

PENGARUH KONDISI TOPOGRAFI TERHADAP SEBARAN SUHU PERMUKAAN LAHAN

Studi Kasus di Hulu Sub DAS Cikapundung, Jawa Barat

(Impacts of Topographic Condition on Land Surface Temperature Distribution, Case Study of the Upper Cikapundung Sub-Watershed, West Java)

Noviani Putri, Muhammad Amir Solihin

Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran

Jl. Raya Bandung-Sumedang KM 21, Jatinangor, Indonesia 45363

E-mail: noviani16001@mail.unpad.ac.id

Diterima: 9 September 2022; Direvisi: 21 Maret 2023; Disetujui untuk Dipublikasikan: 4 April 2023

ABSTRAK

Wilayah hulu daerah aliran sungai (DAS) merupakan area resapan air yang penting dalam siklus hidrologi. Sebaran suhu permukaan lahan (*Land Surface Temperature/LST*) dapat menjadi prediktor perubahan kondisi hidrologi. Sebaran vegetasi dan kondisi topografi di Hulu Sub-DAS Cikapundung dapat mempengaruhi sebaran LST. Penelitian ini bertujuan mengetahui hubungan LST dengan kondisi topografi berupa elevasi, *slope* dan aspek melalui data penginderaan jauh. Nilai LST diperoleh dengan metode *Mono Window Algorithm* menggunakan citra multispektral Landsat 8 OLI, sedangkan sebaran vegetasi menggunakan metode *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dari pengolahan citra Sentinel 2A-MSI. Kondisi topografi dianalisis menggunakan DEMNAS. Analisis statistik korelasi dan regresi dilakukan untuk mengetahui hubungan LST dan kondisi topografi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebaran LST berkorelasi negatif signifikan dengan NDVI, elevasi dan *slope*. Namun, LST tidak signifikan berkorelasi dengan aspek. Pengaruh elevasi terhadap LST pada bulan basah dan kering yaitu 41-45%, sedangkan pengaruh *slope* sebesar 26-31%. Karakteristik tutupan lahan melalui nilai NDVI juga mempengaruhi hubungan antara LST dan kondisi topografi. Elevasi rendah dan *slope* yang datar memperbesar ruang penerimaan radiasi matahari sehingga LST lebih tinggi. Tutupan lahan tegalan dan permukiman pada wilayah hulu DAS menyebabkan evapotranspirasi dan LST yang tinggi sehingga mengganggu fungsi hidrologi. Oleh karena itu, pemantauan LST dengan mempertimbangkan kondisi topografi sangat penting dilakukan terutama terhadap wilayah yang mengalami perubahan tutupan lahan. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai basis data pemantauan kondisi hidrologi, perencanaan tata ruang dan antisipasi perubahan iklim di wilayah hulu DAS.

Kata kunci: aspek, elevasi, LST, NDVI, penginderaan jauh, *slope*, Sub-DAS Cikapundung

ABSTRACT

The Upper Watershed has an important role as water catchment area in hydrology cycle. The distribution of Land Surface Temperature (LST) can be used as predictor of hydrological changes condition. Vegetation and topographical conditions can influence LST in the Upper Cikapundung Sub-Watershed. This study aims to determine the relationship between LST and topographical conditions (eg. elevation, slope, and aspect) using remote sensing. LST value was analyzed using Mono Window Algorithm method on Landsat 8 OLI image, while the vegetation distribution was determined by Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) on Sentinel 2A-MSI. Topographical conditions were analyzed using DEMNAS. The relationship between LST and topographical conditions was assessed by using correlation and regression analysis. The results showed that the LST had a significant negative correlation with NDVI, elevation, and slope. However, LST is not significantly correlated with aspect. The impact of elevation on LST in the wet and dry months was 41-45%, while the impact of the slope was 26-31%. Land cover characteristics through NDVI values also influence the relationship between LST and topographical conditions. The high LST on lower elevation and flat slope caused by amount of solar radiation received. The cropland and settlement in the upper watershed area causes high evapotranspiration and LST, which decrease hydrological functions. Therefore, LST monitoring by considering topographical conditions is very important, especially with highly land cover changes area. The results of study can be used as basic data for monitoring hydrological conditions, urban planning, and anticipating climate change in the upper watershed area.

Keywords: aspect, elevation, LST, NDVI, remote sensing, slope, Upper Cikapundung Sub-Watershed

PENDAHULUAN

Keseimbangan siklus hidrologi dapat mendukung pemenuhan kebutuhan pangan

manusia (*food security*), membentuk siklus nitrogen dan karbon yang penting dalam tanah, serta menurunkan risiko erosi tanah (Brevik, 2013; Dagbegnon et al., 2016). Perubahan siklus

hidrologi dapat dideteksi melalui parameter hidrologi, salah satunya suhu. Pada negara sub tropis, peningkatan suhu dapat menyebabkan aliran permukaan karena es yang mencair di musim dingin (Soja et al., 2013). Perubahan suhu juga dapat mengakibatkan perubahan pada laju evapotranspirasi, presipitasi dan ketersediaan air dalam tanah (Brunsell, 2006; Wohl et al., 2012; Xu et al., 2010). Penelitian Silvestro et al. (2013) mengungkapkan suhu permukaan lahan telah berhasil digunakan sebagai komponen kalibrasi dalam model hidrologi.

Pengukuran suhu permukaan lahan (*Land Surface Temperature* -LST) secara spasial telah banyak dikembangkan melalui penginderaan jauh menggunakan sensor inframerah termal (*Thermal Inframerah-TIR*) (Jiménez-Muñoz & Sobrino, 2003; Li et al., 2013; Trigo et al., 2008). Citra satelit yang biasa digunakan diantaranya MODIS (Schwarz et al., 2011; Zhu et al., 2013), NOAA-AVHRR (Qin et al., 2001a; Wang et al., 2020), dan Landsat (Jiménez-Muñoz et al., 2014; Sobrino et al., 2004; Yue et al., 2007). Perbedaan setiap citra tersebut terletak pada resolusi spektral, spasial dan temporal. Algoritma LST yang telah dikembangkan diantaranya *Single Channel Algorithm* (Jimenez-Munoz et al., 2009), *Mono-Window Algorithm* (Qin et al., 2001b), dan *Split Window Algorithm* (Sobrino et al., 1996). Estimasi LST melalui citra Landsat 8 dapat melalui *band* 10 dan 11 TIR. Namun, gangguan cahaya pada *band* 11 menyebabkan nilai yang tidak stabil dan tidak direkomendasikan dalam perhitungan LST tanpa kalibrasi lapangan (Barsi et al., 2014; Guo et al., 2020; Niclòs et al., 2021).

Estimasi LST dihitung dari hasil konversi radiasi *Top of Atmospheric* (TOA) yang dipengaruhi oleh absorpsi, reflektansi dan pancaran radiasi, efek sudut radiasi, serta emisivitas dari permukaan (Tomlinson et al., 2011). Perbedaan tipe tutupan lahan dapat mempengaruhi nilai LST melalui penilaian emisivitas objek dan indeks vegetasi (Bindajam et al., 2020; Hulley et al., 2019). Xue et al. (2021) menyebutkan terjadi hubungan timbal balik negatif antara LST dan vegetasi pada wilayah dengan iklim hangat. Penelitian Solihin & Putri (2020) telah menyebutkan terdapat perbedaan nilai LST dan tingkat kerapatan vegetasi pada berbagai tutupan lahan di wilayah hulu Sub-DAS Cikapundung. Namun, penelitian tersebut belum dapat mengungkapkan faktor lain yang dapat mempengaruhi LST.

