

Analisis Perubahan Tutupan Lahan dan Hubungannya dengan Suhu Permukaan Menggunakan Google Earth Engine

Laode Muhamad Irsan^{1*}, Muhammad Isra², Rival Rahman³, Nur Hasanah⁴, Wahyu Dzunaid Syawal⁵

^{1,3}Agroteknologi, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo, Indonesia

²Ilmu Teknologi Pangan, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo, Indonesia

⁴Pendidikan Geografi, Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia

Email: ¹irsanlibra85@email.com, ²nurhasanah050994@gmail.com

Abstrak– Kabupaten Boalemo, sebagai salah satu sentra pertanian di Sulawesi, mengalami tekanan ekologis, di mana lahan hutan terus berkurang untuk memenuhi kebutuhan ekonomi masyarakat. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui perubahan tutupan lahan hubungannya dengan perubahan suhu permukaan (land surface temperature) berbasis citra satelit. Data utama yang digunakan adalah citra satelit Landsat (Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, dan Landsat 8 OLI/TIRS) yang diperoleh dan diolah melalui platform Google Earth Engine (GEE). Hasil penelitian mengungkap transformasi lanskap dan thermal yang sangat signifikan, didorong terutama oleh aktivitas deforestasi dan alih fungsi lahan. Tutupan lahan hutan mengalami penyusutan drastis sebesar 381,12 km² (dari 1.428,73 km² menjadi 1.047,61 km²), yang mengindikasikan tekanan tinggi akibat deforestasi. Sebaliknya, terjadi ekspansi besar-besaran lahan pertanian (bertambah 369,56 km² menjadi 753,08 km²) dan pemukiman (bertambah 16,4 km² menjadi 18,55 km²). Perubahan tutupan lahan tersebut berkorelasi langsung dengan peningkatan suhu permukaan yang dramatis. Zona suhu sejuk (<25°C) menyusut secara ekstrem dari 766,37 km² menjadi hanya 33,55 km² pada tahun 2024. Sebaliknya, zona suhu tinggi (30–35°C) dan sangat tinggi (>35°C) mengalami ekspansi masif. Zona suhu tinggi meluas dari 359,54 km² menjadi 673,00 km², sementara zona suhu sangat tinggi membengkak hampir 4 kali lipat dari 93,29 km² menjadi 370,52 km². Analisis ini didukung oleh akurasi yang tinggi dengan Overall Accuracy (OA) 91,43% dan Kappa Coefficient 0,88. Estimasi LST juga sangat akurat dengan nilai RMSE 0,6325°C, yang menunjukkan error rata-rata kurang dari 1°C.

Kata Kunci: Tutupan Lahan, Citra Landsat, Land Surface Temperature, Google Earth Engine

Abstract–Boalemo Regency, as one of the agricultural centers in Sulawesi, is experiencing ecological pressure due to continuous forest loss driven by the community's economic needs. This study aims to examine land cover and its relationship with changes in land surface temperature (LST) in Boalemo Regency. A quantitative approach with spatial analysis methods based on satellite imagery was employed. The primary data used were Landsat images (Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, and Landsat 8 OLI/TIRS), which were obtained and processed through the Google Earth Engine (GEE) platform. The results reveal substantial landscape and thermal transformations, primarily driven by deforestation and land-use change. Forest cover decreased drastically by 381.12 km² (from 1,428.73 km² to 1,047.61 km²), indicating severe deforestation pressure. Conversely, agricultural land expanded significantly by 369.56 km², reaching 753.08 km², while settlements increased from 16.4 km² to 18.55 km². These land cover changes are directly correlated with a dramatic rise in surface temperature. The cool temperature zone (<25°C) shrank sharply from 766.37 km² to only 33.55 km² by 2024. In contrast, the high-temperature zone (30–35°C) and the very high-temperature zone (>35°C) experienced massive expansion. The high-temperature zone increased from 359.54 km² to 673.00 km², while the very high-temperature zone nearly quadrupled from 93.29 km² to 370.52 km². Forest-to-agriculture conversion was identified as the main driver of LST increase. The analysis was supported by high accuracy levels. The land cover classification achieved an Overall Accuracy (OA) of 91.43% and a Kappa Coefficient of 0.88. LST estimation was also highly accurate, with an RMSE value of 0.6325°C, indicating an average error of less than 1°C and confirming the reliability of satellite imagery in representing actual field conditions data.

Keywords: Land Cover, Landsat Imagery, Land Surface Temperature, Google Earth Engine

1. PENDAHULUAN

Perubahan tutupan lahan merupakan salah satu fenomena lingkungan yang paling kritis di abad ke-21. Proses ini tidak hanya mengancam keanekaragaman hayati tetapi juga berkontribusi terhadap perubahan iklim lokal dan global. Di Indonesia, konversi hutan menjadi lahan pertanian telah terjadi secara masif, terutama di wilayah dengan tingkat permintaan komoditas pertanian yang tinggi, seperti kelapa sawit, padi, dan jagung [1]. Kabupaten Boalemo, sebagai salah satu sentra pertanian di Sulawesi, mengalami tekanan serupa, di mana lahan terus berkurang untuk memenuhi kebutuhan ekonomi masyarakat [2]. Studi sebelumnya yang dilakukan oleh Global Forest Watch menunjukkan bahwa Provinsi Gorontalo kehilangan sekitar 5,2% tutupan hutannya antara tahun 2000 hingga 2020. Perubahan ini tidak hanya berdampak pada ekosistem tetapi juga berpotensi meningkatkan suhu permukaan, yang pada akhirnya memengaruhi produktivitas pertanian dan kualitas hidup masyarakat [3].

