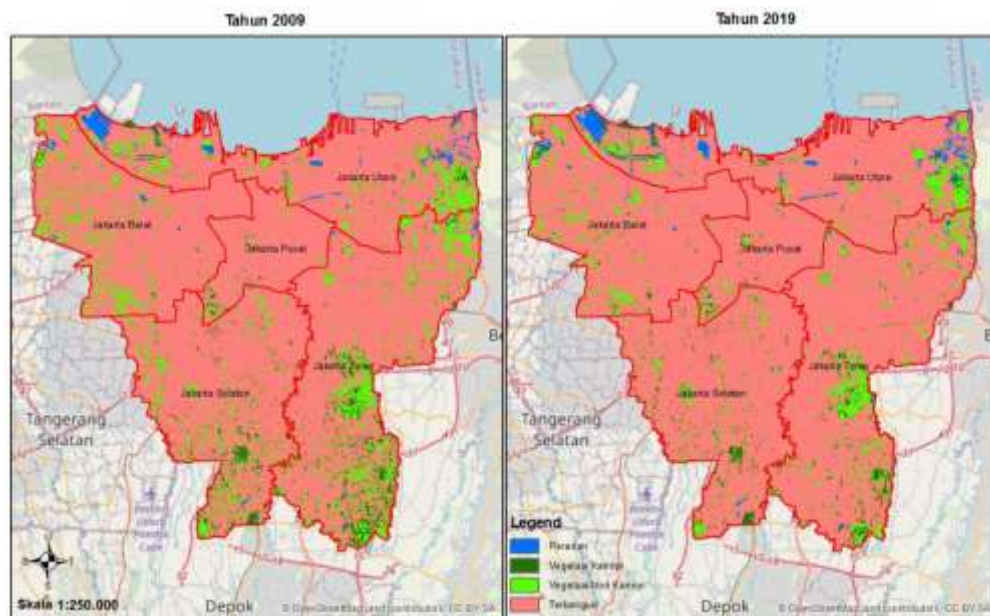
## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Dinamika Tutupan Lahan Tahun 2009-2019

Hasil klasifikasi yang diperoleh dengan metode *Support Vektor Machine* pada kedua rentang waktu tahun 2009-2019 secara spasial

sebagaimana Gambar 3 tidak menunjukkan perubahan yang drastis. Hal ini terjadi karena sebagian besar wilayah Jakarta sudah merupakan lahan terbangun dengan pemanfaatan yang beragam. Perubahan lahan di Jakarta terjadi dalam pola yang sporadis terutama pada daerah-daerah yang masih banyak memiliki lahan terbuka baik vegetasi berkanopi maupun vegetasi non kanopi terutama pada sisi bagian barat, timur dan selatan. Tutupan lahan cenderung tetap pada sisi bagian tengah dan utara. Perubahan tutupan

lahan terutama untuk lahan non terbangun menjadi terbangun di sisi selatan Jakarta lebih besar terjadi karena pembangunan klaster perumahan skala kecil. Pembangunan ini merupakan akibat dari permintaan hunian karena peningkatan jumlah penduduk. Pola perubahan ini sejalan dengan temuan Nugroho (2002) dan Tursilowati et al., (2012), yang mendapatkan perubahan pembangunan secara alamiah kearah selatan yang merupakan daerah tangkapan air.



Gambar 3. Tutupan Lahan Provinsi DKI Jakarta a) Tahun 2009 dab b) Tahun 2019

**Tabel 3.** Luasan Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2009-2019

Tutupan Lahan	2009		2019		$\Delta$ 2009-2019	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Perairan	830,48	1,27	1.156,01	1,77	325,53	39,20
Vegetasi Berkanopi	2.500,50	3,82	1.981,64	3,03	-518,86	-20,75
Vegetasi Non Kanopi	7.448,43	11,39	5.322,51	8,14	-2.125,93	-28,54
Terbangun	54.603,58	83,51	56.922,84	87,06	2.319,25	4,25
Total Area (Ha)	65.383,00		65.383,00			

Sumber: Data yang diolah, 2020

Gambaran secara spasial tentang perubahan tutupan lahan di Jakarta diperkuat melalui Tabel 3 dan crosstab analisis pada Tabel 4. Luasan Tutupan lahan terbangun di Jakarta pada rentang tahun 2009 sudah menunjukkan angka 83% dan terus meningkat hingga 87% di

Tahun 2019. Berbanding terbalik dengan lahan terbangun, lahan vegetasi terus mengalami penurunan luas dan beralih fungsi. Ini menandakan bahwa meskipun lahan vegetasi baik Vegetasi Kanopi dan Vegetasi Non Kanopi sebagai lahan terbuka hijau sudah sangat sedikit dan jauh dibawah ketentuan yang diamanahkan

oleh Undang-undang masih tetap saja terokupasi oleh pembangunan untuk pemenuhan kebutuhan masyarakat. Namun demikian terdapat hal yang menarik yaitu disamping berkurangnya lahan hijau yang terjadi, terdapat pula penambahan kawasan hijau dan perairan melalui pembangunan Saluran Kanal Banjir Timur dan beberapa pembangunan ruang terbuka hijau lainnya.