Sebaran nilai LST secara spasial pada lanskap pegunungan dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya elevasi, *slope*, aspek, vegetasi dan kelembaban tanah (Bertoldi et al., 2010). Pada wilayah sub tropis, secara jelas hubungan LST dengan elevasi dan *slope* berkorelasi negatif. Namun, hubungan LST dengan aspek berkorelasi

negatif lemah (Bertoldi et al., 2010; He et al., 2019; Peng et al., 2020; Zhu et al., 2021). Dalam hal ini, hubungan tersebut erat kaitannya dengan pengaruh keberadaan vegetasi terhadap LST (Bindajam et al., 2020; Njoku & Tenenbaum, 2022). Pertumbuhan dan pembentukan pola vegetasi dipengaruhi oleh lamanya pancaran radiasi yang berbeda pada setiap tingkat *slope*, tingkat elevasi dan aspek (Kayiranga et al., 2017; Pierce et al., 2005). Perbedaan musim juga mempengaruhi kuat lemahnya hubungan LST dengan topografi. Khandelwal et al. (2018) mengungkapkan hubungan LST dan elevasi lebih kuat pada musim dingin dibandingkan musim panas. Pengaruh dari kumulatif radiasi matahari yang datang lebih kuat pada musim dingin dibandingkan musim panas (He et al., 2019).

Penelitian sebelumnya berfokus pada identifikasi indeks vegetasi dan LST menggunakan Landsat 8 di hulu Sub-DAS Cikapundung (Solihin & Putri, 2020; Solihin et al., 2020). Karakteristik tutupan lahan dapat tergambarkan melalui indeks vegetasi menggunakan penginderaan jauh. Estimasi LST dengan mempertimbangkan kondisi topografi pada wilayah hulu Sub-DAS Cikapundung perlu diketahui sebagai awal pemantauan siklus hidrologi. Penelitian ini menggunakan citra Sentinel-2A untuk mengukur indeks vegetasi, Landsat 8 (*band* 10) untuk nilai TOA, dan DEM Nasional (DEMNAS) untuk karakterisasi kondisi topografi. Hipotesis yang diungkapkan pada penelitian ini yaitu topografi dapat mempengaruhi nilai LST terutama pada musim kemarau. Maka penelitian ini membandingkan dua bulan pada musim hujan dan musim kemarau, serta mengungkapkan kuat lemahnya pengaruh topografi terhadap LST.

METODE

Lokasi dan Data Penelitian

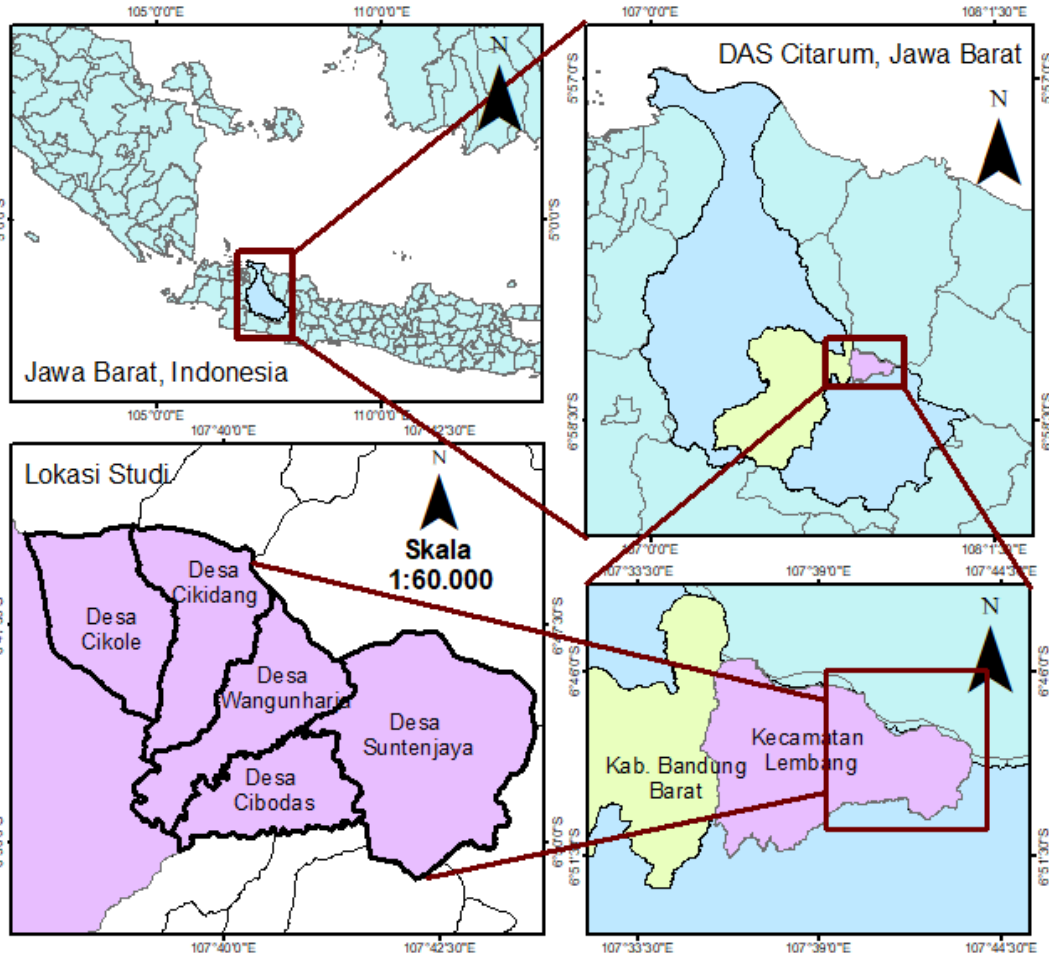
Lokasi penelitian berada di Kecamatan Lembang dengan Desa Cikole, Cikidang, Cibodas, Wangunharja dan Suntenjaya yang termasuk Wilayah Hulu Sub-DAS Cikapundung (**Gambar 1**). Luas area penelitian sekitar 4.590 ha. Terletak pada posisi geografis 06° 43' 12"- 06° 58' 48" LS dan 107° 33' 36"- 107° 45' 36" BT.

Citra satelit yang digunakan mewakili waktu perekaman pada musim hujan dan musim kemarau. Data curah hujan dari stasiun hujan Dago Pakar dan Cipeusing menunjukkan terdapat hujan pada bulan Mei 2019 sebesar 77-79 mm, sedangkan pada bulan Agustus tidak terjadi hujan (BBWS, 2019). Citra satelit Sentinel 2A-MSI yang digunakan yaitu pada waktu perekaman 22 Mei 2019 dan 18 Agustus 2019, sedangkan citra Landsat 8 pada waktu perekaman 22 Mei 2019 dan 10 Agustus 2019 (**Gambar 2**).

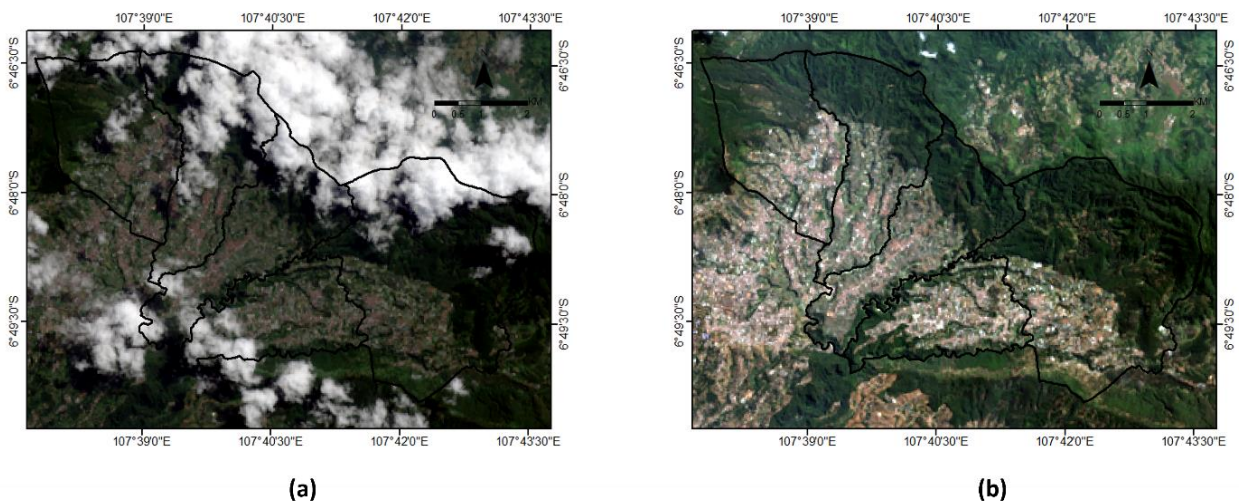
Pengolahan citra Sentinel 2A bertujuan mendapatkan sebaran nilai indeks vegetasi, dan memperbarui peta tutupan lahan. Estimasi LST

didapatkan dari hasil pengolahan citra Landsat 8 yang dikombinasikan dengan nilai NDVI Sentinel 2A-MSI. Teknik resampling ditujukan untuk menyamakan ukuran resolusi spasial Landsat 8 dengan Sentinel 2A. Kondisi topografi berupa elevasi, *slope*, dan aspek didapat dari hasil analisis data DEMNAS. Selain itu digunakan juga Peta

Rupa Bumi Indonesia wilayah Kabupaten Bandung Barat pada skala 1:50.000 berupa peta administrasi dan peta tutupan lahan dengan format *shapefile* dari laman Ina-geoportal Badan Informasi Geospasial (BIG). Tahapan pengolahan dan analisis data terdapat pada **Gambar 3**.



