

Kecerdasan Buatan berbasis Geospasial (GeoAI) menggunakan *Google Earth Engine* untuk Monitoring Fenomena *Urban Heat Island* di Indonesia

SONI DARMAWAN, NADA NAFISYAH NURULHAKIM, RIKA HERNAWATI

Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia
Email: Soni_darmawan@itenas.ac.id

Received 22 November 2023 | *Revised* 25 Januari 2024 | *Accepted* 12 Februari 2024

ABSTRAK

Fenomena Urban Heat Island (UHI) sangat penting untuk dimonitor agar terjaga kualitas lingkungan perkotaan. Dewasa ini teknologi kecerdasan buatan berbasis geospasial (GeoAI) merupakan teknologi yang menjanjikan untuk mengidentifikasi dan monitoring secara cepat dan efisien suatu kawasan yang luas. Walaupun Kecerdasan buatan sudah banyak diteliti namun GeoAI untuk identifikasi dan monitoring fenomena UHI di Indonesia masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk membangun sistem GeoAI menggunakan google earth engine untuk monitoring fenomena UHI di Indonesia. Metodologi pada penelitian ini dimulai dari perancangan sistem, pengumpulan data dan komputasi, pembuatan dashboard, pengujian, hingga visualisasi UHI di Indonesia. Hasil penelitian ini berupa sistem aplikasi untuk monitoring fenomena UHI di Indonesia yang divisualisasikan dalam sebuah dashboard menggunakan Earth Engine Apps yang dapat diakses pada tautan <https://bit.ly/UHIGDItenas>.

Kata kunci: Kecerdasan buatan, Penginderaan jauh dan Geospasial

ABSTRACT

Urban Heat Island (UHI) phenomenon is very important to monitor for managing the quality of the urban environment. Recently geospatial-based artificial intelligence (GeoAI) technology is a promising technology for quickly and efficiently identifying and monitoring on the large area. Even though artificial intelligence has been widely researched, GeoAI for identifying and monitoring the UHI phenomenon in Indonesia is still limited. This research aims to build a GeoAI system using the Google Earth engine for monitoring the UHI phenomenon in Indonesia. The methodology in this research starts from system design, data collection and computing, dashboard creation, testing and visualization of UHI in Indonesia. The results of this research are an application system for monitoring the UHI phenomenon in Indonesia which is visualized in a dashboard using Earth Engine Apps which can be accessed on <https://bit.ly/UHIGDItenas>.

Keywords: Artificial Intelligence, Remote sensing, and Geospatial

1. PENDAHULUAN

Suatu wilayah perkotaan dengan populasi pertumbuhan penduduk yang tinggi disertai urbanisasi dapat mengakibatkan alih fungsi lahan **(Maru, 2015)**. Proses alih fungsi lahan tersebut dapat mengakibatkan perubahan iklim mikro dimana kondisi suhu udara di perkotaan lebih tinggi dibandingkan dengan suhu udara di sekitarnya yang dikenal dengan *Urban Heat Island* (UHI) **(Hermawan, 2015) (Li, dkk, 2020)**. UHI ditandai dengan adanya suatu daerah yang memiliki suhu lebih tinggi dibandingkan daerah sekitarnya dan dikaitkan dengan berbagai kegiatan manusia seperti pembangunan gedung-gedung di kota dan kegiatan penyebab meningkatnya suhu permukaan **(Al Hakim, dkk, 2022)**. Pada umumnya suhu tertinggi akan terdapat di pusat kota dan menurun secara bertahap ke arah pinggir kota hingga ke desa **(Phelan, dkk, 2015)**. UHI dapat terbentuk pada siang atau malam hari, di kota kecil atau kota besar, dan diberbagai musim **(Naf & Hernawati, 2018)**.

Suhu rata-rata tahunan sebuah kota dengan satu juta penduduk atau lebih dapat menjadi 1 hingga 6°C lebih hangat daripada sekitarnya **(Sastry, dkk, 2017)**. Kondisi ini dapat terjadi karena di wilayah perkotaan sebagian besar merupakan lahan terbangun dan material-material yang kedap air sehingga mengakibatkan penyerapan dan konduktivitas panas yang tinggi **(Ullah, dkk, 2023)**. Lokasi sebuah kota dengan tren urbanisasi yang terus menerus dapat mengalami kenaikan suhu yang cukup drastis karena menurunnya tutupan vegetasi dan kelembapan permukaan tanah **(Utami, dkk, 2020)**. Meskipun suhu permukaan tidak sama dengan suhu udara, namun suhu permukaan menjadi salah satu faktor penyebab terjadinya UHI. Suhu permukaan merupakan suhu bagian terluar dari suatu objek, ketika suatu benda menyerap radiasi maka suhu permukaan benda tersebut akan meningkat **(Darlina, dkk, 2018)**. Dua jenis utama UHI yaitu *Atmospheric Urban Heat Island* (AUHI) dan *Surface Urban Heat Island* (SUHI). *Surface Urban Heat Island* menggambarkan UHI yang bisa dideteksi dari suhu permukaan tanah dan biasanya diilustrasikan dengan citra termal **(Dewan, dkk, 2021) (Dewan, dkk, 2021)**. *Surface Urban Heat Island* paling kuat terjadi pada siang hari terutama di area industri dengan bangunan besar beratap datar atau area terbuka dengan trotoar yang luas seperti bandara, pusat perbelanjaan, dan persimpangan jalan raya utama **(Voogt & Oke, 2003)**. UHI dapat menimbulkan beberapa dampak negatif seperti menyebabkan perubahan kualitas udara, pengaruh terhadap kesehatan manusia, penggunaan energi, dan perubahan iklim **(Deilami, dkk, 2018)**.

Pengukuran UHI dapat dilakukan dengan dua cara : secara langsung melalui stasiun cuaca atau survei lapangan; atau tidak langsung dengan teknologi penginderaan jauh. Metode secara langsung memiliki kelemahan seperti waktu, biaya, dan masalah akurasi interpolasi data spasial, khususnya untuk skala regional. Namun, data wilayah dan permukaan bumi yang kompleks dapat dikumpulkan dengan tepat melalui teknologi penginderaan jauh **(Torres de Almeida, dkk, 2022)**. Informasi yang didapatkan dari pengolahan data penginderaan jauh dapat divisualisasikan pada suatu *webGIS* sehingga informasi tersebut dapat diakses dengan mudah oleh masyarakat luas. *WebGIS* memanfaatkan jaringan internet untuk mendistribusikan dan mengkomunikasikan data menjadi sebuah informasi baik dalam bentuk teks, diagram, maupun peta digital, serta mampu menjalankan berbagai fungsi terkait *GIS* **(McHaffie, dkk, 2019) (Purwonegoro & Setiawan, 2021) (Hidayat, 2020)**.

