

TINJAUAN PENGARUH PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP PARAMETER CUACA

Fani Setyawan^{1,2*}, Muhammad Dimiyati¹

¹Departemen Geografi, Fakultas MIPA, Universitas Indonesia

²Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika

fani.setyawan@ui.ac.id

[Doi.org/10.24036/geografi/vol12-iss2/3466](https://doi.org/10.24036/geografi/vol12-iss2/3466)

ABSTRAK

Tulisan ini mengulas tentang hubungan antara perubahan tutupan lahan dengan kondisi parameter cuaca di suatu wilayah. Dengan menggunakan metode *literature review*, diharapkan mampu memberikan penjelasan terkait perubahan kondisi suhu udara, sirkulasi angin permukaan dan pola curah hujan akibat adanya perubahan tutupan lahan. Perluasan wilayah perkotaan dan peningkatan lahan terbangun menyebabkan pembentukan *Urban Heat Island* (UHI) dimana suhu udara permukaan menjadi lebih panas dibanding wilayah sekitarnya. Topografi dan perubahan lanskap vegetasi mampu mempengaruhi pola sirkulasi angin permukaan dan di beberapa tempat mengurangi kecepatan karena faktor kekasaran permukaan. Berbagai simulasi numerik yang dilakukan juga menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan mampu meningkatkan jumlah curah hujan di suatu daerah, namun di daerah terdekatnya jumlah curah hujan dapat berkurang. Dari berbagai penelitian-penelitian yang telah dilakukan, perubahan tutupan lahan memiliki pengaruh kuat dalam mengubah kondisi parameter-parameter cuaca di suatu wilayah.

Kata kunci: Perubahan lahan; suhu udara; angin permukaan; curah hujan

ABSTRACT

This paper reviews the relationship between land cover changes and weather parameter conditions in an area. By using the literature review method, it is expected to be able to provide an explanation regarding changes in air temperature conditions, surface wind circulation and rainfall patterns due to changes in land cover. The expansion of urban areas and an increase in built-up land has led to the formation of Urban Heat Island (UHI) where the surface air temperature becomes hotter than the surrounding area. Topography and changes in the vegetation landscape can affect the surface wind circulation patterns and, in some places, reduce the speed due to surface roughness. Various numerical simulations have also shown that changes in land cover can increase the amount of rainfall in an area, but in nearby areas the amount of rainfall can decrease. From various studies that have been carried out, changes in land cover have a strong influence in changing the condition of weather parameters in an area.

Keywords: *land cover changes; air temperature; surface wind; rainfall*

Pendahuluan

Perubahan tutupan lahan telah menjadi perhatian dalam penelitian iklim dan meteorologi, dikarenakan dampaknya yang signifikan terhadap parameter cuaca. Perubahan tutupan lahan meliputi perubahan dalam penggunaan lahan, seperti konversi hutan menjadi lahan pertanian, urbanisasi, dan deforestasi. Penelitian-penelitian

sebelumnya telah menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan dapat mempengaruhi suhu, presipitasi, angin permukaan, kelembaban, dan kondisi mikroklimat lainnya (Daniels & Hutjes, 2015; Morris, et al., 2016; Chen & Dirmeyer, 2017; Zhao & Wu, 2017; Li, Zheng, Zhang, & Chen, 2018; Tao, et al., 2018; Wu, Miao, & Feng, 2022). Namun, hingga saat ini masih ada kebutuhan untuk meneliti lebih lanjut

mengenai pengaruh spesifik perubahan tutupan lahan terhadap parameter cuaca dan bagaimana interaksi antara keduanya terjadi.

Peranan parameter cuaca seperti suhu permukaan, angin permukaan, dan presipitasi sangat penting untuk pemahaman yang lebih baik tentang iklim dan lingkungan (Ahrens, 2009). Suhu permukaan merupakan salah satu faktor yang berperan dalam keseimbangan energi di atmosfer dan menyebabkan perubahan dalam pola cuaca, iklim dan ekosistem. Angin permukaan merupakan pergerakan udara di dekat permukaan bumi, yang berperan dalam distribusi panas dan kelembaban di atmosfer, penjarangan polutan, serta pembentukan awan dan cuaca lokal. Presipitasi atau curah hujan adalah salah satu parameter cuaca yang memiliki dampak besar pada kehidupan manusia, ekosistem, dan lingkungan secara keseluruhan. Perubahan pola presipitasi dapat mengakibatkan banjir, kekeringan dan perubahan dalam siklus air di lingkungan (Garg, et al., 2019).

