

APLIKASI GIS DAN REMOTE SENSING DALAM PENENTUAN HOTSPOT BANDAR DI KOTA KINABALU

(GIS AND REMOTE SENSING APPLICATIONS TO DETERMINE URBAN HOTSPOTS IN KOTA
KINABALU)

AMILIN, N. S. S.¹ – JAMRU, L. R.^{1*}

¹ *Fakulti Sains Sosial dan Kemanusiaan, Universiti Malaysia Sabah, Sabah, Malaysia.*

**Penulis penghubung
e-mail: lindahroziani[at]ums.edu.my*

(Received 19th September 2025; revised 07th November 2025; accepted 18th November 2025)

Abstrak. Perkembangan pesat perbandaran di Kota Kinabalu telah mengubah landskap bandar dan menyebabkan peningkatan suhu permukaan akibat penggantian kawasan semula jadi kepada permukaan berturap serta binaan yang menyerap haba. Ini mewujudkan Fenomena Pulau Haba Bandar (UHI) dan kawasan dengan suhu ekstrem yang dikenali sebagai Hotspot Bandar (UHS). Namun, kajian berfokus kepada pengenalpastian UHS di Malaysia masih terhad menyebabkan jurang pengetahuan dalam pemantauan risiko haba bandar. Oleh itu, kajian ini dijalankan bagi mengenal pasti taburan dan keluasan UHS di Kota Kinabalu menggunakan integrasi Sistem Maklumat Geografi (GIS) dan penderiaan jauh melalui imej Landsat 8. Kaedah nilai ambang diaplikasikan terhadap data suhu permukaan (LST) dengan pengesahan silang bersama data ECOSTRESS bagi memastikan ketepatan analisis dengan RMSE 2.32°C. Dapatan menunjukkan julat LST antara 19°C hingga 34.8°C dengan nilai ambang ditetapkan pada >29.60°C. Hasilnya, sebanyak 4.40 km² (2.38%) daripada keseluruhan kawasan kajian dikenal pasti sebagai UHS terutamanya di kawasan perumahan dan komersial padat seperti Kolombong dan Luyang. Faktor utama pembentukan UHS termasuk bahan binaan beralbedo rendah, kekurangan vegetasi dan aktiviti antropogenik yang tinggi. Kajian ini mengesyorkan pelaksanaan langkah mitigasi seperti peningkatan kawasan hijau bandar, penggunaan bahan binaan reflektif serta reka bentuk bandar mesra haba bagi mengurangkan risiko kesan haba. Secara keseluruhannya, pendekatan integrasi GIS dan penderiaan jauh terbukti berkesan untuk pemantauan spatial suhu bandar tropika serta menyokong pembangunan mampan di Kota Kinabalu.

Katakunci: pulau haba bandar, hotspot bandar, suhu permukaan, penderiaan jauh, GIS, landsat 8

Abstract. Rapid urbanization in Kota Kinabalu has transformed the urban landscape, increasing impervious surfaces and heat absorption, leading to higher land surface temperatures and the formation of Urban Heat Islands (UHI). Within these zones, areas of extremely high temperature known as Urban Hotspots (UHS) emerge. However, studies focusing specifically on UHS in Malaysia remain limited, creating a knowledge gap in urban heat risk assessment. This study aims to identify the spatial distribution and extent of UHS in Kota Kinabalu by integrating Geographic Information System (GIS) and remote sensing techniques using Landsat 8 imagery. A threshold-based method was applied to Land Surface Temperature (LST) data, validated with ECOSTRESS satellite measurements for accuracy where the RMSE is 2.32°C. Results show that LST values range from 19°C to 34.8°C, with a threshold of >29.60°C defining UHS areas. Approximately 4.40 km² (2.38%) of the total study area was classified as UHS, predominantly located in densely built residential and commercial zones such as Kolombong and Luyang. The main factors contributing to UHS formation include low-albedo materials, limited vegetation cover and high anthropogenic heat generation. The study recommends mitigation measures such as increasing urban greenery, adopting reflective building materials, and promoting heat-sensitive urban design to reduce urban heat effects. Overall, the integration of GIS and remote sensing proves effective for tropical urban temperature monitoring and supports sustainable urban planning in Kota Kinabalu.

Keywords: urban heat island, urban hotspot, land surface temperature, remote sensing, GIS, landsat 8

Pengenalan

Fenomena Pulau Haba Bandar atau Urban Heat Island (UHI) merujuk kepada keadaan di mana suhu di kawasan bandar lebih tinggi berbanding kawasan luar bandar. Fenomena ini mula dikenal pasti hampir 200 tahun lalu oleh Luke Howard di London dan telah menjadi salah satu isu iklim bandar yang paling banyak dikaji di seluruh dunia. Punca ia berlaku adalah akibat daripada proses perbandaran yang menggantikan permukaan semula jadi dengan bahan berturap dan binaan manusia yang menyerap serta menyimpan haba. Faktor utama yang menyumbang kepada fenomena ini termasuk kepesatan urbanisasi dan perindustrian, pengurangan vegetasi, pembebasan haba antropogenik serta geometri bandar yang memerangkap haba dan mengurangkan aliran angin (Jabbar et al., 2023; Vujovic et al., 2021). Kesan UHI boleh dilihat melalui dua bentuk utama, iaitu UHI permukaan atau Surface UHI (SUHI) yang diukur berdasarkan suhu permukaan dan UHI atmosfera atau Atmospheric UHI (AUHI) yang melibatkan perbezaan suhu udara di atmosfera bandar (Vujovic et al., 2021).

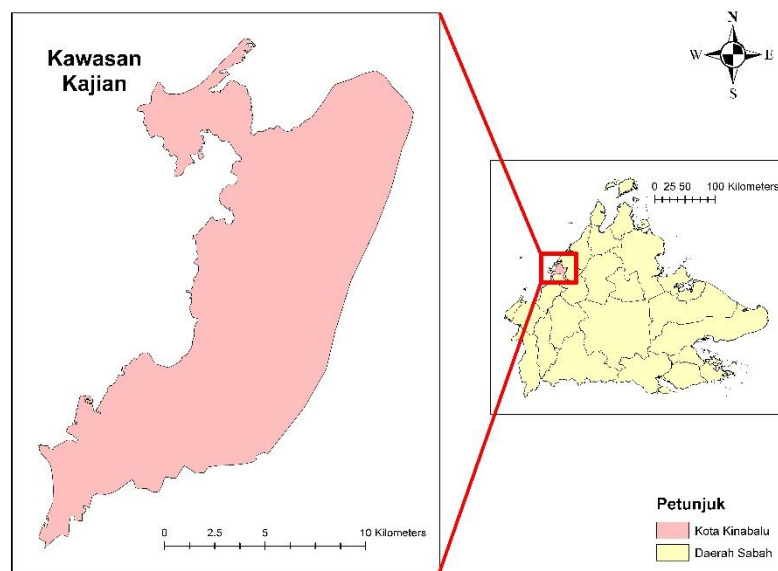
Dalam konteks kajian ini, SUHI digunakan untuk mengenal pasti fenomena UHI kerana ia dapat dikesan menerusi sudut pandang yang lebih luas melalui data suhu permukaan yang diperolehi daripada pemerolehan jauh (remote sensing). Kaedah ini membolehkan pemerolehan data suhu permukaan secara spatial dan temporal menggunakan imej satelit. Integrasi dengan Sistem Maklumat Geografi (GIS) pula memudahkan proses analisis, pemetaan serta pengenalpastian kawasan bandar yang menunjukkan intensiti haba yang tinggi. Gabungan kedua-dua pendekatan ini membolehkan penilaian fenomena UHI dilakukan dengan lebih menyeluruh dan berasaskan bukti (Dimitrov et al., 2024; Somantri dan Himayah, 2024; Tatlonghari, 2024). Penggunaan sumber data remote sensing dan analisis GIS telah digunakan secara meluas dalam pelbagai kajian bidang klimatologi, perhutanan dan penilaian persekitaran geografi (Buaya et al. 2025; Jamru et al., 2024a; 2024b; 2023a; 2023b; 2018).