Semakin banyaknya manfaat dari penggunaan *webGIS*, maka *webGIS* pun terus dikembangkan dengan menerapkan kecerdasan buatan atau *Artificial Intelligence*. *Artificial Intelligence* merupakan kecerdasan yang ditambahkan pada suatu sistem dengan pemrograman komputer sehingga sistem tersebut mampu menafsirkan dan mengelola data untuk suatu tujuan tertentu **(Skilton & Hovsepien, 2018)**. *Artificial Intelligence* fokus pada

pengembangan sistem yang mampu belajar secara mandiri tanpa harus berulang kali diprogram oleh manusia (**Cholissodin, dkk, 2020**). *Artificial Intelligence* memiliki beberapa keuntungan seperti bersifat permanen, lebih mudah diduplikasi dan disebar, bersifat konsisten, dapat didokumentasikan, serta dapat mengerjakan pekerjaan lebih cepat dan lebih baik (**Jaya, dkk, 2018**). Seiring dengan perkembangan teknologi dan big data geospasial berkembang *Geospatial Artificial Intelligence* (GeoAI). Menurut (**Li, 2020**) Teknologi GeoAI memadukan *Artificial Intelligence* (AI), *big data* dan *High Processing Computer* (HPC). GeoAI didefinisikan secara luas sebagai penerapan metode dan teknik kecerdasan buatan (AI) pada data, proses, model, dan aplikasi geospasial. GeoAI mencakup metode AI, data besar geospasial, dan komputasi kinerja tinggi (HPC) untuk memberikan solusi teknologi untuk masalah data dan geospasial yang intensif secara komputasi (**Usery, dkk, 2022**). Sebagai contoh penerapan GeoAI adalah penggunaan aplikasi WebGIS berbasis *cloud computing* yang disajikan berdasarkan utilitas secara *on demand* (**Ririh, dkk, 2020**). Salah satu platform yang dapat digunakan untuk pembuatan *GeoAI* dengan menerapkan hal tersebut adalah Google Earth Engine. Platform Google Earth Engine memiliki katalog citra satelit dengan skala petabyte, kemampuan komputasi skala besar, *Application Programming Interface* (API) tingkat tinggi, dan tersedianya algoritma *Artificial Intelligence*, memungkinkan para peneliti untuk memproses geospasial data dengan skala besar untuk berbagai aplikasi GeoAI (**Tamiminia, dkk, 2020**). Pemanfaatan *Artificial Intelligence* telah menghasilkan beragam perangkat cerdas yang berguna bagi kehidupan manusia sehingga *Artificial Intelligence* terus dipelajari dan dikembangkan secara meluas maupun mendalam (**Cholissodin, dkk, 2020**). Pada tahun 2018, (**Ravanelli, dkk, 2018**) dan timnya melakukan analisis korelasi skala antara suhu permukaan tanah dan perubahan tutupan lahan untuk memantau fenomena *Urban Heat Island* di area metropolitan United States dengan memanfaatkan *Google Earth Engine*. (**Chakraborty & Lee, 2019**) pada tahun 2019 mengestimasi intensitas *Urban Heat Island* pada skala global dan menampilkannya dalam sebuah *website* menggunakan *Google Earth Engine*.

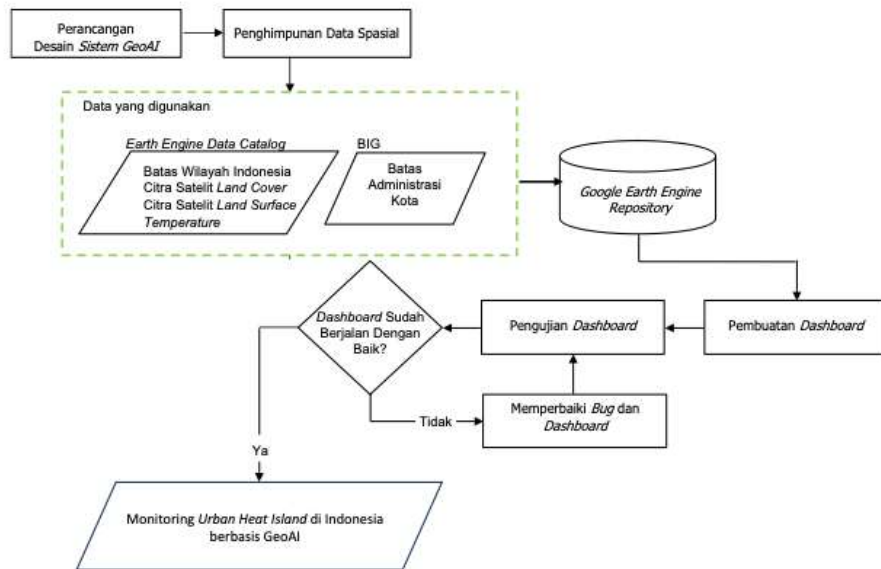
Walaupun Kecerdasan buatan sudah banyak diteliti namun kecerdasan buatan berbasis geospasial (GeoAI) untuk identifikasi dan monitoring urban heat island (UHI) di Indonesia masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk membangun sistem GeoAI menggunakan google earth engine untuk monitoring fenomena UHI di Indonesia. GeoAI untuk identifikasi dan monitoring UHI, memvisualisasikan seluruh wilayah Indonesia secara time series. Informasi ini akan bermanfaat bagi pengambil keputusan dalam perencanaan wilayah dan mitigasi terhadap bencana.

2. METODOLOGI PENELITIAN

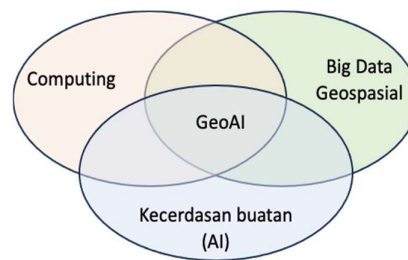
Metodologi membangun sistem kecerdasan buatan berbasis geospasial (GeoAI) untuk monitoring fenomena UHI di Indonesia dimulai dari perancangan sistem desain sistem, penghimpunan data spasial dan komputasi, pembuatan dashboard, pengujian, dan pembuatan *dashboard* aplikasi monitoring UHI di Indonesia, seperti terlihat pada Gambar 1.

2.1 Perancangan GeoAI dan Desain *Dashboard*

Mengacu pada (**Li, 2020**), teknologi kecerdasan buatan berbasis geospasial (GeoAI) memadukan *Artificial Intelligence* (AI), big data geospasial dan *computing* seperti terlihat pada Gambar 2. *Big data* geospasial yang digunakan untuk memetakan dan monitoring suhu permukaan dan fenomena UHI dapat menggunakan data citra satelit penginderaan jauh MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) dengan algoritma *Land Surface Temperature* (LST).



Gambar 1. Metodologi Pembangunan Aplikasi UHI



Gambar 2. Tiga Pilar GeoAI

LST merupakan parameter penting untuk memetakan UHI dan yang berhubungan dengan fisika permukaan bumi melalui proses pertukaran energi dan air dengan atmosfer (**Dan, dkk, 2010**) (**Darmawan, dkk, 2019**). Estimasi LST menggunakan metode *split windows* pada citra satelit MODIS menurut (**Wan & Dozier, 1995**) dituliskan :

$$LST = C + (A1 + A2 ((1 - \epsilon) / \epsilon) + A3 (\Delta\epsilon / \epsilon^2)) (T_{11\mu} + T_{12\mu}) / 2 + (B1 + B2 ((1 - \epsilon) / \epsilon) + B3 \Delta\epsilon / \epsilon^2) (T_{11\mu} - T_{12\mu}) / 2 \quad (1)$$

dimana $\epsilon = 0.5(\epsilon_{11\mu} + \epsilon_{12\mu})$ dan $\Delta\epsilon = \epsilon_{11\mu} - \epsilon_{12\mu}$

Setelah melakukan perhitungan LST, dilakukan estimasi UHI menggunakan persamaan yang digunakan oleh (**Alves, 2016**), yakni pengukuran perbedaan suhu antara perkotaan dan pedesaan. Untuk menentukan estimasi UHI ini tidak ada satu standar tunggal yang dapat diterapkan untuk menentukan besarnya fenomena UHI ini (**Alves & Lopes, 2017**). Menurut (**Alves & Lopes, 2017**) serta (**Lopes, dkk, 2013**) untuk menentukan UHI dilakukan dengan menggunakan pengurangan suhu yang diukur di wilayah perkotaan dengan suhu yang diukur di stasiun cuaca atau bandara. Intensitas UHI diperkirakan sebagai perbedaan antara lokasi dengan suhu tertinggi (T_{high}) dan lokasi dengan suhu terendah (T_{lower}) pada waktu tertentu (Persamaan 2) (**Alves & Lopes, 2017**).