Interaksi antara perubahan tutupan lahan, suhu permukaan, angin permukaan dan presipitasi sangat kompleks dan saling terkait. Perubahan tutupan lahan dapat berdampak pada parameter cuaca, begitu juga sebaliknya, parameter cuaca juga dapat mempengaruhi perubahan tutupan lahan (Sivakumar & Stefanski, 2007; Poyil, Dhanalakshmi, & Goyal, 2016; Ming & Jian, 2018). Selain itu, dalam laporan IPCC (2022), perubahan iklim global juga dapat memperkuat efek perubahan lahan terhadap parameter cuaca. Penelitian-penelitian yang terkait dengan pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap parameter cuaca telah dilakukan di berbagai wilayah dan menggunakan metode yang berbeda. Tujuan utama dari tinjauan literatur ini adalah untuk memberikan pemahaman yang komprehensif

tentang hubungan antara perubahan tutupan lahan dan parameter cuaca, serta memperjelas keberagaman pendekatan dan hasil yang telah ditemukan dalam penelitian sebelumnya.

Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan metode *literature review* untuk mengumpulkan dan menganalisis artikel-artikel dan publikasi terkait perubahan tutupan lahan terhadap parameter cuaca. Pendekatan ini melibatkan pencarian secara sistematis di berbagai basis data, untuk mengidentifikasi artikel-artikel yang relevan dengan topik penulisan ini. Penggunaan kata kunci yang sesuai, seperti “perubahan tutupan lahan”, “parameter cuaca”, dan “pengaruh”, digunakan untuk mempersempit pencarian. Artikel-artikel yang sesuai, kemudian dianalisis secara rinci untuk mendapatkan pemahaman yang komprehensif tentang pengaruh tutupan lahan terhadap parameter cuaca. Data utama seperti, tujuan penelitian, metodologi yang dipakai, dan hasil dari penelitian, diambil dari artikel-artikel tersebut untuk mendukung analisis.

Hasil dan Pembahasan

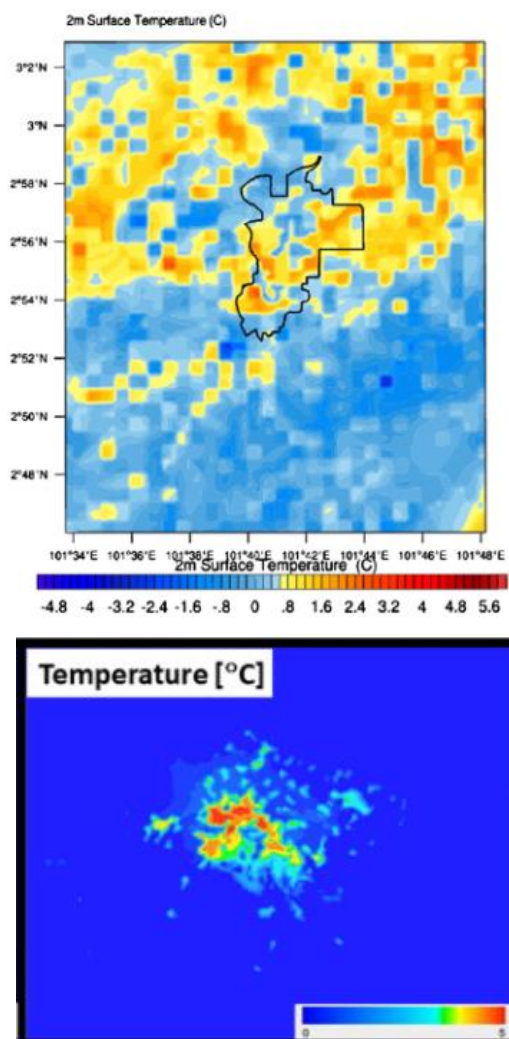
1. Kondisi Suhu Udara

Urbanisasi merupakan salah satu bentuk dari perubahan penggunaan lahan dan penutupan lahan yang disebabkan oleh perluasan wilayah yang ditempati manusia, mengakibatkan perubahan kondisi termal di suatu wilayah (Daniels & Hutjes, 2015; Morris, et al., 2016; Dimitrova, et al., 2019). Wilayah Putrajaya, merupakan ibu kota administratif Malaysia yang direncanakan untuk menampung pertumbuhan jumlah aktifitas manusia, dimana terdapat perubahan tutupan lahan di atasnya (Moser, 2010). Dengan menggunakan pendekatan numerik