Fenomena ini penting untuk dikaji kerana ia memberikan pelbagai kesan negatif terhadap manusia dan persekitaran. Dari segi kesihatan manusia, peningkatan suhu di kawasan bandar boleh meningkatkan risiko penyakit berkaitan haba seperti strok haba dan dehidrasi terutamanya dalam kalangan golongan rentan seperti warga emas dan kanak-kanak. Selain itu, penggunaan tenaga turut meningkat apabila permintaan terhadap sistem penyejukan seperti pendingin hawa bertambah, sekali gus menyumbang kepada peningkatan pelepasan karbon dan pencemaran udara. Dari sudut kualiti alam sekitar, UHI boleh memburukkan kualiti udara, menjejaskan keselesaan dan mengubah corak cuaca tempatan melalui peningkatan suhu permukaan serta perubahan kelembapan atmosfera (Marks dan Connell, 2024; Vujovic et al., 2021; Mohajerani et al., 2017). Dalam zon UHI, terdapat pula lokasi khusus dalam bandar yang menunjukkan suhu yang jauh lebih tinggi iaitu hotspot bandar atau Urban Hotspots (UHS). Suhu permukaan atau Land Surface Temperature (LST) kerap digunakan untuk mengenal pasti UHI mahupun UHS yang biasanya dikaitkan dengan kawasan berpenduduk padat, kurang vegetasi dan tahap aktiviti manusia yang tinggi (García dan Díaz, 2023).

Melalui pengenalpastian UHS, ia memberi gambaran terperinci tentang kawasan yang mengalami tekanan haba tertinggi dalam sesebuah bandar iaitu berbeza dengan kajian UHI yang menilai corak pemanasan bandar secara menyeluruh. Kajian UHS membantu perancang bandar melaksanakan langkah mitigasi secara tepat seperti penambahan kawasan hijau, penggunaan bahan binaan reflektif dan pengubahsuaian reka bentuk bandar untuk mengurangkan kesan haba (Rathod, 2025; Sola-Caraballo et

al., 2025; Ranagalage et al., 2018). Selain itu, kajian ini penting bagi melindungi kesihatan awam kerana kawasan panas melampau sering dikaitkan dengan peningkatan risiko penyakit dan kematian akibat haba terutamanya dalam kalangan populasi rentan (Mounayar dan Florentin, 2022). Pemetaan UHS menggunakan data suhu permukaan juga membolehkan pemantauan keberkesanan langkah mitigasi dan menyokong pembangunan bandar yang lebih mampan serta mempunyai daya tahan terhadap perubahan iklim (Ranagalage et al., 2018).

Di Malaysia, fenomena UHI berlaku terutamanya di kawasan yang pesat membangun akibat peningkatan aktiviti perbandaran dan perubahan guna tanah yang meluas seperti di Kuala Lumpur, Pulau Pinang, Putrajaya, Johor, Kota Kinabalu dan Cameron Highlands (Jumari et al., 2023; Kemarau dan Eboy, 2020; Hanapiah, 2019; Ibrahim et al., 2018; Morris et al., 2015; Rajagopalan et al., 2014; Kubota dan Ossen, 2009). Kota Kinabalu, sebagai ibu negeri Sabah turut mengalami perkembangan bandar yang pesat dan perluasan kawasan bandar yang didorong oleh pertambahan penduduk, aktiviti ekonomi dan perbandaran yang rancak (Ang et al., 2024; Besar et al., 2020). Menurut kajian terdahulu, terdapat peningkatan populasi bandar di Kota Kinabalu daripada 414,388 pada 2010 kepada 470,204 pada tahun 2020 manakala unit perumahan meningkat sebanyak 31,003 dalam tempoh tersebut. Perkembangan ini telah turut mengakibatkan pencemaran udara dan air, kemerosotan biodiversiti marin serta cabaran dalam pengurusan sisa dan kesesakan lalu lintas (Akmal et al., 2025; Kalwant-Singh et al., 2025; Abas et al., 2020; Besar et al., 2020; Jeffree et al., 2020). *Rajah 1* menunjukkan peta kawasan kajian yang terletak di pantai barat Sabah dengan keluasan 184.49 km².



Rajah 1. Peta kawasan kajian di Kota Kinabalu, Sabah.

Walaupun fenomena UHI telah banyak dikaji di Malaysia, tumpuan masih diberikan kepada perbandingan umum antara kawasan bandar dan luar bandar tanpa meneliti variasi suhu di dalam bandar itu sendiri. Kajian yang mengenal pasti hotspot bandar (UHS) masih sangat terhad di Malaysia yang mengalami pembangunan pesat. Ketiadaan

maklumat terperinci tentang taburan UHS menyukarkan pihak berkuasa tempatan untuk mengenal pasti zon berisiko tinggi terhadap tekanan haba dan seterusnya melaksanakan langkah mitigasi yang bersasar. Oleh itu, kajian ini dijalankan bagi mengenal pasti lokasi hotspot bandar di Kota Kinabalu menggunakan pendekatan penderiaan jauh dan GIS.

Sorotan literatur

Pengukuran suhu permukaan melalui penderiaan jauh dan Sistem Maklumat Geografi (GIS) merupakan kaedah asas dalam memahami fenomena Pulau Haba Bandar (UHI). Suhu permukaan digunakan sebagai penunjuk utama untuk memetakan dan mengukur perbezaan suhu antara kawasan bandar dan bukan bandar (Somantri dan Himayah, 2024; De Almeida et al., 2021). Dengan kemajuan teknologi satelit seperti Landsat dan MODIS, analisis suhu permukaan kini dapat dilakukan secara berterusan bagi mengenal pasti corak pemanasan bandar dari segi ruang dan masa dan dalam skala yang luas (Zhou et al., 2019). Di samping itu, GIS berperanan penting dalam menganalisis hubungan antara suhu permukaan dan faktor seperti litupan bumi serta morfologi bandar. Oleh itu, integrasi penderiaan jauh dan GIS menjadi pendekatan penting dalam kajian UHI dan banyak digunakan oleh para pengkaji di peringkat global (Somantri dan Himayah, 2024). Di Malaysia, penggunaan integrasi antara penderiaan jauh dan GIS digunakan secara meluas dan beberapa kajian telah mengesahkan kewujudan kesan UHI seperti di Kuala Lumpur, Pulau Pinang, Putrajaya, Johor, Kota Kinabalu dan Cameron Highlands (Jumari et al., 2023; Kemarau dan Eboy, 2020; Hanapiah, 2019; Ibrahim et al., 2018; Morris et al., 2015; Rajagopalan et al., 2014; Kubota dan Ossen, 2009). Keamatan dan taburan spatial UHI ini adalah berbeza di seluruh lokasi yang selalunya dikaitkan dengan tahap pembangunan bandar, perubahan guna tanah dan kehilangan ruang hijau. Sebagai contoh, di Kuala Lumpur, terdapat perbezaan suhu antara kawasan bandar dan luar bandar antara 4°C hingga lebih 6°C (Jumari et al., 2023). Di Putrajaya yang dikenali sebagai "bandar taman", perbezaan 2–3°C dilaporkan (Morris et al., 2015) manakala Kota Kinabalu pula menunjukkan perbezaan purata suhu permukaan antara bandar dan vegetasi antara 9-12°C (Kemarau dan Eboy, 2020).