$$UHI_{t_0 h \rightarrow 23 h} = T_{high} - T_{lower} \quad (2)$$

Nilai UHI ini menurut dapat berubah tergantung dari jarak terhadap sumber meskipun suhu permukaan lebih tinggi dari suhu udara, namun suhu permukaan tetap berhubungan dengan suhu udara sesuai dengan ketinggian dari permukaan. Untuk membuat peta sebaran atau distribusi UHI dilakukan dengan menggunakan ambang batas untuk area yang terjadi UHI dan area yang tidak terjadi UHI melalui Persamaan 3 (Ma, dkk, 2010).

$$T > \mu + 0,5\alpha \quad \text{atau} \quad 0 < T \leq \mu + 0,5\alpha \quad (3)$$

Selanjutnya pada tahapan perancangan desain *dashboard* dilakukan pembuatan *wireframe* tampilan sistem. *Wireframe* merupakan kerangka dasar dalam mendesain komponen-komponen pada halaman *website* (Hidayat & Fauziyyah, 2022). Dalam mendesain halaman web, banyak hal yang harus dipertimbangkan, seperti bagaimana halaman tersebut menyesuaikan dengan tampilan website secara keseluruhan, konten dan interaksi yang diperlukan untuk memenuhi tujuan pengguna, bagaimana setiap komponen berhubungan satu sama lain, dan bagaimana halaman tersebut akan dilihat dari luar (Ward, 2010). *Dashboard* dirancang untuk menampilkan identitas *dashboard* seperti logo, nama *dashboard*, dan berbagai fitur yang dapat menampilkan visualisasi UHI. Tampilan *dashboard* terbagi menjadi dua bagian, yaitu *main dashboard* dan *sub-dashboard*. *Main dashboard* memperlihatkan halaman utama *dashboard* ketika pengguna pertama kali mengakses *dashboard*. Sedangkan *sub-dashboard* memperlihatkan tampilan *dashboard* setelah pengguna menjalankan fitur pada *dashboard* yang meliputi visualisasi dan grafik UHI.

2.2 Penghimpunan Data Geospasial

Pada pembuatan *dashboard* ini, diperlukan suatu manajemen data yang dapat digunakan untuk menyimpan data dari berbagai sumber. Dimana data tersebut nantinya menjadi bahan informasi pada *dashboard*. Google Earth Engine menyediakan Google Earth Engine *Repository* sebagai sarana untuk manajemen *big data* geospasial. Google Earth Engine *Repository* dapat dikelola menggunakan *script* dan disimpan pada sebuah *file module* (Tamiminia, dkk, 2020). Google Earth Engine adalah platform berbasis *cloud* untuk komputasi dan analisis data geospasial skala besar yang mempunyai kemampuan memecahkan berbagai bidang spasial. Google Earth Engine memungkinkan pengguna untuk menghitung hingga petabyte data spasial dengan cepat secara *multiuser* berbasis *cloud* (Gorelick, dkk, 2017). Data pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Penelitian

No.	Jenis Data	Format Data	Sumber
1.	Batas Wilayah Indonesia	Vektor (Area)	<i>Earth Engine Catalog</i> : https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/USDOS_LSIB_SIMPLE_2017
2.	Batas Administrasi Kota	Vektor (Area)	Badan Informasi Geospasial: https://tanahair.indonesia.go.id
3.	Citra Satelit MODIS <i>Land Cover</i>	Raster (Area)	<i>Earth Engine Catalog</i> : https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/MODIS_006_MCD12Q1
4.	Citra Satelit MODIS <i>Land Surface Temperature</i>	Raster (Area)	<i>Earth Engine Catalog</i> : https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/MODIS_061_MOD11A1

2.3 Pembuatan *Dashboard*

Dashboard visualisasi UHI di Indonesia berbasis *Artificial Intelligence* dibangun menggunakan *Earth Engine Apps* sebagai basis halaman antarmuka pengguna dan menggunakan *Google Earth Engine* untuk membangun layer dan fitur-fitur pada *dashboard*. Konsep model visualisasi berbasis web mengacu pada *cloud-based platform Google Earth Engine*, menurut **(Gorelick, dkk, 2017)** *Google Earth Engine* dapat dikembangkan dengan konsep *tree tier* **(Kumar & Mutanga, 2018)**. Dimana antarmuka berbasis web memungkinkan pengguna melakukan penelusuran, memasukkan dan mengubah data spasial, metadata, dan data tabular.. Bahasa pengantar yang digunakan dalam pembuatan *dashboard* ini yaitu *Javascript API*. Untuk menggunakan *Google Earth Engine* dengan *Javascript API* dapat digunakan konsol *Google Earth Engine* yang dapat diakses melalui *code editor* **(Tamiminia, dkk, 2020)**. Penjelasan terkait perangkat lunak, fungsi, dan tahapan pembuatan *dashboard* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perangkat Lunak, Fungsi, dan Tahapan Pembuatan *Dashboard*

No.	Perangkat Lunak	Fungsi	Tahapan
1.	Google Earth Engine <i>Data Catalog</i>	Penyedia Data	Pencarian data sesuai dengan kebutuhan untuk visualisasi UHI
2.	Google Earth Engine <i>Repository</i>	Penyimpanan Data Spasial	Data spasial dipanggil dari <i>Earth Engine Catalog</i> dan disimpan pada <i>Google Earth Engine Repository</i> .
3.	Google Earth Engine	Pembuatan Visualisasi UHI	Citra satelit MODIS MCD12Q1 dan MOD11A1 ditambahkan pada <i>code editor</i> dan diolah untuk menampilkan visualisasi UHI
4.	Google Earth Engine	Pembuatan Grafik UHI	Pembuatan grafik UHI terdiri dari grafik minimum dan grafik maksimum
5.	Google Earth Engine	Pembuatan Sistem <i>Dashboard</i>	Penambahan kode tampilan antarmuka pengguna, kode hasil dari visualisasi UHI dan kode grafik UHI pada sistem <i>dashboard</i> .
6.	<i>Earth Engine Apps</i>	Publikasi <i>Dashboard</i>	<i>Dashboard</i> yang sudah selesai dibangun dipublikasikan melalui <i>Earth Engine Apps</i> .

Sebagian *syntax* yang digunakan dalam pembuatan visualiasai *Urban Heat Island* dapat dilihat pada Gambar 3.

2.4 Pengujian *Dashboard*

Untuk menguji *dashboard* ini, Sistem Usability Scale (SUS) digunakan. SUS dapat digunakan untuk mengukur persentase penilaian pengguna terhadap *dashboard* yang telah dibuat **(Brooke, dkk, 2020)**. Pengguna yang mengakses dan menjalankan *dashboard*, diminta untuk mengisi *feedback* yang isinya mengacu pada metode SUS. Pernyataan pada *feedback* terbagi menjadi tiga elemen, yaitu tampilan dan interaksi sebanyak empat pernyataan, fitur sebanyak empat pernyataan, dan kepuasan pengguna sebanyak dua pernyataan.

