

Analisis Perubahan Indeks Kekritisan Lingkungan Dengan Algoritma Environmental Criticality Index Menggunakan Citra Satelit Landsat 8 OLI/TIRS (Studi Kasus : Kota Bandung)

Analysis Of Environmental Criticality Changes With Environmental Criticality Index Algorithm Using Landsat 8 OLI/TIRS (Case Study : Bandung City)

Bangun Muljo Sukojo*, Naufal Shidqi Hauzan

Departemen Teknik Geomatika, FTSPK-ITS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

*Korespondensi penulis: bangun_ms@geodesy.its.ac.id

Diterima: 14022023; Diperbaiki: 16022023; Disetujui: 17022023; Dipublikasi: 28022023

Abstrak: Kekritisan Lingkungan merupakan rasio suhu permukaan tanah dengan ketersediaan tutupan vegetasi di sebuah area. Jika suhu sebuah area terbilang tinggi dan terdapat sedikit tutupan vegetasi pada area tersebut, maka area tersebut merupakan area dengan kualitas lingkungan yang rendah atau kritis. Faktor utama terjadinya kekritisan lingkungan adalah telah terjadinya fenomena *Urban Heat Island*. Kota Bandung merupakan Ibu Kota Provinsi Jawa Barat dan kota dengan kepadatan penduduk tertinggi di Provinsi Jawa Barat. Fenomena *UHI* juga sudah terjadi di Kota Bandung. Penelitian ini bertujuan untuk membahas kekritisan lingkungan Kota Bandung terutama pada tahun 2017-2021. Metode penelitian ini adalah menggunakan algoritma *Environmental Criticality Index (ECI)* dan teknologi penginderaan jauh berupa citra Landsat 8 OLI/TIRS untuk memperoleh indeks kekritisan lingkungan. *ECI* akan dihitung dengan memanfaatkan 4 (empat) variabel, yaitu *Land Surface Temperature (LST)*, *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*, *Normalized Difference Built-Up Index (NDBI)*, dan *Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI)*. Hasil penelitiannya adalah terjadinya kenaikan luas pada kelas tidak kritis sebesar 2,607 km², penurunan luas pada kelas kritis tingkat rendah sebesar 8,205 km², kenaikan luas pada kelas kritis tingkat sedang sebesar 9,63 km², dan penurunan luas pada kelas kritis tingkat tinggi sebesar 4,461 km². Secara keseluruhan, Kota Bandung mengalami kenaikan luas area tidak kritis sebesar 2,608 km² dan penurunan luas area kritis sebesar 3,037 km² dalam periode tahun 2017-2021.

Copyright © 2023 Geoid. All rights reserved.

Abstract: Environmental Criticality is a ratio between an area's temperature and availability of vegetation cover of that particular area. If an area has high temperature and low vegetation density, then the area is an area with low environment quality or critical. Urban Heat Island (UHI) phenomenon is the main factor of the occurrence of environmental criticality. Bandung City is the capital of West Java Province and a city that has highest population density in West Java Province. UHI phenomenon also has occurred in Bandung. The goal of this research is to discuss Bandung's environmental criticality in 2017-2021 period. Methode of this research is to use Environmental Criticality Index (ECI) Algorithm and remote sensing technology (Landsat 8 OLI/TIRS) to get environmental criticality index. ECI will be using four (4) variable : Land Surface Temperature (LST), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Built-Up Index (NDBI), and Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI). The result of this research is the increase of 2,607 km² for non-critical class, the decline of 8,205 km² for low critical class, the increase of 9,63 km² for medium critical class, and the decline of 4,461 km² for high critical class. Overall, Bandung experienced an increase in non-critical area by 2,608 km² and a decrease in critical area by 3,037 km² in the 2017-2021 period.

Kata Kunci: *Environmental Criticality Index (ECI)*, *Land Surface Temperature (LST)*, *Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI)*, *Normalized Difference Built-Up Index (NDBI)*, dan *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*.

Cara untuk sitasi: Sukojo, Bangun Muljo., Hauzan, Naufal Shidqi. (2023). Analisis Perubahan Indeks Kekritisan Lingkungan Dengan Algoritma Environmental Criticality Index Menggunakan Citra Satelit Landsat 8 OLI/TIRS(Studi Kasus : Kota Bandung). *Geoid*, 18(2), 311-325.

Pendahuluan

Kota memiliki pertumbuhan penduduk yang tinggi karena kota memiliki sarana, prasarana dan fasilitas yang memadai guna memenuhi kebutuhan penduduknya. Sehingga banyak masyarakat yang pindah dan tinggal di kota menyebabkan tingginya pertumbuhan penduduk (Adon, 2017).

Pembangunan infrastruktur akan dibutuhkan untuk mengimbangi pertumbuhan penduduk yang tinggi. Lahan dibutuhkan untuk membangun sebuah infrastruktur. Umumnya lahan tersebut berupa tutupan vegetasi yang berarti meningkatnya pembangunan infrastruktur akan menyebabkan berkurangnya tutupan vegetasi. Perubahan tutupan vegetasi menjadi lahan terbangun merupakan salah satu faktor meningkatnya suhu di sebuah kota dan akan berdampak negatif pada kualitas lingkungan sekitar (Syahtriawan, dkk, 2019).

Berkurangnya tutupan vegetasi serta meningkatnya suhu ini juga akan menyebabkan terjadinya fenomena *Urban Heat Island*. *Urban Heat Island* atau *UHI* merupakan area pemukiman yang memiliki suhu lebih tinggi dibandingkan dengan area di sekitarnya (Environmental Protection Agency, 2021). Salah satu dampak dari *UHI* adalah meningkatnya polusi udara dangas rumah kaca (U.S. Climate Change Science Program, 2008). *UHI* juga merupakan faktor utama yang mempengaruhi kekritisian lingkungan (Senanayake, dkk, 2013).

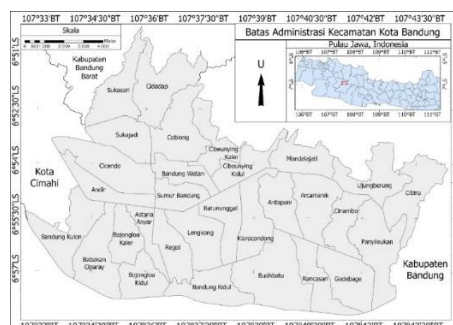
Kekritisian lingkungan merupakan sebuah rasio suhu permukaan tanah dengan ketersediaan tutupan vegetasi di sebuah area. Jika suhu sebuah area terbilang tinggi dan terdapat sedikit tutupan vegetasi pada area tersebut, maka area tersebut merupakan area dengan kualitas lingkungan yang rendah atau kritis (Senanayake, dkk, 2013; Foley, dkk, 2005; Wong dan Yu, 2005).

Kota Bandung merupakan Ibu Kota Provinsi Jawa Barat dan juga merupakan kota dengan kepadatan penduduk tertinggi di Provinsi Jawa Barat. Kepadatan penduduk di Kota Bandung terus meningkat, terutama pada tahun 2017-2021 (Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil, 2021). Fenomena *UHI* juga sudah terjadi di Kota Bandung berdasarkan penelitian oleh Zakir, dkk tahun 2018. Sebagai Ibu Kota Provinsi Jawa Barat, Kota Bandung akan terus mengalami pertumbuhan penduduk yang pesat, begitu pula dengan pembangunan infrastruktur untuk mendukung kebutuhan penduduknya.