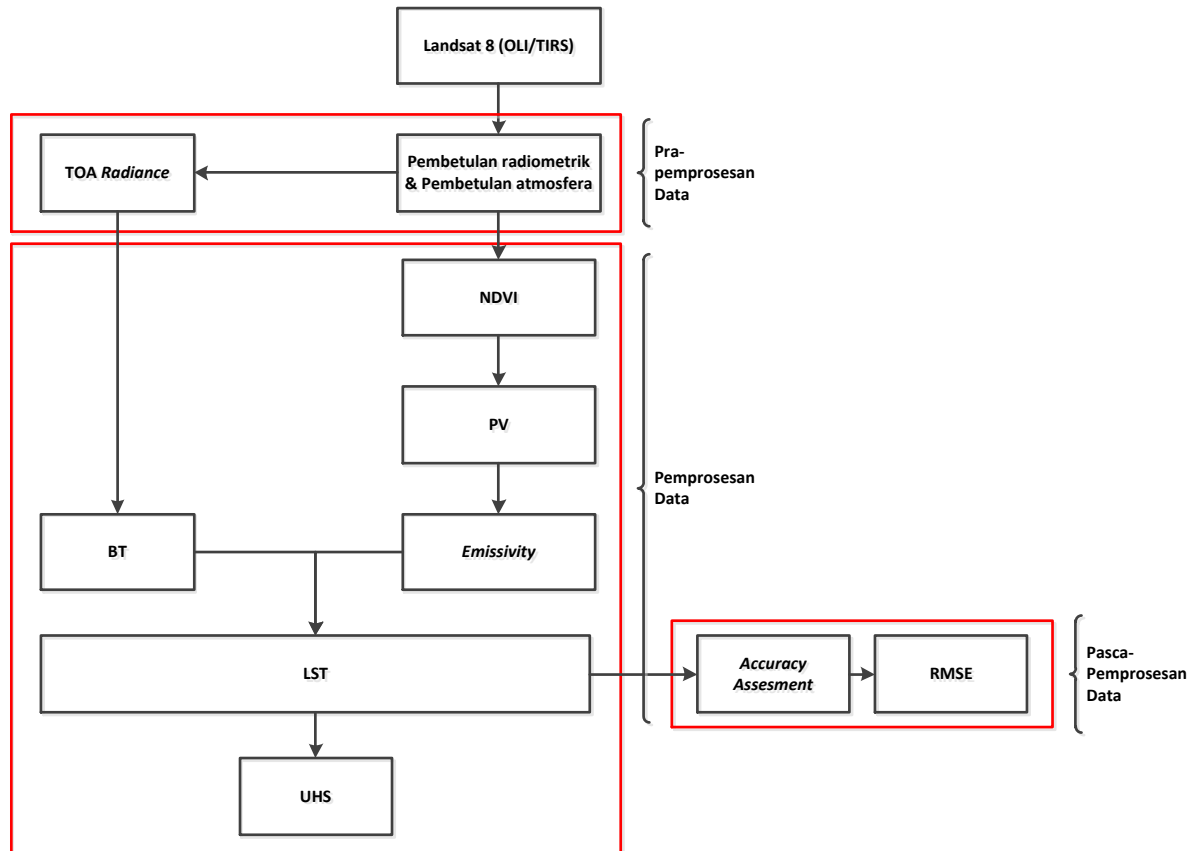
Walaupun fenomena UHI telah dikaji di Malaysia, kebanyakan kajian hanya menumpukan perbandingan suhu antara kawasan bandar dan bukan bandar secara umum (Jumari et al., 2023; Kemarau dan Eboy, 2020; Morris et al., 2015). Namun, kajian yang melihat hotspot bandar (UHS) masih sangat terhad terutamanya di Malaysia. Di peringkat antarabangsa, pendekatan yang digunakan oleh Hidalgo-García dan Arco-Díaz (2022) iaitu kaedah ambang untuk menentukan hotspot bandar telah digunakan secara meluas misalnya di India, Sepanyol, Hungary dan Sri Lanka (Buzási et al., 2024; Chathuranga dan Jayaratne, 2022; Hidalgo-García dan Arco-Díaz, 2022; Sharma et al., 2021). Namun begitu, kajian seumpama ini masih belum dijalankan di Malaysia. Oleh itu, kajian ini dijalankan untuk mengaplikasikan kaedah ambang bagi menentukan taburan dan lokasi hotspot bandar di Kota Kinabalu menggunakan data Landsat 8. Secara umumnya, hampir semua kajian hotspot bandar yang menggunakan pendekatan ambang mendapati bahawa kawasan binaan padat, industri dan tanah tandus merupakan penyumbang utama kepada pembentukan hotspot bandar manakala kawasan yang mempunyai liputan vegetasi tinggi menunjukkan suhu yang lebih rendah dan berfungsi sebagai kawasan sejuk (Buzási et al., 2024; Chathuranga dan Jayaratne, 2022; Hidalgo-García dan Arco-Díaz, 2023; 2022; Sharma et al., 2021 Taloor et al., 2024).

Misalnya, kajian oleh Taloor et al. (2024) di Chandigarh, India mendapati bahawa punca hotspot bandar daripada kawasan binaan padat, tanah tandus dan kawasan industri. Seterusnya, Buzási et al. (2024) melaporkan bahawa hotspot bandar di Hungary banyak tertumpu di kawasan industri dan kawasan terbina. Kajian oleh Sathe dan Rahman (2024) pula menunjukkan bahawa hotspot bandar terletak di kawasan terbina dan semakin meluas ekoran daripada perkembangan bandar.