Suhu permukaan (Land Surface Temperature/LST) merupakan indikator penting dalam memahami dampak perubahan tutupan lahan terhadap iklim mikro. Daerah yang mengalami deforestasi cenderung memiliki suhu permukaan lebih tinggi dibandingkan wilayah yang masih tertutup vegetasi [4]. Hal ini terjadi karena hilangnya vegetasi mengurangi proses evapotranspirasi dan meningkatkan penyerapan radiasi matahari oleh permukaan tanah. Di Kabupaten Boalemo, di mana pertanian menjadi tulang punggung ekonomi, kenaikan suhu permukaan dapat mengancam ketahanan pangan jika tidak dikelola dengan baik. Misalnya, peningkatan suhu dapat mempercepat penguapan air tanah, mengurangi kesuburan tanah, dan menurunkan hasil panen [5].

Teknologi penginderaan jauh dan platform komputasi awan seperti Google Earth Engine (GEE) telah merevolusi cara peneliti menganalisis perubahan lingkungan. GEE menyediakan akses ke data satelit multi-temporal, seperti Landsat



dan Sentinel, serta kemampuan komputasi tinggi untuk memproses data spasial secara efisien [1]. Sebelumnya, analisis perubahan tutupan lahan memerlukan waktu lama dan sumber daya komputasi yang besar. Namun, dengan GEE, peneliti dapat melakukan klasifikasi tutupan lahan, deteksi perubahan, dan analisis suhu permukaan dalam waktu singkat [6].

Pendekatan ini dapat diterapkan di Kabupaten Boalemo untuk mengidentifikasi area-area kritis yang mengalami alih fungsi lahan serta dampaknya terhadap suhu permukaan [7]. penelitian terdahulu cenderung hanya menyoroti perubahan tutupan lahan tanpa mengintegrasikan analisis multi-temporal LST untuk mengukur dampak termal jangka panjang. Dengan demikian, kesenjangan penelitian terletak pada minimnya kajian kuantitatif dan spasial mengenai hubungan perubahan tutupan lahan dengan variasi suhu permukaan di wilayah pertanian Boalemo, khususnya menggunakan integrasi data multi-temporal Landsat dengan pemrosesan berbasis GEE [8]. Sementara itu, suhu permukaan dapat diekstraksi dari band termal citra Landsat. Penelitian ini bertujuan untuk mengkuantifikasi hubungan antara perubahan tutupan hutan dan variasi suhu permukaan di Kabupaten Boalemo.

Alih fungsi lahan memberikan keuntungan ekonomi jangka pendek tetapi berisiko menimbulkan kerugian jangka panjang, seperti penurunan kesuburan tanah dan meningkatnya frekuensi bencana hidrometeorologi [9]. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya relevan dari sisi ekologi tetapi juga mendukung pembangunan berkelanjutan yang memperhatikan aspek sosial dan kesehatan. Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini menjadi mendesak untuk dilakukan guna memberikan bukti empiris tentang dampak perubahan tutupan lahan terhadap suhu permukaan di Kabupaten Boalemo.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis spasial berbasis citra satelit. Fokus utamanya adalah menganalisis perubahan tutupan lahan dan dampaknya terhadap perubahan suhu permukaan. Data utama yang digunakan adalah citra satelit Landsat (Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, dan Landsat 8 OLI/TIRS) yang diperoleh dan diolah melalui platform Google Earth Engine (GEE). Pemilihan pendekatan kuantitatif bertujuan menghasilkan hasil penelitian yang objektif, terukur, dan dapat diuji secara statistik. Sementara itu, penelitian dilakukan secara multitemporal untuk melihat dinamika perubahan lahan dan suhu permukaan dalam rentang waktu panjang dari tahun 1990 hingga 2024.

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui proses ekstraksi citra satelit dari GEE. Data yang dikumpulkan meliputi citra multitemporal yang telah dikoreksi atmosferik dan radiometrik untuk mengurangi gangguan kualitas data. Proses awal melibatkan seleksi citra berdasarkan tingkat tutupan awan rendah (maksimal 20%), mosaicking untuk menggabungkan citra, serta clipping berdasarkan batas administrasi wilayah Kabupaten Boalemo [10]. Selain itu, data suhu permukaan diekstraksi dari kanal thermal citra Landsat menggunakan algoritma standar untuk menghitung Land Surface Temperature (LST). Data ini menjadi dasar untuk mengkaji variasi suhu yang terjadi akibat perubahan tutupan lahan [11].

Analisis data dilakukan dalam beberapa tahapan. Pertama, dilakukan klasifikasi tutupan lahan menggunakan supervised classification pada platform GEE. Hasil klasifikasi menghasilkan peta tutupan lahan dengan kategori utama seperti hutan, pertanian, pemukiman, dan lahan terbangun. [10]. Setelah itu, perubahan tutupan lahan dianalisis menggunakan metode perbandingan pascaklasifikasi untuk mengidentifikasi area yang mengalami konversi dari hutan menjadi lahan pertanian. Pada tahap selanjutnya, suhu permukaan diekstraksi dan dianalisis, di mana rata-rata suhu pada area hutan dan pertanian dibandingkan. Analisis statistik seperti RMSE digunakan untuk mengetahui hubungan kuantitatif antara luas perubahan lahan dan perubahan suhu permukaan [12].