Dalam perhitungan SUS, lima poin skala likert digunakan: "Sangat Tidak Setuju", "Tidak Setuju", "Netral", "Setuju", dan "Sangat Setuju". Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai rentang *percentile* metode SUS ditunjukkan pada Persamaan 4.

```
///Export UHI
exports.indicated = function() {
  //Final LST
  var LST = celcius.mosaic().rename('LST');
  //Calculate mean LST over urban subset
  var urban_LST = LST.blend(urban);
  var urban_mean = urban_LST.reduce(ee.Reducer.mean()).rename('urban_mean');
  //Calculate mean LST over non urban subset
  var rural_LST = LST.blend(rural);
  var rural_mean = rural_LST.reduce(ee.Reducer.mean()).rename('rural_mean');

  var UHIVis = rural_mean.subtract(urban_mean).rename('UHI');
  return UHIVis;
};

///UHI Grafik
///Import LST Image Collection
var dataset = ee.ImageCollection('MODIS/061/MOD11A1')
  .select('LST_Day_1km')
  .filterBounds(roi);
var modisc = dataset.map(function(img) {
  return img.multiply(0.02).subtract(273.15).copyProperties(img, ['system:time_start']);
});
```

Gambar 3. Sebagian *Syntax Javascript* pada *Google Earth Engine* Untuk Visualisasi UHI

Percentile Range (%)

$$= \left(\frac{\text{Batas atas Percentile Range} - \text{Batas bawah Percentile Range}}{\text{Batas atas SUS score range} - \text{Batas bawah SUS score range}} \right) \\ * (\text{SUS Score yang didapat} - \text{Batas bawah SUS score range}) \\ + \text{Batas atas percentile range}$$

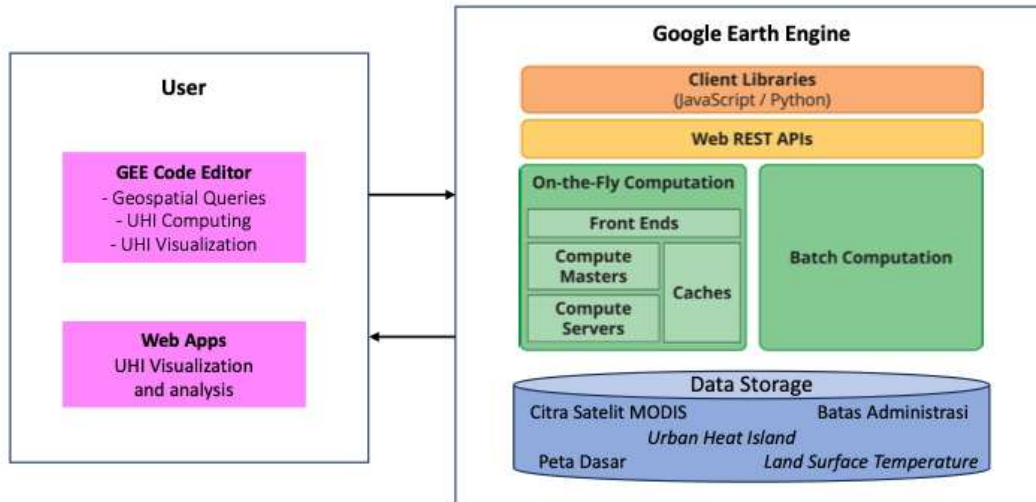
(4)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Platform dan arsitektur

Aplikasi untuk monitoring fenomena *urban heat island* (UHI) menggunakan platform Google Earth Engine (GEE). GEE merupakan platform berbasis *cloud* yang mudah diakses. GEE menggunakan *High Performance Computing* (HPC) untuk memproses *big data* geospasial (Gorelick, dkk, 2017). GEE terdiri dari katalog data *multi-petabyte* siap dianalisis yang ditempatkan bersama dengan layanan komputasi paralel yang berkinerja tinggi. GEE dapat diakses dan dikendalikan melalui *Application Programming Interface* (API) dan IDE terkait yang berbasis web (Gorelick, dkk, 2017).

Arsitektur aplikasi UHI seperti terlihat pada Gambar 4, dimana pengguna membuat *coding* untuk *query* data, *computing* dan visualisasi sesuai *Graphical User Interface* (GUI) yang diinginkan. Sehubungan aplikasi UHI menggunakan platform GEE, oleh karena itu secara keseluruhan arsitektur mengadopsi arsitektur GEE. Data *storage* berupa katalog data pada GEE merupakan kumpulan data geospasial yang banyak digunakan dan dikurasi multi-petabyte. Sebagian besar katalog ini terdiri dari citra penginderaan jauh. Katalog data terus diperbarui dengan kecepatan hampir 6000 adegan per hari. Pengguna dapat meminta penambahan kumpulan data baru ke katalog data, atau dapat mengunggah data pribadi mereka melalui antarmuka menggunakan alat berbasis browser atau baris perintah dan membagikannya dengan pengguna atau grup lain sesuai keinginan (Gorelick, dkk, 2017).



Gambar 4. Arsitektur Aplikasi *Urban Heat Island* (UHI) pada Platform GEE

Pada dasarnya arsitek aplikasi GEE dibuat berdasarkan kumpulan teknologi pendukung yang tersedia dalam pusat data Google, termasuk *cluster management system* (Verma, dkk, 2015); *Bigtable* (Chang, dkk, 2008), *Spanner* (Corbett, dkk, 2013) *distributed databases*; dan *Java framework for parallel pipeline execution* (Chambers, dkk, 2010) serta *database* berbasis web yang mendukung tabel data geometri (titik, garis, dan poligon) dengan atribut.

Aplikasi UHI pada platform GEE mempunyai banyak kelebihan, namun walaupun bagaimana platform GEE mempunyai kelebihan dan kekurangan seperti terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kelebihan dan kekurangan platform GEE (Amani, dkk, 2020)

	Kelebihan	Kekurangan
Infrastruktur Cloud	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Free</i> untuk penelitian, pendidikan dan nonprofit • Menggunakan fasilitas Google • Proses dapat dilakukan secara paralel • Powerfull untuk analisis data geospasial • Mempunyai petabyte data • Dapat dilakukan secara online • <i>Open code</i> dan script • Tidak perlu instal software lain • Menggunakan sistem image pyramids dan tiles untuk mempercepat proses • Mampu melakukan filtering dan penyaringan data secara cepat 	<ul style="list-style-type: none"> • Data untuk melakukan deep learning algorithm terbatas hanya 100 MB • Lebih banyak feature akan lebih sedikit piksel • Akan melambat bila memvisualisasikan secara detail • Memerlukan pemahaman coding • Tidak mudah memahami fungsi • proses debugging memerlukan waktu • Membayar lisensi untuk aplikasi komersil
API	<ul style="list-style-type: none"> • Berbasis web interface • Menggunakan JavaScripts dan Python • online IDE • menyerupai open akses • mudah diakses menggunakan notebooks Google Collab Jupyter 	<ul style="list-style-type: none"> • Java Script dan Phyton dilakukan padai client • Client melakukan pada browser • Ketergantungan kapasitas browser
Data	<ul style="list-style-type: none"> • Katalog data yang besar • Data arsip hingga 40 tahun sebelumnya • Near-realtime data 	<ul style="list-style-type: none"> • Pengguna dibatas mengupload hingga 250 GB • Proses download tergantung kualitas

	Kelebihan	Kekurangan
	<ul style="list-style-type: none"> • User dapat mengupload data • User dapat download hasil analisis • Otomatis menghandle proyeksi data • Kebanyakan data sudah dilakukan preprocessing • Tersedia data turunan 	<p>internet dan volume data</p> <ul style="list-style-type: none"> • Data baru membutuhkan waktu untuk dilakukan preprocessing • Data SAR amplitude dan phase yang kompleks tidak tersedia • Utamanya data tidak bersifat pribadi
Fungsi	<ul style="list-style-type: none"> • Mempunyai fungsi pemanggilan data yang besar • Dapat mencari metode dan paket di library • Dapat dilakukan paralel • Terdapat machine learning, pengolahan data citra, pengolahan data vektor, analisis geometri dan algoritma untuk visualisasi • Tersedia dokumen tutorial 	<ul style="list-style-type: none"> • Hanya ada beberapa model penambangan data • Image analisis dibatasi oleh tools yang ada • Tidak mudah membuat tools baru • Koreksi atmosferik tidak cukup tersedia