dengan memanfaatkan WRF yang dikombinasikan dengan *Land Surface Model* (LSM) NOAH, menunjukkan korelasi dan kesesuaian yang baik dengan data pengamatan. Penelitian tersebut mampu menampakkan bahwa suhu udara meningkat dengan laju $1,66^{\circ}\text{C}$ setiap dekadanya. Panas sensibel dan panas laten menunjukkan tingkat sensitivitas yang lebih tinggi terhadap perubahan penggunaan lahan dan penutupan lahan yang disebabkan oleh proses urbanisasi di Putrajaya (Morris, et al., 2016). Penggunaan model numerik untuk memprediksi dampak urbanisasi pada kondisi suhu udara, juga dilakukan di kota Sofia, Bulgaria. Data topografi resolusi tinggi dari NASA SRTM1Arc digunakan untuk mendapatkan representasi yang lebih realistis di wilayah Sofia (Vladimorov, Dimitrova, & Danchovski, 2018). Urbanisasi, yang menyebabkan perubahan permukaan tanah dan penggunaan lahan, mempengaruhi kondisi suhu udara secara lokal dengan menciptakan efek pulau panas perkotaan. Pengembangan wilayah perkotaan yang lebih padat, dapat meningkatkan suhu udara hingga 5°C di pusat kota Sofia, dibandingkan dengan daerah pedesaan sekitarnya (Dimitrova, et al., 2019).

Perluasan daerah perkotaan mampu menghasilkan peningkatan fluks panas wilayah perkotaan. Di Belanda, wilayah perkotaan akan mengalami kenaikan suhu rata-rata $0,4^{\circ}\text{C}$ bahkan hingga 2°C , ketika dilakukan simulasi skenario kondisi perkotaan tahun 2040 (Daniels & Hutjes, 2015). Penggunaan data citra satelit sebagai penggambaran perubahan penggunaan lahan dan tutupan lahan, di wilayah Asia Timur dan China, diketahui terdapat perbedaan suhu udara permukaan yang signifikan antara lahan hutan dengan daerah perkotaan (Zhao & Wu, 2018). Data tutupan lahan pada tahun

1990, 2000, dan 2010 juga dapat digunakan dalam suatu simulasi untuk mengeksplorasi perubahan penggunaan lahan dan tutupan lahan. Perubahan tutupan lahan dan urbanisasi di wilayah Beijing-Tianjin-Hebei, China telah menyebabkan efek pulau panas perkotaan atau biasa disebut dengan *Urban heat Island* (UHI) yang menyebabkan kenaikan suhu permukaan sebesar $1^{\circ} - 2^{\circ}\text{C}$ dalam kurun waktu setahun (Li, Zheng, Zhang, & Chen, 2018). Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan adanya transisi dari lahan alami menjadi lahan perkotaan, yang menyebabkan perubahan sifat permukaan



lahan dan penggunaan energi.

Gambar 1. Kondisi peningkatan suhu udara akibat urbanisasi di Putrajaya, Malaysia

(Morris, et al., 2016) (atas) dan di kota Sofia, Bulgaria (Dimitrova, et al., 2019) (bawah).