Berdasarkan penjelasan-penjelasan diatas maka akan dilakukan analisis mengenai perubahan indeks kekritisian lingkungan menggunakan algoritma *Environmental Criticality Index (ECI)* di Kota Bandung Tahun 2017- 2021. Penelitian ini akan menggunakan salah satu produk penginderaan jauh yaitu citra Landsat 8 OLI/TIRS karena teknologi penginderaan jauh dapat mencakup area yang luas, seperti kota.

Data dan Metode

1. Lokasi Penelitian



Gambar 1. Lokasi Penelitian (Badan Informasi Geospasial, 2017)

Lokasi penelitian berada di Kota Bandung, Jawa Barat dengan letak astronomis $6^{\circ} 50' 38''$ - $6^{\circ} 58' 50''$ Lintang Selatan dan $107^{\circ} 33' 34''$ - $107^{\circ} 43' 50''$ Bujur Timur. Lokasi dapat dilihat pada Gambar 1.

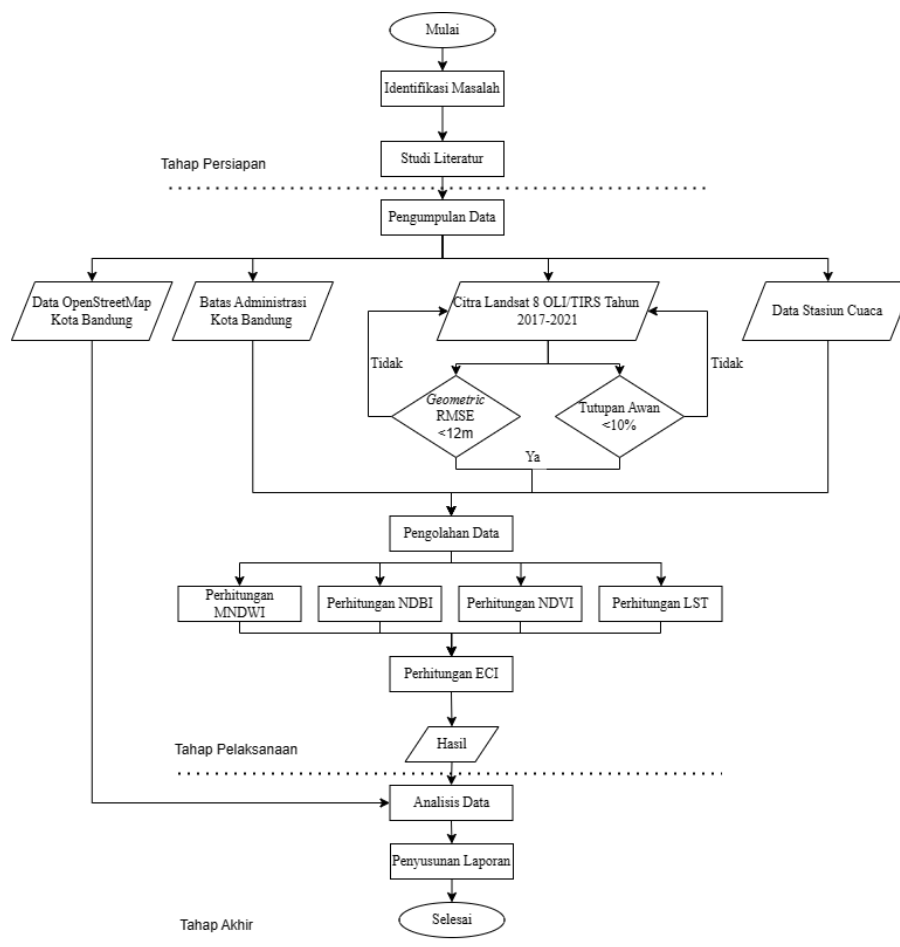
2. Data Dan Peralatan

Berikut ini merupakan data yang digunakan pada penelitian ini :

- Citra satelit Landsat 8 OLI/TIRS Collection 2 Level-1 dan Level-2 *Path 122 Row 065* Tahun 2017 sampai 2021. Dengan tutupan awan kurang dari 10% dan *Geometric RMSE*-nya kurang dari 12 meter.
- Data batas administrasi Kota Bandung skala 1:25000 dengan sumber data Badan Informasi Geospasial, 2017.
- Data OpenStreetMap Kota Bandung dengan sumber data.
- Data suhu, kelembapan dan tekanan udara Kota Bandung tahun 2017-2021 yang bersumber dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, 2022

Kemudian untuk peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Laptop, sebagai perangkat keras yang mengoperasikan perangkat lunak pada penelitian ini.
- Google Earth Engine, sebagai platform pengolahan data citra satelit.
- ArcGIS Pro 2.8.4 sebagai perangkat lunak pengolahan data citra satelit dan sistem informasi geografis.
- Microsoft Office 2019, sebagai rangkaian program yang digunakan untuk mengolah berbagai macam bentuk dokumen, diantaranya adalah pengolahan kata dan pengolahan tabel.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3. Tahap Pengolahan Data

Berikut ini penjelasan tahap pengolahan data penelitian ini sesuai dengan Gambar 2.

1. Identifikasi Masalah
Melakukan identifikasi masalah terkait tingkat kekritisian lingkungan di wilayah penelitian.
2. Studi Literatur
Mencari dan memahami teori serta konsep yang dibutuhkan untuk mengerjakan penelitian ini dengan maksud untuk mendapatkan kerangka berfikir, teori, metode dan target yang hendak dicapai dalam penelitian ini.
3. Pengumpulan data
Mengumpulkan data-data yang diperlukan untuk penelitian ini.
4. Pengolahan data
Melakukan pengolahan data yang akan dijelaskan lebih lanjut pada bagian selanjutnya.
 - Perhitungan *MNDWI*
Perhitungan indeks konten air dengan algoritma *Modified Normalized Difference Water Index*. Langkah pertama adalah menghitung *Bottom of Atmosphere Reflectance* (ρ_{BOA}) dengan Persamaan 1 (United States Geological Survey, 2020).

$$\rho_{BOA} = Q_{cal} * 0,0000275 - 0,2 \quad (1)$$

Dengan Q_{cal} merupakan nilai piksel dalam *digital number*. Kemudian perhitungan dapat dilanjutkan dengan rumus *MNDWI*.

$$MNDWI = \frac{\rho_{BOA}(GREEN) - \rho_{BOA}(SWIR)}{\rho_{BOA}(GREEN) + \rho_{BOA}(SWIR)} \quad (2)$$

Dengan $\rho_{BOA}(GREEN)$ merupakan ρ_{BOA} untuk band *green* dan $\rho_{BOA}(SWIR)$ merupakan ρ_{BOA} untuk band *short-wave infrared*.

- Perhitungan *NDBI*
Perhitungan indeks lahan terbangun menggunakan algoritma *NDBI*.

$$NDBI = \frac{\rho_{BOA}(SWIR) - \rho_{BOA}(NIR)}{\rho_{BOA}(SWIR) + \rho_{BOA}(NIR)} \quad (3)$$

Dengan $\rho_{BOA}(NIR)$ merupakan ρ_{BOA} untuk band *near-infrared*. ρ_{BOA} didapatkan dari (1).

