

**GOOGLE EARTH ENGINE & SENTINEL-2 MULTISPECTRAL
INSTRUMENT: INTEGRASI DATA SPATIO-TEMPORAL UNTUK
MEMETAKAN LUCC MENGGUNAKAN ALGORITMA RANDOM
FOREST**

Azelia Dwi Rahmawati¹, Rahmat Asy' Ari² and Aulia Ranti³

^{1,2,3}Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan,
IPB University, Indonesia.

¹azeliadrazelia@apps.ipb.ac.id, ²rahmatasyariasyari@apps.ipb.ac.id,

³auliaarnt10ranti@apps.ipb.ac.id

Abstract

Google Earth Engine (GEE) is a mapping platform that has various geospatial analysis capabilities on a global scale. Many applications have been carried out in various fields such as LUCC monitoring, but are still lacking in Indonesia, especially in the city of Bogor. The phenomenon of LUCC (land use - land cover change) is one of the phenomena of changes in the earth's surface that has a major impact on humans and is related to climate change, so this research was carried out which resulted in the distribution of LUCC in the city of Bogor. This study uses Sentinel-2-MSI imagery in the 2017 -2021 period and involves the Random Forest algorithm classification method with a combination of indices (NDVI-NDWI-NDBI). The results show that there is an average positive rate of change for the types of land use changes such as water bodies (104.70%), build up (0.11%), open land (34.55%) and except for agriculture (-11.29%) and vegetation (-13.31%). LUCC in the study area causes agricultural areas to experience land fragmentation due to settlement invasion so that it can be an evaluation material for the local government in supporting sustainable development.