Gambar 1. Lokasi penelitian.



Gambar 2. Citra Landsat 8 waktu perekaman bulan Mei (a) dan waktu perekaman bulan Agustus (b)

Analisis Sebaran Vegetasi

Perhitungan indeks vegetasi menggunakan algoritma *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dengan memanfaatkan band merah dan inframerah dekat dari citra Sentinel 2A-MSI dengan resolusi spasial 10 m (**Persamaan 1**).

$$NDVI = \frac{NIR-Red}{NIR+Red} \dots\dots\dots (1)$$

di mana:

NIR = band 8 (inframerah dekat)

Red = band 4 (merah)

Analisis Sebaran Suhu Permukaan Lahan

Perhitungan LST menggunakan metode *Mono Window Algorithm* (MWA) yang dikembangkan Qin et al. (2001b). Band termal berasal dari band 10 Landsat 8 dengan resolusi spasial 100 m. *Resampling* piksel citra Landsat 8 (band 10) dari 100 m menjadi 10 m dilakukan untuk mengatasi perbedaan resolusi spasial dan dapat menghasilkan distribusi LST dengan keragaman NDVI dari Sentinel 2A-MSI (**Persamaan 2**).

$$LST = \frac{BT}{1+\lambda*\left(\frac{BT}{P}\right)*\ln(e)} \dots\dots\dots (2)$$

di mana:

- BT₁₀ = Nilai suhu kecerahan band 10
- λ = Panjang gelombang radiasi yang diemisikan
- E = Emisivitas
- P = 14.380 mK (h: Konstanta Planck-6,626*10⁻³⁴ Js)
- c = Kecepatan cahaya-2,998*10⁸ m/s;
- δ = Konstanta Boltzman-1.38*10⁻²³ J/K)

Nilai untuk BT₁₀ menggunakan nilai spektral radian band 10 yang selanjutnya dikonversi menggunakan konstanta termal (dari file metadata Landsat 8) menjadi suhu kecerahan (BT) (**Persamaan 3**).

$$BT = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda}+1\right)} \dots\dots\dots (3)$$

di mana:

- BT = Suhu kecerahan (K)
- Lλ = Spektral radian TOA (Watts/(m²*srad*µm))
- K1 = Konstanta kalibrasi (W/(m²*srad*µm))
- K2 = Konstanta kalibrasi dalam Kelvin

Nilai emisivitas (e) mengacu pada **Persamaan 5** (Sobrino et al., 2008) dengan menggunakan nilai *Proportion of Vegetation* (PV) (**Persamaan 4**).

$$PV = \left[\frac{NDVI-NDVI_{min}}{NDVI_{max}-NDVI_{min}} \right]^2 \dots\dots\dots (4)$$

$$e = 0,004PV + 0,986 \dots\dots\dots (5)$$

di mana:

NDVI = Nilai NDVI dari citra Sentinel 2A-MSI

NDVI_{min} = Nilai NDVI minimum (tanah)

NDVI_{max} = Nilai NDVI maksimum (vegetasi)

Peta Tutupan Lahan

Peta tutupan lahan menggunakan data dari Peta Rupa Bumi Indonesia tahun 2016 (BIG, 2016) yang diperbarui dengan citra Sentinel 2A-MSI perekaman 18 Agustus 2019. Digitasi ulang dimaksudkan untuk menyesuaikan perubahan luasan pada setiap kelas tutupan lahan. Klasifikasi tutupan lahan berdasarkan klasifikasi tutupan lahan pada SNI Peta Rupa Bumi Skala 1:50.000 (BSN, 2010) yaitu hutan, perkebunan, tegalan/ladang semak belukar, lahan bera dan lahan terbangun.

Analisis Kondisi Topografi

Kondisi topografi berupa elevasi, *slope* dan aspek didapat dari data DEMNAS dengan resolusi 0,27-arcsecond. Data *slope* dalam bentuk persen dikelaskan berdasarkan klasifikasi Marsoedi et al., (1997) yaitu datar (0-<3%), agak landai (3-8%), landai (>8-15%), agak curam (>15-25%), curam (>25-40%), sangat curam (>40-60%) dan terjal (>60%).

Analisis Statistik

Jumlah piksel pada citra tanpa awan di bulan basah sebanyak 358.230, sedangkan di bulan kering sebanyak 464.631. Preparasi data dilakukan berupa penghapusan nilai pencilan (*outlier*). Sampel uji untuk analisis statistik diambil 100 titik secara acak pada setiap tutupan lahan sehingga jumlah sampel uji sebanyak 600 titik data.

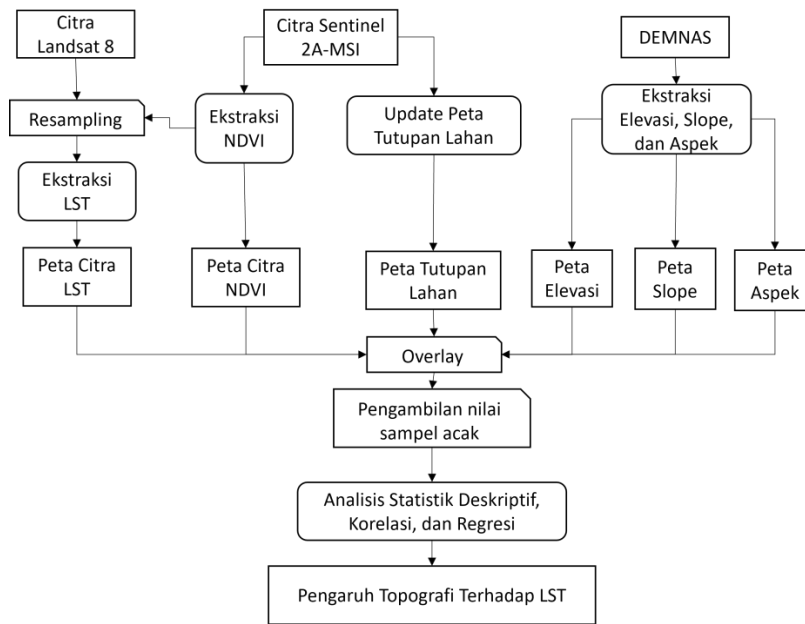
Analisis deskriptif bertujuan untuk identifikasi karakteristik sebaran nilai LST dan NDVI pada setiap kelas tutupan lahan, elevasi, *slope* dan aspek di lokasi studi. Hubungan antara variabel dependen (LST) dengan variabel independen (NDVI, elevasi, *slope*, aspek) diketahui melalui analisis korelasi Pearson, sedangkan pengaruh antar variabel dilakukan melalui analisis regresi linier dan polinomial (**Persamaan 6** dan **Persamaan 7**).

$$Y = b_0 + b_1X \dots\dots\dots (6)$$

$$Y = b_0 + b_1X + b_2X^2 + \dots + b_nX^n + \varepsilon \dots\dots\dots (7)$$

di mana:

- Y = variabel dependen
- b₀ = intersep
- b_{1,2,...n} = koefisien regresi
- X = variabel independen
- E = kesalahan (*error*)