- Perhitungan *NDVI*
Perhitungan indeks tutupan vegetasi dengan menggunakan algoritma *NDVI*.

$$NDVI = \frac{\rho_{BOA}(NIR) - \rho_{BOA}(RED)}{\rho_{BOA}(NIR) + \rho_{BOA}(RED)} \quad (4)$$

Dengan $\rho_{BOA}(RED)$ merupakan ρ_{BOA} untuk band *red*. ρ_{BOA} didapatkan dari (1).

- Perhitungan Suhu Permukaan Tanah
Suhu permukaan tanah dihitung menggunakan algoritma *Land Surface Temperature Single-Channel*.

$$LST = [\gamma * \left[\frac{1}{\epsilon} * (\psi_1 * L_{\lambda} + \psi_2) + \psi_3 \right] + \delta] - 273,15 \quad (5)$$

Dengan LST merupakan suhu permukaan tanah dalam celcius, γ merupakan parameter gamma,

ε merupakan emisivitas permukaan tanah, δ merupakan parameter delta, L_λ merupakan *spectral radiance*, ψ_1 merupakan fungsi atmosfer 1, ψ_2 merupakan fungsi atmosfer 2, dan ψ_3 merupakan fungsi atmosfer 3. Sebelum melakukan perhitungan diatas diperlukan nilai *spectral radiance* (L_λ).

$$L_\lambda = M_L * Q_{cal} + A_L \quad (6)$$

M_L merupakan *radiance multiplicative scaling factor* dari *band* yang digunakan, Q_{cal} merupakan nilai piksel dalam *digital number*, dan A_L merupakan *Radiance additive scaling factor* dari *band* yang digunakan.

— Perhitungan *ECI*

Indeks kekritisian lingkungan dihasilkan dari algoritma *Environmental Criticality Index (ECI)*

$$\frac{LST_{rescaled} * NDBI_{rescaled}}{ECI} = \frac{NDVI_{rescaled} * NDWI_{rescaled}}{\quad} \quad (7)$$

Tetapi pada penelitian ini, penulis akan mencoba untuk menyesuaikan (7) menjadi :

$$ECI = \frac{LST_{rescaled} * NDBI_{rescaled}}{NDVI_{rescaled} * MNDWI_{rescaled}} \quad (8)$$

Digunakan *MNDWI* pada (8) karena *MNDWI* merupakan indeks konten air yang lebih baik daripada *NDWI*, terutama pada daerah yang memiliki jenis tutupan lahan yang bermacam-macam, seperti area urban atau kota. *LST_{rescaled}* merupakan suhu permukaan tanah yang nilainya telah di-skala ulang, *NDBI_{rescaled}* merupakan *Normalized Difference Built-Up Index* yang nilainya telah di-skala ulang, *NDVI_{rescaled}* merupakan *Normalized Difference Vegetation Index* yang nilainya telah di-skala ulang, *NDWI_{rescaled}* merupakan *Normalized Difference Water Index* yang telah di-skala ulang, dan *MNDWI_{rescaled}* merupakan *Modified Normalized Difference Water Index* yang nilainya telah di-skalaulang. Skala ulang atau *Rescale* dapat dihitung menggunakan Persamaan (9).

$$Rescaled\ grid = [(grid - Min\ value\ from\ grid) * (Max\ scale\ value - Min\ scale\ value) / (Max\ value\ from\ grid - Min\ value\ from\ grid)] + Min\ scale\ value \quad (9)$$

Dengan *Rescaled grid* merupakan data raster dengan nilai yang telah di-skala ulang, *grid* merupakan data raster yang akan di-skala ulang, *Min value from grid* merupakan nilai minimum *grid*, *Max value from grid* merupakan nilai maksimum *grid*, *Min scale value* merupakan nilai minimum skala baru, dan *Max scale value* merupakan nilai maksimum skala baru.

— Hasil

Menghasilkan peta indeks kekritisian lingkungan Kota Bandung tahun 2017, 2018, 2019, 2020 dan 2021.

— Analisis Data

Melakukan analisis hasil pengolahan data agar diperoleh informasi mengenai nilai, persebaran, dan perubahan indeks kekritisian lingkungan Kota Bandung tahun 2017-2021.

— Penyusunan Laporan

Tahap akhir berupa penarikan kesimpulan dan penyusunan laporan berdasarkan hasil dan analisis penelitian yang telah dilakukan.

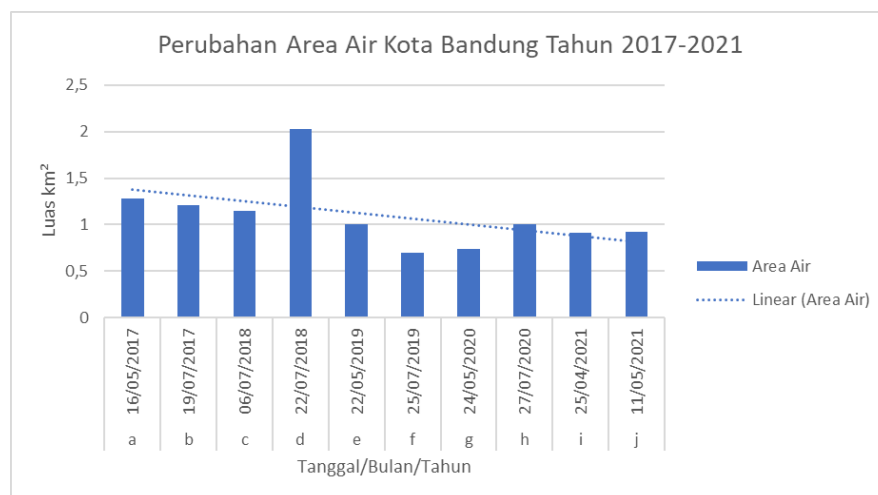
Hasil dan Pembahasan

1. Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI)

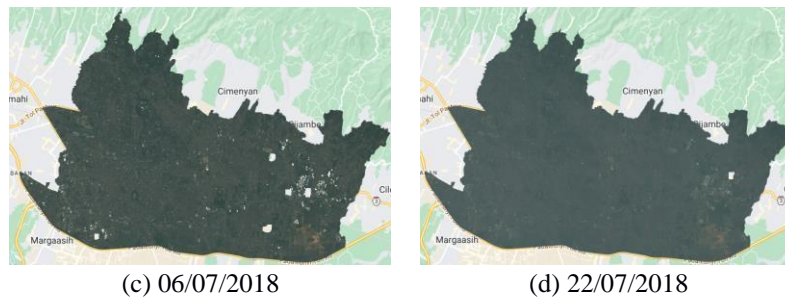
Berikut ini merupakan hasil dari pengolahan dan analisis indeks konten air menggunakan algoritma *MNDWI*. *MNDWI* dibagi menjadi dua kelas yaitu, area bukan air dan air. Dengan rata-rata luas area air sebesar 1,081 km². Luas area air mengalami penurunan sebesar 0,366 km² dalam periode tahun 2017-2021. Hal ini diakibatkan oleh aktivitas pembangunan Kota Bandung yang dari waktu ke waktu terus melakukan perubahan jenis tutupan lahan menjadi bangunan atau infrastruktur untuk memenuhi kebutuhan masyarakatnya yang jumlahnya terus meningkat.