Keywords: *Google Earth Engine; Kota Bogor; LUCC*

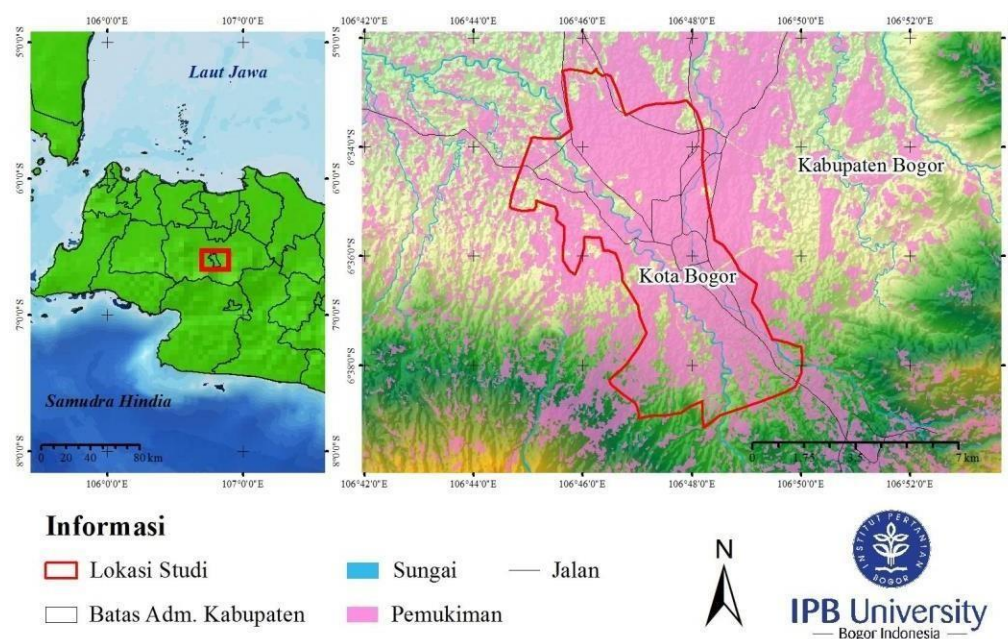
1. Pendahuluan

Google Earth Engine (GEE) merupakan platform pemetaan yang memanfaatkan komputasi penyimpanan milik Google dan memiliki berbagai kemampuan analisis geospasial hingga skala global (Gorelick, Hancher, Dixon, Ilyushchenko, Thau, & Moore, 2017). Mutanga & Kumar (2019) menjelaskan bahwa platform ini mampu mengakses arsip citra dari berbagai satelit seperti Landsat, Sentinel, ALLOS, MODIS, NOAA AVHRR, dan lain-lainnya. Keterbatasan akses terhadap berbagai sumber citra secara bersamaan merupakan salah satu kendala dan tantangan bagi para kartografer dalam menganalisis berbagai kebutuhan berbasis spasial. Data multitemporal berskala global membutuhkan sumber daya penyimpanan yang sangat besar dan akses internet yang cepat. *Google* tahun 2010 mengembangkan platform ini dengan kemampuan integrasi data spasialnya dan dinilai berhasil mengatasi permasalahan tersebut, sehingga dapat membantu para kartografer dalam aktivitasnya terutama dalam bidang penelitian (Kumar & Mutanga, 2018).

Berdasarkan peranannya, *platform* ini telah banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti kehutanan (Sidhu, Pebesma, & Câmara, 2018), pertanian (Rudiyanto, Minasny, Shah, Soh, Arif, & Setiawan, 2019), peternakan (Parente, Mesquita, Miziara, Baumann, & Ferreira, 2019), oseanografi (Rodríguez-Benito, Caballero, Nieto, & Navarro, 2021), bencana alam (Beaton, Whaley, Corston, & Kenny, 2019), iklim (Banerjee, Chen, Meadows, Singh, Mal, & Sengupta, 2020), dan fenomena urbanisasi (Sadek & Li, 2019). Khususnya LUCC (*land use - land cover change*), merupakan salah satu fenomena perubahan bentuk permukaan bumi yang memberikan dampak negatif terhadap lingkungan (Yu, Zang, Wu, Liu, & Na, 2011) dan umumnya didefinisikan untuk perubahan tutupan lahan bervegetasi termasuk kawasan hutan dan areal pertanian (Faichia dkk., 2020). Sakieh & Salmanmahiny (2016) melaporkan dalam studinya bahwa invasi lahan terbangun akibat urbanisasi dan aktivitas beternak merupakan penyebab utama dari perubahan tutupan lahan. Di Indonesia tepatnya di Kota Bogor dalam studi Firman, Surbakti, Idroes, & Simarmata, (2011) dan Rustiadi dkk., (2019), masuk sebagai kawasan metropolitan yang merupakan pusat konsentrasi masyarakat

urban, sehingga berimplikasi terhadap LUCC (*land use – land cover change*).

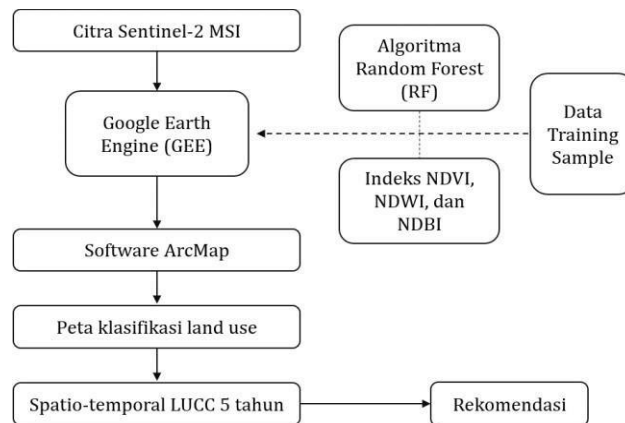
Dampak besar dari aktivitas LUCC ini memerlukan penanganan khusus, strategis dan dimulai dengan pencegahan aktivitas konversi lahan. Analisa secara spasial (penggunaan lahan dan urbanisasi) telah banyak dilakukan dalam berbagai studi sebelumnya misalnya dimulai pada akhir abad ke-19 oleh Tommy Firman (ahli perencanaan Institut Teknologi Bandung) (Rustiadi, Pravitasari, Setiawan, Mulya, Pribadi, & Tsutsumida 2021) dan awal abad ke-20 oleh Ernan Rustiadi (ahli perencanaan Institut Pertanian Bogor) (Rustiadi, Pribadi, Pravitasari, Indraprahasta, & Iman, 2015). Keterlibatan *platform* Google Earth Engine berbasis *cloud computing* dan algoritma *Random Forest* (bagian dari *machine learning*) masih jarang diterapkan dalam studi LUCC di lokasi studi. Padahal, penting adanya pengaplikasian pemetaan dalam pemantauan kondisi distribusi *land use* dan mempelajari dinamika perubahannya (Saputra & Lee 2019; Bi dkk., 2018; Faichia dkk., 2020). Kemampuan citra Sentinel-2 dengan citra beresolusi spasial 10 - 60 meter diharapkan mampu memberikan hasil dengan tingkat keakuratan maksimal serta dapat dijadikan sebagai bahan rekomendasi bagi para pengambil kebijakan di Kota Bogor.