Validasi hasil klasifikasi dilakukan untuk menjamin akurasi dan keandalan data yang dihasilkan. Validasi ini menggunakan metode confusion matrix yang menghitung nilai overall accuracy, kappa coefficient, user's accuracy, dan producer's accuracy. Data validasi diambil dari titik-titik sampel lapangan (jika tersedia) atau melalui interpretasi citra resolusi tinggi seperti Google Earth Pro. Selain itu, hasil ekstraksi suhu permukaan juga diverifikasi dengan data sekunder atau data suhu lapangan yang tersedia, untuk memastikan kesesuaian nilai yang diperoleh dari hasil pengolahan citra satelit [13]. Berikut adalah penjelasan masing-masing rumus:

Persamaan Overall Accuracy (OA):

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^k M_{ii}}{N} \quad (1)$$

Keterangan:

M_{ii} : Jumlah elemen di diagonal utama matriks konfusi

k : Jumlah kelas

N : Total jumlah sampel (jumlah seluruh elemen dalam matriks konfusi)

Persamaan Kappa Coefficient (κ)

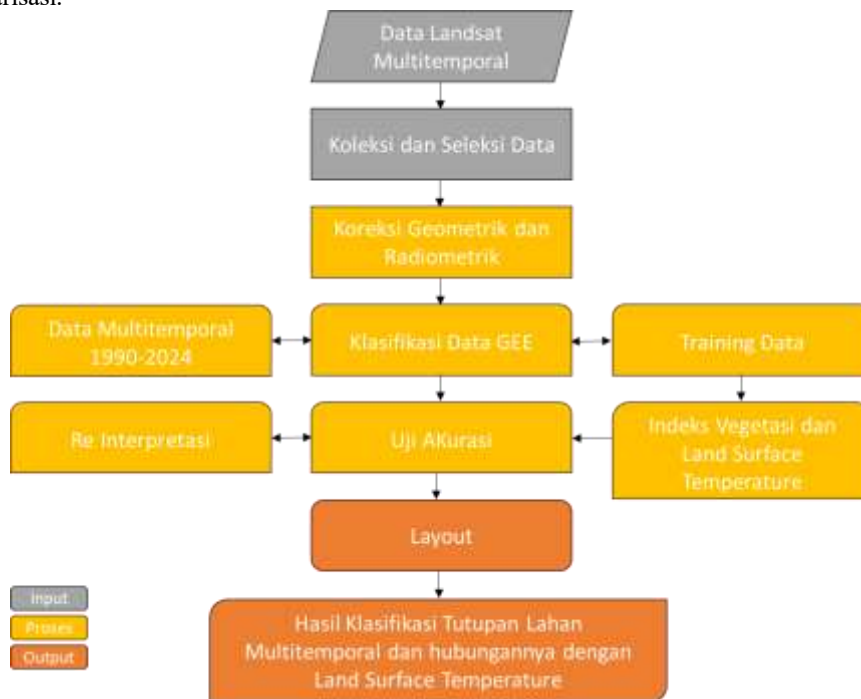
$$\kappa = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \quad (2)$$

Keterangan:

P_o : Proporsi observasi yang diobservasi secara benar

P_e : Proporsi kesepakatan ekspektasi berdasarkan peluang acak

Secara keseluruhan, penelitian ini mengintegrasikan pemanfaatan data penginderaan jauh, analisis spasial berbantuan cloud computing, serta analisis statistik untuk mengungkap hubungan antara perubahan penggunaan lahan dan perubahan suhu permukaan. Google Earth Engine menjadi alat utama yang memungkinkan proses analisis dilakukan secara efisien, cepat, dan terstandarisasi.

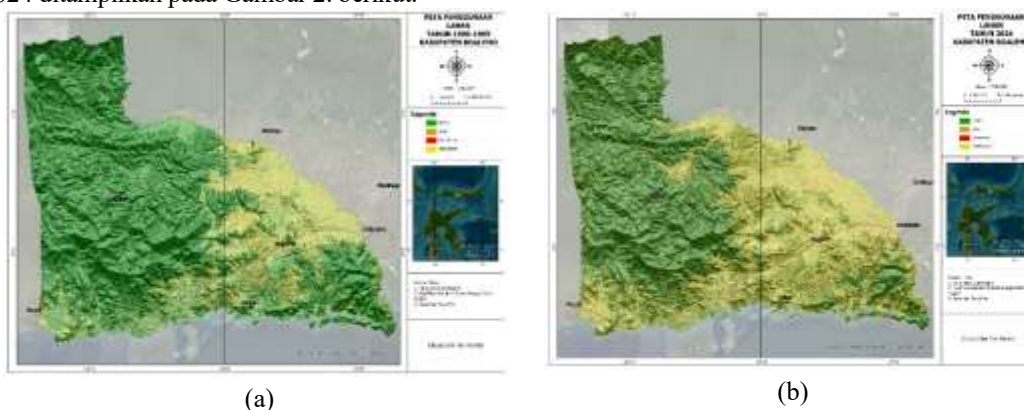


Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Tutupan Lahan menggunakan Citra Satelit Landsat Multitemporal

Analisis tutupan lahan di Kabupaten Boalemo menggunakan citra Landsat tahun 1990 dan 2024 berbasis Google Earth Engine (GEE) memperlihatkan adanya dinamika perubahan yang cukup signifikan. Pada tahun 1990, kawasan hutan masih mendominasi sebagian besar wilayah terutama di daerah perbukitan dan pegunungan bagian tengah hingga utara. Namun, hasil klasifikasi citra Landsat tahun 2024 menunjukkan penurunan luasan hutan, khususnya di wilayah yang berdekatan dengan kawasan permukiman dan lahan pertanian. Fenomena ini sejalan dengan tren nasional di mana deforestasi terjadi akibat ekspansi pertanian, pembukaan lahan baru, serta kebutuhan pembangunan infrastruktur [14]. Gambar 2 berikut ini akan menunjukkan hasil pemetaan tutupan lahan di kabupaten Boalemo. Hasil analisis indeks untuk klasifikasi citra tahun 1990 dan 2024 ditampilkan pada Gambar 2. berikut.