Gambar 3. Diagram alir penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

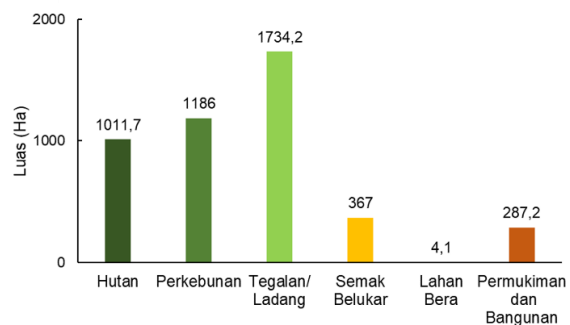
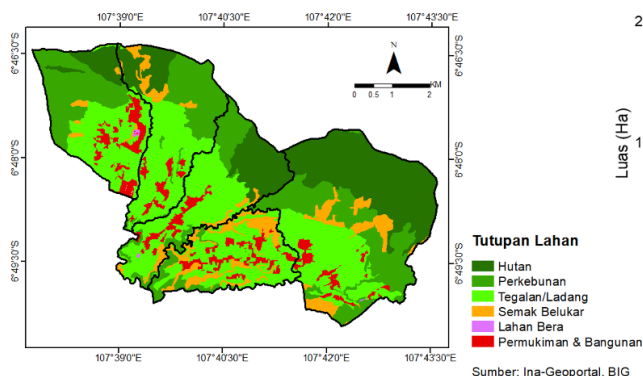
Sebaran LST dan NDVI pada Berbagai Tutupan Lahan

Karakteristik pada setiap tutupan lahan dapat ditunjukkan dari perbedaan sebaran nilai NDVI dan LST. **Gambar 4** menunjukkan tegalan/ladang memiliki luasan terbesar 1.734,2 ha, sedangkan lahan bera memiliki luasan terkecil 4,1 ha. Tingginya luas tegalan/ladang terjadi akibat konversi dari lahan hutan dan perkebunan menjadi hortikultura di wilayah hulu DAS Citarum, hal ini salah satu sebabnya karena curah hujan yang cukup tinggi (Salim et al., 2019). Konversi lahan yang tidak terkontrol menyebabkan terganggunya siklus hidrologi (Brauman et al., 2012; Degife et al., 2019; Siswanto & Francés, 2019).

Tabel 1 menunjukkan perbedaan rerata nilai NDVI dan LST pada bulan basah dan bulan kering. Nilai LST terendah berada pada hutan masing-masing sebesar 19,11°C dan 21,19°C terjadi pada bulan basah dan kering, sedangkan nilai LST tertinggi berada pada permukiman dan bangunan

masing-masing sebesar 25,64°C dan 29,99°C. Keberadaan vegetasi pada setiap tutupan lahan akan menentukan nilai LST.

Nilai NDVI menunjukkan tingkat kehijauan dan kerapatan vegetasi. Nilai NDVI terendah terdapat pada lahan permukiman dan bangunan sedangkan nilai NDVI tertinggi berada pada lahan hutan. Nilai NDVI pada tutupan lahan hutan di bulan basah (0,68) lebih tinggi dibandingkan bulan kering (0,66). Hal yang sama ditunjukkan pada semua tutupan lahan. Kandungan air pada permukaan objek akan membuat warna objek lebih gelap sehingga serapan gelombang akan lebih tinggi. Selain itu, di bulan basah, kandungan air di atmosfer yang lebih tinggi menyebabkan nilai NDVI lebih tinggi dibandingkan bulan kering (**Tabel 1**). Secara keseluruhan, urutan nilai NDVI dari yang terendah yaitu permukiman dan bangunan < lahan bera < tegalan/ladang < perkebunan < semak belukar < hutan. Sedangkan urutan nilai LST dari yang terendah yaitu hutan < perkebunan < semak belukar < tegalan/ladang < lahan bera < permukiman dan bangunan.



Sumber: Ina-Geoportal, BIG

(a)

(b)

Gambar 4. Peta tutupan lahan (a) dan luas setiap kelas tutupan lahan (b).

Tabel 1. Perbedaan rata-rata elevasi, NDVI dan LST pada setiap tutupan lahan.

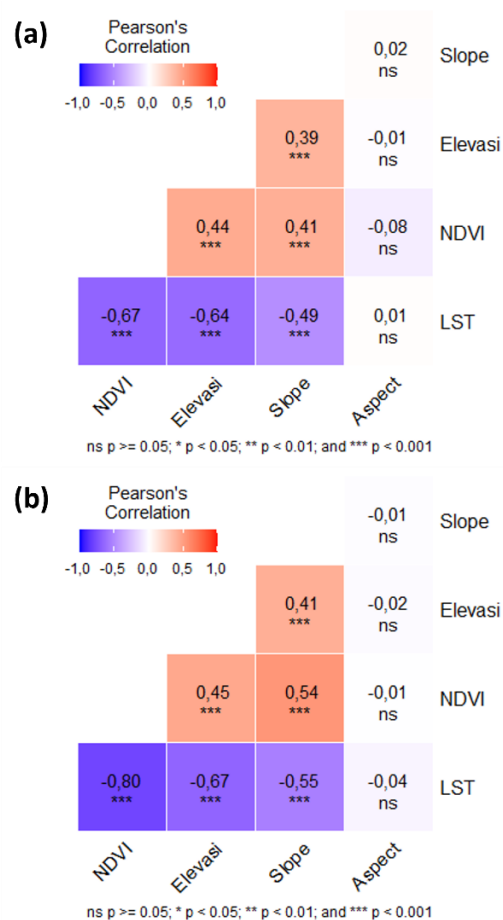
Tutupan Lahan	Rata-rata Elevasi (m dpl)	Rata-rata Nilai NDVI		Rata-rata Nilai LST (°C)	
		Bulan Basah	Bulan Kering	Bulan Basah	Bulan Kering
		Hutan	1.140,95	0,68	0,66
Perkebunan	1.254,39	0,67	0,61	20,42	22,34
Tegalan/Ladang	1.222,88	0,57	0,47	23,94	28,06
Semak Belukar	1.290,98	0,68	0,62	21,31	23,94
Lahan Bera	1.245,52	0,51	0,42	23,92	28,35
Permukiman dan Bangunan	1.242,53	0,41	0,27	25,64	29,99

Sebaran vegetasi yang berbeda pada setiap tutupan lahan menyebabkan penyerapan dan pemantulan radiasi matahari yang berbeda. Kerapatan vegetasi yang tinggi menyebabkan rendahnya suhu udara dan permukaan, dikarenakan vegetasi dapat menjadi pengatur evaporasi, sifat termal dan keseimbangan radiasi permukaan (He et al., 2019). Penelitian Gorgani et al. (2016) menyebutkan korelasi dan koefisien regresi antara LST dan NDVI adalah negatif. Vegetasi dapat menurunkan nilai LST dengan meningkatnya laju evapotranspirasi dan memberikan efek pendinginan. Sementara bangunan menahan panas lebih lama dibandingkan dengan vegetasi sehingga keberadaan bangunan dapat meningkatkan suhu permukaan sekitarnya.

Gambar 5 menunjukkan secara signifikan koefisien korelasi NDVI dengan LST pada bulan basah (-0,63) lebih rendah dibandingkan pada bulan kering (-0,80). Namun, korelasi tersebut masih tergolong kuat. Rendahnya koefisien korelasi NDVI dengan LST pada bulan basah disebabkan oleh kandungan air di atmosfer yang lebih tinggi sehingga deteksi termal dan reflektansi spektral terhambat. Duan et al. (2017) menyebutkan area yang tertutup awan akan mempengaruhi pertukaran radiasi energi, mengurangi area terpapar radiasi dan meningkatkan pemantulan kembali emisi ke bumi sehingga nilai LST pada area berawan memiliki RMSE yang lebih tinggi yaitu 3,5-4,4 K dibandingkan area bebas awan 2 K.

Hubungan kondisi topografi terhadap LST

Hubungan antara LST dengan elevasi, *slope* dan aspek terlihat pada **Gambar 5**. Secara signifikan LST memiliki hubungan linier dengan elevasi dan *slope*, tetapi tidak ada hubungan linier dengan aspek. Hubungan LST dengan elevasi lebih kuat dibandingkan dengan *slope*. Pada bulan kering, nilai koefisien korelasi LST dengan elevasi (-0,67) dan *slope* (-0,55) lebih tinggi dibandingkan dengan elevasi (-0,64) dan *slope* (-0,49) pada bulan basah. Tanda bintang pada **Gambar 5**, menunjukkan hubungan yang signifikan sedangkan ns adalah tidak signifikan antara kedua faktor yang dikorelasikan.