Tabel 1. Luas *MNDWI* Kota Bandung Tahun 2017-2021

Kode	Tanggal	Luas (km ²)	
		Bukan air	Air
a	16/05/2017	168,3495	1,2834
b	19/07/2017	149,4603	1,206
c	06/07/2018	167,5215	1,1475
d	22/07/2018	167,6952	2,0286
e	22/05/2019	168,5961	1,0044
f	25/07/2019	168,8985	0,6984
g	24/05/2020	168,8859	0,7353
h	27/07/2020	168,2289	1,0026
i	25/04/2021	167,9877	0,9144
j	11/05/2021	168,3918	0,9171



Gambar 3. Bar Chart Perubahan Area Air Kota Bandung Tahun 2017-2021



Gambar 4. Perbandingan antara citra (c) dan (d)

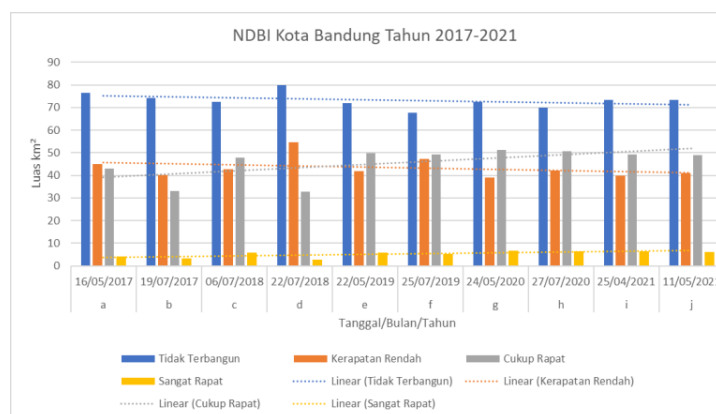
Terdapat sebuah lonjakan luas area air pada tanggal (d) 22/07/2018. Hal tersebut diakibatkan karena citra satelit pada waktu (d) ditutupi oleh awan tipis sehingga menyebabkan hasil perhitungan *MNDWI* yang kurang akurat. Berdasarkan Gambar 4, citra satelit (d) terlihat lebih “buram” dibandingkan dengan citra satelit (c).

2. Normalized Difference Built-Up Index

Berikut ini merupakan hasil pengolahan untuk *NDBI* dan analisisnya. *NDBI* diklasifikasi menjadi 4 (empat) kelas yaitu kelas tidak terbangun, kerapatan rendah, cukup rapat dan sangat rapat. Perubahan luas yang terjadi berdasarkan Tabel 2 adalah penurunan luas pada kelas tidak terbangun sebesar 3,371 km², penurunan luas pada kelas kerapatan rendah sebesar 4,099 km², kenaikan luas pada kelas cukup rapat sebesar 5,859 km², dan kenaikan luas pada kelas sangat rapat sebesar 2,006 km².

Tabel 2. Luas *NDBI* Kota Bandung Tahun 2017-2021

Kode	Tanggal	Luas (km ²)			
		Tidak Terbangun	Kerapatan Rendah	Cukup Rapat	Sangat Rapat
a	16/05/2017	76,599	45,0279	43,083	4,203
b	19/07/2017	74,2635	40,1931	33,0138	3,1905
c	06/07/2018	72,5139	42,6348	47,7594	5,769
d	22/07/2018	79,7652	54,5076	32,6844	2,766
e	22/05/2019	72,0567	41,9967	49,788	5,7735
f	25/07/2019	67,6377	47,3895	49,3551	5,2146
g	24/05/2020	72,5742	39,1059	51,2577	6,6951
h	27/07/2020	70,02	42,1272	50,7015	6,4035
i	25/04/2021	73,4553	39,7728	49,275	6,399
j	11/05/2021	73,2276	40,9284	48,9429	6,2091



Gambar 5. Bar chart luas *NDBI* Kota Bandung tahun 2017-2021

Berdasarkan penjelasan diatas, terjadi penurunan luas pada kelas tidak terbangun (jenis tutupan lahan pada kelas ini dapat berupa tutupan vegetasi) serta kenaikan pada dua kelas yang termasuk lahan terbangun yaitu, kelas cukup rapat dan sangat rapat. Hal ini memvalidasi analisis *MNDWI* yang menyatakan bahwa penurunan luas area air dalam periode tahun 2017-2021 disebabkan oleh aktivitas pembangunan Kota Bandung.

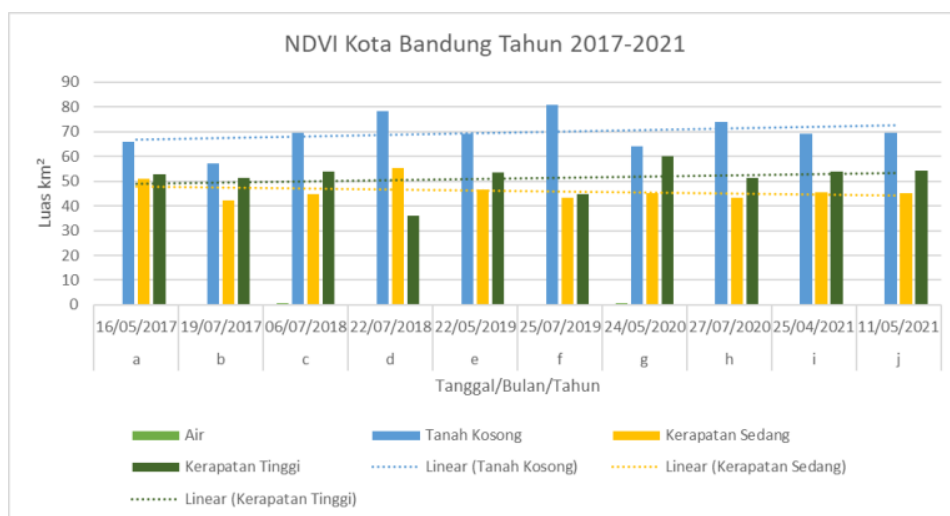
3. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Berikut ini merupakan hasil pengolahan data untuk *NDVI* dan analisisnya. *NDVI* diklasifikasi menjadi 4 (empat) kelas yaitu, air atau awan, tanah kosong, kerapatan sedang dan kerapatan tinggi. Perubahan luas yang terjadi berdasarkan Tabel 3 adalah kenaikan luas pada kelas tanah kosong sebesar 3,744 km², penurunan luas pada kelas kerapatan sedang sebesar 5,735 km², dan kenaikan luas pada kelas kerapatan tinggi sebesar 1,522 km².