Gambar 1. Peta Lokasi Studi

2. Metode Penelitian

Secara administrasi wilayah studi dalam hal ini Kota Bogor berbatasan langsung dengan Kabupaten Bogor dan merupakan satu dari sembilan kota di Provinsi Jawa Barat (Gambar 1; BPS Jawa Barat 2021). Penelitian ini berlangsung selama bulan Agustus 2021 dan dimulai dengan penentuan lokasi studi. Pemilihan Kota Bogor sebagai studi kasus dalam penelitian ini berlandaskan dari berbagai penelitian sebelumnya mengenai tingkat urbanisasi di kawasan Jabodetabek *Megacity* (Jakarta-Bogor-Depok-Tangerang-Bekasi) dan berimplikasi terhadap LUCC (Rustiadi dkk., 2019).



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Mengenai analisis data, penelitian ini melibatkan dua komponen utama dalam analisis citra satelit, yaitu platform *Google Earth Engine* (GEE) dan *Software ArcMap* (Gambar 2). Analisis data dimulai di dalam platform GEE dengan membuat *script* pemrograman sebagai langkah-langkah yang akan diajarkan pada komputer. Pada tahap ini, GEE akan menginput citra Sentinel-2 MSI milik ESA (*European Space Agency*) (Tabel 1; Phiri dkk., 2020) dan diklasifikasikan dengan menggunakan algoritma *Random Forest* dan beberapa indeks (Tabel 2) yang berdasarkan data *training* yang telah ditentukan. *Data Training* yang dilibatkan dalam klasifikasi LULC ini terdiri dari badan air (63), pertanian (84), pemukiman (136), vegetasi (81), tanah terbuka (60). Berdasarkan proses citra dengan metode tersebut, LULC diklasifikasikan kedalam lima kelas yaitu badan air, pemukiman, pertanian, kehutanan dan tanah terbuka. Selanjutnya, pengolahan data dilanjutkan melalui *software ArcMap* dengan tujuan untuk mengetahui distribusi LUCC dengan rentang waktu 2017 - 2021.

Tabel 1. Daftar band pada citra Sentinel-2 MultiSpectral Instrument (MSI)

Nomor band	Dekripsi band	Ambang batas spektral solusi (m) (nm)	
B1	Coastal aerosol	433 – 453	60
B2	Blue	458 – 523	10
B3	Green	543 – 578	10
B4	Red	650 – 680	10
B5	Red-edge 1 (RE1)	698 – 713	20
B6	Red-edge 2 (RE2)	733 – 748	20
B7	Red-edge	773 – 793	20
B8	Near infrared (NIR)	785 – 900	10
B8a	Near infrared narrow (NIRn)	855 – 875	20
B9	Water vapour	935 – 955	60
B10	Shortwave infrared/Cirrus	1360 – 1390	60
B11	Shortwave infrared 1 (SWIR1)	1565 – 1655	20
B12	Shortwave infrared 2 (SWIR2)	2100 – 2280	20