Data historis parameter iklim dapat digunakan untuk memprediksi perubahan iklim dan dampaknya terhadap penggunaan dan tutupan lahan yang diamati dengan mengkorelasikan nilai suhu permukaan tanah dan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) (Yue, Xu, Tan, & Xu, 2007; Poyil, Dhanalakshmi, & Goyal, 2016). Daerah Aliran Sungai Cauvery di India, memperlihatkan adanya kenaikan suhu dikarenakan adanya perubahan lahan yang besar, yang berimbas pada indeks vegetasi, peningkatan suhu, sehingga menghasilkan nilai NDVI yang sangat rendah (Poyil, Dhanalakshmi, & Goyal, 2016). Penggunaan kondisi tutupan lahan yang sesuai, juga dapat mempengaruhi hasil dari pemodelan cuaca numerik (Ming & Jian, 2018; Zhao & Wu, 2018; Vladimorov, Dimitrova, & Danchovski, 2018; Temimi, et al., 2020). Korelasi statistik antara keluaran pemodelan yang mendekati kesesuaian data pengamatan insitu, diperlihatkan pada beberapa penelitian yang menggunakan data tutupan lahan yang mampu merepresentasikan kondisi sebenarnya di suatu wilayah. Penggunaan data tekstur tanah dan penggunaan lahan dan tutupan lahan yang lebih realistis membantu mengurangi bias suhu udara dingin, terutama di wilayah pantai dan daratan pedalaman dengan ketinggian rendah (Temimi, et al., 2020).

Hubungan antara perubahan tutupan lahan dan suhu udara di suatu wilayah didasarkan pada sejumlah faktor, seperti karakteristik fisik tanah, kemampuan permukaan untuk menyerap dan memantulkan radiasi matahari dan pengaruhnya terhadap sirkulasi udara. Tutupan lahan yang berbeda memiliki karakteristik fisik yang berbeda, seperti hutan

memiliki kemampuan yang tinggi untuk menyerap sinar matahari dan mengeluarkan uap air melalui proses transpirasi. Sehingga hutan cenderung memiliki suhu yang lebih rendah daripada daerah perkotaan yang didominasi oleh permukaan yang keras dan material yang menyerap panas seperti beton dan aspal. Dalam hal ini, perubahan tutupan lahan dari hutan menjadi perkotaan dapat menyebabkan peningkatan suhu udara di wilayah tersebut, yang dikenal dengan *Urban Heat Island* (UHI) (Comarazamy, Gonzalez, Luvall, Rickman, & Mulero, 2010; Sharma, Fernando, Hellman, & Chan, 2014; Morris, et al., 2016; Li, Zheng, Zhang, & Chen, 2018; Dimitrova, et al., 2019). Secara keseluruhan, hubungan antara perubahan tutupan lahan dan suhu udara sangat kompleks dan dipengaruhi oleh berbagai faktor. Penting untuk memperhatikan interaksi antara tutupan lahan, siklus hidrologi, dan sirkulasi atmosfer dalam memahami dampak perubahan tutupan lahan terhadap suhu udara di suatu wilayah.

2. Sirkulasi Angin Permukaan

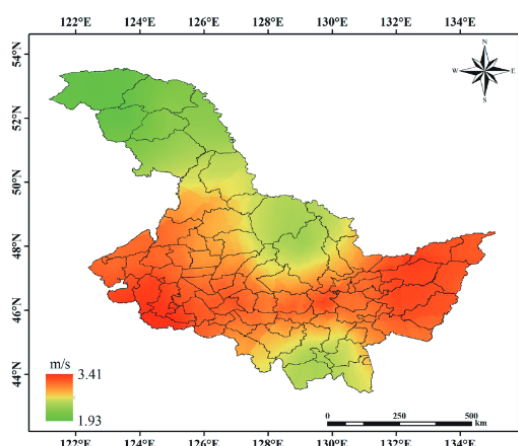
Faktor orografi dan topografi suatu wilayah dapat mempengaruhi karakteristik dan sirkulasi angin permukaan (Kumar, Vidal, Moya-Alvarez, & Castro, 2019; Kong & Jansen, 2021). Diperlihatkan dalam simulasi resolusi kasar tanpa topografi, tidak mampu menggambarkan perubahan aliran udara yang signifikan akibat perubahan tekanan angin, sedangkan dengan menggunakan topografi, menunjukkan respons sirkulasi terhadap perubahan tekanan angin permukaan (Kong & Jansen, 2021). Peningkatan tutupan lahan di lereng timur pegunungan Andes misalnya, telah dikaitkan dengan curah hujan yang lebih tinggi karena ada aliran bermuatan uap air yang dipaksakan secara orografis. Pola angin juga dipengaruhi oleh keberadaan gurun pasir atau

laut di sekitar suatu wilayah (Kumar, Vidal, Moya-Alvarez, & Castro, 2019).