Gambar 2. Hasil Analisis (a) Landsat 5 tahun 1990 dan (b) Landsat 9 tahun 2024 menggunakan Google Earth Engine,

Gambar 2. Perbandingan peta multitemporal mengungkapkan bahwa dalam rentang waktu lebih dari tiga dekade (1990-2024), alih fungsi hutan cenderung meningkat ke arah lahan pertanian dan pemukiman. Penggunaan GEE sangat membantu dalam menganalisis pola spasial ini karena mampu mengakses arsip data Landsat jangka panjang secara cepat dan melakukan klasifikasi dengan algoritma machine learning Random Forest. Hasil klasifikasi multitemporal juga



memperlihatkan bahwa fragmentasi hutan semakin tinggi, dengan bentuk tutupan hutan yang tidak lagi kompak melainkan terpecah-pecah menjadi patch kecil. Kondisi ini dapat menurunkan kualitas ekosistem hutan serta meningkatkan risiko degradasi lahan [15]. Berikut ini tabel luas tutupan lahan di Kabupaten Boalemo. Hasil klasifikasi data luas tutupan lahan di Kabupaten Boalemo ditampilkan pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Hasil Klasifikasi

No	Tutupan Lahan	Luas Lahan (Km ²)	
		Tahun 1990	Tahun 2024
1	Hutan	1428,73	1047,61
2	Pertanian	383,52	753,08
3	Pemukiman	2,15	18,55
4	Jalan/Lahan Terbuka	15,06	10,27
Luas Total		1829,46	1829,52

(Sumber: Hasil Analisis data, Tahun 2025)

Berdasarkan hasil analisis perubahan tutupan lahan di Kabupaten Boalemo menunjukkan adanya dinamika penggunaan lahan yang cukup signifikan antara tahun 1990 dan 2024. Tutupan lahan hutan mengalami penurunan dari 1.428,73 km² pada tahun 1990 menjadi 1.047,61 km² pada tahun 2024. Penurunan seluas 381,12 km² ini mengindikasikan adanya tekanan terhadap kawasan hutan, yang kemungkinan besar disebabkan oleh alih fungsi lahan menjadi pertanian maupun pemukiman. Sebaliknya, lahan pertanian justru menunjukkan peningkatan yang signifikan, dari 383,52 km² pada tahun 1990 menjadi 753,08 km² pada tahun 2024 atau bertambah sekitar 369,56 ha. Peningkatan ini erat kaitannya dengan kebutuhan pangan masyarakat yang semakin meningkat serta adanya kebijakan perluasan lahan pertanian untuk mendukung ketahanan pangan.

Secara keseluruhan, total luas tutupan lahan relatif konstan (1829,46 km² pada 1990 dan 1829,52 km² pada 2024), yang menegaskan bahwa perubahan yang terjadi merupakan bentuk konversi antarkategori lahan, bukan penambahan maupun pengurangan area wilayah studi. Temuan ini memperlihatkan adanya pergeseran fungsi lahan yang didominasi oleh konversi hutan menjadi pertanian dan pemukiman, yang dalam jangka panjang dapat menimbulkan implikasi terhadap keseimbangan ekologi, siklus hidrologi, serta kualitas lingkungan. Oleh karena itu, perlu adanya strategi pengelolaan lahan yang berkelanjutan untuk menyeimbangkan kebutuhan pembangunan dengan kelestarian lingkungan. Dari perspektif ekologis, berkurangnya tutupan hutan di Boalemo berimplikasi pada hilangnya fungsi jasa lingkungan, termasuk penyerapan karbon, pengaturan tata air, dan perlindungan keanekaragaman hayati.

Hasil uji akurasi klasifikasi tutupan lahan menunjukkan tingkat kesesuaian yang sangat baik dengan nilai Overall Accuracy (OA) sebesar 91,43% dan Kappa Coefficient (κ) sebesar 0,88. Nilai OA yang tinggi menunjukkan bahwa sebagian besar sampel titik validasi dapat terklasifikasi dengan benar, sedangkan nilai κ yang mendekati 1 menandakan bahwa hasil klasifikasi memiliki tingkat kesesuaian yang sangat kuat serta tidak terjadi secara kebetulan. Secara kelas, Producer's Accuracy (PA) tertinggi diperoleh pada kelas Pemukiman (100%) dan Jalan/Lahan Terbuka (100%), yang berarti seluruh titik referensi kedua kelas tersebut berhasil dikenali dengan tepat. Kelas Pertanian juga memiliki PA yang tinggi yaitu 90,91%, meskipun terdapat satu titik referensi yang salah terklasifikasi sebagai Jalan/Lahan Terbuka. Sementara itu, kelas Hutan menunjukkan PA terendah yaitu 77,78%, akibat adanya dua titik referensi hutan yang terdeteksi sebagai pertanian. Berikut ini tabel 2 hasil uji akurasi dengan menggunakan metode confusion matriks. Rincian luas lahan terbangun di masing-masing kecamatan dapat dilihat pada Tabel 2. berikut ini.

Tabel 2. hasil uji akurasi dengan menggunakan metode confusion matriks.