Tabel 2. Daftar formula indeks yang digunakan

No	Metode	Formula	Referensi
1.	Enhanced Vegetation Index (EVI)	$EVI = G ((NIR - Red) / (NIR + C1 \times Red - C2 \times Blue + L))$	Anderson et al., 2011
2.	Normalized difference water index (ANDWI)	$ANDWI = (Blue + Green + Red - NIR - SWIR1 - SWIR2) / (Blue + Green + Red + NIR + SWIR1 + SWIR2)$	Rad et al. 2021
3.	Index-Based Built-up Index (IBI) Soil	$IBI = ((NIR)/NIR + Red)) + ((Green)/Green + SWIR1))$	Xu 2008
4.	Adjusted Vegetation Index (SAVI)	$SAVI = 1.5 (NIR - Red) / (NIR + Red + 0.5)$	Huete 1988
5.	Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI)	$ARVI = (NIR - (Red - (Blue - Red))) / NIR + (Red - (Blue - Red)))$	Kauffman dan Tanre 1992

Hasil dan Pembahasan

A. Kondisi lokasi studi

Wilayah studi dalam data BPS Kota Bogor (2021) memiliki luas 11.850 ha yang terdiri dari enam kecamatan dan 68 kelurahan. Menurut sensus yang dilakukan oleh Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2020 menghasilkan data penduduk Kota Bogor berjumlah 1.064.698 juta penduduk dengan laju pertumbuhan penduduk pertahun 0,98% dan kepadatan penduduk 8,802 per km². Dalam studi yang dilakukan oleh Hegazy & Kaloop (2015), tingginya tingkat pertumbuhan penduduk di suatu daerah akan berdampak terhadap penggunaan lahan, dimana lahan menjadi sesuatu yang bersifat esensial di wilayah urban. Pada

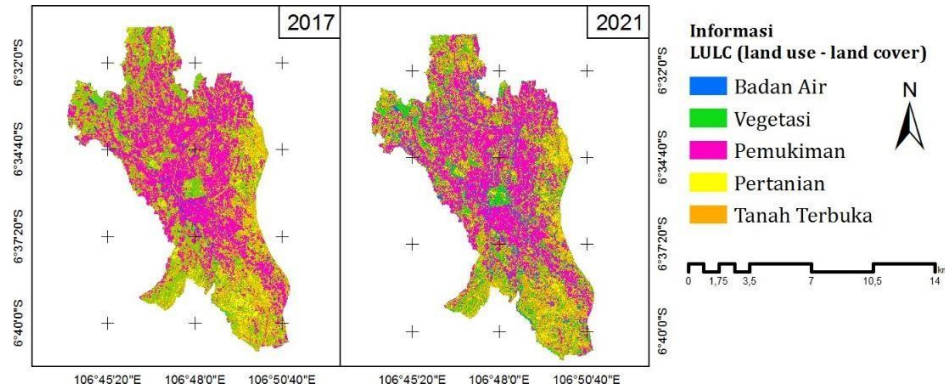
umumnya, pertumbuhan penduduk secara tidak langsung akan mengakselerasi proses ekspansi wilayah terbangun. Ini merupakan konsekuensi bagi daerah di wilayah urban khususnya Kota Bogor yang sebagai salah satu pusat konsentrasi masyarakat urban. (Rustiadi, Pribadi, Pravitasari, Indraprahasta, & Iman (2015) menjelaskan bahwa wilayah Bogor masuk kedalam regional Jabodetabek *Megacity* (Jakarta-Bogor-Depok-Tangerang-Bekasi) dan rentan terhadap konversi lahan secara besar-besaran. Hal ini sejalan dengan Pribadi, Vollmer, & Pauleit, (2018), bahwa perubahan penggunaan lahan di wilayah Jabodetabek merupakan fenomena yang biasa terjadi.