Gambar 5. Nilai korelasi antara LST, NDVI, ketinggian tempat, dan kemiringan lereng pada bulan basah (a) dan bulan kering (b).

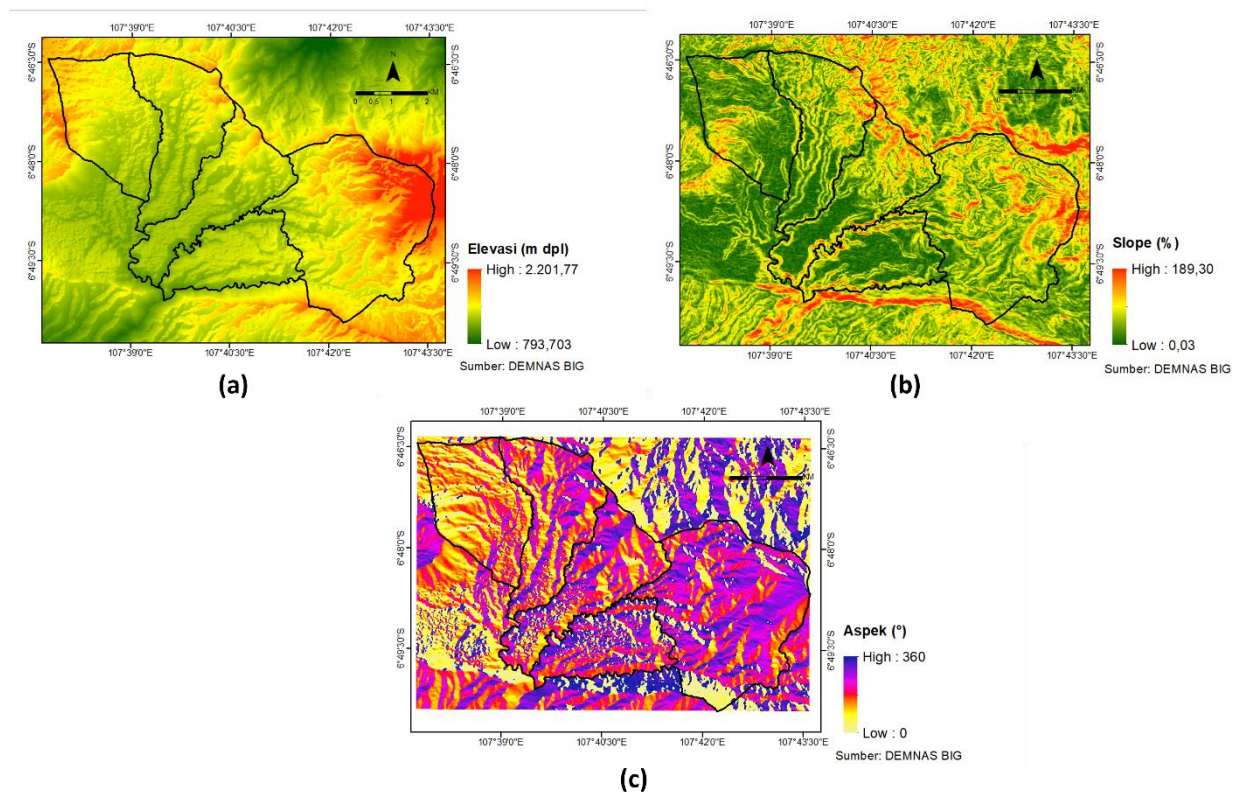
Kondisi topografi di lokasi studi terlihat pada **Gambar 6**. Rata-rata elevasi di lokasi studi 1.337,40 m dpl, dengan elevasi minimum 1.061,49 m dpl dan maksimum 2.201,76 m dpl. Permukiman dan bangunan berada pada rata-rata elevasi yang lebih rendah (1.242 m dpl) dibandingkan dengan hutan dan perkebunan (1.440 m dpl dan 1.254 m dpl) (**Tabel 1**). Rentang nilai *slope* pada lokasi studi yaitu 0,03 sampai 189%, dengan dominansi kelas *slope* curam (25-40%) dan sangat curam (40-60%). Lokasi studi memiliki dominansi aspek ke arah tenggara (112,5-157,5°), selatan (157,5-202,5°), dan barat daya (202,5-247,5°).

Pengaruh elevasi terhadap LST ditunjukkan oleh regresi linier (**Gambar 7a** dan **Gambar 7b**). Nilai R^2 pada bulan basah dan kering sebesar 0,41 dan 0,45. Pengaruh pada elevasi (X) terhadap LST (Y) sebesar 41%-45%. Persamaan regresi pada bulan basah yaitu $Y= 41-0,014X$, sedangkan persamaan pada bulan kering $Y=52-0,02X$. Maka dapat diartikan terjadi penurunan suhu sebesar 1,4-2°C pada setiap kenaikan elevasi 100 m dpl. Hal ini sejalan dengan penelitian Khandelwal et al. (2018) menunjukkan bahwa terjadi korelasi yang kuat pada penurunan LST terhadap setiap peningkatan ketinggian tempat sehingga ketinggian tempat memiliki peran penting dalam dinamika LST. Heint et al. (2012) menyebutkan peningkatan radiasi matahari pada setiap tingkat elevasi ditunjukkan oleh adanya peningkatan radiasi aktif fotosintesis yang meningkat seiring peningkatan elevasi, baik pada kondisi berawan atau bebas awan. Radiasi gelombang pendek yang besar terjadi pada elevasi tinggi, *slope* rendah dan lahan yang datar (Firozjaei et al., 2019). Peningkatan tersebut tidak bersifat linier, karena di udara terdapat lapisan troposfer yang tinggi dari permukaan bumi yang menyebabkan rendahnya energi radiasi gelombang panjang yang diserap, rendahnya panas yang tersimpan di atmosfer menghasilkan suhu semakin rendah (Peng et al., 2020).

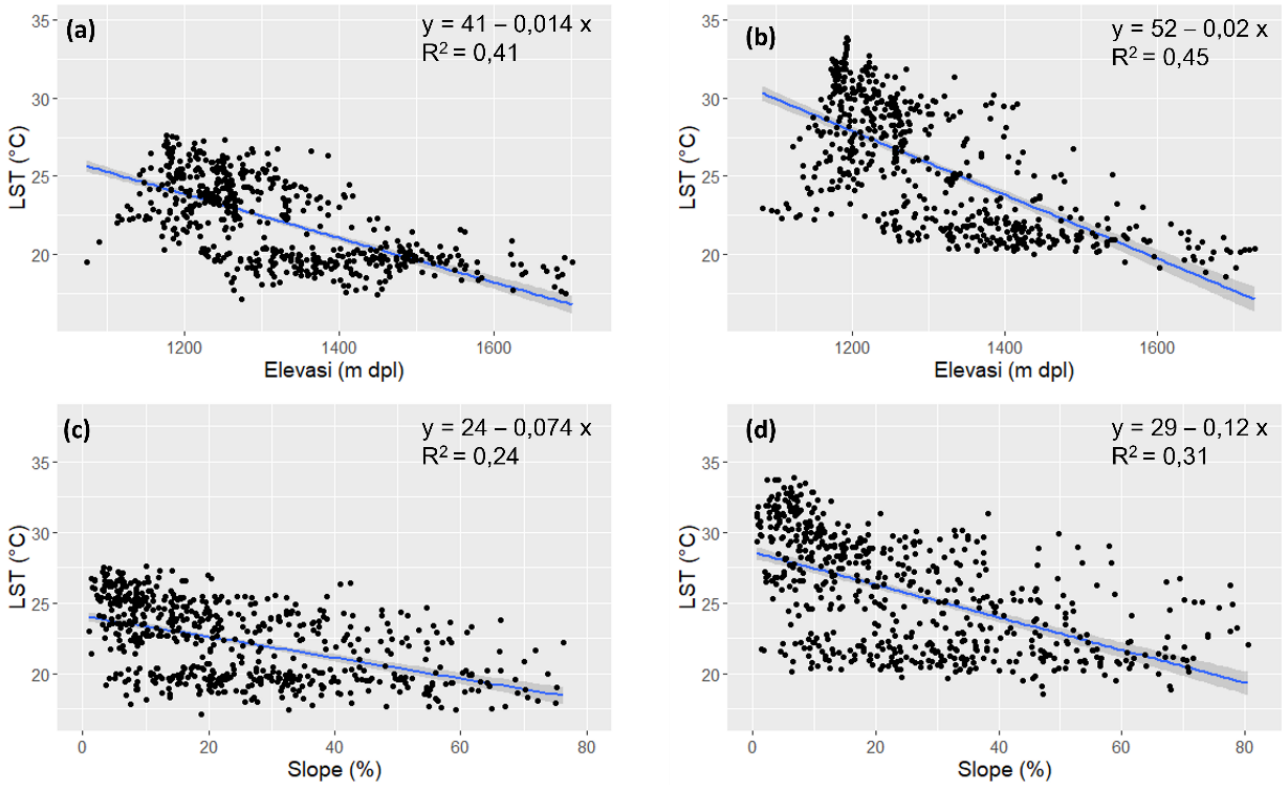
Sebaran nilai LST ditentukan oleh datangnya radiasi matahari, tingkatan vegetasi dan kemiringan