**Tabel 4.** Analisis Crosstab Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2009-2019 (dalam Ha)

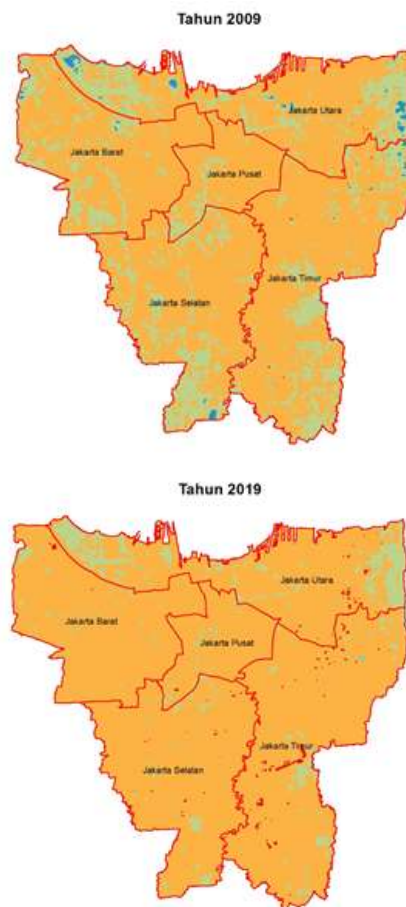
From   To	Peraira n	Vegetasi Berkanopi	Vegetasi Non Kanopi	Terbangu n
Perairan	582,44	32,57	52,15	163,31
Vegetasi Berkanopi	71,36	917,31	348,86	1.162,97
Vegetasi Non Kanopi	92,96	497,26	3.031,34	3.826,87
Terbangun	409,25	534,50	1.890,15	51.769,68

Sumber: Data yang diolah, 2020

#### Dinamika Suhu Permukaan Lahan Tahun 2009-2019

Hasil perhitungan Suhu Permukaan dengan memanfaatkan sensor band termal pada Citra Landsat di Tahun 2009-2019 menunjukkan peningkatan suhu yang dikategorikan menjadi 4 kelas suhu sebagaimana terlihat pada Gambar Gambar 4. Hal yang menarik yaitu hilangnya penampakan suhu <25°C dan terlihatnya kelas suhu >35°C di Tahun 2019. Jika melihat Peta Suhu Permukaan Lahan Tahun 2009 masih ditemukan beberapa lokasi yang suhu <25°C terutama pada tutupan lahan perairan seperti di bagian utara Jakarta yaitu Tambak di Penjaringan, Waduk Pluit, Waduk Sunter, Rawa Rorotan dan Marunda, dan pada bagian selatan Jakarta ditemukan di Situ Babakan dan Hutan Kota UI. Seluruh lokasi yang terdeteksi suhu <25°C, pada tahun 2019 ternyata mengalami peningkatan suhu dan masuk ke kelas suhu 25-30°C. Peningkatan suhu udara yang terjadi seluruh kelas juga mengakibatkan, semakin berkurangnya Kelas Suhu 25-30°C dan mengalami peningkatan sehingga dominansi

kelas suhu 30-35°C semakin terlihat. Bahkan peningkatan yang cukup signifikan yaitu teridentifikasinya kelas suhu tertinggi (>35°C) yang semula tidak ditemukan pada sisi Timur dan Utara. Peningkatan suhu permukaan kedalam kelas suhu >35°C terutama pada kawasan Halim Perdanakusuma adalah akibat peningkatan aktivitas Bandara menjadi Bandara Komersial, sedangkan peningkatan pada sisi utara adalah imbas dari pembangunan pergudangan pada daerah Cakung Cilincing. Temuan diatas senada dengan yang disampaikan Xu et al (2009), bahwa lahan terbangun berkontribusi secara signifikan terhadap kenaikan suhu dan perkembangan pulau panas perkotaan, sedangkan air dan vegetasi berkorelasi negatif. Lebih lanjut Tursilowati et al., (2012) menegaskan bahwa UHI relatif lebih tinggi di industri dan tempat tinggal dibandingkan dengan suhu di daerah vegetasi dan perairan.



Gambar 4. Suhu Permukaan Lahan Provinsi DKI Jakarta Tahun 2009 – 2019

Karakteristik SUHI Jakarta yang dijumpai pada penelitian ini terutama pada tahun 2019 berbeda dengan yang dikemukakan oleh Rushayati & Hermawan, (2013). Rushayati dan Hermawan (2012), mengungkapkan bahwa suhu permukaan tertinggi berada di pusat kota dan

semakin jauh dari pusat kota mengalami penurunan suhu. Namun dalam penelitian ini pola yang terlihat yaitu suhu tertinggi berada pada daerah pinggir sisi tenggara dan utara dan tidak bersifat linier.

**Tabel 5.** Perubahan Luasan Kelas Suhu Permukaan Lahan Tahun 2009-2019

Kelas Suhu	2009		2019		$\Delta 2009-2019$	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%
<25	448,68	0,69	0,00	0,00	-448,68	-100,00
25-30	16.169,63	24,73	5.153,61	7,88	-11.016,02	-68,13
30-35	48.743,28	74,55	59.888,4	91,60	11.145,11	22,86
>35	21,41	0,03	340,99	0,52	319,58	1.492,74
Total	65.383	-	65.383	-		

*Sumber: Data yang diolah, 2020*

Lebih jauh mengenai besaran distribusi spasial SUHI Jakarta Tahun 2009-2019 digambarkan pada Tabel 5. Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya terjadinya peningkatan suhu permukaan telah membuat selain hilangnya luasan area kelas suhu terkecil juga menyebabkan meningkatnya spot area dengan suhu >35°C. Namun demikian Secara umum luasan area suhu 30-35°C masih merupakan area terluas yang pada Tahun 2009 terjadi di 75,55% dan meningkat

Tahun 2019 menjadi 91,60%. Wicahyani et al (2014), mengemukakan fakta bahwa Kota Jogjakarta juga mengalami hal serupa, dimana lahan terbangunnya sangat besar mencapai lebih dari 90% dan 89,55% wilayah masuk pada kelas suhu 30-35°C. Peningkatan ini sudah seharusnya dikendalikan agar peningkatan dikemudian hari dapat terkendali dan meminimalisasi dampak negatif.