Tabel 3. Luas *NDVI* Kota Bandung Tahun 2017-2021

Kode	Tanggal	Luas (km ²)			
		Air	Tanah Kosong	Kerapatan Sedang	Kerapatan Tinggi
a	16/05/2017	0,0702	65,9313	50,8734	52,758
b	19/07/2017	0,1305	57,0213	42,075	51,461
c	06/07/2018	0,6723	69,4485	44,613	53,9541
d	22/07/2018	0,0009	78,3252	55,2096	36,1881
e	22/05/2019	0,2754	69,0138	46,7325	53,6049
f	25/07/2019	0,3537	80,9109	43,4277	44,9046
g	24/05/2020	0,531	64,2465	44,9613	59,9058
h	27/07/2020	0,4356	73,917	43,4286	51,4638
i	25/04/2021	0,171	69,0525	45,6606	54,018
j	11/05/2021	0,2376	69,6753	45,1377	54,2808

Berdasarkan penjelasan diatas, terjadi kenaikan luas pada tanah kosong dan penurunan luas pada kerapatan vegetasi sedang. Hal ini memvalidasi analisis *MNDWI* dan juga *NDBI*. Pada analisis *MNDWI*, terjadi penurunan luas area air yang berarti terjadi perubahan jenis tutupan lahan air menjadi jenis tutupan lahan lain. Sedangkan pada analisis *NDBI*, terjadi kenaikan pada dua kelas yang termasuk lahan terbangun. Kemudian pada *NDVI* sendiri terjadi penurunan luas pada kelas kerapatan vegetasi sedang, yang berarti tutupan vegetasi berubah menjadi jenis tutupan lahan lain, seperti lahan terbangun.



Gambar 6. Bar chart luas *NDVI* Kota Bandung tahun 2017-2021

4. Suhu Permukaan Tanah

Berikut ini merupakan hasil pengolahan data untuk suhu permukaan tanah dan analisisnya. Suhu permukaan tanah diklasifikasi menjadi 5 (lima) kelas yaitu kelas suhu sangat rendah, suhu rendah, suhu sedang, suhu tinggi dan suhu sangat tinggi. Perubahan luas yang terjadi berdasarkan Tabel 4 adalah penurunan luas pada kelas suhu sangat rendah sebesar 1,01 km², penurunan luas pada kelas suhu rendah sebesar 2,1 km², kenaikan luas pada kelas suhu sedang sebesar 2,09 km², kenaikan luas pada kelas suhu tinggi sebesar 1,92 km², dan penurunan luas pada kelas suhu sangat tinggi sebesar 1,2 km².

Selain perubahan di atas, terjadi perubahan juga pada rata-rata suhu permukaan dalam periode tahun 2017-2021, yaitu naik sebesar 1,9 °C. Penyebab penurunan luas pada kelas suhu sangat rendah, penurunan luas pada kelas suhu rendah, kenaikan luas pada kelas suhu sedang, kenaikan luas pada kelas suhu tinggi, dan kenaikan rata-rata suhu permukaan tanah dapat ditemukan pada analisis *NDBI* dan *NDVI*. Hasil analisis *NDBI* adalah naiknya luas dua kelas lahan terbangun (kelas lahan terbangun cukup rapat dan kelas lahan terbangun sangat rapat) sedangkan hasil analisis *NDVI* adalah turunnya luas kelas kerapatan vegetasi sedang dan naiknya luas kelas tanah kosong.

Tabel 4. Luas Suhu Permukaan Tanah Kota Bandung Tahun 2017-2021

Kode	Tanggal	Rata-Rata Suhu (°C)	Luas (km ²)				
			Suhu Sangat Rendah	Suhu Rendah	Suhu Sedang	Suhu Tinggi	Suhu Sangat Tinggi
a	16/05/2017	23,59	16,2099	13,2606	113,607	18,8073	7,7481
b	19/07/2017	20,64	13,1364	15,2496	91,776	15,975	8,8965
c	06/07/2018	27,4	14,0265	12,9753	111,5514	19,152	10,9827
d	22/07/2018	23,213	14,1912	12,1707	114,5061	19,278	9,5778
e	22/05/2019	25,1746	14,6772	12,5145	115,6995	19,2249	7,5105
f	25/07/2019	27,3722	14,7474	11,7108	112,3173	25,2783	5,5431
g	24/05/2020	23,1752	15,9084	12,3039	116,6193	18,5607	6,2523
h	27/07/2020	25,7177	14,7366	11,9187	114,4647	21,3201	6,8049
i	25/04/2021	25,9192	15,0849	12,8808	114,786	19,1493	7,0011
j	11/05/2021	25,4974	15,1938	11,16	115,7004	20,7297	6,5475

Maka dapat disimpulkan penyebab perubahan luas setiap kelas suhu permukaan tanah dan perubahan rata-rata suhu permukaan tanah adalah bertambahnya luas lahan terbangun dan berkurangnya tutupan vegetasi.



Gambar 7. Bar chart luas suhu permukaan tanah Kota Bandung tahun 2017-2021

Terjadi penurunan luas yang drastis pada tanggal (b) 19/07/2017 berdasarkan Gambar 7. Hal ini disebabkan oleh awan yang menutupi area yang cukup besar pada wilayah penelitian. Area yang ditutupi awan ditunjukkan pada Gambar 8.



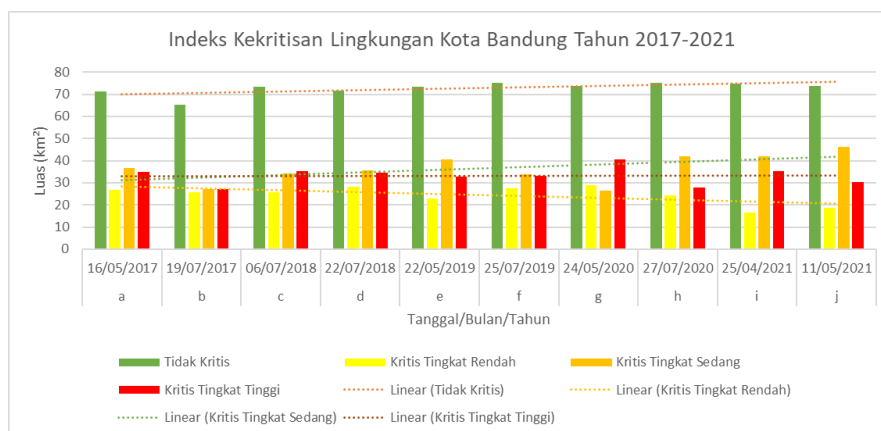
Gambar 8. Citra satelit (b) 19/07/2017 yang sebagian areanya ditutupi awan

5. Indeks Kekritisan Lingkungan

Indeks kekritisan lingkungan diklasifikasi menjadi 4 (empat) kelas yaitu kelas tidak kritis, kritis tingkat rendah, kritis tingkat sedang dan kritis tingkat tinggi. Pembagian empat kelas tersebut dilakukan dengan cara memanfaatkan nilai batas (*threshold*) dan metode klasifikasi *quantile*.

Tabel 5. Luas Indeks Kekritisan Lingkungan Kota Bandung Tahun 2017-2021

Kode	Tanggal	Luas (km ²)			
		Tidak Kritis	Kritis Tingkat Rendah	Kritis Tingkat Sedang	Kritis Tingkat Tinggi
a	16/05/2017	71,2053	26,7822	36,6948	34,9506
b	19/07/2017	65,3904	25,5933	26,982	27,0684
c	06/07/2018	73,4472	25,839	34,1838	35,1981
d	22/07/2018	71,6247	28,2033	35,441	34,4538
e	22/05/2019	73,3077	22,8573	40,6197	32,8131
f	25/07/2019	75,1338	27,5985	33,831	33,0336
g	24/05/2020	73,6884	28,8423	26,4024	40,6818
h	27/07/2020	74,9718	24,2757	41,9634	28,0125
i	25/04/2021	74,9664	16,6626	41,8671	35,406
j	11/05/2021	73,8126	18,5769	46,3248	30,4892



Gambar 9. Bar chart luas indeks kekritisan lingkungan Kota Bandung tahun 2017-2021.