Sehubungan dengan itu, kajian oleh Sharma et al. (2021) di Noida, India menunjukkan peningkatan purata suhu permukaan sebanyak 6.42°C dalam tempoh 8 tahun (2011–2019) di mana hotspot berpindah ke bahagian selatan kawasan kajian akibat penukaran tanah pertanian kepada kawasan binaan. Begitu juga, Hidalgo-García dan Arco-Díaz (2022) di Granada, Sepanyol mendapati kawasan hotspot meningkat daripada hanya 1.4% (1985) kepada 22% (2020) dengan tumpuan utama di kawasan industri dan tanah terdedah. Sementara itu, Chathuranga dan Jayaratne (2022) di Colombo, Sri Lanka mendapati nilai ambang hotspot bandar meningkat daripada 24.64°C (1988) kepada 30.62°C (2019) yang menunjukkan tren pemanasan bandar yang semakin ketara akibat pembangunan pesisir dan kawasan pelabuhan. Oleh itu, walaupun tempoh analisis kajian ini melibatkan satu tahun sahaja, kaedah ini sesuai digunakan kerana ia memberikan hasil yang jelas dan langsung melalui penentuan ambang suhu berdasarkan purata (μ) dan sisihan piawai (σ) bagi suhu permukaan. Pendekatan ini membolehkan kawasan yang mempunyai suhu melebihi nilai ambang dikenal pasti sebagai hotspot bandar dan turut menunjukkan zon kepanasan secara spatial yang membolehkan penilaian intensiti dan taburan termal bandar dilakukan dengan lebih tepat berbanding kaedah perbandingan suhu mutlak semata-mata. Justeru, penggunaan pendekatan ini dalam konteks bandar tropika seperti Kota Kinabalu mampu memberikan gambaran awal tentang kewujudan dan pola taburan UHS sekali gus mengisi jurang kajian yang masih belum diterokai di Malaysia.

Instrumen dan Metod Kajian

Kajian ini adalah berasaskan pendekatan GIS dan penderiaan jauh dengan menggunakan data satelit Landsat 8 sebagai sumber utama. Berdasarkan *Rajah 2* di bawah, kajian ini melibatkan beberapa peringkat bermula daripada pra-pemprosesan data, pemprosesan data dan pasca pemprosesan data.



Rajah 2. Aliran carta metodologi.

Sumber data

Sumber utama data bagi kajian ini ialah imej satelit Landsat 8 Path 118 dan Row 56 yang meliputi kawasan Kota Kinabalu, Sabah diperoleh daripada laman web USGS Global Visualization Viewer (GloVis). Imej yang dihasilkan melalui gabungan sensor Operational Land Imager (OLI) dan Thermal Infrared Sensor (TIRS) dengan resolusi spasial 30m digunakan untuk mengekstrak suhu permukaan (LST) Hasil daripada pemprosesan suhu permukaan (LST) ini seterusnya diaplikasikan dalam analisis hotspot bandar (UHS). *Jadual 1* di bawah merupakan maklumat imej yang diambil pada 26 Jun 2024 dengan 5.92% litupan awan.

Jadual 1. Maklumat data satelit yang digunakan.

Satelit	Sensor	Path/Row	Resolusi Spasial (m)	Litupan Awan (%)	Tarikh
Landsat 8	OLI dan TIRS	118/56	30	5.92	26/6/2024

Pra pemprosesan data

Pra-pemprosesan data dilakukan bagi memastikan imej Landsat 8 sesuai digunakan untuk pengekstrakan suhu permukaan (LST). Proses pembetulan radiometrik dan pembetulan atmosfera dijalankan menggunakan perisian QGIS dengan bantuan Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) pada band NIR dan RED yang menghasilkan nilai emisiviti manakala kaedah Top of Atmosphere (TOA) Radiance ($L\lambda$) diaplikasikan pada band 10 (TIRS). Nilai radiasi spektral ($L\lambda$) oleh Department of the Interior U.S. Geological Survey (2019) dikira menggunakan persamaan (1):

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

di mana L_{λ} merujuk kepada nilai radiasi spektral pada sensor ($W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$), ialah faktor pengganda (multiplicative rescaling factor), merupakan nilai digital number (DN) hasil daripada imej Landsat 8 dan ialah faktor penambah (additive rescaling factor) yang diperoleh daripada metadata imej.

Pemprosesan data

Suhu permukaan (LST)

Bagi pengestrakan LST, beberapa langkah pengiraan dilakukan secara berurutan melibatkan indeks vegetasi (NDVI), litupan vegetasi (PV), nilai emisiviti, suhu kecerahan (Brightness Temperature, BT) dan akhirnya LST. Pertama, indeks vegetasi atau Normalized Difference Vegetation Index, NDVI digunakan untuk membezakan litupan vegetasi dan kawasan bukan vegetasi berdasarkan perbezaan pantulan pada band merah (RED) dan inframerah dekat (NIR). Persamaan (2) NDVI oleh Tucker (1979) ditunjukkan seperti berikut:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}} \quad (2)$$

Di mana NIR merujuk kepada pantulan pada band inframerah dekat (Band 5 Landsat 8) manakala RED ialah pantulan pada band merah (Band 4 Landsat 8). Nilai NDVI berada dalam julat -1 hingga +1, di mana nilai yang lebih tinggi menunjukkan litupan vegetasi yang lebih padat. NDVI yang diperoleh seterusnya digunakan untuk mengira litupan vegetasi atau proportion of vegetation, PV. Persamaan PV Carlson & Ripley (1997) adalah seperti persamaan (3) di bawah iaitu:

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (3)$$

Di mana $NDVI_{min}$ dan $NDVI_{max}$ ialah nilai minimum dan maksimum NDVI dalam imej kajian. PV menggambarkan tahap dominasi vegetasi dalam setiap piksel. Nilai emisiviti (ϵ) dianggarkan menggunakan PV dengan persamaan (4) oleh Sobrino et al. (2004):

$$\epsilon = 0.004 \times PV + 0.986 \quad (4)$$

Di mana nilai ϵ berada dalam julat 0 hingga 1 dan mewakili keupayaan permukaan untuk memancarkan tenaga gelombang panjang. Nilai radiasi spektral (L_{λ}) daripada band 10 ditukar kepada suhu kecerahan (Brightness Temperature, BT) menggunakan persamaan (5) oleh Artis & Carnahan (1982):

$$T_B = \frac{K_2}{\ln \left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1 \right)} \quad (5)$$

Di mana K_1 dan K_2 ialah pemalar penentukuran (calibration constants) yang diperoleh daripada metadata imej Landsat 8 manakala $L\lambda$ ialah nilai radiasi spektral yang telah dikira. Hasil BT diperoleh dalam unit Kelvin. Akhir sekali, LST oleh Artis & Carnahan (1982) dikira dengan melaraskan BT menggunakan nilai emisiviti (ϵ) seperti persamaan (6):

$$LST = \frac{BT}{\left[1 + \left(\frac{\lambda BT}{\rho}\right) \ln(\epsilon)\right]} \quad (6)$$

Di mana λ ialah panjang gelombang efektif (10.895 μm untuk band 10 Landsat 8), = suhu kecerahan yang diperoleh daripada data Landsat (unit Kelvin) dan ρ = Nilai tetap dengan $\rho = 1.438 \times 10^{-4} \text{ m}\cdot\text{K}$ dan ϵ = emissivity permukaan dikira berdasarkan NDVI dan P_v . Nilai LST yang diperoleh kemudian ditukar daripada Kelvin kepada Celcius seperti dalam persamaan (7) di bawah:

$$LST(^{\circ}\text{C}) = LST(\text{K}) - 273.15 \quad (7)$$

Pasca pemprosesan data

Dalam kajian ini, penilaian ketepatan (accuracy assesment) dilakukan ke atas data LST untuk memastikan kebolehpercayaan keputusan analisis. Proses penilaian ketepatan dilakukan melalui kaedah validasi silang dengan membandingkan nilai LST hasil penukaran daripada Landsat 8 dengan data suhu permukaan daripada satelit Ecosystem Spaceborne Thermal Radiometer Experiment on Space Station (ECOSTRESS). Sebanyak 200 titik sampel rawak digunakan bagi mengekstrak nilai LST daripada kedua-dua imej. Nilai RMSE dikira menggunakan persamaan (8) di bawah:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2} \quad (8)$$

Di mana X_i ialah nilai LST daripada Landsat 8, Y_i ialah nilai LST daripada ECOSTRESS dan n ialah bilangan sampel. Nilai RMSE yang lebih rendah menunjukkan tahap ketepatan yang lebih tinggi terhadap data LST yang diperoleh.