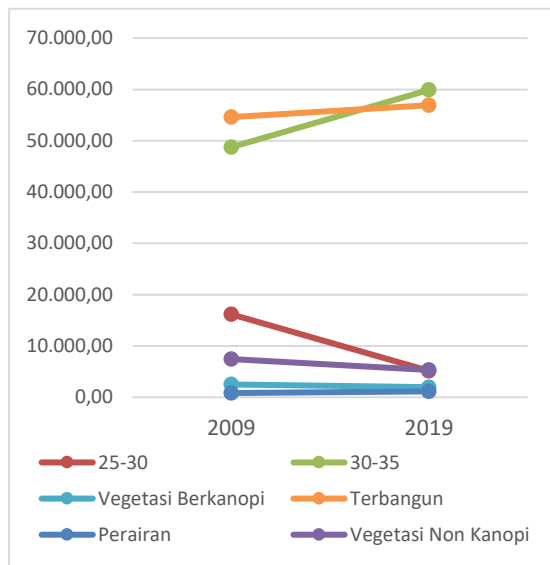
**Tabel 6.** Crosstab Tutupan Lahan dan Suhu Permukaan Tahun 2009-2019

Tutupan Lahan	Temperatur 2009					Temperatur 2019				
	<25	25-30	30-35	35-40	Total	<25	25-30	30-35	35-40	Total
Perairan	157,18	667,07	6,22	0,00	830,48	0,00	1.051,25	104,76	0,00	1.156,01
Vegetasi Berkanopi	72,19	1.905,80	522,52	0,00	2.500,50	0,00	953,72	1.027,92	0,00	1.981,64
Vegetasi Non Kanopi	129,83	4.694,59	2.624,02	0,00	7.448,43	0,00	1.201,85	4.073,72	46,94	5.322,51
Terbangun	89,48	8.902,16	45.590,53	21,41	54.603,58	0,00	1.946,79	54.681,99	294,06	56.922,84

*Sumber: Data yang diolah, 2020*

Jika data suhu permukaan disandingkan dengan data tutupan lahan melalui tabel crosstab (Tabel 6), diperoleh area dengan kenaikan suhu 30-35°C dan di atas 35° C disebabkan oleh tiga faktor dominan, yaitu area terbangun, vegetasi non kanopi dan vegetasi berkanopi. Data menunjukkan bahwa bertambahnya area terbangun dan vegetasi non kanopi yang merambah kawasan vegetasi berkanopi

menyebabkan peningkatan suhu permukaan lahan. Lebih lanjut pada Gambar 5 diatas, lebih jelas terlihat bahwa peningkatan luasan kawasan area dengan suhu 30-35°C sejalan dengan meningkatnya area terbangun. Sedangkan berkurangnya area Vegetasi Kanopi menyebabkan meningkatnya suhu pada kelas suhu 25-30oC.



Gambar 5. Perbandingan Perkembangan Tutupan dengan area suhu 25-30°C dan 30-35°C

### Prediksi Tutupan Lahan Tahun 2030

Masing-masing perubahan tutupan lahan memiliki perhitungan kemungkinan perubahan dari satu unit tutupan lahan ke tutupan lahan yang lainnya. Pola perubahan pada masing-masing nilai piksel dimodelkan dengan menggunakan Rantai Markov (Sejati et al., 2019). Matriks perubahan tutupan lahan ini dapat membantu untuk menetapkan asumsi dasar untuk menunjukkan pola perubahan selanjutnya dari nilai indeks probabilitas.

Tabel 7. Transisi Rantai Markov untuk Perubahan Tutupan Lahan di Jakarta

2009 I 2019	Perairan	Vegetasi Berkanopi	Vegetasi Non Kanopi	Terbangun
Perairan	0.5619	0.0610	0.0970	0.2801
Vegetasi Berkanopi	0.0356	0.2223	0.1670	0.5751
Vegetasi Non Kanopi	0.0157	0.0807	0.2614	0.6422
Terbangun	0.0281	0.0384	0.1349	0.7986

Sumber: Data yang diolah, 2020

Hasil Analisis Rantai Markov sebagaimana pada Tabel 7, menunjukkan pola perubahan tutupan lahan selama 10 tahun dari tahun 2009 sampai dengan 2019. Pada masing-

masing tutupan lahan terlihat nilai kemungkinan perubahan pada keempat jenis tutupan lahan yaitu Perairan, Vegetasi Berkanopi, Vegetasi Non Kanopi dan Terbangun. Jika dijelaskan lebih rinci bahwa untuk kemungkinan perubahan menuju lahan terbangun, perairan memiliki peluang sebesar 28% yang merupakan probabilitas terkecil jika dibandingkan dengan perubahan dari tutupan lahan vegetasi berkanopi sebesar 57,5% dan vegetasi non kanopi yang mencapai 64,2%. Hal itu menunjukkan bahwa peluang untuk perubahan menjadi lahan terbangun kedepannya masih sangat mungkin terjadi dengan besaran yang tinggi. Kemudian dari semua tutupan lahan, kemungkinan terkecil untuk berubah adalah dari vegetasi non kanopi menjadi perairan yang memiliki probabilitas hanya sebesar 1,5%.