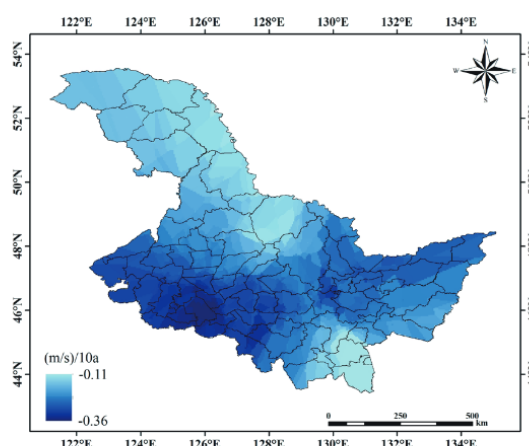
Perubahan tutupan lahan yang dikarenakan oleh urbanisasi juga menyebabkan perubahan sirkulasi angin permukaan, seperti kecepatan dan pola angin lokal, terutama di wilayah perkotaan (Sharma, Fernando, Hellman, & Chan, 2014; Li, Zheng, Zhang, & Chen, 2018; Wang, et al., 2021). Urbanisasi yang melibatkan konversi lahan alami menjadi permukaan yang padat dan tertutup oleh bangunan, jalan dan infrastruktur lainnya, mengubah karakteristik fisik permukaan dan mengurangi tutupan vegetasi yang semula ada, mampu menciptakan gradien tekanan udara yang mengarah pada perubahan sirkulasi angin lokal. Struktur bangunan tinggi, mampu mengganggu dan mengubah aliran udara di sekitarnya serta dapat menciptakan pola angin turbulen yang mengubah arah serta kecepatan angin di sekitarnya. Lanskap alami berupa tutupan vegetasi yang berubah, juga mampu mempengaruhi pola aliran angin dan kondisi iklim mikro di daerah perkotaan (Wang, et al., 2021). Urbanisasi juga berdampak pada tren penurunan kecepatan angin rata-rata tahunan di wilayah Heilongjiang-China,

dimana kecepatan angin rata-rata tahunan dan laju penurunannya menunjukkan distribusi spasial “tinggi-rendah-tinggi” dari Utara ke Selatan (Huang, et al., 2023).

Berbagai simulasi pemodelan numerik cuaca, telah mencoba berbagai jenis tutupan lahan dalam perhitungannya, untuk melakukan evaluasi hasil pemodelan terhadap kondisi angin sebenarnya. Perbandingan hasil simulasi dengan skenario data tutupan lahan MODIS2001 dengan GlobCover2009, menunjukkan pengaruh pada sirkulasi medan angin yang ditimbulkan selama periode Typhoon Tammasun (Yin, et al., 2020). Kekasaran lahan yang berbeda pada perubahan lahan terbangun dan permukaan air, dalam pemodelan numerik cuaca, juga mampu menyebabkan variasi kondisi angin (Fu, et al., 2020). Perubahan lahan dari lahan pertanian dan padang rumput yang menjadi hutan campuran di wilayah Harbin, China menyebabkan perbedaan arah angin mencapai 30° , sedangkan wilayah pinggiran kota yang mengalami perubahan perkotaan dan lahan terbangun menjadi lahan pertanian dan padang rumput mengalami penurunan kecepatan angin hingga 0,9 m/s (Fu, et al., 2020).



(a)



(b)

Gambar 2. Distribusi spasial kecepatan angin dalam m/s (a) dan variasi rata-rata tahunan kecepatan angin permukaan di Provinsi Heilongjiang dari tahun 1971 hingga 2020 (b) (Huang, et al., 2023)