Hotspot Bandar (Urban Hotspot, UHS)

Hotspot bandar, UHS merupakan data yang dianalisis dan dikenal pasti berdasarkan LST dalam kawasan kajian. UHS adalah zon kecil yang ditandai dengan suhu LST paling tinggi dan ia merupakan kawasan yang dianggap sebagai tidak selesa untuk aktiviti manusia. Ruang-ruang ini ditentukan menggunakan persamaan (9) (Hidalgo-García dan Arco-Díaz, 2023) berikut:

$$UHS = LST_i > \mu + 2\sigma \quad (9)$$

di mana LST_i ialah nilai suhu permukaan pada piksel ke- i . Simbol μ menunjukkan nilai purata LST bagi keseluruhan kawasan kajian manakala σ mewakili sisihan piawai LST.

Dapatan dan Perbincangan Kajian

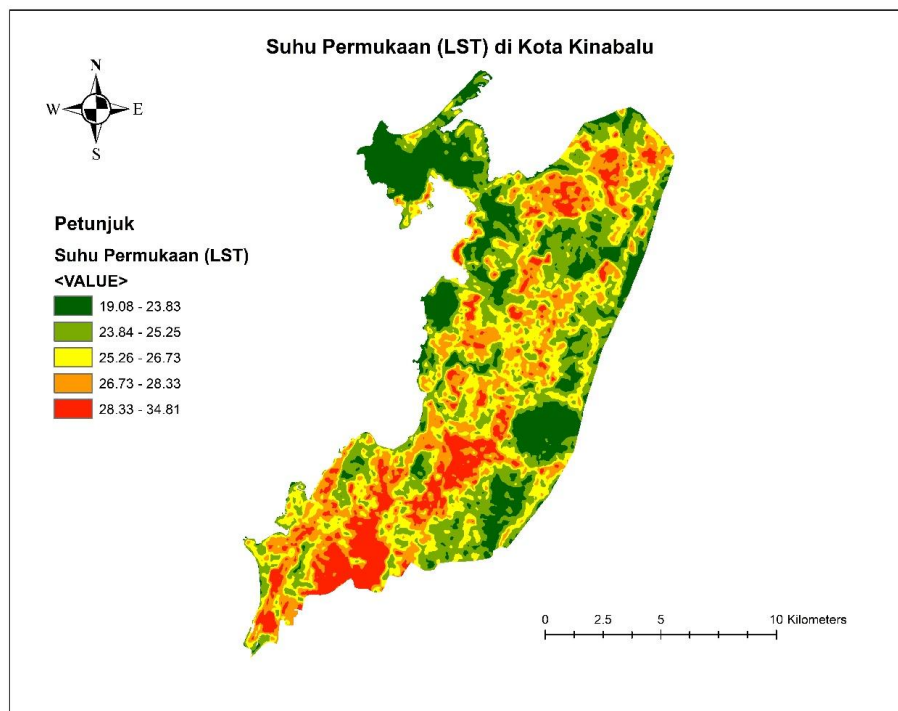
Bahagian ini membentangkan dapatan kajian yang diperoleh daripada analisis imej satelit Landsat 8 bagi tahun 2024 yang merangkumi hasil suhu permukaan (LST), hotspot bandar (UHS) dan hasil validasi LST.

Suhu Permukaan (LST)

Jadual 2 menunjukkan nilai suhu permukaan (LST) di Kota Kinabalu pada tahun 2024. Nilai suhu permukaan (LST) minimum yang diperoleh ialah 19.09 °C manakala nilai maksimum ialah 34.81 °C. Purata suhu permukaan (LST) keseluruhan kawasan kajian adalah 25.70 °C. *Rajah 3* adalah peta taburan suhu permukaan (LST) di Kota Kinabalu mengikut agihan suhu.

Jadual 2. Nilai suhu permukaan (LST) di Kota Kinabalu pada tahun 2024.

LST minimum (°C)	LST maksimum (°C)	LST purata (°C)
19.09	34.81	25.70



Rajah 3. Taburan suhu permukaan (LST) di Kota Kinabalu.

Hotspot Bandar (UHS)

Jadual 3 ialah nilai purata dan sisihan piawai suhu permukaan (LST) yang digunakan sebagai ambang penentuan hotspot bandar berdasarkan persamaan (13). Nilai purata suhu permukaan (LST) yang diperoleh ialah 25.70 °C manakala sisihan piawai ialah 1.95 °C. Berdasarkan nilai tersebut, ambang suhu permukaan (LST) adalah pada >29.60 °C. Seterusnya, *Jadual 4* menunjukkan keluasan dan peratusan hotspot bandar (UHS) dan bukan hotspot bandar (UHS). Keluasan hotspot bandar hanya meliputi 4.40 km² (2.38%) kawasan kajian manakala keluasan bukan hotspot bandar meliputi 180.12 km²

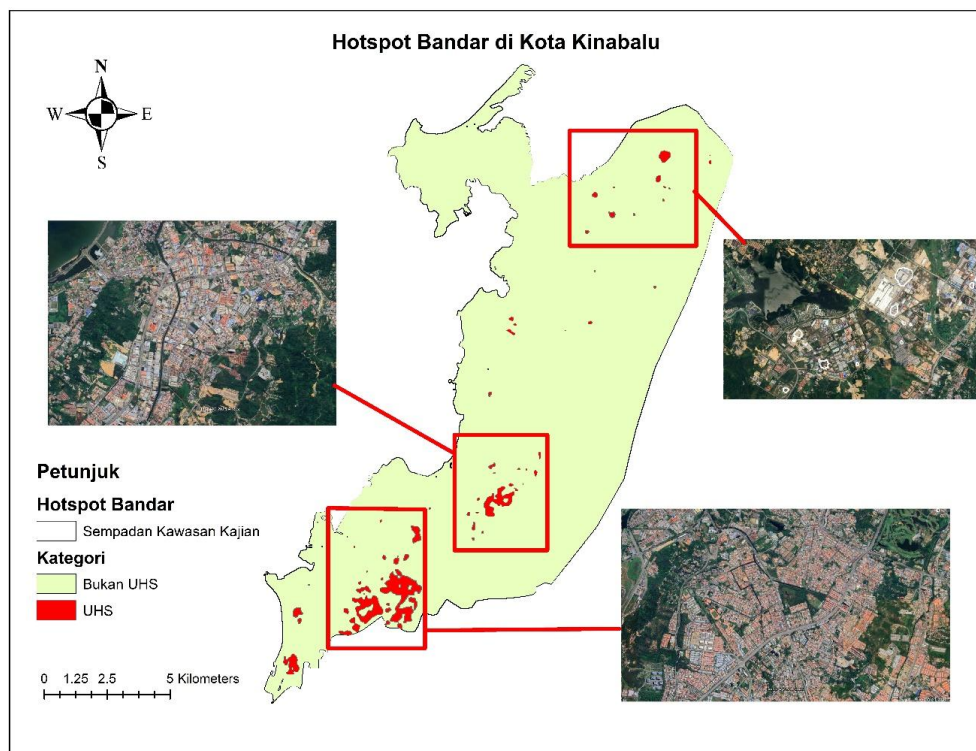
(97.62%) dengan jumlah keseluruhan kawasan kajian sebanyak 184.49 km². *Rajah 4* menunjukkan taburan hotspot bandar di Kota Kinabalu yang mana kawasan menuju ke selatan iaitu Kolombong dan Luyang didapati terjejas oleh suhu permukaan yang melebihi ambang manakala bahagian utara hanya sebilangan kecil sahaja yang terjejas.