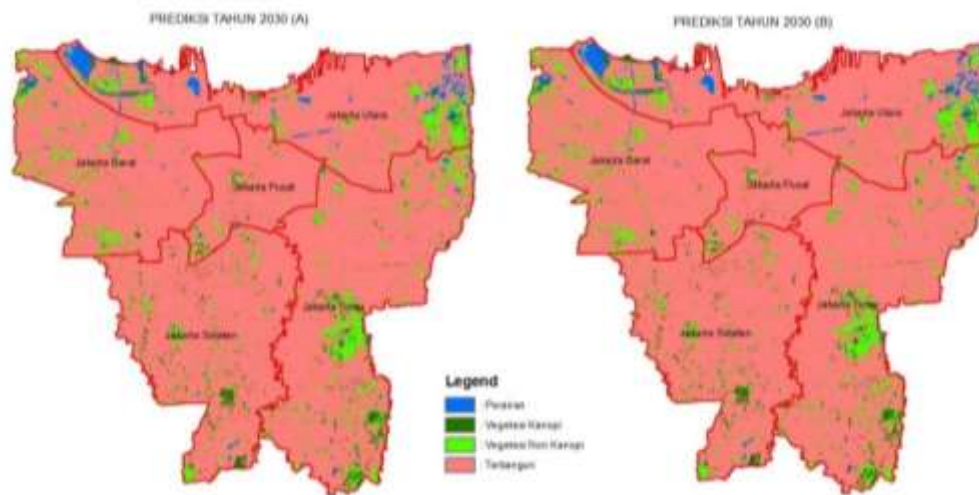
Model Prediksi Tutupan Lahan menggunakan *Cellular Automata* ini dibangun berdasarkan asumsi dasar rantai markov, sehingga permodelan ini dinamakan Model *Stochastic Cellular Automata Markov Chain* (SCA-MC). Model prediksi ini diprediksikan untuk 11 tahun kedepan yaitu tahun 2030. Validasi model ini menggunakan nilai *Kappa Index off Agreement* (KIA) dari peta proyeksi 2019 dengan peta 2009 dengan hasil seperti yang diilustrasikan pada Gambar 6.. Indeks Kappa yang dihasilkan adalah 0,8377 dengan klasifikasi akurasi adalah sangat

Kappa Index of Agreement (KIA)		2) Using LC2009_REF as the reference image	
1) Using LC2019_REF as the reference image		Category	KIA
Category	KIA	1	0,6979
1	0,4997	2	0,9343
2	0,9549	3	0,3741
3	0,5354	4	0,8817
4	0,8039	Overall Kappa: 0,8377	

baik.

Gambar 6. Nilai Kappa Untuk Peta Prediksi

Permodelan SCA-MC dibuat dengan dua model skenario. Pertama adalah dengan skenario mengikuti trend perubahan secara alamiah, dan Kedua adalah dengan skenario pengendalian pembangunan. Perbandingan hasil Kedua Model Skenario Prediksi Tutupan Lahan Tahun 2030 dapat dilihat pada Gambar 7 dan Tabel 8. berikut ini:



Gambar 7. Prediksi Tutupan Lahan Provinsi DKI Jakarta Tahun 2030 Skenario A dan Skenario B

**Tabel 8.** Luasan Simulasi Tutupan Lahan Tahun 2030

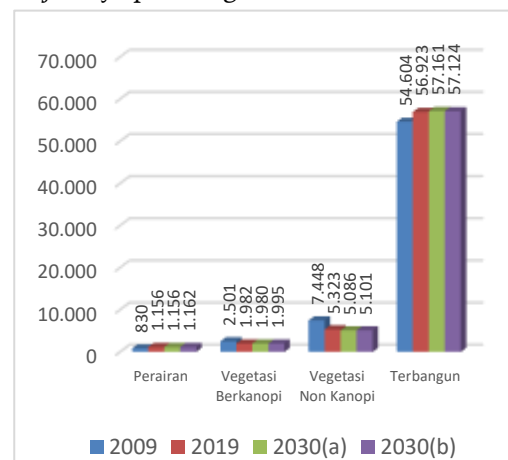
Tutupan Lahan	2009	2019	2030(a)	2030(b)	ΔAdanB
Perairan	830,48	1.156,01	1.155,74	1.162,23	6,50
Vegetasi Berkanopi	2.500,50	1.981,64	1.980,00	1.995,55	15,55
Vegetasi Non Kanopi	7.448,43	5.322,51	5.086,00	5.101,00	15,00
Terbangun	54.603,58	56.922,84	57.161,27	57.124,21	-37,05

Sumber: Data yang diolah, 2020

Skenario Pertama yaitu skenario pertumbuhan/perubahan tutupan lahan secara alamiah tanpa adanya intervensi baik intervensi alam maupun intervensi kebijakan. Hasil yang diperoleh adalah angka pertumbuhan lahan terbangun di Tahun 2030 tetap mengalami peningkatan sebesar 238,43 Ha atau sebesar 0,4% dari tahun 2019. Namun peningkatan luasan berbanding terbalik dengan tutupan lahan lainnya yang mengalami penurunan. Bahkan penurunan lahan vegetasi non kanopi mencapai angka 236,51Ha atau -4,44% dari tahun 2019.