Berdasarkan Tabel 5, terdapat perubahan luas untuk masing-masing kelas di Kota Bandung dalam periode tahun

2017-2021, berikut ini perubahan tersebut : terjadi kenaikan luas pada kelas tidak kritis sebesar 2,607km²; terjadi penurunan luas pada kelas kritis tingkat rendah sebesar 8,205 km²; terjadi kenaikan luas pada kelas kritis tingkat sedang sebesar 9,63 km²; dan terjadi penurunan luas pada kelas kritis tingkat tinggi sebesar 4,461 km².

Kenaikan luas pada kelas kritis tingkat sedang disebabkan oleh beberapa alasan, yaitu: kenaikan luas lahan terbangun pada kelas cukup rapat dan sangat rapat (berdasarkan hasil analisis *NDBI*); penurunan luas tutupan vegetasi pada kelas kerapatan sedang (berdasarkan hasil analisis *NDVI*); dan penurunan luas pada kelas suhu sangat rendah, penurunan luas pada kelas suhu rendah, kenaikan luas pada kelas suhu sedang, kenaikan luas pada kelas suhu tinggi dan kenaikan rata-rata suhu permukaan tanah (berdasarkan analisis suhu permukaan tanah).

Fenomena naiknya luas kelas tidak kritis, turunnya luas kelas kritis tingkat rendah dan turunnya luas kelas kritis tingkat tinggi terjadi karena beberapa faktor. Beberapa faktor yang mempengaruhi fenomena-fenomena di atas adalah : naiknya luas tutupan vegetasi pada kelas kerapatan tinggi dalam periode tahun 2017-2021 (berdasarkan hasil analisis *NDVI*); Turunnya luas suhu permukaan tanah pada kelas suhu sangat tinggi dalam periode tahun 2017-2021 (berdasarkan hasil analisis suhu permukaan tanah); dan berdasarkan Peraturan Daerah Kota Bandung Nomor 18 Tahun 2011 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Bandung Tahun 2011-2031. Pemerintah Kota Bandung menargetkan penyediaan ruang terbuka hijau dengan luas 34 km² atau 20% dari luas kota. Perwujudan dari kebijakan ini dapat dilihat dari naiknya luas ruang terbuka hijau di Kota Bandung. Dengan luas 20,407 km² (12,2% dari luas kota) pada tahun 2017 dan 20,4897 km² (12,25% dari luas kota) pada tahun 2021.

Setelah dilakukan analisis mengenai perubahan luas indeks kekritisian lingkungan untuk setiap kelasnya, dapat disimpulkan secara keseluruhan berdasarkan tabel 6, bahwa Kota Bandung mengalami kenaikan luas area tidak kritis sebesar 2,608 km² dan penurunan luas area kritis sebesar 3,037 km² dalam periode tahun 2017-2021. Beberapa penyebabnya adalah naiknya luas tutupan vegetasi (kelas kerapatan tinggi), turunnya luas suhu permukaan tanah (kelas suhu sangat tinggi) dan naiknya luas ruang terbuka hijau di Kota Bandung pada tahun 2017-2021.

Tabel 6. Luas Area Tidak Kritis dan Kritis Kota Bandung Tahun 2017-2021

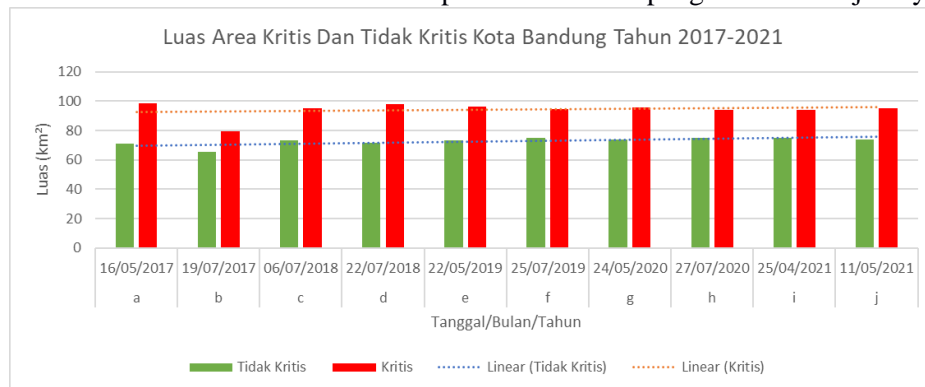
Kode	Tanggal	Luas (km ²)		Perbedaan Luas (km ²)	
		Tidak Kritis	Kritis	Tidak Kritis	Kritis
a	16/05/2017	71,205	98,428	5,815	18,784
b	19/07/2017	65,390	79,644		
c	06/07/2018	73,447	95,221	1,822	2,877
d	22/07/2018	71,625	98,098		
e	22/05/2019	73,308	96,290	1,826	1,827
f	25/07/2019	75,134	94,463		
g	24/05/2020	73,688	95,927	1,283	1,675
h	27/07/2020	74,972	94,252		
i	25/04/2021	74,966	93,936	1,154	1,455
j	11/05/2021	73,813	95,391		

Selanjutnya akan dilakukan analisis mengenai perubahan luas area kritis dan tidak kritis untuk setiap waktu pengamatan pada tahun yang sama berdasarkan Tabel 6. Waktu pengamatan a dan b (tahun 2017) memiliki perbedaan luas yang besar baik untuk area tidak kritis ataupun area kritis, hal ini disebabkan oleh awan yang

menutupi sebuah area di wilayah penelitian pada waktu pengamatan b. Sehingga setelah awan tersebut tereliminasi (melalui proses *cloud masking*), wilayah penelitian mengalami pengurangan luas area. Area yang ditutupi awan ditunjukkan pada Gambar 8.

Kemudian untuk waktu penelitian c dan d (tahun 2018) memiliki perbedaan luas yang dianggap besar baik area kritisnya maupun area tidak kritisnya karena perbedaan waktu antara pengamatan c dan d hanya 16 hari. Hal ini disebabkan oleh kualitas citra satelit pada waktu pengamatan d yang secara visual terlihat lebih “buram” dibandingkan dengan citra satelit pada waktu pengamatan c. Proses pengolahan data dilakukan dengan metode-metode yang sama untuk semua citra dan citra lain menghasilkan indeks kekritisan lingkungan yang baik. Sedangkan citra satelit (d) merupakan salah satu citra yang memiliki keanehan karena “keburaman” tersebut tidak dapat dihilangkan walaupun sudah melalui proses pengolahan data dengan metode yang sama dengan citra satelit lain. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4.

Lalu untuk waktu pengamatan e dan f (tahun 2019) memiliki perbedaan waktu sekitar 2 bulan, begitu juga dengan waktu pengamatan g dan h (tahun 2020). Perbedaan luas area kritis dan tidak kritis antara kedua tahun tersebut tidak berbeda jauh karena kedua tahun tersebut memiliki perbedaan waktu pengamatan yang sama. Sedangkan untuk waktu pengamatan i dan j (tahun 2021) memiliki perbedaan luas area kritis dan tidak kritis yang lebih kecil dibandingkan tahun 2019 dan tahun 2020 karena perbedaan waktu pengamatan i dan j hanya 16 hari.