Jadual 3. Nilai LST purata dan LST sisihan piawai yang digunakan sebagai ambang.

LST purata (°C)	25.70
LST sisihan piawai (°C)	1.95
Nilai ambang LST (°C)	>29.60 °C

Jadual 4. Luas dan peratus lokasi hotspot bandar (UHS) dan bukan UHS di Kota Kinabalu.

Kategori	Luas (km ²)	Peratus (%)
UHS	4.40	2.38
Bukan UHS	180.12	97.62
Jumlah	184.49	100



Rajah 4. Peta taburan hotspot bandar (UHS) di Kota Kinabalu.

Validasi LST

Hasil perbandingan menunjukkan bahawa nilai RMSE antara suhu permukaan (LST) Landsat 8 dan ECOSTRESS ialah 2.32°C. Nilai RMSE yang rendah menunjukkan bahawa data ECOSTRESS selepas proses penurunan skala mempunyai tahap ketepatan yang baik dan konsisten dengan data Landsat 8. *Jadual 5* adalah hasil proses validasi antara kedua-dua satelit.

Jadual 5. Hasil validasi silang LST dari sumber satelit Landsat 8 – ECOSTRESS.

Data	Bilangan Sampel	RMSE (°C)
------	-----------------	-----------

Dapatan dan Perbincangan Kajian

Berdasarkan analisis kaedah nilai ambang, kawasan dengan suhu permukaan (LST) melebihi 29.60°C dikenal pasti sebagai hotspot bandar dengan menggunakan kaedah yang dicadangkan oleh (García dan Díaz, 2023). Hasil dapatan melaporkan kawasan hotspot bandar meliputi 4.40 km^2 atau 2.38% daripada keseluruhan kawasan kajian (184.49 km^2) yang menunjukkan hanya sebahagian kecil kawasan bandar Kota Kinabalu mempunyai intensiti haba yang tinggi. Analisis spatial menggunakan imej satelit dan pemerhatian melalui Google Earth Pro menunjukkan bahawa hotspot bandar yang diperoleh banyak tertumpu di selatan Kota Kinabalu iaitu di kawasan terbina yang bertempat di bahagian Luyang dan Kolombong. Kawasan hotspot yang dikenal pasti ini menempatkan pelbagai aktiviti manusia seperti perumahan, kawasan komersial dan rangkaian jalan utama. *Rajah 5* ialah lokasi hotspot bandar yang dikenal pasti di Kolombong dan Luyang yang mana lokasi yang berada dalam lingkungan putih adalah kawasan yang bersuhu $>29.60^{\circ}\text{C}$.



Rajah 5. Hotspot bandar (UHS) di Kolombong (Kiri) dan Luyang (Kanan).

Kolombong dan Luyang ini merupakan kawasan terbina yang mempunyai permukaan keras yang tinggi contohnya konkrit, batu bata, asfalt dan bumbung bangunan yang diketahui menyerap dan menyimpan haba lebih banyak berbanding permukaan semula jadi (Buzási et al., 2024). Kekurangan litupan vegetasi dan ruang hijau di lokasi ini telah mengurangkan proses penyejukan semula jadi melalui penyejatan dan transpirasi seterusnya meningkatkan suhu permukaan tempatan. Selain itu, albedo permukaan turut memainkan peranan penting dalam pembentukan hotspot bandar. Dalam lokasi UHS ini terutama di bahagian perumahan dan komersial ada menunjukkan ciri permukaan beralbedo rendah kerana dominasi bahan binaan yang bersifat gelap yang menyebabkan peningkatan suhu permukaan (LST) sebagaimana dilaporkan oleh (Taloor et al., 2024). Oleh itu, peningkatan albedo melalui penggunaan bahan pantulan tinggi dan mesra haba boleh menjadi antara strategi mitigasi utama bagi mengurangkan kesan haba di Kota Kinabalu.

Selain dipengaruhi oleh faktor bahan binaan yang menyerap haba dan albedo permukaan yang rendah, pembentukan hotspot bandar di kawasan perumahan dan

komersial di Kota Kinabalu juga berpunca daripada penghasilan haba antropogenik yang tinggi. Kawasan ini menempatkan kepadatan penduduk yang besar serta pelbagai aktiviti manusia seperti perniagaan, penggunaan kenderaan dan operasi sistem penghawa dingin yang berterusan. Aktiviti ini secara langsung meningkatkan pelepasan haba ke atmosfera sekali gus menambah suhu permukaan tempatan. Sebagai contoh, penggunaan penghawa dingin di kawasan kediaman dan premis perniagaan menyumbang kepada peningkatan haba manakala penggunaan kenderaan yang tinggi juga terdapat di kawasan ini. Fenomena ini selaras dengan dapatan Jabbar et al. (2023) yang menjelaskan bahawa intensiti haba bandar sering berkait rapat dengan kepadatan penduduk dan tahap aktiviti ekonomi di mana kawasan yang aktif secara sosial dan ekonomi menghasilkan jumlah haba antropogenik yang lebih tinggi berbanding kawasan industri yang lebih terbuka dan kurang padat.

Walau bagaimanapun, hasil analisis juga mendapati bahawa kawasan industri seperti di Kota Kinabalu Industrial Park (KKIP) tidak tergolong dalam zon hotspot bandar yang ekstrem seperti di selatan Kota Kinabalu yang padat dengan kawasan perumahan dan komersial walaupun secara teorinya kawasan industri lazimnya menghasilkan haba antropogenik yang tinggi ekoran daripada aktiviti perindustrian (Buzási et al., 2024; Taloor et al., 2024). Sebaliknya, hotspot bandar lebih banyak tertumpu di kawasan perumahan dan komersial seperti di Luyang dan Kolombong. Keadaan ini berkemungkinan disebabkan oleh perbezaan struktur fizikal dan kepadatan binaan. Hal ini kerana kawasan industri biasanya mempunyai bangunan berjarak luas yang dilitupi bumbung logam beralbedo tinggi yang lebih memantulkan sinaran suria serta mempunyai kawasan terbuka yang membolehkan pengudaraan berlaku dengan baik. Tambahan pula, kawasan KKIP yang terletak di utara Kota Kinabalu masih lagi mempunyai litupan vegetasi yang lebih tinggi seperti yang ditunjukkan pada *Rajah 6* berbanding di selatan Kota Kinabalu yang mempunyai kepadatan bangunan yang tinggi, jalan berturap gelap dan jarak antara bangunan yang dekat. *Rajah 6* menunjukkan lokasi hotspot bandar (UHS) di KKIP.