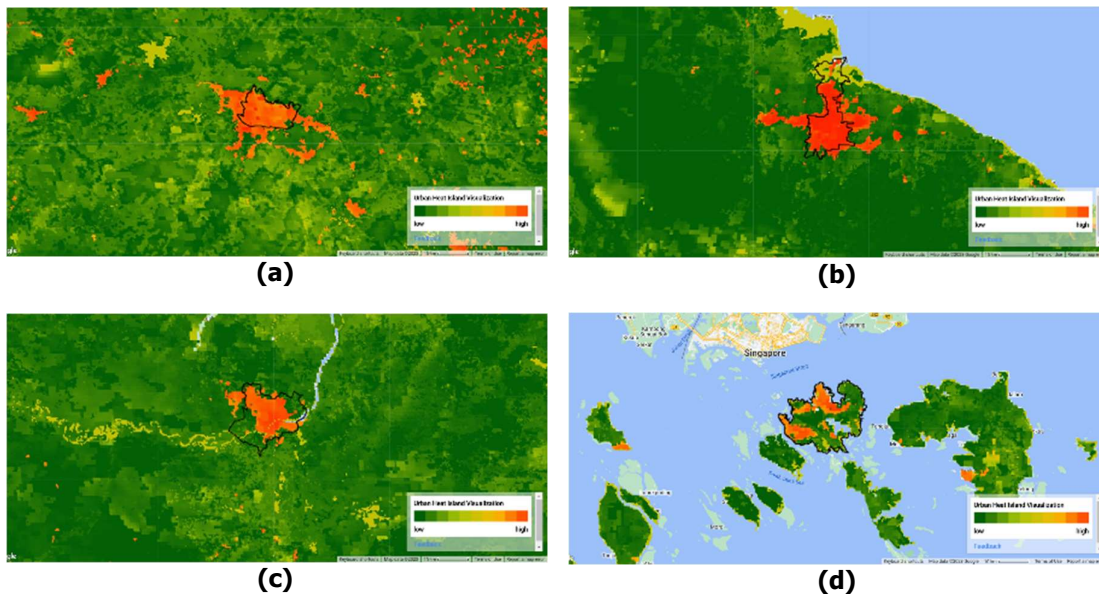
3.2 Estimasi *Urban Heat Island* (UHI)

Hasil pengolahan data citra MODIS *Land Cover* dan citra MODIS *Land Surface Temperature* pada platform GEE menghasilkan persebaran *Urban Heat Island* (UHI) di Indonesia. Data MODIS *Land Surface Temperature* yang digunakan dalam pembuatan visualisasi UHI terdapat pada *Earth Engine Catalog* sehingga dapat diolah secara langsung dan UHI yang dihasilkan dapat *ter-update* secara otomatis sesuai dengan *update* pada *Earth Engine Catalog*. Adanya *big data* geospasial citra satelit MODIS menghitung LST secara spasial menjadi relatif mudah dengan cakupan area yang luas (Ermida, dkk, 2020). *Artificial intelligence* memiliki kemampuan untuk secara otomatis mengekstrak informasi dari citra satelit secara akurat serta didukung dengan *high processing* secara *cloud* dapat mengestimasi, memetakan dan monitoring UHI secara efektif dan efisien (Almeida, dkk, 2022) (Li & Arundel, 2022). Monitoring UHI menggunakan data citra satelit penginderaan jauh memungkinkan dilakukannya analisis pemetaan skala besar yang hemat biaya (Tamiminia, dkk, 2020). Penelitian lain yang dilakukan (Goldblatt, dkk, 2021) menunjukkan bahwa kumpulan data penginderaan jauh lebih unggul daripada data berbasis darat untuk penghitungan *Land Surface Temperature* untuk identifikasi UHI. Pada peta persebaran fenomena UHI di Indonesia (Gambar 5) dengan menggunakan persamaan yang digunakan oleh Alves dan Lopes (2017), wilayah yang tidak terkena UHI ditampilkan dengan nilai nol hingga negatif (≤ 0) pada warna hijau tua. Sementara itu, wilayah yang terkena dampak fenomena UHI memiliki nilai positif (> 0) pada warna gradasi warna jingga ke merah.

Pada Gambar 5 sebaran UHI yang paling tinggi (berwarna Merah) terdapat di kota-kota besar di Indonesia. Area yang terindikasi UHI umumnya berupa area perkotaan maupun area padat industri, sedangkan area yang tidak terindikasi UHI umumnya merupakan area pedesaan. Beberapa faktor memengaruhi fenomena UHI ini, salah satunya adalah penggunaan lahan di perkotaan dan jumlah vegetasi yang minim di perkotaan. Hasil analisis aplikasi UHI yang dibuat dapat menginformasikan kondisi UHI di kota-kota besar di Indonesia, dan seperti yang telah di informasikan oleh *Environmental Protection Agency* pada tahun 2005, kota-kota besar di Indonesia teridentifikasi fenomena UHI yang sangat signifikan, seperti pada Gambar 6.



Gambar 5. Sebaran Fenomena *Urban Heat Island* di Indonesia



Gambar 6. *Urban Heat Island* di: (a). Kota Bandung; (b). Kota Medan; (c). Kota Palembang; (d). Kota Batam.

3.3 Visualisasi UHI

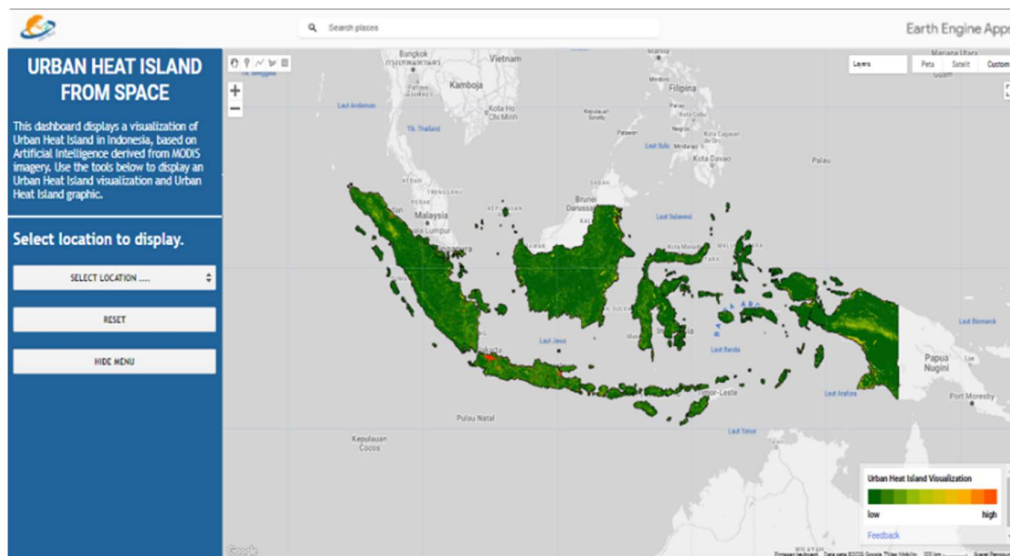
Dashboard visualisasi UHI berbasis *Google Earth Engine* merupakan sebuah *dashboard* yang dirancang untuk memvisualisasikan UHI di Indonesia. Pemanfaatan platform *Google Earth Engine* pada visualisasi UHI menjadi sebuah gagasan dalam monitoring UHI di Indonesia. *Geospatial Artificial Intelligence (GeoAI)* pada *dashboard* visualisasi UHI di Indonesia memanfaatkan data yang tersimpan dalam *cloud storage* pada *Google Earth Engine*, sehingga data yang digunakan dalam pembuatan *dashboard* dapat langsung diproses tanpa perlu mengunduh data terlebih dahulu dan dapat ter-*update* secara otomatis.