Skenario kedua adalah model skenario pertumbuhan yang mengakomodasi faktor kebijakan penataan ruang melalui pengendalian pembangunan pada zona tertentu. Zona-zona yang dikendalikan perubahannya adalah pada zona Hijau Lindung, Hijau Budidaya, Hijau Pertanian dan Perikanan serta Terbuka Biru. Sehingga hasil permodelan Prediksi Tutupan Lahan Tahun 2030 Skenario 2 memiliki perbedaan yang cukup signifikan dengan skenario 1. Tutupan lahan perairan dan vegetasi

berkanopi luasannya bertambah menjadi masing-masing 1.162,23 HA (0,5%) dan 1.995,55Ha (0,7%) dari tahun 2019. Sedangkan luasan Lahan terbangun pertumbuhannya tidak sebesar skenario 1. Hal ini menunjukkan pengendalian pembangunan pada zonasi tersebut mampu menekan perubahan tutupan lahan pada peruntukkan yang tidak disarankan untuk terjadinya pembangunan.



Gambar 8. Grafik Luasan Perkembangan Tutupan Lahan Jakarta 2009-2030

Sejalan dengan besaran tutupan lahan prediksi dalam grafik pada Gambar 8, nampak pertumbuhannya lebih datar dan terkendali jika dibandingkan dengan angka pertumbuhan ditahun 2009-2019. Pertumbuhan yang cenderung datar bahkan stabil tersebut juga dipengaruhi oleh terbatasnya lahan yang tersedia untuk ekspansi pembangunan. Ini menunjukkan bahwa semakin sedikit lahan terbuka yang tersedia semakin lambat proses perubahan dan okupasi lahannya.

#### Prediksi Suhu Permukaan Lahan Tahun 2030

Prediksi tutupan lahan sangat erat kaitannya dengan studi *Urban Heat Islands*. Antisipasi kemungkinan perubahan tutupan lahan di masa depan mampu memberikan informasi penting tentang kemungkinan intensitas panas perkotaan di masa depan (Firozjaei et al., 2018). Kenaikan suhu permukaan lahan pada suatu wilayah perkotaan diakibatkan oleh perubahan tutupan lahan yang terakumulasi dan berkurangnya vegetasi (Chakraborty et al, 2013).

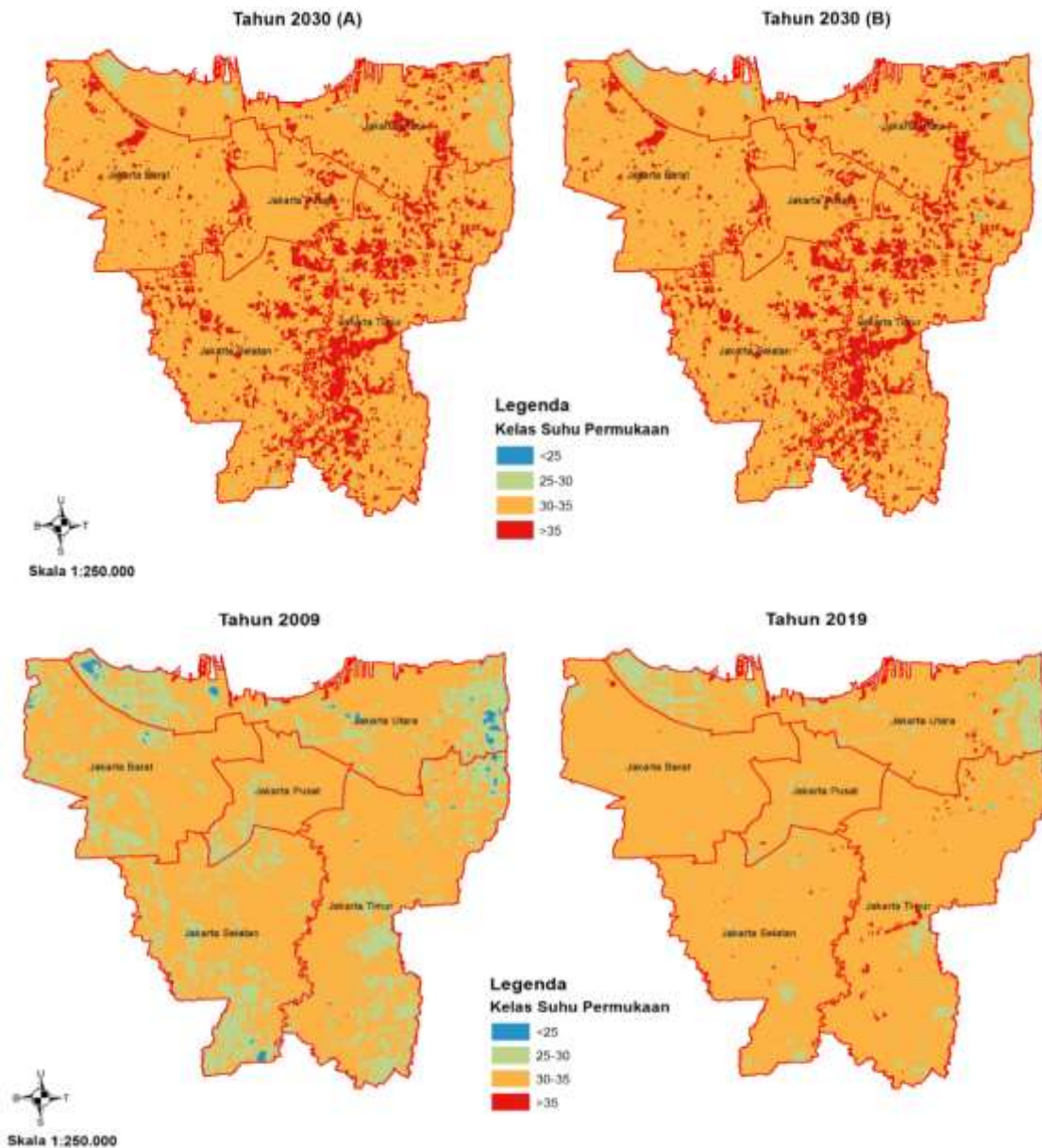
**Tabel 9.** Kontribusi Perubahan Tutupan Lahan terhadap Peningkatan Suhu Permukaan