Rajah 6. Hotspot bandar di utara Kota Kinabalu.

Secara keseluruhannya, keputusan kajian ini menunjukkan bahawa pembentukan hotspot bandar di Kota Kinabalu dipengaruhi oleh faktor guna tanah, ketumpatan binaan, geometri bandar dan sifat bahan binaan. Kawasan hotspot bandar yang dikenal

pasti boleh dijadikan asas untuk tindakan mitigasi seperti penambahan kawasan hijau bandar menerusi kaedah bumbung dan dinding hijau, penggunaan bahan binaan reflektif serta reka bentuk bandar yang mesra haba. Penemuan ini juga mengesahkan bahawa kaedah nilai ambang berdasarkan purata dan sisihan piawai suhu permukaan (LST) mampu mengenal pasti kawasan panas secara tepat dalam konteks bandar tropika serta memberi gambaran yang jelas tentang taburan termal bandar di Kota Kinabalu.

Kesimpulan

Secara keseluruhannya, dapatan kajian menunjukkan bahawa kawasan hotspot bandar tertumpu di kawasan binaan padat seperti kawasan perumahan dan komersial terutama di Luyang dan Kolombong manakala kawasan industri seperti KKIP tidak menunjukkan suhu yang tinggi. Fenomena ini menunjukkan bahawa peningkatan suhu bandar bukan sahaja disumbangkan oleh jenis bahan permukaan tetapi juga oleh aktiviti antropogenik yang tinggi seperti penggunaan penghawa dingin, kenderaan dan aktiviti perniagaan yang menjana haba tambahan. Ini membuktikan bahawa pembangunan pesat di Kota Kinabalu memberi kesan langsung terhadap peningkatan suhu permukaan bandar dan mewujudkan zon yang tidak selesa. Kajian ini juga menegaskan kepentingan penggunaan teknologi penderiaan jauh dan GIS dalam pemantauan suhu bandar secara berterusan kerana ia mampu mengenal pasti kawasan berisiko tinggi terhadap tekanan haba dalam skala yang luas. Namun begitu, kajian ini hanya melibatkan analisis satu tahun (2024) dan tidak menilai perubahan hotspot bandar dari semasa ke semasa. Oleh itu, kajian akan datang disarankan untuk menggunakan data multi-temporal bagi memahami tren jangka panjang perubahan suhu permukaan bandar terutama perubahan lokasi hotspot dari tahun ke tahun agar kawasan yang kekal panas dapat diambil tindakan mitigasi jangka panjang oleh pihak berkuasa.

Penghargaan

Penyelidik ingin merakamkan penghargaan yang tulus kepada Universiti Malaysia Sabah atas kerjasama dan sokongan dalam menjayakan kajian ini.

Konflik Kepentingan

Penyelidik dengan ini mengesahkan bahawa tiada konflik kepentingan yang melibatkan mana-mana pihak dalam kajian penyelidikan ini. Semua maklumat yang dikemukakan adalah berdasarkan analisis yang objektif dan tidak dipengaruhi oleh sebarang kepentingan peribadi, kewangan atau institusi. Kajian ini dijalankan dengan penuh integriti dan ketelusan bagi memastikan ketepatan serta kebolehpercayaan dapatan penyelidik.

RUJUKAN

- [1] Abas, A., Awang, A., Aiyub, K. (2020): Analysis of heavy metal concentration using transplanted lichen *usnea misaminensis* at kota kinabalu, sabah (Malaysia). – *Applied Ecology and Environmental Research* 18(1): 1175-1182.
- [2] Akmal, K.F., Zuhairi, N.A., Muhaimin, Z.A., Waheed, Z., Hussein, M.A.S., Hoon, G.S., Kiu, Y.T., Hariz, K.H., Addin, M.M., Oslan, S.N.H. (2025): Coral diversity and

- abundance patterns at the West Coast of Sabah: a case study of Kota Kinabalu coral reefs. – *Community Ecology* 26(1): 37-84.
- [3] Ang, K.H., Khairullah, M.A.A.A., Abd Gafar, R., Zakaria, Z. (2024): Land use Land Cover (LULC) Changes Techniques in GIS Application: A Case Study of Sabah, Malaysia. – *Semarak International Journal of Civil and Structural Engineering* 1(1): 1-7.
 - [4] Besar, S.N.A., Ladin, M.A., Harith, N.S.H., Bolong, N., Saad, I., Taha, N. (2020): An overview of the transportation issues in Kota Kinabalu, Sabah. – *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 476(1): 9p.
 - [5] Buzási, A., Beszedics-Jäger, B.S., Hortay, O. (2024): Spatial-temporal analysis of urban climate dynamics in major Hungarian cities. – *Environmental Research Communications* 6(4): 17p.
 - [6] Buaya, B., Adanan, N.A., Ramli, N., Gitam, P.M.A., Jamru, L.R., (2025): Transformasi Landskap Bandar Sandakan (2000-2023): Analisis Guna Tanah Berasaskan Geoinformatik Penderiaan Jauh: Urban Landscape Transformation Of Sandakan (2000-2023): Land Use Analysis Based On Remote Sensing Geoinformatics. – *Quantum Journal Of Social Sciences And Humanities* 6(4): 92-104.
 - [7] Chathuranga, S., Jayaratne, C. (2022): Analytical Study of Urban Heat Spot Patterns in Colombo District from 1988-2019 based on Landsat Data. – *International Journal of Disaster Management* 5(1): 15-34.
 - [8] De Almeida, C.R., Teodoro, A.C., Gonçalves, A. (2021): Study of the Urban Heat Island (UHI) Using Remote Sensing Data/Techniques: A Systematic Review. – *Environments* 8(10): 39p.
 - [9] Dimitrov, S., Iliev, M., Borisova, B., Semerdzhieva, L., Petrov, S. (2024): A Methodological Framework for High-Resolution Surface Urban Heat Island Mapping: Integration of UAS Remote Sensing, GIS, and the Local Climate Zoning Concept. – *Remote Sensing* 16(21): 26p.
 - [10] García, D.H., Díaz, J.A. (2023): Space–time analysis of the earth’s surface temperature, surface urban heat island and urban hotspot: relationships with variation of the thermal field in Andalusia (Spain). – *Urban Ecosystems* 26(2): 525-546.
 - [11] Hanapiah, N.A.H. (2019): Urban Heat Island Phenomenon in Penang Island, Malaysia. – *Journal of Advance Research in Applied Science* 6(7): 01-13.
 - [12] Hidalgo-García, D., Arco-Díaz, J. (2023): Spatiotemporal analysis of the surface urban heat island (SUHI), air pollution and disease pattern: an applied study on the city of Granada (Spain). – *Environmental Science and Pollution Research* 30(20): 57617-57637.
 - [13] Hidalgo-García, D., Arco-Díaz, J. (2022): Modeling the Surface Urban Heat Island (SUHI) to study of its relationship with variations in the thermal field and with the indices of land use in the metropolitan area of Granada (Spain). – *Sustainable Cities and Society* 87: 16p.
 - [14] Ibrahim, M.H., Latiff, N.A.A., Ismail, K., Isa, N.K.M. (2018): Effect of urbanization activities towards the formation of urban heat island in Cameron Highlands, Malaysia. – In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing 148: 9p.
 - [15] Jabbar, H.K., Hamoodi, M.N., Al-Hameedawi, A.N. (2023): Urban heat islands: a review of contributing factors, effects and data. – *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1129(1): 10p.
 - [16] Jamru, L.R. (2018): Correction pit free canopy height model derived from LiDAR data for the broad leaf tropical forest. – In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing 169(1): 9p.
 - [17] Jamru, L.R., Hashim, M., Phua, M.H., Jafar, A., Sakke, N., Eboy, O.V., Imang, U., Natar, M., Ahmad, A., Najib, S.A.M. (2024a): Exploring intensity metrics in raw LiDAR data processing for tropical forests. – In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing 1412(1): 14p.