Pengguna dapat mengakses *dashboard* melalui tautan berikut: <https://bit.ly/UHIGDItenas>. Ketika pengguna mengakses *dashboard*, maka akan ditampilkan halaman utama *dashboard*. Halaman utama *dashboard* menyajikan informasi berupa logo *dashboard*, nama *dashboard*,

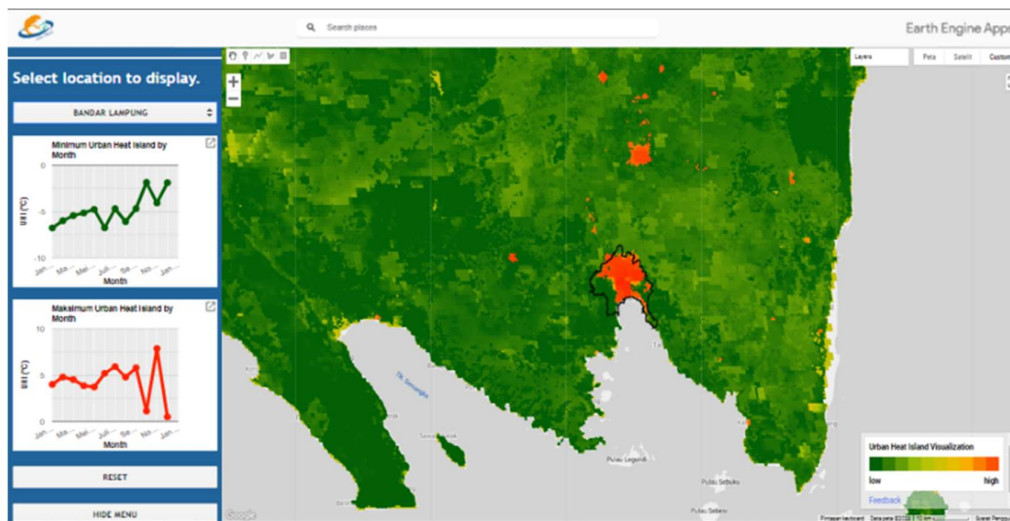
Kecerdasan Buatan Berbasis Geospasial (GeoAI) menggunakan Google Earth Engine untuk Monitoring Fenomena *Urban Heat Island* di Indonesia

deskripsi, batas wilayah Indonesia, visualisasi *Urban Heat Island*, legenda, fitur *feedback*, menu *drop-down list*, tombol *reset*, dan tombol *hide menu*. Halaman utama *dashboard* dapat dilihat pada Gambar 7.

Ketika pengguna memilih lokasi tertentu (yang tersedia pada *drop-down list*) maka *dashboard* akan menampilkan visualisasi UHI pada lokasi yang dipilih seperti pada Gambar 8. Pada *panel* sebelah kiri akan ditampilkan grafik UHI di lokasi tersebut.



Gambar 7. Halaman Utama



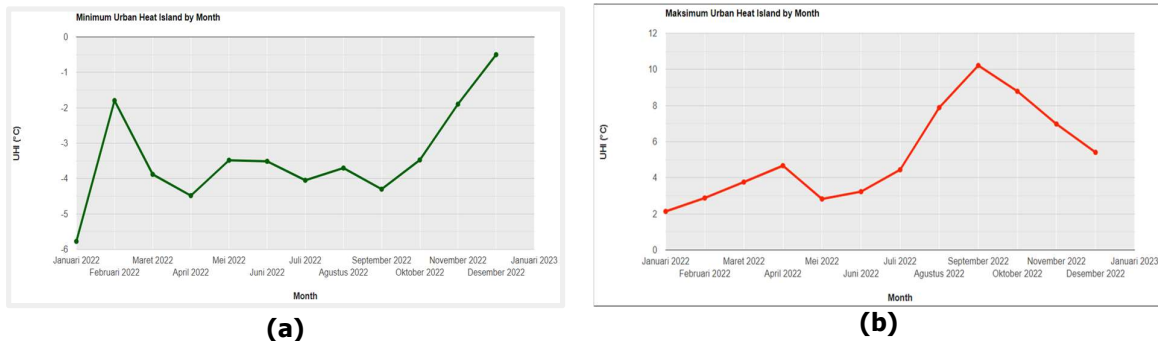
Gambar 8. Visualisasi UHI di Kota Bandar Lampung

Fitur-fitur pada *dashboard* beserta fungsinya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Fitur-fitur pada Dashboard dan Fungsinya

No.	Fitur <i>Dashboard</i>	Fungsi
1.	<i>Search Places Bar</i>	Mencari lokasi tertentu untuk ditampilkan pada <i>dashboard</i> .
2.	<i>Select Location</i>	Memilih lokasi tertentu yang sudah disediakan pada <i>dashboard</i> untuk menampilkan visualisasi dan grafik <i>UHI</i> pada lokasi yang dipilih.
3.	<i>Reset</i>	Mengubah tampilan <i>dashboard</i> ke halaman utama.
4.	<i>Hide</i>	Menyembunyikan menu pada <i>dashboard</i> .
5.	<i>Show</i>	Menampilkan menu pada <i>dashboard</i> .
6.	Legenda	Menampilkan simbol <i>gradient</i> warna yang menunjukkan keadaan <i>Urban Heat Island</i> .
7.	Grafik	Menampilkan grafik minimum dan maksimum <i>Urban Heat Island</i> di lokasi tertentu di Indonesia.
8.	<i>Feedback</i>	Meneruskan pengguna ke <i>form feedback</i> .
9.	Tanda <i>plus (+)</i>	Memperbesar tampilan peta.
10.	Tanda <i>minus (-)</i>	Memperkecil tampilan peta.

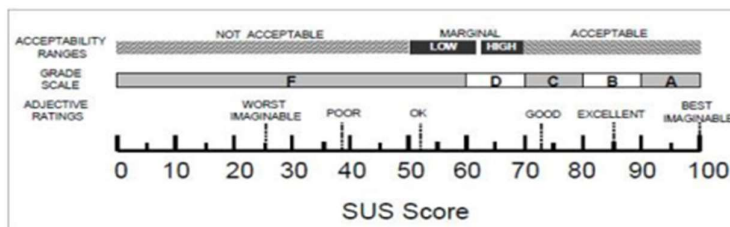
Informasi lain yang terdapat aplikasi UHI ini adalah ditampilkannya grafik minimum dan maksimum *UHI* di salah satu kota di Indonesia. Jika dilihat pada Gambar 9a, suhu minimum dari *Urban Heat Island* mengalami peningkatan dan penurunan dari bulan ke bulan selama satu tahun. Selain itu, suhu maksimum *UHI* juga mengalami peningkatan dan penurunan mulai dari Januari 2022 hingga Desember 2022. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 9b.



Gambar 9. Informasi Nilai UHI Minimum (a) dan Nilai UHI Maksimum (b)

Kemudian metode *System Usability Scale* (SUS) digunakan untuk mengevaluasi *dashboard* visualisasi UHI Indonesia yang telah selesai dibangun, yang berbasis pada *Google Earth Engine*. Metode SUS dapat digunakan untuk mengevaluasi berbagai produk dan jasa, termasuk perangkat lunak, perangkat keras, perangkat *mobile*, situs web, dan aplikasi berdasarkan penilaian pengguna (Usability.gov, 2014). Penelitian ini memiliki total tiga puluh responden. Nilai pegujian *dashboard* ini adalah 89,22% dengan grade A-, berdasarkan nilai *percentile range* yang dihasilkan menggunakan rumus SUS. Nilai ini masuk ke dalam kategori "Excellent", menurut kriteria perhitungan hasil skor yang ditunjukkan pada Gambar 5. Jadi, *dashboard* visualisasi UHI Indonesia berbasis *Google Earth Engine* sudah cukup layak untuk digunakan.

Menurut (Das, dkk, 2022) pemanfaatan GeoAI dan teknologi penginderaan jauh dapat menghasilkan data dan informasi yang akurat dan dapat dipercaya, serta memfasilitasi proses pengambilan keputusan berdasarkan data. Hal ini memungkinkan banyak pemangku kepentingan, termasuk pemerintah daerah dan organisasi afiliasinya, untuk meningkatkan proses pengambilan keputusan mereka di bidang pengelolaan perkotaan dan lingkungan hidup dalam kerangka keseluruhan Indonesia.