Kelas Referensi	Hutan	Pertanian	Pemukiman	Jalan/Lahan Terbuka	Total Referensi	Producer's Accuracy (PA)
Hutan	7	2	0	0	9	77,78 %
Pertanian	0	10	0	1	11	90,91%
Pemukiman	0	0	8	0	8	100,00 %
Jalan/Lahan Terbuka	0	0		7	7	
Total Prediksi	7	12	8	8	35	
Overall Accuracy (OA)						91,43 %
User's Accuracy (UA)						87,50 %
Kappa Coefficient						0,88

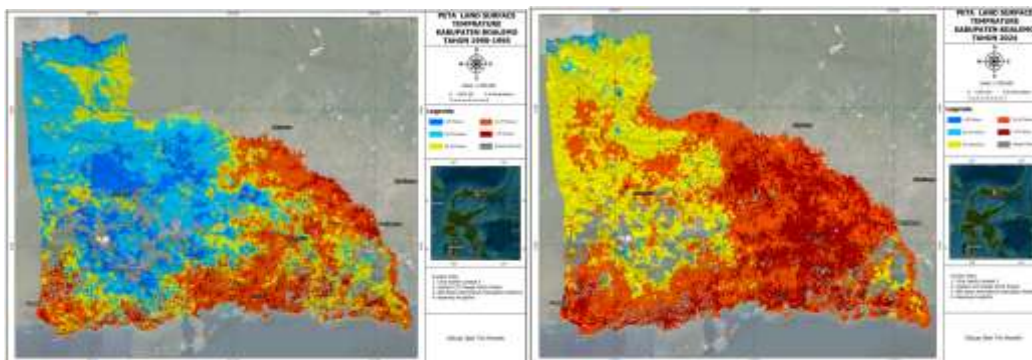
(Sumber: Hasil analisis data primer, Tahun 2025)

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa analisis multitemporal berbasis GEE merupakan pendekatan yang efektif dalam memantau dinamika tutupan lahan hutan dari waktu ke waktu. Data Landsat 1990 dan 2024 berhasil memberikan gambaran historis maupun kondisi terkini yang dapat menjadi dasar dalam penyusunan kebijakan tata ruang dan strategi konservasi hutan di Kabupaten Boalemo. Ke depan, upaya mitigasi deforestasi dapat diarahkan melalui

program rehabilitasi hutan, pengelolaan lahan berkelanjutan, serta pengawasan berbasis teknologi penginderaan jauh untuk mencegah perluasan konversi lahan [16].

3.2 Analisis Land Surface Temperature (LST)

Analisis Land Surface Temperature (LST) berbasis citra Landsat tahun 1990 dan 2024 di Kabupaten Boalemo menunjukkan adanya peningkatan suhu permukaan dalam rentang waktu lebih dari tiga dekade. Pada tahun 1990, distribusi suhu permukaan relatif lebih rendah, terutama pada kawasan dengan tutupan hutan lebat dan vegetasi alami. Namun, hasil estimasi LST tahun 2024 memperlihatkan kenaikan suhu yang cukup nyata, terutama di wilayah yang telah mengalami alih fungsi lahan dari hutan menjadi pertanian, permukiman, maupun lahan terbuka. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang menyebutkan bahwa deforestasi dan urbanisasi berkontribusi besar terhadap peningkatan suhu permukaan di wilayah tropis [12]. Gambar 3 berikut ini merupakan gambar perubahan Land Surface Temperature di Kabupaten Boalemo tahun 1990 dan tahun 2024.



Gambar 3. Hasil analisis Land Surface Temperature Tahun 1990 dan 2024

Kenaikan LST dapat dijelaskan melalui perubahan sifat biofisik permukaan lahan. Tutupan hutan memiliki indeks vegetasi tinggi, kelembaban tanah relatif stabil, serta kemampuan evapotranspirasi besar yang dapat menurunkan suhu permukaan. Sebaliknya, lahan pertanian terbuka, permukiman, maupun semak belukar memiliki albedo berbeda, kapasitas penyimpanan panas lebih besar, serta evapotranspirasi rendah sehingga menyebabkan peningkatan suhu permukaan [17]. Hasil klasifikasi multitemporal juga menunjukkan adanya keterkaitan spasial antara area deforestasi dengan zona yang mengalami peningkatan suhu signifikan, khususnya di wilayah Boalemo bagian tengah dan selatan. Tabel 3 berikut ini menunjukkan luas Lands Surface Temperature berdasarkan tingkatannya.

Tabel 3. Luas Lands Surface Temperature

No	Kelas Suhu (°C)	Luas (Km ²)	
		Tahun 1990	Tahun 2024
1	Sangat Rendah (<20°C)	175,39	2,80
2	Rendah (20-25°C)	590,98	30,75
3	Sedang (26-30°C)	417,17	563,53
4	Tinggi (30-35°C)	359,54	673,00
5	Sangat Tinggi (>35°C)	93,29	370,52
Luas Total		1636,37	1640,60

Hasil analisis Land Surface Temperature (LST) menunjukkan adanya perubahan distribusi suhu permukaan yang cukup signifikan antara tahun 1990 dan 2024. Pada tahun 1990, distribusi lahan didominasi oleh kelas suhu rendah (20–25°C) sebesar 590,98 km² (36,1%) dan suhu sedang (26–30°C) sebesar 417,17 km² (25,5%), sementara kelas sangat tinggi (>35°C) hanya mencakup 93,29 km² (5,7%). Kondisi ini menggambarkan bahwa pada periode awal, wilayah studi masih relatif sejuk dengan dominasi area bersuhu rendah hingga sedang. Namun, pada tahun 2024 terjadi pergeseran yang sangat mencolok, di mana kelas suhu sangat rendah (<20°C) dan rendah (20–25°C) menurun drastis masing-masing menjadi 2,80 km² (0,2%) dan 30,75 km² (1,9%). Sebaliknya, kelas suhu tinggi (30–35°C) meningkat pesat dari 359,54 km² (22,0%) menjadi 673,00 km² (41,0%), dan kelas sangat tinggi (>35°C) melonjak hampir empat kali lipat menjadi 370,52 km² (22,6%). Hal ini mengindikasikan adanya peningkatan suhu permukaan secara signifikan dalam kurun waktu lebih dari tiga dekade terakhir.

