



## Abstract

Urbanization, especially when uneven and unplanned, is followed by increase in temperature. Urban materials such as asphalt and concrete absorb and hold heat better than vegetation, which materializes into the Urban Heat Island (UHI) effect. This research analysed the connection between urbanization, Land Surface Temperature (LST), and the Urban Heat Island (UHI) effect in Bogor and Malang, two of Indonesia's historically cool, mountainous cities that have experienced rapid urbanization and rising temperatures. The primary goal is to investigate how changes in the urban landscape have impacted temperature patterns in these areas over an eleven-year period, from 2013 to 2024. The key objectives are to acquire and map LST data for both cities, analyse the development of the UHI effect during this timeframe, and determine the relationship between urban growth and the observed temperature changes.

This research utilized the mono window algorithm proposed by Qin to obtain the Land Surface Temperature (LST) of Bogor and Malang throughout 2013 – 2024. This algorithm was applied by running calculations using the raster calculator tool in GIS software. The Google Earth Engine (GEE) platform was used to apply a random forest algorithm which is used to classify land cover for Bogor and Malang. Using the LST maps and land cover maps, the UHI maps were created using the raster calculator tool in GIS software. The LST and UHI maps were then analyzed in comparison to NDBI images obtained from GEE. The accuracy of the LST maps were validated using in situ air temperature data measured by the Meteorological Agency of Indonesia (BMKG) and the land cover maps were assessed using a confusion matrix analysis. The relationship between temperature and the urban parameters were analysed using the pearson correlation.

The study found that from 2013 to 2024, both Bogor and Malang experienced non-linear fluctuations in LST alongside a steady expansion of built-up areas and a corresponding decrease in vegetation. Bogor's LST reached its peak of 29.1°C in 2021, while its urban area grew to 700.4 km<sup>2</sup> by 2024. Similarly, Malang's LST peaked at 26.4°C in 2023, with its urban area expanding to 544.3 km<sup>2</sup> by 2024. The LST measurements were validated with a Root Mean Square Error (RMSE) of 0.94°C in Bogor and 0.81°C in Malang. Land cover classifications were also accurate, particularly for Malang (92.94-96.47% accuracy) compared to the more complex urban-vegetation mix in Bogor (83.53-85.88% accuracy). While the Urban Heat Island (UHI) intensity itself did not show a linear increase, a strong visual correlation was found between NDBI, LST, and UHI intensity. Pearson correlation coefficients were calculated between urban parameters (NDBI and Land Cover) and temperature (LST and UHI). The correlation between urban parameters and temperature in Bogor ranged between 0.5 – 0.8. Malang urban parameters and temperature correlated to a range of 0.4 – 0.7. Between the two regions it was observed that Bogor's temperature increased more than in Malang, its urban areas increased more than Malang.

**Key Words:** Urbanization, Urban Heat Island, Land Surface Temperature, Land Cover, Random Forest, Bogor, Malang.



## Intisari

Urbanisasi, terutama yang tidak merata dan tidak terencana, seringkali diiringi oleh peningkatan suhu. Material perkotaan seperti aspal dan beton menyerap dan menahan panas lebih baik daripada vegetasi, yang mewujudkan efek *Urban Heat Island* (UHI). Penelitian ini akan menganalisis hubungan antara morfologi urban, *Land Surface Temperature* (LST), dan efek *Urban Heat Island* (UHI) di Bogor dan Malang, dua kota pegunungan di Indonesia yang secara historis sejuk dan telah mengalami urbanisasi pesat serta kenaikan suhu. Tujuan utamanya adalah untuk menyelidiki bagaimana perubahan lanskap perkotaan telah memengaruhi pola suhu di wilayah ini selama periode sebelas tahun, dari 2013 hingga 2024. Objektif yang perlu dicapai untuk tujuan ini adalah memperoleh dan memetakan data LST untuk kedua kota, menganalisis perkembangan efek UHI selama rentang waktu tersebut, dan menentukan hubungan antara pertumbuhan perkotaan dengan perubahan suhu yang teramati.

Penelitian ini menggunakan algoritma mono-window yang ditemukan oleh Qin untuk mendapatkan *Land Surface Temperature* (LST) Bogor dan Malang sepanjang tahun 2013 – 2024. Algoritma ini diterapkan dengan menjalankan perhitungan menggunakan alat *raster calculator* pada perangkat lunak GIS. Platform Google Earth Engine (GEE) digunakan untuk menerapkan algoritma *random forest* yang digunakan untuk mengklasifikasikan tutupan lahan untuk Bogor dan Malang. Dengan menggunakan peta LST dan peta tutupan lahan, peta UHI dibuat menggunakan alat *raster calculator* pada perangkat lunak GIS. Peta LST dan UHI kemudian dianalisis dengan perbandingan terhadap citra NDBI yang diperoleh dari GEE. Akurasi peta LST divalidasi menggunakan data suhu udara in situ yang diukur oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) dan peta tutupan lahan dinilai menggunakan analisis *confusion matrix*. Hubungan antara suhu dan parameter urban dianalisis menggunakan metode korelasi *pearson*.

Studi ini menemukan bahwa dari tahun 2013 hingga 2024, baik Bogor maupun Malang mengalami fluktuasi LST dan memiliki trend non-linear, bersamaan dengan ekspansi kawasan terbangun yang stabil dan penurunan vegetasi yang sepadan. LST Bogor mencapai puncaknya pada 29,1°C pada tahun 2021, sementara kawasan perkotaannya tumbuh menjadi 700,4 km<sup>2</sup> pada tahun 2024. Demikian pula, LST Malang mencapai puncaknya pada 26,4°C pada tahun 2023, dengan kawasan perkotaannya meluas menjadi 544,3 km<sup>2</sup> pada tahun 2024. Evaluasi LST menghasilkan *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 0,94°C di Bogor dan 0,81°C di Malang. Klasifikasi tutupan untuk Malang (akurasi 92,94-96,47%) dibandingkan dengan campuran vegetasi-perkotaan yang lebih kompleks di Bogor (akurasi 83,53-85,88%). Meskipun intensitas UHI sendiri tidak menunjukkan peningkatan linear, ditemukan korelasi visual antara area perkotaan, LST, dan intensitas UHI. Koefisien korelasi *Pearson* dihitung antara parameter perkotaan (NDBI dan Tutupan Lahan) dan suhu (LST dan UHI). Korelasi antara parameter perkotaan dan suhu di Bogor berkisar antara 0,5 – 0,8. Parameter perkotaan dan suhu di Malang berkorelasi pada rentang 0,4 – 0,7. Di antara kedua wilayah tersebut, diamati bahwa peningkatan perkotaan di Bogor lebih. Diantara kedua wilayah tersebut diamati bahwa suhu di Bogor meningkat lebih besar dibandingkan dengan suhu di Malang, suhu di wilayah perkotaan meningkat lebih besar dibandingkan dengan Malang.

**Kata Kunci:** Urbanisasi, *Urban Heat Island*, *Land Surface Temperature*, Tutupan Lahan, *Random Forest*, Bogor, Malang.