Gambar 10. Kriteria Perhitungan Hasil Skor

Dengan pemantauan UHI, tindakan proaktif dapat diambil untuk memitigasi dampak buruk terhadap lingkungan. Informasi yang disajikan dalam penelitian ini dapat digunakan untuk meningkatkan pemanfaatan lahan, menyempurnakan desain arsitektur, meningkatkan lingkungan perkotaan secara keseluruhan, dan mengurangi dampak buruk peningkatan suhu permukaan terhadap kesejahteraan manusia (**Pertuack & Latue, 2023**). Perkembangan teknologi kecerdasan buatan, yang digunakan dalam data penginderaan jauh untuk UHI, menyebabkan banyaknya data UHI berasal dari berbagai sumber (**Shen, dkk, 2023**). Secara umum, pemanfaatan GeoAI dan penginderaan jauh dalam pemantauan UHI memberikan manfaat besar dalam memahami lingkungan, memfasilitasi perencanaan kota yang berkelanjutan, mengelola sumber daya alam, dan melakukan upaya mitigasi perubahan iklim di Indonesia.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah menghasilkan aplikasi monitoring fenomena UHI di Indonesia dengan pendekatan GeoAI. Aplikasi ini menggunakan platform *Google Earth Engine* (GEE), dimana GEE berbasis *cloud computing* dan menggunakan *High Performance Computing* (HPC) untuk memproses *big data* geospasial. Walaupun platform GEE memberikan kemudahan untuk akademisi dan peneliti serta *powerfull* untuk membangun aplikasi monitoring fenomena UHI namun masih ada kekurangan dimana tidak mudah untuk membuat *tools* baru, pembatasan prosesing dan keterbatasan *upload* data. Aplikasi monitoring fenomena UHI di Indonesia dapat diakses melalui tautan <https://bit.ly/UHIGDItenas>, dimana ketika pengguna mengakses *dashboard*, maka akan ditampilkan halaman utama *dashboard*. Halaman utama *dashboard* menyajikan informasi berupa logo *dashboard*, nama *dashboard*, deskripsi, batas wilayah Indonesia, visualisasi *Urban Heat Island*, legenda, fitur *feedback*, menu *drop-down list*, tombol *reset*, dan tombol *hide menu*. Hasil analisis lain dari aplikasi UHI yang dibuat dapat menginformasikan kondisi UHI di kota-kota besar di Indonesia, dan dari hasil penelitian ini menginformasikan kota-kota besar di Indonesia telah mengalami fenomena UHI. Fenomena UHI dapat menyebabkan lingkungan yang tidak nyaman, kualitas udara dan ekonomi, kesehatan manusia, pencemaran air, dan penggunaan energi seperti bahan bakar fosil dan listrik. Kedepan aplikasi monitoring fenomena UHI ini akan terus dikembangkan dengan menambahkan fitur lainnya yang dapat digunakan dalam pengambilan keputusan pengelolaan lingkungan dan mitigasi terhadap bencana.

DAFTAR RUJUKAN

Al Hakim, M. A. Y., Sasmito, B., & Hadi, F. (2022). Analisis Pola SUHI (Surface Urban Heat Island) Kota Pesisir (Coastal City) Wilayah Pantai Utara Jawa Menggunakan Data Sentinel-3 SLSTR Multitemporal (Studi Kasus: Kabupaten Kendal dan Kabupaten

- Cirebon). *Jurnal Geodesi Undip*, 11(3).
- Almeida, C. R. de, Furst, L., Gonçalves, A., & Teodoro, A. C. (2022). Remote Sensing Image-Based Analysis of the Urban Heat Island Effect in Bragança, Portugal. *Environments - MDPI*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/environments9080098>
- Alves, E. D. L. (2016). Seasonal and spatial variation of surface urban heat island intensity in a small urban agglomerate in Brazil. *Climate*, 4(4). <https://doi.org/10.3390/cli4040061>
- Alves, E. D. L., & Lopes, A. (2017). The urban heat island effect and the role of vegetation to address the negative impacts of local climate changes in a small Brazilian City. *Atmosphere*, 8(2). <https://doi.org/10.3390/atmos8020018>
- Brooke, S. A. S., D'Arcy, M., Mason, P. J., & Whittaker, A. C. (2020). Rapid multispectral data sampling using Google Earth Engine. *Computers and Geosciences*, 135(December). <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2019.104366>
- Chakraborty, T., & Lee, X. (2019). A Simplified Urban-Extent Algorithm to Characterize Surface Urban Heat Islands on a Global Scale and Examine Vegetation Control on Their Spatiotemporal Variability. *Application Earth Observation Geoinformation*, 74, 269–280.
- Chambers, C., Raniwala, A., Perry, F., Adams, S., Henry, R. R., Bradshaw, R., & Weizenbaum, N. (2010). FlumeJava: Easy, efficient data-parallel pipelines. *ACM SIGPLAN Notices*, 45(6), 363–375. <https://doi.org/10.1145/1809028.1806638>
- Chang, F., Dean, J., Ghemawat, S., Hsieh, W. C., Wallach, D. A., Burrows, M., Chandra, T., Fikes, A., & Gruber, R. E. (2008). Bigtable: A distributed storage system for structured data. *ACM Transactions on Computer Systems*, 26(2). <https://doi.org/10.1145/1365815.1365816>
- Cholissodin, I., Sutrisno, Soebroto, A. A., Hasanah, U., & Febiola, Y. I. (2020). *AI, Machine Learning & Deep Learning (Teori & Implementasi)*. Universitas Brawijaya.
- Corbett, J. C., Dean, J., Epstein, M., Fikes, A., Frost, C., Furman, J. J., Ghemawat, S., Gubarev, A., Heiser, C., Hochschild, P., Hsieh, W., Kanthak, S., Kogan, E., Li, H., Lloyd, A., Melnik, S., Mwaura, D., Nagle, D., Quinlan, S., ... Woodford, D. (2013). Spanner: Google's globally distributed database. *ACM Transactions on Computer Systems*, 31(3). <https://doi.org/10.1145/2491245>
- Dan, S., Xu, H., Xue, W., He, J., & Dan, B. (2010). Comparison and analysis of research methods for urban heat island effect based on Landsat TM6. *2010 2nd IITA International Conference on Geoscience and Remote Sensing, IITA-GRS 2010, 1*, 161–164. <https://doi.org/10.1109/IITA-GRS.2010.5602992>
- Darlina, S. P., Sasmito, B., & Yuwono, B. D. (2018). Analisis Fenomena Urban Heat Island

- Serta Mitigasinya (Studi Kasus : Kota Semarang). *Jurnal Geodesi Undip*, 7(3), 77–87.
- Darmawan, S., Hernawati, R., & Abdullah, A. R. (2019). A Correlation Analysis Of The Relationship Between Air Pollution Parameters PM10 With Land Surface Temperature (LST) Based On Landsat 7ETM+ And Landsat 8OLI/TIRS Satellite Images In Bandung City. *PROSIDING SEMINAR NASIONAL GEOMATIKA 2019: " GEOMATICS SCIENTIFIC MEETING COASTAL MANAGEMENT TO SUPPORT SDG 'S"*, 69–78.
- Das, S., Sun, Q. (Chayn), & Zhou, H. (2022). GeoAI to implement an individual tree inventory: Framework and application of heat mitigation. *Urban Forestry and Urban Greening*, 74. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127634>
- Deilami, K., Kamruzzaman, M., & Liu, Y. (2018). Urban heat island effect: A systematic review of spatio-temporal factors, data, methods, and mitigation measures. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 67(November 2017), 30–42.
- Dewan, A., Kiselev, G., Botje, D., Mahmud, G. I., Bhuian, M. H., & Hassan, Q. K. (2021). Surface Urban Heat Island Intensity in Five Major Cities of Bangladesh: Patterns, Drivers and Trends. *Sustainable Cities and Society*, 71(April).
- Ermida, S. L., Soares, P., Mantas, V., Göttsche, F. M., & Trigo, I. F. (2020). Google earth engine open-source code for land surface temperature estimation from the landsat series. *Remote Sensing*, 12(9), 1–21. <https://doi.org/10.3390/RS12091471>
- Goldblatt, R., Addas, A., Crull, D., Maghrabi, A., Levin, G. G., & Rubinyi, S. (2021). Remotely sensed derived land surface temperature (Lst) as a proxy for air temperature and thermal comfort at a small geographical scale. *Land*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/land10040410>
- 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>
- Hermawan, E. (2015). Fenomena Urban Heat Island (UHI) Pada Beberapa Kota Besar Di Indonesia Sebagai Salah Satu Dampak Perubahan Lingkungan Global. *Jurnal Citra Widya Edukasi*, VII, 33–45.
- Hidayat, A., & Fauziyyah, H. M. (2022). Perancangan Desain Antarmuka Aplikasi Pembelajaran Berbasis Mobile Menggunakan Metode Design Thinking. *Jurnal Teknik Informatika*, 10(1).
- Hidayat, A. S. (2020). *Penggunaan WebGIS Dalam Analisis Perubahan Urban Heat Island di Kabupaten Bekasi Tahun 2008-2018*. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Jaya, H., Sabran, Idris, M. M., Djawad, Y. A., Ilham, A., & Ahmar, A. S. (2018). *Kecerdasan*