Peningkatan LST tersebut dapat dikaitkan dengan beberapa faktor, antara lain berkurangnya tutupan vegetasi, ekspansi lahan terbangun, serta efek urbanisasi yang memperkuat fenomena urban heat island. Penurunan luas lahan bersuhu rendah menegaskan bahwa kapasitas vegetasi untuk menurunkan suhu permukaan semakin berkurang. Sebaliknya, meningkatnya lahan bersuhu tinggi dan sangat tinggi menunjukkan dominasi material kedap air dan permukaan buatan yang menyerap serta menyimpan panas lebih besar [18]. Secara keseluruhan, perubahan distribusi LST dari dominasi suhu rendah



ke arah suhu tinggi dan sangat tinggi menandakan adanya degradasi kualitas lingkungan termal wilayah studi. Temuan ini penting untuk menjadi dasar dalam perencanaan tata ruang dan strategi mitigasi, seperti peningkatan ruang terbuka hijau, pemanfaatan material ramah lingkungan, serta pengendalian alih fungsi lahan, agar dampak negatif peningkatan suhu permukaan dapat diminimalisasi di masa mendatang.

Pemanfaatan Google Earth Engine dalam penelitian ini terbukti efektif karena memungkinkan analisis multi-temporal LST secara konsisten menggunakan data arsip Landsat yang panjang. Selain itu, GEE mendukung penggunaan algoritma perhitungan suhu permukaan melalui pemrosesan citra termal yang lebih efisien dibandingkan metode konvensional. Hasil uji akurasi Land Surface Temperature (LST) di Kabupaten Boalemo menunjukkan nilai Root Mean Square Error (RMSE) yang diperoleh sebesar 0.6325°C menunjukkan tingkat akurasi yang sangat tinggi antara data suhu pada peta dengan pengukuran suhu aktual di lapangan. RMSE mengukur rata-rata selisih atau error antara nilai prediksi (peta) dan nilai observasi (lapangan), di mana nilai yang mendekati nol menunjukkan kesesuaian yang sempurna. Dalam konteks ini, error rata-rata kurang dari 1 derajat Celsius mengindikasikan bahwa peta suhu tersebut memiliki kemampuan yang sangat baik dalam merepresentasikan kondisi riil di lapangan. Tingkat error yang kecil ini dapat disebabkan oleh metode interpolasi yang tepat, kualitas data input yang baik, atau kerapatan titik sampel yang memadai.

Jika ditinjau dari distribusi nilai kesalahan, sebagian besar perbedaan antara suhu lapangan dan hasil estimasi satelit berada pada rentang $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Hal ini sesuai dengan temuan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa ketidakpastian estimasi LST umumnya dipengaruhi oleh kondisi atmosfer, tutupan lahan, dan resolusi spasial citra satelit [19]. Nilai RMSE $< 1^{\circ}\text{C}$ yang diperoleh dalam penelitian ini menegaskan bahwa pengaruh faktor-faktor tersebut masih dalam batas toleransi sehingga tidak menurunkan validitas hasil secara signifikan. Berdasarkan data yang disajikan, terjadi transformasi lanskap dan thermal yang sangat signifikan di Kabupaten Boalemo selama periode 34 tahun (1990-2024).

Perubahan tutupan lahan menjadi faktor kunci yang mendorong perubahan suhu permukaan (LST) secara keseluruhan. Yang paling mencolok adalah penyusutan luas hutan yang drastis sebesar $381,12\text{ km}^2$, dari $1.428,73\text{ km}^2$ menjadi $1.047,61\text{ km}^2$. Sebaliknya, terjadi ekspansi besar-besaran pada lahan pertanian yang hampir menggandakan luasnya, dari $383,52\text{ km}^2$ menjadi $753,08\text{ km}^2$, serta peningkatan signifikan luas pemukiman dari $2,15\text{ km}^2$ menjadi $18,55\text{ km}^2$. Perubahan ini mengindikasikan aktivitas deforestasi untuk membuka lahan pertanian baru dan kebutuhan pemukiman, yang secara langsung mengurangi tutupan vegetasi alami yang berfungsi sebagai pendingin alami.

Dampak dari perubahan tutupan lahan ini terhadap Land Surface Temperature (LST) terlihat sangat jelas dan dramatis. Pada tahun 1990, kawasan yang dominan adalah zona suhu rendah dan sangat rendah ($20\text{-}25^{\circ}\text{C}$ dan $< 20^{\circ}\text{C}$) dengan luas gabungan $766,37\text{ km}^2$. Pada tahun 2024, kedua zona sejuk ini menyusut secara ekstrem hingga hanya tersisa $33,55\text{ km}^2$, yang mengindikasikan hilangnya hampir seluruh area yang sejuk. Sebaliknya, terjadi ekspansi masif pada zona suhu tinggi dan sangat tinggi ($> 30^{\circ}\text{C}$). Zona suhu tinggi ($30\text{-}35^{\circ}\text{C}$) meluas dari $359,54\text{ km}^2$ menjadi $673,00\text{ km}^2$, sedangkan zona suhu sangat tinggi ($> 35^{\circ}\text{C}$) mengalami peningkatan paling curam, dari $93,29\text{ km}^2$ menjadi $370,52\text{ km}^2$ (naik hampir 4x lipat). Pergeseran ini secara langsung berkorelasi dengan berkurangnya hutan yang memiliki evapotranspirasi tinggi dan meningkatnya lahan pertanian serta pemukiman yang cenderung menyerap dan memancarkan lebih banyak panas (heat island effect).