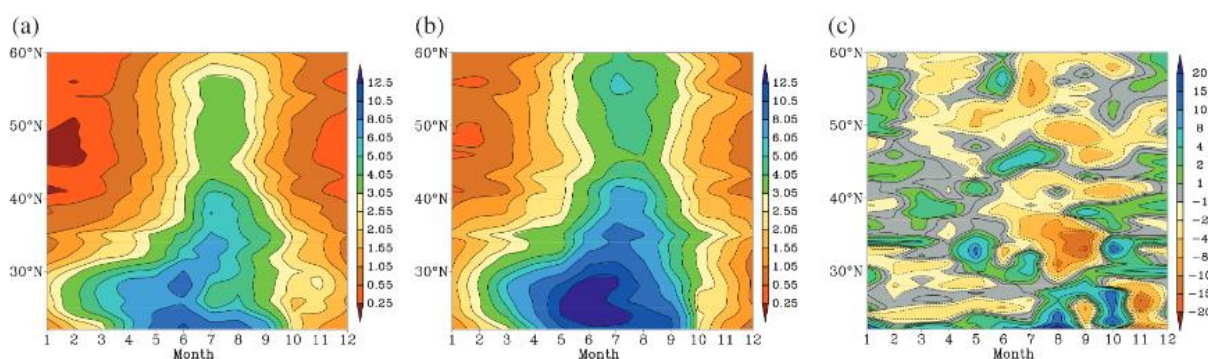
3. Kondisi Curah Hujan

Perubahan kondisi suhu permukaan dan sirkulasi angin yang diakibatkan perubahan tutupan lahan di suatu wilayah juga turut mempengaruhi pola persebaran curah hujan. Hal ini dapat ditunjukkan dengan menggunakan data tutupan lahan tahun 1980 dan 2010 di Asia Timur, terjadi penurunan curah hujan di wilayah Utara dan peningkatan di wilayah Selatan pada periode tersebut (Zhao & Wu, 2017). Selama musim hujan, terjadi pergerakan sabuk hujan ke arah Utara yang menyebabkan penurunan jumlah curah hujan. Namun pola sebaliknya terjadi di wilayah Tenggara daratan China. Pola yang sama juga terjadi di atas wilayah Laut China Timur, dimana curah hujan di bagian Utara menjadi lebih sedikit. Sedangkan pada musim kemarau, perubahan curah hujan tidak terlalu signifikan, dimana perubahan yang terjadi selama musim kemarau lebih kecil dibandingkan yang terjadi selama musim penghujan.

Perubahan tutupan lahan berkaitan erat dengan perubahan kestabilan atmosfer yang diukur dengan *Convective Available Potential Energy* (CAPE) yang mengakibatkan perubahan frekuensi curah

hujan pada siang hari (Chen & Dirmeyer, 2017). Di wilayah yang mengalami perubahan tutupan lahan, terdapat pergeseran distribusi CAPE, yang mengindikasikan perubahan dalam jumlah hari dengan kondisi atmosfer yang memicu terjadinya curah hujan konvektif. Dari hal tersebut menunjukkan bahwa perubahan frekuensi curah hujan pada siang hari terkait dengan perubahan dalam mekanisme perubahan CAPE.

Kondisi perubahan lahan yang disebabkan berkembangnya kawasan perkotaan dapat mempengaruhi kondisi atmosfer di atasnya, sehingga mampu menciptakan kondisi faktor-faktor pembentuk awan hujan (Daniels & Hutjes, 2015). Pada skenario perluasan perkotaan, tinggi lapisan batas atmosfer (PBLH) mengalami peningkatan yang lebih besar dibandingkan tingkat kondensasi awan (LCL) dan tingkat konveksi bebas (LFC), dimana lebih efektif dalam meningkatkan potensi terbentuknya awan konvektif pembentuk hujan. Peningkatan yang relatif tinggi dalam skenario perkotaan menjadi dasar perbedaan kemampuan memberikan respons balik kelembaban tanah terhadap curah hujan.



Gambar 3. Penampang *Crosssection* rata-rata bulanan curah hujan; dengan data GPCC (mm/hari) kondisi terkini (a); kondisi dengan data LU80 (mm/hari) (b); dan perbandingan relatif dalam % antara LU10 dan LU80 selama Monsun Panas Asia Timur (Zhao & Wu, 2017)

Simpulan

Penelitian-penelitian terkait perubahan tutupan lahan dan parameter cuaca seperti suhu permukaan, angin permukaan, dan presipitasi, dapat diambil kesimpulan bahwa perubahan tutupan lahan memiliki dampak signifikan terhadap parameter-parameter tersebut. Pada suhu permukaan, adanya konversi lahan hutan menjadi lahan pertanian atau perkotaan dapat meningkatkan suhu permukaan. Hilangnya vegetasi hutan yang berfungsi sebagai penyerap panas dan pengatur suhu alami menyebabkan suhu permukaan yang lebih tinggi di daerah yang mengalami perubahan tutupan lahan. Sebaliknya, perubahan dari lahan pertanian menjadi lahan basah atau kawasan hijau perkotaan dapat mengurangi suhu permukaan melalui efek pendinginan dan perlindungan dari radiasi matahari.