lereng (Körner, 2003). Pengaruh *slope* terhadap LST pada kedua bulan berbeda ditunjukkan dengan regresi linier pada **Gambar 7c** dan **Gambar 7d**. Pada bulan basah, *slope* memiliki pengaruh sebesar 24% (R^2 0,24), sedangkan pada bulan kering sebesar 31% (R^2 0,31). Peningkatan *slope* sebesar 5% akan terjadi penurunan suhu sekitar 0,37°C pada bulan basah dan 0,6°C pada bulan kering. Distribusi penyinaran matahari pada suatu dataran dipengaruhi oleh perbedaan *slope*. He et al. (2019) menyatakan kemiringan lereng dapat mengatur jumlah radiasi langsung yang diterima, radiasi matahari yang masuk pada permukaan tanah cukup sensitif terhadap kemiringan tanah dan mempengaruhi proses pemanasan permukaan tanah.

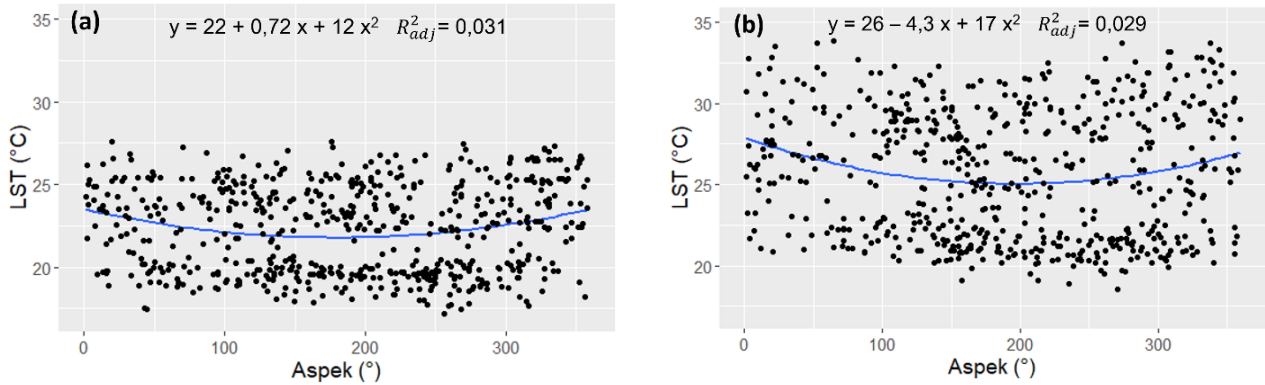
Pengaruh aspek terhadap LST ditunjukkan oleh regresi polinomial pada **Gambar 8a** dan **Gambar 8b**. Besarnya pengaruh aspek tergolong lemah sekitar 2,9-3,1%. Aspek berkaitan dengan paparan radiasi matahari yang diterima oleh permukaan bumi pada sudut tertentu. Hasil penelitian Peng et al. (2020) mengungkapkan hubungan antara LST dan aspek tidak dapat dijelaskan melalui analisis regresi. Sejalan dengan penelitian He et al. (2019) yang menyebutkan aspek memiliki peran penting dalam variasi nilai LST kecuali pada wilayah tropis karena penerimaan radiasi matahari yang lebih tinggi dan merata dibandingkan wilayah subtropis.



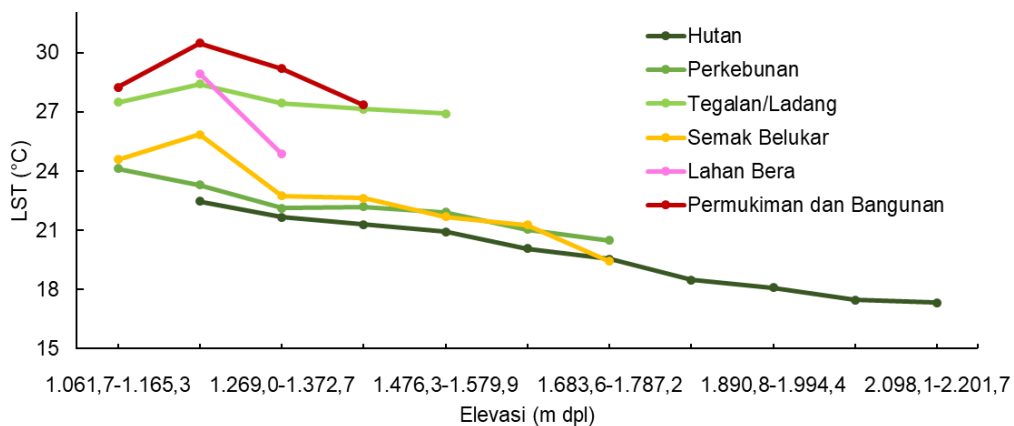
Gambar 6. Kondisi topografi berupa elevasi (a), *slope* (b) dan aspek (c) pada lokasi penelitian.



Gambar 7. Regresi linier antara LST dengan elevasi pada bulan basah/hujan (a) dan bulan kering/kemarau (b); dan regresi linier antara LST dengan slope pada bulan basah/hujan (c) dan bulan kering/kemarau (d).



Gambar 8. Regresi polinomial antara LST dengan aspek pada bulan basah (a) dan bulan kering (b).



Gambar 9. Nilai LST bulan kering terhadap tingkatan elevasi pada setiap tutupan lahan di lokasi studi.

Secara umum, peningkatan elevasi akan diikuti oleh penurunan LST. Sejalan dengan hasil penelitian Bindajam et al. (2020), LST berbanding

terbalik dengan elevasi, tetapi pengaruh penggunaan lahan sangat kuat menentukan nilai LST. Pola penurunan LST terhadap peningkatan

elevasi terjadi pada semua tutupan lahan seperti disajikan pada **Gambar 9**.

Kanopi vegetasi yang rapat pada hutan menghasilkan laju evapotranspirasi yang tinggi sehingga dapat menurunkan LST pada siang hari. Efek pendinginan kanopi vegetasi dalam hutan juga akibat suhu dingin dari malam hari yang terperangkap di bawah kanopi. Sedangkan pada tegalan/ladang dengan kanopi vegetasi yang jarang dan elevasi yang rendah lebih peka terhadap radiasi sehingga LST akan lebih tinggi.

Korelasi negatif antara LST dengan elevasi dan *slope* menunjukkan adanya pengaruh kondisi topografi terhadap iklim mikro di sekitarnya. Istiawan & Kastono (2019) menyatakan semakin tinggi elevasi maka intensitas cahaya sebagai sumber panas akan semakin kecil, sehingga suhu udara akan lebih rendah dibandingkan area lain. Namun, pengaruh topografi ini tidak terlepas dari faktor aktivitas manusia (antropogenik). Zhang et al. (2016) menyatakan perubahan penggunaan lahan dan iklim basah dan panas dapat meningkatkan aliran permukaan, *discharge* air tanah, *streamflow*, air limpasan dan evapotranspirasi. Didukung juga oleh Marhaento et al. (2018), bahwa keseimbangan hidrologi pada wilayah DAS akan berubah karena adanya perubahan penggunaan lahan dan perubahan iklim.