Alih fungsi lahan hutan menjadi lahan pertanian secara masif. Dalam kurun waktu 34 tahun, kawasan hutan menyusut sebanyak $381,12\text{ km}^2$, sementara secara hampir bersamaan, lahan pertanian bertambah sebanyak $369,56\text{ km}^2$. Besarannya perubahan yang hampir sama ini sangat mengindikasikan bahwa konversi hutan menjadi lahan pertanian adalah proses utama yang terjadi di wilayah tersebut. Pergeseran dari ekosistem hutan yang kompleks dan berstratifikasi menjadi monokultur atau sistem pertanian yang lebih sederhana secara fundamental mengubah cara permukaan bumi berinteraksi dengan energi matahari [20].

Hubungan antara perubahan ini dengan kenaikan Land Surface Temperature (LST) bersifat langsung dan dapat dijelaskan melalui proses biofisik. Hutan, dengan kanopi yang rapat dan tingkat evapotranspirasi yang tinggi, berfungsi sebagai sistem pendingin alami. Proses evapotranspirasi mengubah energi panas menjadi energi laten (penguapan), sehingga mencegahnya memanaskan permukaan tanah. Sebaliknya, lahan pertanian, terutama yang tidak diirrigasi secara optimal atau yang memiliki periode bera, memiliki albedo (kemampuan memantulkan sinar matahari) yang berbeda dan tingkat evapotranspirasi yang lebih rendah dibandingkan hutan. Akibatnya, lebih banyak energi matahari yang diubah menjadi energi panas yang sensible, yang langsung memanaskan permukaan tanah [21].

Ini menjelaskan mengapa zona suhu sangat tinggi ($> 35^{\circ}\text{C}$) mengalami perluasan paling dramatis (naik hampir 300%), karena lahan pertanian yang baru terbuka tersebut menjadi titik panas (hotspots) baru. Dengan kata lain, setiap hektar hutan yang hilang dan berubah menjadi pertanian tidak hanya mengurangi penyerapan karbon, tetapi juga secara aktif berkontribusi pada pemanasan permukaan lokal, yang menjadi penggerak utama pergeseran zona termal di Kabupaten Boalemo. Kesimpulannya, alih fungsi lahan hutan menjadi lahan pertanian dan pemukiman telah menjadi penggerak utama peningkatan suhu permukaan yang masif di Kabupaten Boalemo.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis multitemporal, penelitian ini menunjukkan bahwa Kabupaten Boalemo mengalami perubahan tutupan lahan yang cukup drastis dalam rentang waktu 1990–2024. Luas hutan menyusut signifikan sebesar $381,12\text{ km}^2$, yang secara bersamaan diikuti dengan peningkatan luas lahan pertanian ($369,56\text{ km}^2$) dan pemukiman



(16,40 km²). Hasil uji akurasi klasifikasi dengan nilai Overall Accuracy (91,43%) dan Kappa Coefficient (0,88) memperkuat validitas temuan, sehingga hasil pemetaan dapat diandalkan sebagai dasar pengambilan keputusan tata ruang dan konservasi. Sedangkan hasil analisis Land Surface Temperature (LST) mengungkapkan adanya hubungan langsung antara perubahan tutupan lahan dan peningkatan suhu permukaan.

Hilangnya tutupan hutan yang berfungsi sebagai pendingin alami melalui proses evapotranspirasi berkontribusi pada meluasnya area bersuhu tinggi dan sangat tinggi (>30°C) hingga mencapai 64% dari total wilayah pada tahun 2024. Nilai RMSE yang rendah (0,63°C) menunjukkan bahwa estimasi suhu permukaan dari citra satelit sangat representatif terhadap kondisi lapangan. Temuan ini menegaskan bahwa deforestasi dan ekspansi lahan pertanian merupakan penggerak utama peningkatan suhu permukaan di Kabupaten Boalemo. Oleh karena itu, strategi mitigasi seperti rehabilitasi hutan, penerapan agroforestri, pengendalian alih fungsi lahan, serta peningkatan ruang terbuka hijau sangat diperlukan untuk menjaga keseimbangan ekologi dan meminimalisasi dampak negatif perubahan iklim lokal.

UCAPAN TERIMAKASIH

Tim penulis mengucapkan terima kasih kepada tim peneliti yang telah membantu dalam penelitian ini sehingga terlaksana dengan baik. Selanjutnya terima kasih kepada tim editor dan reviewer Jurnal Media Informatika (JUMIN). Terima kasih disampaikan kepada pihak-pihak yang telah mendukung terlaksananya penelitian ini.