No	Perubahan	Rata-Rata Peningkatan Suhu		
		2009-2019	°C/Tahun	2030
1	Tidak Berubah (Perairan)	1,60	0,16	1,76
2	Perairan Menjadi Terbangun	2,87	0,29	3,16
3	Perairan Menjadi Vegetasi Berkanopi	1,66	0,17	1,83
4	Perairan Menjadi Vegetasi Non Kanopi	3,71	0,37	4,08
5	Tidak Berubah (Terbangun)	1,25	0,12	1,37
6	Terbangun Menjadi Perairan	1,23	0,12	1,36
7	Terbangun Menjadi Vegetasi Berkanopi	1,20	0,12	1,32
8	Terbangun Menjadi Vegetasi Nonkanopi	1,37	0,14	1,50
9	Tidak Berubah (Vegetasi Berkanopi)	1,88	0,19	2,07
10	Vegetasi Berkanopi Menjadi Perairan	1,75	0,18	1,93
11	Vegetasi Berkanopi Menjadi Terbangun	2,26	0,23	2,49
12	Vegetasi Berkanopi Menjadi Vegetasi Non Kanopi	2,56	0,26	2,82
13	Tidak Berubah (Vegetasi Non Kanopi)	2,15	0,21	2,36
14	Vegetasi Non Kanopi Menjadi Perairan	1,61	0,16	1,78
15	Vegetasi Non Kanopi Menjadi Terbangun	2,25	0,23	2,48
16	Vegetasi Non Kanopi Menjadi Vegetasi Berkanopi	1,63	0,16	1,79
Rata-rata Total		1,40	0,14	1,54

*Sumber: Data yang diolah, 2020*

Dalam memprediksi Suhu Permukaan Lahan Tahun 2030, data yang dipergunakan adalah angka rata-rata peningkatan suhu berdasarkan perubahan tutupan lahan yang terjadi di tahun 2009-2019. Nilai rata-rata peningkatan suhu yang terlihat pada Tabel 9, dikombinasikan dengan peta hasil prediksi tutupan lahan tahun 2030. Angka acuan peningkatan suhu permukaan untuk tahun 2030 ditemukan pada perubahan tutupan lahan

Perairan menjadi lahan vegetasi non kanopi dengan peningkatan suhu sebesar 4,08°C sedangkan peningkatan suhu terendah pada perubahan tutupan lahan terbangun menjadi vegetasi kanopi sebesar 1,32°C. Peningkatan suhu permukaan lahan di Jakarta ini jauh lebih besar apabila dibandingkan dengan daerah lainnya seperti Kabupaten Semarang yang memiliki Kenaikan suhu permukaan rata-rata di berkisar 1,06°C dengan peningkatan rata-rata per dekade 0,7°C (Rahmadewi & Hanafi, 2020).



Gambar 9. Transformasi Suhu Permukaan Lahan di Jakarta dari Tahun 2009-2019 dan Hasil Prediksi Tahun 2030

Sama halnya dengan Prediksi Tutupan lahan, prediksi Suhu Permukaan Lahan juga menghasilkan prediksi dalam dua skenario. Meskipun demikian hasil prediksi keduanya tidak jauh berbeda seperti pada Gambar 9. Perbedaan baru terlihat apabila menelisik pada besaran luasan klasifikasi kelas suhu. Peningkatan suhu permukaan yang terjadi diseluruh tutupan lahan membuat luasan suhu diatasnya meningkat juga. Dalam

visualisasi perbandingan peta antara tahun 2009 sampai dengan 2019, dapat dilihat semakin banyaknya kelas suhu permukaan  $>35^{\circ}\text{C}$ . Suhu minimum dan maksimum terlihat meningkat dari  $25,7^{\circ}\text{C}$ - $38,9^{\circ}\text{C}$  di tahun 2019 menjadi  $27,3^{\circ}\text{C}$ - $41^{\circ}\text{C}$  di Tahun 2030. Upaya pengendalian pembangunan pada peruntukkan kawasan hijau dan terbuka biru tidak cukup bisa untuk menurunkan peningkatan suhu permukaan lahan.