Pola angin permukaan juga dapat berubah yang diakibatkan oleh perubahan tutupan lahan. Adanya urbanisasi atau perubahan lahan terbuka menjadi perkotaan dengan bangunan yang padat yang menciptakan fenomena *Urban Heat Island*, mampu menghasilkan angin permukaan yang lebih lemah dan tidak teratur. Sebaliknya, perubahan dari lahan basah menjadi lahan

terbuka dapat meningkatkan angin permukaan karena kehilangan hambatan yang disebabkan oleh vegetasi. Adanya perubahan pola suhu udara dan pola angin permukaan, juga berdampak pada presipitasi di suatu wilayah. Konversi lahan hutan menjadi lahan pertanian atau perkotaan dapat mengurangi curah hujan karena hilangnya penguapan air dan pengaturan siklus hidrologi oleh vegetasi. Sebaliknya, restorasi lahan atau perubahan dari lahan terbuka menjadi hutan dapat meningkatkan curah hujan karena peningkatan penguapan air dan perubahan pola aliran udara.

Secara keseluruhan, penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa perubahan lahan memiliki dampak yang signifikan terhadap parameter cuaca seperti suhu permukaan, angin permukaan, dan presipitasi. Pemahaman yang lebih baik tentang hubungan ini penting dalam konteks perubahan iklim dan adaptasinya. Informasi ini dapat digunakan untuk pengembangan kebijakan lingkungan, perencanaan tata ruang yang berkelanjutan, strategi adaptasi perubahan iklim, pengelolaan sumber daya alam, perbaikan peramalan cuaca dan iklim, serta peningkatan kesadaran masyarakat akan pentingnya perubahan tutupan lahan dalam menjaga keseimbangan cuaca dan iklim.

Daftar Rujukan

- Ahrens, C. D. 2009. *Meteorology today : an introduction to weather, climate, and the environment*. Brooks/Cole, CengageLearning.
- Chen, L., & Dirmeyer, P. A. (2017). Impacts of Land-Use/Land-Cover Change on Afternoon Precipitation over North America. *Journal of Climate*, 30, 2121-2140.
- Comarazamy, D. E., Gonzalez, J. E., Luvall, J. C., Rickman, D. L., & Mulero, P. J. (2010). A Land-Atmospheric Interaction Study in the Coastal Tropical City of San Juan, Puerto Rico. *Earth Interactions*, 14(16).