Gambar 10. Bar Chart Luas Area Kritis Dan Tidak Kritis Kota Bandung Tahun 2017-2021

Kesimpulan

Terjadi kenaikan luas pada kelas kritis tingkat sedang sebesar $9,63 \text{ km}^2$. Fenomena ini terjadi karena naiknya luas lahan terbangun pada kelas cukup rapat dan sangat rapat, turunnya luas tutupan vegetasi pada kelas kerapatan sedang, turunnya luas suhu permukaan tanah pada kelas suhu sangat rendah, turunnya luas suhu permukaan tanah pada kelas suhu rendah, naiknya luas suhu permukaan tanah pada kelas suhu sedang, naiknya luas suhu permukaan tanah pada kelas suhu tinggi, dan naiknya rata-rata suhu permukaan tanah di Kota Bandung dalam periode tahun 2017-2021. Terjadi kenaikan luas pada kelas tidak kritis sebesar $2,607 \text{ km}^2$, penurunan luas pada kelas kritis tingkat rendah sebesar $8,205 \text{ km}^2$, dan penurunan luas pada kelas kritis tingkat tinggi sebesar $4,461 \text{ km}^2$. Fenomena-fenomena tersebut terjadi karena tiga alasan. Alasan pertama adalah naiknya luas tutupan vegetasi pada kelas kerapatan tinggi. Kemudian alasan kedua adalah turunnya luas suhu permukaan tanah pada kelas suhu sangat tinggi. Alasan ketiga adalah naiknya luas ruang terbuka hijau di Kota Bandung pada tahun 2017-2021 sebagai perwujudan dari Peraturan Daerah Kota Bandung Nomor 18 Tahun 2011 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Bandung Tahun 2011-2031. Secara keseluruhan, Kota Bandung mengalami kenaikan luas area tidak kritis sebesar $2,608 \text{ km}^2$ dan penurunan luas area kritis sebesar $3,037 \text{ km}^2$ dalam periode tahun 2017-2021.

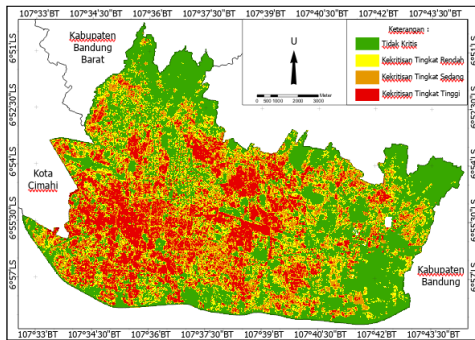
Daftar Pustaka

- Adon, N.J. (2017). *Sosiologi Perkotaan : Memahami Masyarakat Kota dan Problematikanya*. Bandung: CV. PustakaSetia. ISBN 978-979-076-518-4.
- Badan Informasi Geospasial. (2017). Ina-Geoportal. Diakses pada tanggal 20 Februari 2022 jam 9.00 dari <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web>.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (2022). Data Online Pusat Database-BMKG. Diakses pada tanggal 29 september 2022 dari <https://dataonline.bmkg.go.id/home>.
- Badan Pusat Statistik Kota Bandung. (2018). *Kota Bandung Dalam Angka*. Bandung: BPS Kota Bandung ISSN:0215.2320. Nomor Publikasi : 32730.1803.
- Badan Pusat Statistik Kota Bandung (2022). *Kota Bandung Dalam Angka*. Bandung: BPS Kota Bandung ISSN:0215.2320. Nomor Publikasi : 32730.2203.
- Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil. (2021). Kepadatan Penduduk Berdasarkan Kabupaten/Kota di Jawa Barat. Diakses pada 9 September 2022 jam 10.00 dari <https://opendata.jabarprov.go.id/id/dataset/kepadatan-penduduk-berdasarkan-kabupatenkota-di-jawa-barat>.
- Environmental Protection Agency. (2021). Heat Islands. Diakses pada tanggal 31 Desember 2021 jam 15.00 dari <https://www.epa.gov/heatislands/learn-about-heat-islands>.
- ESRI. (2016). How To: Rescale raster data. Diakses pada 26 Juli 2022, jam 19.43 dari <https://support.esri.com/en/technical-article/000008671>.
- Feri, F., Nia, K.F.V., dan Astrolabe S.P. (2020). *Analisis Indeks Kekritisn Lingkungan Di Kota MakassarMenggunakan Citra Satelit Landsat 8 OLI/TIRS*. Elipsoida Vol 03 No 01, Juni 2020 (55-63) ISSN 2621-9883.
- Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K., Holloway, T., Howard, E.A., Kucharik, C.J., Monfreda, C., Patz, J.a., Prentice, C., Ramankutty, N., Snyder, P.K., 2005. Global consequences of land use. *Science* 309 (5734), 570–574.
- Google. (2019). Google Earth Engine. Diakses pada tanggal 29 September 2022 jam 6.32 dari <https://earthengine.google.com/>.
- Jackson, R.D., dan Huete, A.R., (1991). *Interpreting vegetation indexes*. *Prev Vet Med* 11:185–200.
- Jimenez-Munoz, J.C., Sobrino, J.A., Skokovic D., Mattar C., dan Cristobal J.. (2014). *Land Surface Temperature Retrieval Methods From Landsat-8 Thermal Infrared Sensor Data*. *IEEE Geoscience And Remote Sensing Letters*, Vol. 11, No. 10, Oktober 2014.
- M. Zakir, T.N., dan Rika H. (2018). Analisis Fenomena UHI (Urban Heat Island) Berdasarkan Hubungan Antara Kerapatan Vegetasi Dengan Suhu Permukaan (Studi Kasus: Kota Bandung, Jawa Barat).
- Malik, M.S., Shukla, J.P., dan Mishra, S. (2019). Relationship of LST, NDBI and NDVI using Landsat-8 data in Kandahimmat Watershed, Hoshangabad, India. *Indian Journal of Geo Marine Sciences* Vol. 48 (01), January 2019, pp. 25-31.
- OpenStreetMap Contributor. (2022). OpenStreetMap. Diakses tanggal 16 Desember 2022 jam 13.47 dari <https://www.openstreetmap.org/>.
- Pemerintah Kota Bandung, 2011. Peraturan Daerah Kota Bandung Nomor : 18 Tahun 2011 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Bandung Tahun 2011-2031.
- Senanayake, I.P., Welivitiya, W.D.D.P., dan Nadeeka P.M. (2013). Remote sensing based analysis of urban heat islands with vegetation cover in Colombo city, Sri Lanka using Landsat-7 ETM+ data. *Journal : Urban Climate* 5 (2013) 19-35.
- Syahtriawan, Q.Z., Rushayati, S.B., dan Setiawan, Y. (2019). Fenomena Urban Heat Island dan Peran Vegetasi Terhadap Penurunan Suhu di Kota Depok Jawa Barat. *IPB University Scientific Repository*.
- Szabó, S., Gácsi, Z., dan Balázs B. (2016). Specific Features Of NDVI, NDWI And MNDWI As Reflected In Land Cover Categories. *Landscape & Environment* 10 (3-4) 2016. 194-202.
- U.S. Climate Change Science Program. (2008). Analyses of the effects of global change on human health and welfare and human systems. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA
- United States Geological Survey. (2020). How do I use a scale factor with Landsat Level-2 science products?. Diakses tanggal 20 Agustus 2022 jam 19.55 dari <https://www.usgs.gov/faqs/how-do-i-use-scale-factor-landsat-level-2-science-products>.
- Vaughn Ihlen. (2019). Landsat 8 (L8) Data Users Handbook Version 5.0. Department of the Interior, United States Geological Survey, Sioux Falls, South Dakota.
- Wong, N.H., dan Yu, C. (2005). Study of green areas and urban heat island in a tropical city. *Habitat International* 29(3), 547–558.
- Xu Hanqiu. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing* Vol. 27, No. 14, 20 July 2006, 3025–3033.