**Tabel 10.** Luasan Prediksi Suhu Permukaan Lahan Tahun 2030

Kelas Suhu °C	2009	2019	2030(a)	2030(b)	$\Delta$ adanB
<25	448,68	0,00	0,00	0,00	0,00
25-30	16.169,63	5.153,61	1.254,73	1.254,64	-0,09
30-35	48.743,28	59.888,40	55.285,21	55.286,03	0,82
>35	21,41	340,99	8.843,06	8.842,33	-0,73
<b>Total</b>	<b>65.383,00</b>	<b>65.383,00</b>	<b>65.383,00</b>	<b>65.383,00</b>	<b>0,00</b>

Sumber: Data yang diolah, 2020

Berdasarkan Tabel 10. Skenario pengendalian hanya bisa mengurangi area kelas suhu >35°C sebanyak 0,73Ha. Peningkatan suhu tetap saja terjadi meskipun dilakukan pembatasan pembangunan pada kawasan hijau dan perairan. Penambahan vegetasi berkanopi seluas 14 Ha dan perairan seluas 6 Ha tidak berimbas kepada pengendalian suhu secara makro.

## SIMPULAN

Pertumbuhan area terbangun di Jakarta mencapai angka 83% di tahun 2009 dan 87% di tahun 2019. Pada rentang waktu ini area terbangun masih terus mengokupasi lahan terbuka secara sporadik terutama pada sisi selatan Jakarta. Pertumbuhan ini terus meningkatkan suhu permukaan di Jakarta. Tentu saja peningkatan panas permukaan ini menyebabkan hilangnya area suhu rendah <25°C, disamping itu pula pada beberapa lokasi di bagian timur dan selatan tumbuh kawasan dengan panas >35°C. Perubahan tutupan lahan Jakarta secara langsung mempengaruhi suhu permukaan dimana peningkatan suhu tertinggi terjadi pada perubahan lahan perairan menjadi vegetasi non kanopi sebesar 3,71°C selama satu dekade (2009-2019) atau secara keseluruhan rata-rata terjadi peningkatan sebesar 1,4°C.

Prediksi tutupan lahan sangat erat kaitannya dengan studi panas perkotaan. Sehingga hasil prediksi dipergunakan sebagai input utama dalam penentuan peningkatan Suhu Permukaan. Prediksi tutupan lahan di tahun 2030 dirancang dalam dua skenario, yaitu (1) skenario alamiah dan (2) skenario pengendalian. Pada skenario alamiah ditemukan penurunan luas pada daerah vegetasi dan perairan yang mampu

meminimasi suhu permukaan dan peningkatan area lahan terbangun yang menyebabkan peningkatan suhu permukaan. Skenario pengendalian pembangunan yang dirancang untuk membatasi cepatnya pembangunan pada daerah hijau cukup bisa menekan peningkatan lahan terbangun. Luas lahan hijau dan perairan mengalami peningkatan jika dibandingkan dengan tahun 2019 dan skenario pertama. Namun demikian kedua skenario tersebut tidak cukup bisa untuk mengendalikan peningkatan suhu permukaan Jakarta. Berdasarkan prediksi Suhu Permukaan Lahan diperoleh peningkatan suhu menjadi minimal 27,3°C dan maksimal 41°C dengan terjadinya peningkatan area pada kelas suhu >35°C sebesar 8.500Ha. Sehingga dikemudian hari perlu upaya strategis lainnya dalam pengendalian peningkatan suhu seperti memperbanyak pengadaan lahan untuk kawasan hijau dan perairan, penerapan teknologi green building dan sebagainya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bokaie, M., Zarkesh, M. K., Arasteh, P. D., & Hosseini, A. (2016). Assessment of Urban Heat Island Based on the Relationship between Land Surface Temperature and Land Use/Land Cover in Tehran. *Sustainable Cities and Society*.  
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.03.009>
- Chakraborty, S. D., Kant, Y., & Mitra, D. (2013). Assessment of Land Surface Temperature and Heat Fluxes Over Delhi Using Remote Sensing Data. *Journal of Environmental Management*, 143–152.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.11.034>
- Estoque, R. C., Murayama, Y., & Myint, S. W. (2017). Effects of Landscape Composition and Pattern on Land Surface Temperature: An Urban Heat