- [18] Jamru, L.R., Jafar, A., Nadzri, M.I., Yusoh, M.P., Cleophas, F. (2024b): Assessing Satellite Rainfall Accuracy in Dense Tropical Sabah East Coast Forest, Malaysia: A Cross-Validation of Downscaling Technique. – *Planning Malaysia* 22(4): 528-543.
- [19] Jamru, L.R., Sharil, M.N., Jafar, A., Eboy, O.V., Atang, C., Talib, M.A. (2023a): The effectiveness of remote sensing techniques for land use classification in Kota Belud, Sabah. – *Asian Journal of Research in Education and Social Sciences* 5(2): 90-97.
- [20] Jamru, L.R., Sharil, M.N., Yusoh, M.P. (2023b): Assessing the evolution of paddy cultivation in kota belud, sabah using gis and remote sensing techniques. – *Planning Malaysia* 21(1): 204-216.
- [21] Jeffree, M.S., Mori, D., Yusof, N.A., Atil, A. Bin, Lukman, K.A., Othman, R., Hassan, M.R., Suut, L., Ahmed, K. (2020): High incidence of asymptomatic leptospirosis among urban sanitation workers from Kota Kinabalu, Sabah, Malaysian Borneo. – *Scientific Reports* 10(1): 8p.
- [22] Jumari, N.A.S.K., Ahmed, A.N., Huang, Y.F., Ng, J.L., Koo, C.H., Chong, K.L., Sherif, M., Elshafie, A. (2023): Analysis of urban heat islands with landsat satellite images and GIS in Kuala Lumpur Metropolitan City. – *Heliyon* 9(8): 18p.
- [23] Kalwant-Singh, R.K., Soo, C.L., Chen, C.A. (2025): A Preliminary Study on Microplastics Contamination in Wild Fishes Caught from Urbanised Sepanggar River of Kota Kinabalu, Sabah. – *Journal of Tropical Biology and Conservation* 22: 1-19.
- [24] Kemarau, R.A., Eboy, O.V. (2020): URBANIZATION AND IT IMPACTS TO LAND SURFACE TEMPERATURE ON SMALL MEDIUM SIZE CITY FOR YEAR 1991, 2011 AND 2018: CASE STUDY KOTA KINABALU. – *Journal of Borneo Social Transformation Studies* 6(1): 58-76.
- [25] Kubota, T., Ossen, D.R. (2009): Spatial characteristics of urban heat island in Johor Bahru City, Malaysia. – *Proceedings of the 3rd South East Asian Technical Universities Consortium (SEATUC'09), Johor Bahru, Malaysia* 6p.
- [26] Marks, D., Connell, J. (2024): Unequal and unjust: The political ecology of Bangkok's increasing urban heat island. – *Urban Studies* 61(15): 2887-2907.
- [27] Mohajerani, A., Bakaric, J., Jeffrey-Bailey, T. (2017): The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. – *Journal of Environmental Management* 197: 522-538.
- [28] Morris, K.I., Aekbal Salleh, S., Chan, A., Ooi, M. C.G., Abakr, Y.A., Oozeer, M.Y., Duda, M. (2015): Computational study of urban heat island of Putrajaya, Malaysia. – *Sustainable Cities and Society* 19: 359-372.
- [29] Mounayar, R., Florentin, D. (2022): Enlarging the Human Climate Niche: Integrating Urban Heat Island in Urban Planning Interventions. – *Urban Planning* 7(4): 179-194.
- [30] Rajagopalan, P., Lim, K.C., Jamei, E. (2014): Urban heat island and wind flow characteristics of a tropical city. – *Solar Energy* 107: 159-170.
- [31] Ranagalage, M., Estoque, R.C., Zhang, X., Murayama, Y. (2018): Spatial changes of urban heat island formation in the Colombo District, Sri Lanka: Implications for sustainability planning. – *Sustainability (Switzerland)* 10(5): 21p.
- [32] Rathod, V. (2025): Assessing Impact of Urban Heat Islands and Mitigation Strategies Using GIS. – *International Journal of Science and Research (IJSR)* 14(2): 1873-1877.
- [33] Sathe, T.A., Rahman, S.H. (2024): Sustainable development versus urban sprawl: A Landsat imagery analysis of ecological impact in Savar Upazila, 2011–2022. – *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* 10: 12p.
- [34] Sharma, R., Pradhan, L., Kumari, M., Bhattacharya, P. (2021): Assessing urban heat islands and thermal comfort in Noida City using geospatial technology. – *Urban Climate* 35: 15p.
- [35] Sola-Caraballo, J., Serrano-Jiménez, A., Rivera-Gomez, C., Galan-Marin, C. (2025): Multi-Criteria Assessment of Urban Thermal Hotspots: A GIS-Based Remote Sensing Approach in a Mediterranean Climate City. – *Remote Sensing* 17(2): 27p.

- [36] Somantri, L., Himayah, S. (2024): Urban Heat Island Study Based on Remote Sensing and Geographic Information System: Correlation between Land Cover and Surface Temperature. – E3S Web of Conferences 600: 10p.
- [37] Taloor, A.K., Parsad, G., Jabeen, S.F., Sharma, M., Choudhary, R., Kumar, A. (2024): Analytical study of land surface temperature for evaluation of UHI and UHS in the city of Chandigarh India. – Remote Sensing Applications: Society and Environment 35: 16p.
- [38] Tatlonghari, R.J.A. (2024): Assessing Urban Heat Islands Using GIS and Remote Sensing for Sustainable Urban Planning in the Philippines. – International Journal of Latest Technology in Engineering Management & Applied Science 13(12): 11-135.
- [39] Vujovic, S., Haddad, B., Karaky, H., Sebaibi, N., Boutouil, M. (2021): Urban Heat Island: Causes, Consequences, and Mitigation Measures with Emphasis on Reflective and Permeable Pavements. – CivilEng 2(2): 459-484.
- [40] Zhou, D., Xiao, J., Bonafoni, S., Berger, C., Deilami, K., Zhou, Y., Frolking, S., Yao, R., Qiao, Z., Sobrino, J.A. (2019): Satellite Remote Sensing of Surface Urban Heat Islands: Progress, Challenges, and Perspectives. – Remote Sensing 11(1): 36p.