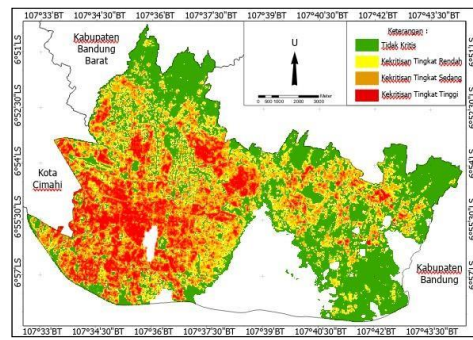


This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

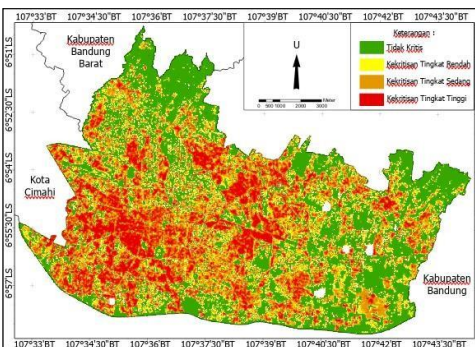
Lampiran



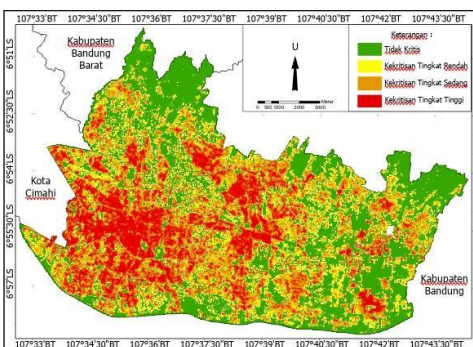
(a) 16/05/2017



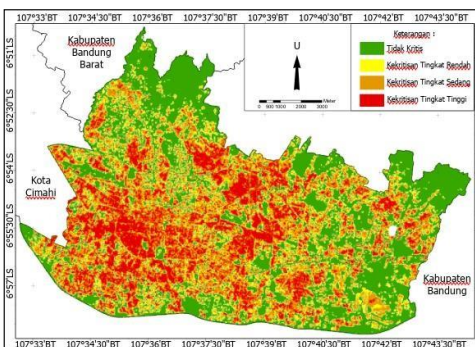
(b) 19/07/2017



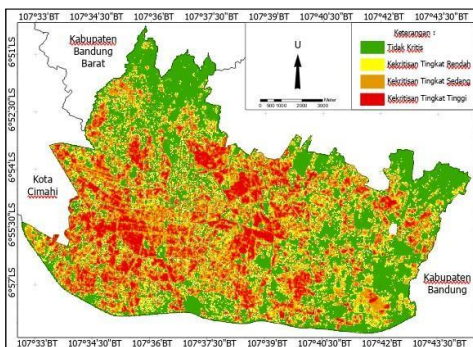
(c) 06/07/2018



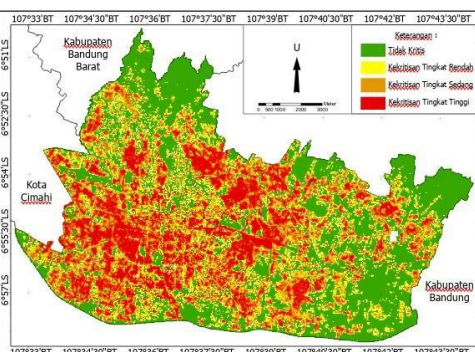
(d) 22/07/2018



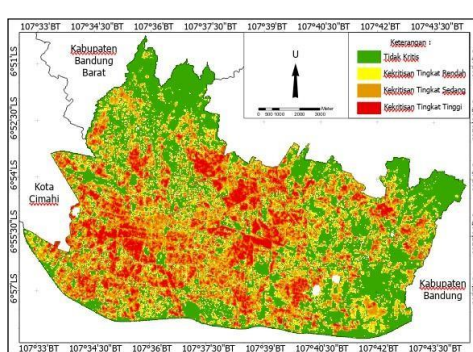
(e) 22/05/2019



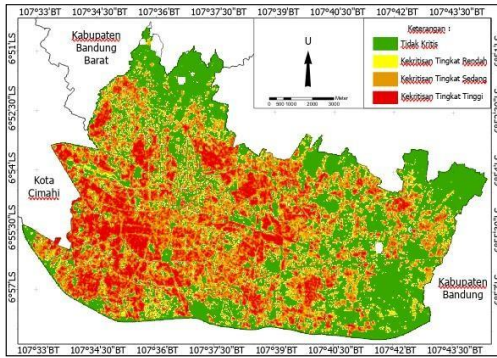
(f) 25/07/2019



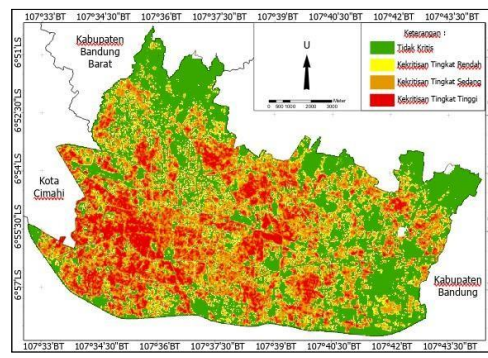
(g) 24/05/2020



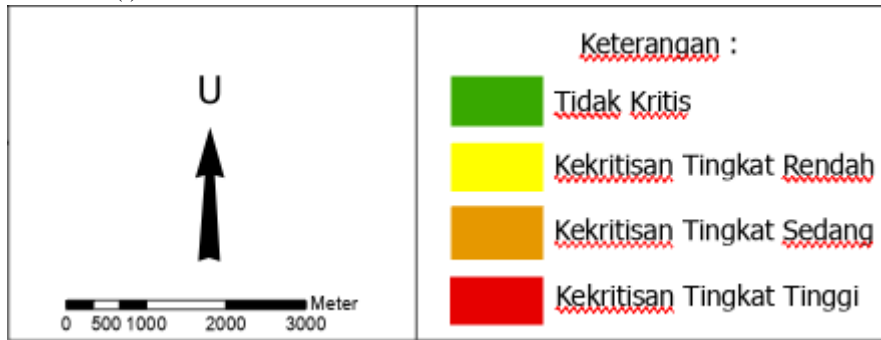
(h) 27/07/2020



(i) 25/04/2021



(j) 11/05/2021



Peta indeks kekritisan lingkungan Kota Bandung tahun 2017-2021.