Fadhil et al. (2021) menyatakan terjadi peningkatan lahan terbangun di DAS Citarum sebesar 39,7%. Hasil penelitian Siswanto & Francés (2019) juga menunjukkan terjadi potensi peningkatan kawasan permukiman sebesar tiga kali lipat di DAS Citarum dari tahun 1994 sampai 2029 melalui metode *Land Change Modeler*. Wilayah hulu DAS seharusnya menjadi tempat reservoir dan *recharge* air dalam siklus hidrologi. Semakin sedikit lahan bervegetasi pada area resapan maka semakin tinggi tingkat kehilangan air akibat limpasan permukaan dan evapotranspirasi yang tinggi. Suhu permukaan lahan akan meningkat pada area dengan kemampuan resapan air yang rendah, lebih lanjut dapat terjadi penurunan fungsi lahan yang ditandai dengan adanya degradasi lahan.

KESIMPULAN

Sebaran vegetasi dan kondisi topografi dapat mempengaruhi nilai LST di wilayah Hulu Sub DAS Cikapundung. Pada bulan basah dan kering, keberadaan vegetasi yang rapat pada hutan memiliki LST terendah 19,11°C dan 21,19°C, sedangkan vegetasi yang jarang pada permukiman bangunan memiliki LST tertinggi 25,64°C dan 29,99°C. Secara signifikan terdapat hubungan negatif antara LST dengan elevasi dan *slope*. Elevasi memiliki pengaruh sekitar 41-45% terhadap LST, sedangkan *slope* berpengaruh sebesar 24-

31%. Namun, aspek tidak memiliki hubungan linier dan berpengaruh 2,9-3,1% terhadap LST.

Faktor antropogenik berupa tutupan lahan sangat menentukan nilai LST. Perubahan tutupan lahan yang masif terjadi pada wilayah hulu DAS dapat menyebabkan perubahan kondisi hidrologi. Pemantauan sebaran LST menggunakan citra satelit dapat menjadi basis data penilaian kondisi hidrologi dan masih perlu dikembangkan dalam skala yang lebih luas.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada *United States Geological Survey* (USGS), Badan Informasi Geospasial (BIG) dan Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Citarum yang telah memfasilitasi data dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Barsi, J.A., Schott, J.R., Hook, S.J., Raqueno, N.G., Markham, B.L. & Radocinski, R.G. (2014). Landsat-8 Thermal Infrared Sensor (TIRS) vicarious radiometric calibration. *Remote Sensing*, 6(11), 11607-11626. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs61111607>.
- Bertoldi, G., Notarnicola, C., Leitinger, G., Endrizzi, S., Zebisch, M., Della Chiesa, S. & Tappeiner, U. (2010). Topographical and ecohydrological controls on land surface temperature in an alpine catchment. *Ecohydrology*, 3(2), 189-204. DOI: <https://doi.org/10.1002/eco.129>.
- Bindajam, A.A., Mallick, J., AlQadhi, S., Singh, C.K. & Hang, H. T. (2020). Impacts of Vegetation and Topography on Land Surface Temperature Variability over the Semi-Arid Mountain Cities of Saudi Arabia. *Atmosphere*, 11(7), 762-762. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos11070762>.
- Brauman, K.A., Freyberg, D.L. & Daily, G.C. (2012). Land cover effects on groundwater recharge in the tropics: ecohydrologic mechanisms. *Ecohydrology*, 5(4), 435-444. DOI: <https://doi.org/10.1002/eco.236>.
- Brevik, E.C. (2013). The potential impact of climate change on soil properties and processes and corresponding influence on food security. *Agriculture*, 3(3), 398-417. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture3030398>.
- Brunsell, N. (2006). Characterization of land-surface precipitation feedback regimes with remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 100(2), 200-211. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.10.025>.
- Dagbegnon, C., Djebou, S. & Singh, V.P. (2016). Impact of climate change on the hydrologic cycle and implications for society. *Environment and Social Psychology*, 1(1), 36-49. DOI: <https://doi.org/10.18063/ESP.2016.01.002>.
- Degife, A., Worku, H., Gizaw, S. & Legesse, A. (2019). Land use land cover dynamics, its drivers and environmental implications in Lake Hawassa Watershed of Ethiopia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 14, 178-190. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.03.005>.
- Duan, S.-B., Li, Z.-L. & Leng, P. (2017). A framework for the retrieval of all-weather land surface temperature at a high spatial resolution from polar-orbiting

- thermal infrared and passive microwave data. *Remote Sensing of Environment*, 195, 107-117. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.04.008>.
- Fadhil, M.Y., Hidayat, Y. & Baskoro, D.P.T. (2021). Identifikasi Perubahan Penggunaan Lahan dan Karakteristik Hidrologi DAS Citarum Hulu. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 26(2), 213-220. DOI: <https://doi.org/10.18343/jipi.26.2.213>.
- Firozjaei, M.K., Kiavarz, M., Nematollahi, O., Karimpour Reihan, M. & Alavipanah, S.K. (2019). An evaluation of energy balance parameters, and the relations between topographical and biophysical characteristics using the mountainous surface energy balance algorithm for land (SEBAL). *International Journal of Remote Sensing*, 40(13), 5230-5260. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1579385>.
- Gorgani, S.A., Panahi, M. & Rezaie, F. (2016). The relationship between NDVI and LST in the urban area of Mashhad, Iran. *International Conference on Civil Engineering Architecture & Urban Sustainable Development*, 27-28 November 2013, Tabriz, Iran.
- Guo, J., Ren, H., Zheng, Y., Lu, S. & Dong, J. (2020). Evaluation of land surface temperature retrieval from Landsat 8/TIRS images before and after stray light correction using the SURFRAD dataset. *Remote Sensing*, 12(6), 1023, 1-21. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12061023>.
- He, J., Zhao, W., Li, A., Wen, F. & Yu, D. (2019). The impact of the terrain effect on land surface temperature variation based on Landsat-8 observations in mountainous areas. *International Journal of Remote Sensing*, 40(5-6), 1808-1827. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1466082>.
- Heinl, M., Leitinger, G. & Tappeiner, U. (2012). Diurnal Surface Temperature Regimes in Mountain Environments. *Physical Geography*, 33(4), 344-359. DOI: <https://doi.org/10.2747/0272-3646.33.4.344>.
- Hulley, G.C., Ghent, D., Göttsche, F.M., Guillevic, P.C., Mildrexler, D.J. & Coll, C. (2019). 3 - Land surface temperature. 57-127pp. In Hulley, G.C. & Ghent, D. (Eds.) *Taking the temperature of the earth*. Elsevier. ii, 246p. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814458-9.00003-4>.
- Istiawan, N.D. & Kastono, D. (2019). Pengaruh ketinggian tempat tumbuh terhadap hasil dan kualitas minyak cengkih (*Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & Perry.) di Kecamatan Samigaluh, Kulon Progo. *Vegetalika*, 8(1), 27-41. DOI: <https://doi.org/10.22146/veg.35744>.
- Jimenez-Munoz, J.C., Cristobal, J., Sobrino, J.A., Soria, G., Ninyerola, M., Pons, X. & Pons, X. (2009). Revision of the single-channel algorithm for land surface temperature retrieval from Landsat Thermal-Infrared Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(1), 339-349. DOI: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2008.2007125>.
- Jiménez-Muñoz, J.C., Sobrino, J.A., Skoković, D., Mattar, C. & Cristóbal, J. (2014). Land Surface Temperature Retrieval Methods From Landsat-8 Thermal Infrared Sensor Data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(10), 1840-1843. DOI: <https://doi.org/10.1109/LGRS.2014.2312032>.
- Jiménez-Muñoz, J.C. & Sobrino, J.A. (2003). A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D22), 2-1-2-9. DOI: <https://doi.org/10.1029/2003JD003480>.
- Kayiranga, A., Ndayisaba, F., Nahayo, L., Karamage, F., Nsengiyumva, J.B., Mupenzi, C. & Nyeshaja, E.M. (2017). Analysis of climate and topography impacts on the spatial distribution of vegetation in the Virunga Volcanoes Massif of East-Central Africa. *Geosciences*, 7(1), 17, 1-18. DOI: <https://doi.org/10.3390/geosciences7010017>.
- Khandelwal, S., Goyal, R., Kaul, N. & Mathew, A. (2018). Assessment of land surface temperature variation due to change in elevation of area surrounding Jaipur, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(1), 87-94. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.01.005>.
- Körner, C. (2003). *Alpine plant life: Functional plant ecology of high mountain ecosystems*. Springer Berlin, Heidelberg. 2nd Edition. xi, 349p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-18970-8>.
- Li, Z.-L., Tang, B.-H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z., Trigo, I.F. & Sobrino, J.A. (2013). Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote Sensing of Environment*, 131, 14-37. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.008>.
- Marhaento, H., Booij, M.J. & Hoekstra, A.Y. (2018). Hydrological response to future land-use change and climate change in a tropical catchment. *Hydrological Sciences Journal*, 63(9), 1368-1385. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2018.1511054>.
- Marsoedi, D.S., Widagdo, D.J., Suharta, N., Darul, S.W.P. & Hardjowigeno, S. (1997). *Guidelines for landform classification*. 33p. Puslittanak-the Indonesian Agency for Agricultural Research and Development, Ministry of Agriculture in Agricultural Science And Technology Information, FAO.
- Niclòs, R., Puchades, J., Coll, C., Barberà, M. J., Pérez-Planells, L., Valiente, J.A. & Sánchez, J.M. (2021). Evaluation of Landsat-8 TIRS data recalibrations and land surface temperature split-window algorithms over a homogeneous crop area with different phenological land covers. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 174(2017), 237-253. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.02.005>.
- Njoku, E.A. & Tenenbaum, D.E. (2022). Quantitative assessment of the relationship between land use/land cover (LULC), topographic elevation and land surface temperature (LST) in Ilorin, Nigeria. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 27(2022), 100780, 1-18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100780>.
- Peng, X., Wu, W., Zheng, Y., Sun, J., Hu, T., & Wang, P. (2020). Correlation analysis of land surface temperature and topographic elements in Hangzhou, China. *Scientific Reports*, 10(1), 10451-10451. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67423-6>.
- Pierce, K.B., Lookingbill, T. & Urban, D. (2005). A simple method for estimating potential relative radiation (PRR) for landscape-scale vegetation analysis. *Landscape Ecology*, 20(2), 137-147. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10980-004-1296-6>.
- Qin, Z., Dall'Olmo, G., Karnieli, A. & Berliner, P. (2001a). Derivation of split window algorithm and its sensitivity analysis for retrieving land surface temperature from NOAA-advanced very high