REFERENCES

- [1] A. Adrian, W. Widiatmaka, K. Munibah, and I. Firmansyah, "Pola Spasial Perubahan Tutupan Lahan/Penggunaan Lahan Menggunakan Google Earth Engine di Kabupaten Majalengka," *pwk*, vol. 19, no. 4, pp. 447–463, Dec. 2023, doi: 10.14710/pwk.v19i4.46254.
- [2] A. Asrul, "Pengaruh Alih Fungsi Lahan Terhadap Kejadian Banjir di Kelurahan Leato Selatan Kecamatan Kota Timur Kota Gorontalo," *gdk*, vol. 9, no. 1, pp. 52–61, Jan. 2025, doi: 10.29408/geodika.v9i1.29256.
- [3] F. Olii, M. Baruwadi, and I. Dunggio, "Factors Socioeconomic Affecting the Management of Sloping Land," *GOLDER*, p. 83, July 2023, doi: 10.32662/golder.v0i0.2893.
- [4] Y. Khairunnisa *et al.*, "ANALYSIS OF LAND SURFACE TEMPERATURE IN THE KRUENG ACEH WATERSHED USING GOOGLE EARTH ENGINE," *CJ*, vol. 9, no. 1, p. 1, Mar. 2025, doi: 10.22373/cj.v9i1.29076.
- [5] R. Ridha, "Kajian Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Temperatur Suhu Permukaan Kota Mataram," *gdk*, vol. 9, no. 1, pp. 21–31, Jan. 2025, doi: 10.29408/geodika.v9i1.25540.
- [6] W. Siska, W. Widiatmaka, Y. Setiawan, and S. H. Adi, "Pemetaan Perubahan Lahan Sawah Kabupaten Sukabumi Menggunakan Google Earth Engine," *tataloka*, vol. 24, no. 1, pp. 74–83, Apr. 2022, doi: 10.14710/tataloka.24.1.74-83.
- [7] B. B. Thien, V. T. Phuong, and A. A. Komolafe, "Assessment of forest cover and forest loss using satellite images in Thua Thien Hue province, Vietnam," *AUC GEOGRAPHICA*, vol. 58, no. 2, pp. 172–186, Nov. 2023, doi: 10.14712/23361980.2023.13.
- [8] H. Rakuasa and D. A. Sihasale, "Analysis of Vegetation Index in Ambon City Using Sentinel-2 Satellite Image Data with Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Method based on Google Earth Engine," *jinita*, vol. 5, no. 1, pp. 74–82, June 2023, doi: 10.35970/jinita.v5i1.1869.
- [9] J. Pausia, B. Sumantri, and E. Yuliarti, "Analysis of Agricultural Sector Economic Potentials in Lebong Regency Bengkulu Province," *Agrotropica. J. Agr. Sci.*, vol. 6, no. 1, pp. 51–56, June 2023, doi: 10.31186/j.agrotropica.6.1.51-56.
- [10] L. M. Irsan, S. H. Murti, and P. Widayani, "ESTIMASI PRODUKSI JAGUNG (*Zea Mays L.*) DENGAN MENGGUNAKAN CITRA SENTINEL 2A DI SEBAGIAN WILAYAH KABUPATEN JENEPONTO PROVINSI SULAWESI SELATAN," *teknosains*, vol. 8, no. 2, p. 93, Jan. 2019, doi: 10.22146/teknosains.36885.
- [11] S. Aldiansyah, M. D. Mandini Mannesa, and S. Supriatna, "Monitoring of Vegetation Cover Changes With Geomorphological Forms using Google Earth Engine in Kendari City," *Jurnal Pendidikan Geografi*, vol. 21, no. 2, pp. 159–170, Oct. 2021, doi: 10.17509/gea.v21i2.37070.
- [12] A. F. Pramitha, A. N. Ardiansyah, and S. Bahar, "ANALISIS HUBUNGAN PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN (LAND USE) TERHADAP PERUBAHAN LAND SURFACE TEMPERATURE (LST) DI KOTA TANGERANG SELATAN TAHUN 2011 – 202," 2023.
- [13] E. Normelan *et al.*, "Sentinel-1 Multitemporal Radar Image Application in Identifying Land and Forest Fire Areas in Central Kalimantan," *eer*, vol. 12, no. 2, pp. 97–108, Apr. 2024, doi: 10.13189/eer.2024.120201.
- [14] A. Holik, Z. Erwanto, and S. Hardiyanti, "Google Earth Engine for Assessing Land Use and Land Cover Change in Banyuwangi Regency.," in *Proceedings of the 4th International Conference on Applied Science and Technology on Engineering Science*, Samarinda, Indonesia: SCITEPRESS - Science and Technology Publications, 2021, pp. 416–422. doi: 10.5220/0010946800003260.
- [15] P. Wei *et al.*, "Early Crop Mapping Based on Sentinel-2 Time-Series Data and the Random Forest Algorithm," *Remote Sensing*, vol. 15, no. 13, p. 3212, June 2023, doi: 10.3390/rs15133212.



- [16] R. K. Karina and R. Kurniawan, "IDENTIFIKASI PENGGUNAAN LAHAN MENGGUNAKAN CITRA SATELIT LANDSAT 8 MELALUI GOOGLE EARTH ENGINE," *semnasoffstat*, vol. 2020, no. 1, pp. 798–805, Jan. 2021, doi: 10.34123/semnasoffstat.v2020i1.514.
- [17] Y. Jamei, M. Seyedmahmoudian, E. Jamei, B. Horan, S. Mekhilef, and A. Stojcevski, "Investigating the Relationship between Land Use/Land Cover Change and Land Surface Temperature Using Google Earth Engine; Case Study: Melbourne, Australia," *Sustainability*, vol. 14, no. 22, p. 14868, Nov. 2022, doi: 10.3390/su142214868.
- [18] M. Opelele Omeno, Y. Yu, W. Fan, T. Lubalega, C. Chen, and C. Kachaka Sudi Kaiko, "Analysis of the Impact of Land-Use/Land-Cover Change on Land-Surface Temperature in the Villages within the Luki Biosphere Reserve," *Sustainability*, vol. 13, no. 20, p. 11242, Oct. 2021, doi: 10.3390/su132011242.
- [19] C. Rodrigues De Almeida *et al.*, "Time-series analyses of land surface temperature changes with Google Earth Engine in a mountainous region," *Heliyon*, vol. 9, no. 8, p. e18846, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e18846.
- [20] A. Stamou, A. Dosiou, A. Bakousi, E. Karachaliou, I. Tavantzis, and E. Stylianidis, "Assessing Spatial Correlations Between Land Cover Types and Land Surface Temperature Trends Using Vegetation Index Techniques in Google Earth Engine: A Case Study of Thessaloniki, Greece," *Remote Sensing*, vol. 17, no. 3, p. 403, Jan. 2025, doi: 10.3390/rs17030403.
- [21] A. Maishella, B. E. B. Dewantoro, and M. A. P. Aji, "Correlation Analysis of Urban Development and Land Surface Temperature Using Google Earth Engine in Sleman Regency, Indonesia," *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 540, no. 1, p. 012018, July 2020, doi: 10.1088/1755-1315/540/1/012018.