- Buatan* (Pertama). Fakultas MIPA Universitas Negeri Makassar.
- Kumar, L., & Mutanga, O. (2018). Google Earth Engine applications since inception: Usage, trends, and potential. *Remote Sensing*, *10*(10), 1–15. <https://doi.org/10.3390/rs10101509>
- Li, K., Chen, Y., Xia, H., Gong, A., & Guo, Z. (2020). Adjustment from Temperature Annual Dynamics for Reconstructing Land Surface Temperature Based on Downscaled Microwave Observations. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, *13*, 5272–5283. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3021386>
- Li, W. (2020). GeoAI: Where machine learning and big data converge in GIScience. *Journal of Spatial Information Science*, *20*(20), 71–77. <https://doi.org/10.5311/JOSIS.2020.20.658>
- Li, W., & Arundel, S. T. (2022). GeoAI and the Future of Spatial Analytics. In *New Thinking in GIScience* (pp. 151–158). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3816-0_17
- Lopes, A., Alves, E., Alcoforado, M. J., & Machete, R. (2013). Lisbon urban heat island updated: New highlights about the relationships between thermal patterns and wind regimes. *Advances in Meteorology*, *2013*(Figure 1). <https://doi.org/10.1155/2013/487695>
- Ma, Y., Kuang, Y., & Huang, N. (2010). Coupling urbanization analyses for studying urban thermal environment and its interplay with biophysical parameters based on TM/ETM+ imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *12*(2), 110–118. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2009.12.002>
- Maru, R. (2015). Urban Heat Island dan Upaya Penanganannya. *Prosiding Seminar Nasional Mikrobiologi Kesehatan Dan Lingkungan, 2011*, 84–94.
- McHaffie, P., Hwang, S., & Follet, C. (2019). *GIS An Introduction to Mapping Technologies*. CRC Press.
- Naf, M. Z. T., & Hernawati, R. (2018). Analisis Fenomena UHI (Urban Heat Island) Berdasarkan Hubungan Antara Kerapatan Vegetasi Dengan Suhu Permukaan. *ITB Indonesian Journal of Geospatial Vol. 05, No. 1, 2018, 25 - 36, 05*(1), 25–36. <http://journals.itb.ac.id/index.php/ijog/article/view/9994/3821>
- Pertuack, S., & Latue, P. C. (2023). Geographic Artificial Intelligence and Unmanned Aerial Vehicles Application for Correlation Analysis of Settlement Density and Land Surface Temperature in Panggang Island Jakarta. *Buana Jurnal Geografi, Ekologi Dan Kebencanaan*, *1*(1), 39–47. <https://doi.org/10.56211/buana.v1i1.340>
- Phelan, P. E., Kaloush, K., Miner, M., Golden, J., Phelan, B., Silva, H., & Taylor, R. A. (2015).

Urban Heat Island: Mechanisms, Implications, and Possible Remedies.

- Purwonegoro, B., & Setiawan, Y. (2021). *Webgis Application for Monitoring Land Use Change in*.
- Ravanelli, R., Nascetti, A., Cirigliano, R. V, Di Rico, C., Monti, P., & Crespi, M. (2018). Monitoring Urban Heat Island Through Google Earth ENgine Potentialities and Difficulties in Differnt Cities of The United States. *Photogrammetry, Remote Sensing, and Spatial Information Sciences, XLII(3)*, 1467–1472.
- Ririh, K. R., Lalili, N., Wicaksono, A., & Tsurayya, S. (2020). Studi Komparasi dan Analisis SWOT Pada Implementasi Kecerdasan Buatan (Artificial Intelligence) di Indonesia. *Jurnal Teknik Industri, 15(2)*, 122–133.
- Sastry, M., Varma, H. K., & Halve, V. (2017). *Final Report on Urban Planning Characteristics to Mitigate Climate Change in Context of Urban Heat Island Effect.*
- Shen, Y., Xu, Y., Kong, W., Fei, F., Chen, X., Huang, C., & Yao, J. (2023). Using GeoAI to Reveal the Contribution of Urban Park Green Space Features to Mitigate the Heat Island Effect. *Proceedings of the 41st International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe (ECAADe) [Volume 2], 2*, 49–58. <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2023.2.049>
- Skilton, M., & Hovsepian, F. (2018). The Technology of the 4th Industrial Revolution. In *The 4th Industrial Revolution*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-62479-2_2
- Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L., Adeli, S., & Brisco, B. (2020). Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 164*(May), 152–170. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001>
- Torres de Almeida, C., Gerente, J., Rodrigo dos Prazeres Campos, J., Caruso Gomes Junior, F., Providelo, L. A., Marchiori, G., & Chen, X. (2022). Canopy Height Mapping by Sentinel 1 and 2 Satellite Images, Airborne LiDAR Data, and Machine Learning. *Remote Sensing, 14*(16), 4112. <https://doi.org/10.3390/rs14164112>
- Ullah, N., Siddique, M. A., Ding, M., Grigoryan, S., Khan, I. A., Kang, Z., Tsou, S., Zhang, T., Hu, Y., & Zhang, Y. (2023). The Impact of Urbanization on Urban Heat Island: Predictive Approach Using Google Earth Engine and CA-Markov Modelling (2005–2050) of Tianjin City, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 20*(3). <https://doi.org/10.3390/ijerph20032642>
- Usability.gov. (2014). *System Usability Scale (SUS)*.
- Usery, E. L., Arundel, S. T., Shavers, E., Stanislawski, L., Thiem, P., & Varanka, D. (2022).

- GeoAI in the US Geological Survey for topographic mapping. In *Transactions in GIS* (Vol. 26, Issue 1, pp. 25–40). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/tgis.12830>
- Utami, D. N. A., Hernawati, R., & Darmawan, S. (2020). Correlation analysis of land surface temperature based on Landsat 8 TIRS image with SRTM terrain data in Bandung City 2015 and 2019. *ACRS 2020 - 41st Asian Conference on Remote Sensing*.
- Verma, A., Pedrosa, L., Korupolu, M., Oppenheimer, D., Tune, E., & Wilkes, J. (2015). Large-scale cluster management at Google with Borg. *Proceedings of the 10th European Conference on Computer Systems, EuroSys 2015*. <https://doi.org/10.1145/2741948.2741964>
- Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 370–384. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)
- Wan, Z., & Dozier, J. (1995). Viewing-angle dependent split-window method for retrieving land-surface temperatures from space. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2. <https://doi.org/10.1109/igarss.1995.521176>
- Ward, T. (2010). *UX 101: The Wireframe*. Viget.