- Daniels, E. E., & Hutjes, R. W. (2015). Land surface feedbacks on spring precipitation in the Netherlands. *Journal of Hydrometeorology*, 16(1), 232-243.
- Dimitrova, R., Danchevski, V., Egova, E., Vladimirov, E., Sharma, A., Gueorguiev, O., & Ivanov, D. (2019). Modeling the impact of urbanization on local meteorological conditions in Sofia. *Atmospher*, 10(366), 1-24.
- Fu, D., Liu, Y., Liu, S., Thapa, S., Yabo, S., Sun, X., . . . Tian, C. (2020). Evaluating the Impacts of Land Cover and Soil Texture Changes on Simulated Surface Wind and Temperature. *Earth and Space Science*, 7(9), 1-14.
- Garg, V., Nikam, B. R., Thakur, P. K., Aggarwal, S. P., Gupta, P. K., & Srivastav, S. K. (2019). Human-induced land use land cover change and its impact on hydrology. *HydroResearch*, 1, 48-56.
- Helbig, N., Mott, R., Herwinjen, A. v., Winstral, A., & Jonas, T. (2017). Parameterizing surface wind speed over complex topography. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122, 651-667.
- Huang, Y., Zheng, H., Zhang, W., Zhang, L., Gu, J., Li, C., & Liu, J. (2023). Impact of Urbanization on Near-surface Wind Speed in Heilongjiang Province. *Sensors and Materials*, 35(1), 217-232.
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaption and Vulnerability*. Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Kong, H., & Jansen, M. F. (2021). The Impact of Topography and Eddy Parameterization on the Simulated Southern Ocean Circulation Response to Changes in Surface Wind Stress. *Journal of Physical Oceanography*, 51, 825-843.
- Kumar, S., Vidal, Y. S., Moya-Alvarez, A. S., & Castro, D. M. (2019). Effect of the surface wind flow and topography on precipitating cloud systems over the Andes and associated Amazon basin: GPM observations. *Atmospheric Research*, 225(2019), 193-208.
- Li, J., Zheng, X., Zhang, C., & Chen, Y. (2018). Impact of Land-Use and Land-Cover Change on Meteorology in the Beijing–Tianjin–Hebei Region from 1990 to 2010. *Sustainability*, 10(176), 1-22.
- Ming, Z. D., & Jian, W. (2018). Evaluating the impacts of land use and land cover changes on surface air temperature using the WRF-mosaic approach. *Atmospheric And Oceanic Science Letters*, 11(3), 262-269.
- Morris, K. I., Chan, A., Salleh, S. A., Ooi, M. G., Oozeer, M. Y., & Abakr, Y. A. (2016). Numerical study on the urbanisation of Putrajaya and its interaction with the local climate, over a decade. *Urban Climate*, 16(2016), 1-24.
- Moser, S. (2010). Putrajaya: Malaysia's new federal administrative capital. *Cities*, 27(4), 285-297.
- Poyil, R. P., Dhanalakshmi, S., & Goyal, P. (2016). Predicting Future Changes in Climate and its Impact on Change in Land Use: A Case Study of Cauvery Basin. *SPICE*, 9877(98772Y).
- Sharma, A., Fernando, H. J., Hellman, J., & Chan, F. (2014). Sensitivity of WRF Model to Urban Parameterizations, With Applications to Chicago Metropolitan Urban Heat Island. *ASME 2014 4th Joint US-European Fluids Engineering Division Summer Meeting*.
- Sivakumar, M. V., & Stefanski, R. 2007. Climate and Land Degradation — an Overview. In *Climate and Land Degradation*. Springer.

- Tao, H., Xing, J., Zhou, H., Chang, X., Li, G., Chen, L., & Li, J. (2018). Impacts of land use and land cover change on regional meteorology and air quality over the Beijing-Tianjin-Hebei region, China. *Atmospheric Environment*.
- Temimi, M., Fonseca, R., Nelli, N., Weston, M., Thota, M., Valappil, V., . . . Naqbi, H. A. (2020). Assessing the Impact of Changes in Land Surface Conditions on WRF Predictions in Arid Regions. *American Meteorological Society*, 21, 2829-2853.
- Vladimorov, E., Dimitrova, R., & Danchevski, V. (2018). Sensitivity of WRF model results to topography and land cover: study for the Sofia region. *Annu. Sofia*, 111, 87-101.
- Wang, K., Tong, Y., Gao, J., Gao, C., Wu, K., Yue, T., . . . Wang, C. (2021). Impacts of LULC, FDDA, Topo-wind and UCM schemes on WRF-CMAQ over the Beijing-Tianjin-Hebei region, China. *Atmospheric Pollution Research*, 12, 292-304.
- Wu, B., Miao, J., & Feng, W. (2022). Impact of Land Cover Change on Mountain Circulation over the Hainan Island, China. *Sustainability*, 14(11794), 1-22.
- Yin, K., Xu, S., Zhao, Q., Huang, W., Yang, K., & Guo, M. (2020). Effects of land cover change on atmospheric and storm surge modeling during typhoon event. *Ocean Engineering*, 199(106971), 1-13.
- 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.
- Zhao, D., & Wu, J. (2017). The impact of land use and land cover changes on East Asian summer monsoon precipitation using the WRF-mosaic approach. *Atmospheric Science Letters*, 18, 450-457.
- Zhao, D.-M., & Wu, J. (2018). Evaluating the impacts of land use and land cover changes on surface air temperature using the WRF-mosaic approach. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 11(3), 262-269.