- resolution radiometer data. *Journal of geophysical Research: Atmospheres*, 106(D19), 22655-22670. DOI: <https://doi.org/10.1029/2000JD900452>.
- Qin, Z., Karnieli, A. & Berliner, P. (2001b). A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. *International Journal of Remote Sensing*, 22(18), 3719-3746. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160010006971>.
- Schwarz, N., Lautenbach, S., & Seppelt, R. (2011). Exploring indicators for quantifying surface urban heat islands of European cities with MODIS land surface temperatures. *Remote Sensing of Environment*, 115(12), 3175-3186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.07.003>.
- Silvestro, F., Gabellani, S., Delogu, F., Rudari, R. & Boni, G. (2013). Exploiting remote sensing land surface temperature in distributed hydrological modelling: the example of the Continuum model. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(1), 39-62. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-17-39-2013>.
- Siswanto, S.Y. & Francés, F. (2019). How land use/land cover changes can affect water, flooding and sedimentation in a tropical watershed: a case study using distributed modeling in the Upper Citarum watershed, Indonesia. *Environmental Earth Sciences*, 78, 50(2019) 1-15. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8561-0>.
- Sobrino, J.A., Jiménez-Muñoz, J.C. & Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 90(4), 434-440. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.02.003>.
- Sobrino, J.A., Jimenez-Munoz, J.C., Soria, G., Romaguera, M., Guanter, L., Moreno, J., Plaza, A. & Martinez, P. (2008). Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR Sensors. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(2), 316-327. DOI: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2007.904834>.
- Sobrino, J.A., Li, Z.L., Stoll, M.P. & Becker, F. (1996). Multi-channel and multi-angle algorithms for estimating sea and land surface temperature with ATSR data. *International Journal of Remote Sensing*, 17(11), 2089-2114. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431169608948760>.
- Soja, G., Züger, J., Knoflacher, M., Kinner, P., & Soja, A.-M. (2013). Climate impacts on water balance of a shallow steppe lake in Eastern Austria (Lake Neusiedl). *Journal of Hydrology*, 480, 115-124. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.12.013>.
- Solihin, M.A. & Putri, N. (2020). Keragaman penggunaan lahan eksisting di hulu sub DAS Cikapundung berdasarkan indeks vegetasi dan temperatur permukaan lahan. *Agrikultura*, 31(3), 251-262. DOI: <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v31i3.29467>.
- Solihin, M.A., Putri, N., Setiawan, A., Siliwangi, D. & Arifin, M. (2020). Karakteristik indeks vegetasi pada berbagai penggunaan lahan di hulu sub DAS Cikapundung melalui interpretasi citra satelit Landsat 8. *Kultivasi*, 19(3), 1202-1209. DOI: <https://doi.org/10.24198/kultivasi.v19i3.28625>.
- Tomlinson, C.J., Chapman, L., Thornes, J.E. & Baker, C. (2011). Remote sensing land surface temperature for meteorology and climatology: A review. *Meteorological Applications*, 18(3), 296-306. DOI: <https://doi.org/10.1002/met.287>.
- Trigo, I.F., Monteiro, I.T., Olesen, F. & Kabsch, E. (2008). An assessment of remotely sensed land surface temperature. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D17). DOI: <https://doi.org/10.1029/2008JD010035>.
- Wang, Z., Lu, Z. & Cui, G. (2020). Spatiotemporal Variation of Land Surface Temperature and Vegetation in Response to Climate Change Based on NOAA-AVHRR Data over China. *Sustainability*, 12(9), 3601. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12093601>.
- Wohl, E., Barros, A., Brunzell, N., Chappell, N.A., Coe, M., Giambelluca, T., Goldsmith, S., Harmon, R., Hendrickx, J.M. & Juvik, J. (2012). The hydrology of the humid tropics. *Nature Climate Change*, 2(9), 655-662. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate1556>.
- Xu, C., Chen, Y., Yang, Y., Hao, X., & Shen, Y. (2010). Hydrology and water resources variation and its response to regional climate change in Xinjiang. *Journal of Geographical Sciences*, 20(4), 599-612. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11442-010-0599-6>.
- Xue, Y., Lu, H., Guan, Y., Tian, P. & Yao, T. (2021). Impact of thermal condition on vegetation feedback under greening trend of China. *Science of the Total Environment*, 785(2021), 147380. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147380>.
- Yue, W., Xu, J., Tan, W. & Xu, L. (2007). The relationship between land surface temperature and NDVI with remote sensing: application to Shanghai Landsat 7 ETM+ data. *International Journal of Remote Sensing*, 28(15), 3205-3226. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160500306906>.
- Zhang, L., Nan, Z., Xu, Y. & Li, S. (2016). Hydrological impacts of land use change and climate variability in the Headwater Region of the Heihe River Basin, Northwest China. *PLoS ONE*, 11(6), e0158394-e0158394. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158394>.
- Zhu, W., Lü, A. & Jia, S. (2013). Estimation of daily maximum and minimum air temperature using MODIS land surface temperature products. *Remote Sensing of Environment*, 130(2013), 62-73. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.034>.
- Zhu, X., Duan, S.-B., Li, Z.-L., Zhao, W., Wu, H., Leng, P., Gao, M. & Zhou, X. (2021). Retrieval of Land surface temperature with topographic effect correction from Landsat 8 Thermal Infrared Data in Mountainous Areas. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 59(8), 6674-6687. DOI: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2020.3030900>.

Halaman ini sengaja kami kosongkan