- Island Study in The Megacities of Southeast Asia. *Science of the Total Environment*, 577, 349–359.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.195>
- Fajarini, R., Barus, B., & Panuju, R. (2015). Dinamika Perubahan Penggunaan Lahan dan Prediksinya Untuk Tahun 2025 Serta Keterkaitannya dengan Perencanaan Tata Ruang 2005-2025 di Kabupaten Bogor. *Jurnal Tanah Lingkungan*, 17(1), 8–15.
- Firozjaei, M. K., Kiavarz, M., Alavipanah, S. K., & Lakes, T. (2018). Monitoring and Forecasting Heat Island Intensity Through Multi-temporal Image Analysis and Cellular Automata-Markov Chain Modelling: A Case of Babol City, Iran. *Ecological Indicators*, 91(July 2017), 155–170.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.052>
- Kikon, N., Singh, P., Singh, S. K., & Vyas, A. (2016). Assessment of Urban Heat Islands (UHI) of Noida City, India Using Multi-Temporal Satellite Data. *Sustainable Cities and Society*, 22, 19–28.  
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.01.005>
- Li, K., Chen, Y., Wang, M., & Gong, A. (2019). Spatial-Temporal Variations of Surface Urban Heat Island Intensity Induced by Different Definitions of Rural Extents in China. *Science of the Total Environment*, 669, 229–247.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.100>
- Limas, A. V., Perdana, A., W, N., & Tannady, H. (2014). Pembahasan Mengenai Efek Urban Heat Island dan Solusi Alternatif Bagi Kota Jakarta. *J@TI UNDIP*, IX(1), 29–34.
- Mathew, A., Khandelwal, S., & Kaul, N. (2018). Investigating Spatio-Temporal Surface Urban Heat Island Growth Over Jaipur City Using Geospatial Techniques. *Sustainable Cities and Society*.  
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.04.018>
- McGranahan, G. (2015). Urbanization. In *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences: Second Edition* (Vol. 24, pp. 958–964). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.72120-9>
- Nugroho, S. P. (2002). Evaluasi Pembangunan Wilayah Pengembangan Selatan DKI Jakarta Sebagai Kawasan Resapan Air. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 3(1), 43–49.
- Rahmadewi, D. P., & Hanafi, F. (2020). Kajian Perubahan Penutup Lahan dengan Pemodelan Cellular Automata dan Pengaruhnya Terhadap Suhu Permukaan Lahan di Kabupaten Semarang. *Geo Image (Spatial-Ecological-Regional)*, 9(2), 154–166.
- Rushayati, S. B., & Hermawan, R. (2013). Characteristics of Urban Heat Island Condition in DKI Jakarta. *Media Konservasi*, 18(2), 96–100.  
<https://doi.org/10.23917/forgeo.v27i2.2370>
- Rushayati, S. B., Prasetyo, L. B., Puspaningsih, N., & Rachmawati, E. (2016). Adaptation Strategy Toward Urban Heat Island at Tropical Urban Area. *Procedia Environmental Sciences: The 2nd International Symposium on LAPAN-IPB Satellite for Food Security and Environmental Monitoring 2015, LISAT-FSEM 2015*, 33, 221–229.  
<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.073>
- Sejati, A. W., Buchori, I., & Rudiarto, I. (2019). The Spatio-Temporal Trends of Urban Growth and Surface Urban Heat Islands Over Two Decades in The Semarang Metropolitan Region. *Sustainable Cities and Society*, 46(January), 101432.  
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101432>
- Setyawan, R. E., Puspaningsih, N., & Saleh, M. B. (2014). Klasifikasi Penutupan Lahan Hutan Mangrove Di Kecamatan Buduran, Kabupaten Sidoarjo, Propinsi Jawa Timur, Dengan Citra Terrasar-X High Resolution. *Seminar Nasional Penginderaan Jauh*, 129–140.
- Tursilowati, L., Tetuko, J., Sumantyo, S., Kuze, H., & Adiningsih, E. S. (2012). Relationship Between Urban Heat Island Phenomenon and Land Use/Land Cover Changes in Jakarta – Indonesia. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences (JETEAS)*, 3(4), 645–653.
- Ullah, S., Ahmad, K., Sajjad, R. U., Abbasi, A. M., Nazeer, A., & Tahir, A. A. (2019). Analysis and Simulation of Land Cover Changes and Their Impacts on Land Surface Temperature in a Lower Himalayan Region. *Journal of Environmental Management*, 245(April), 348–357.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.063>
- Wicahyani, S., Sasongko, S. B., & Izzati, M. (2014). Pulau Bahang Kota (Urban Heat Island) di Kota Yogyakarta dan Daerah Sekitarnya Hasil Interpretasi Citra Landsat OLI-TIRS Tahun 2013. *Jurnal Geografi: Media Informasi Pengembangan Dan Profesi Kegeografian*,

- 11(2), 196–204.  
<https://doi.org/10.15294/jg.v11i2.8027>
- Xu, H., Ding, F., & Wen, X. (2009). Urban Expansion and Heat Island Dynamics in the Quanzhou Region, China. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2(2), 74–79.
- Yang, C., He, X., Yan, F., Yu, L., Bu, K., Yang, J., ... Zhang, S. (2017). Mapping The Influence of Land Use/Land Cover Changes on The Urban Heat Island Effect-A Case Study of Changchun, China. *Sustainability* (Switzerland), 9(312), 1–17.  
<https://doi.org/10.3390/su9020312>
- Zhang, Y., Balzter, H., Liu, B., & Chen, Y. (2017). Analyzing the Impacts of Urbanization and Seasonal Variation on Land Surface Temperature Based on Subpixel Fractional Covers Using Landsat Images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(4), 1344–1356.  
<https://doi.org/10.1109/JSTARS.2016.2608390>
- Zhao, L., Lee, X., Smith, R. B., & Oleson, K. (2014). Strong contributions of local background climate to urban heat islands. *Nature*, 511(7508), 216–219.  
<https://doi.org/10.1038/nature13462>
- Rudi, Alsadad. (2016). Penyebab Menyusutnya Ruang Terbuka Hijau di Jakarta Artikel ini telah tayang di Kompas.com dengan judul "Penyebab Menyusutnya Ruang Terbuka Hijau di Jakarta",  
<https://megapolitan.kompas.com/read/2016/02/18/16514011/Penyebab.Menyusutnya.Ruang.Terbuka.Hijau.di.Jakarta>. Diakses tanggal 19 Februari 2020.