B. Dinamika spatio-temporal LUCC di Kota Bogor

Menurut Kim (2016), *Land use/land cover* merupakan hasil pemanfaatan lahan oleh manusia dan interaksi perubahan iklim global di permukaan bumi. Urbanisasi dan pertumbuhan ekonomi di suatu wilayah akan membuat berbagai dinamika perubahan yang terjadi di setiap penggunaan lahan (Hegazy & Kaloop 2015). Hasil klasifikasi penggunaan lahan secara spasial dan temporal menunjukkan bahwa terdapat perubahan penggunaan lahan di tahun 2017 - 2021. Pada penelitian ini, jenis-jenis penggunaan lahan yang dilakukan pemetaan diklasifikasikan dalam lima jenis penggunaan lahan yaitu badan air (warna biru), areal berhutan (hijau), pemukiman/areal terbangun (merah muda), tanah terbuka (warna orange), dan pertanian (warna kuning) (Gambar 3). Pergerakan perubahan penggunaan lahan yang divisualisasikan secara spasial pada Gambar 3 menunjukkan bahwa badan air pada tahun 2017 mengalami perubahan yang mencolok.

Kota Bogor yang merupakan salah satu kota di wilayah Jabodetabek, membuat resiko konversi lahan tidak dapat dihindarkan (Rustiadi, Pribadi, Pravitasari, Indraprahasta, & Iman 2015). Hasil analisis lahan terbangun atau pemukiman dalam periode 2017 hingga 2021 merupakan jenis penggunaan lahan yang mendominasi wilayah studi dengan total luas area sekitar 4.360,72 ha pada tahun 2021. Berdasarkan dari analisis laju perubahan penggunaan lahan, pemukiman memiliki rata-rata laju perubahan 0,11% dan yang tertinggi terdapat pada tanah terbuka dengan rata-rata laju perubahan mencapai 34,55% (Gambar 4).

Jenis penggunaan lahan lainya seperti wilayah bervegetasi memiliki luas area 2.366,36 ha atau 20,97% dari total luas kawasan pada tahun 2017 dan memiliki rata-rata laju perubahan $-13,31\%$ per tahun.

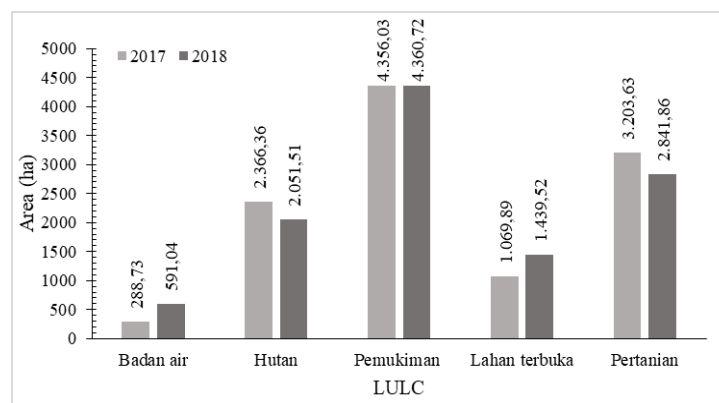


Gambar

3. Peta Spatio-Temporal LUCC

Tabel 3. Distribusi LUCC dalam lima tahun terakhir

No	Klasifikasi LULC	2017		2018	
		Luas (ha)	Persentase (%)	Luas (ha)	Persentase (%)
1	Badan air	288,73	2,56	591,04	5,24
2	Vegetasi	2.366,36	20,97	2.051,51	18,18
3	Pemukiman	4.356,03	38,60	4.360,72	38,64
4	Lahan terbuka	1.069,89	9,48	1.439,52	12,76
5	Pertanian	3.203,63	28,39	2.841,86	25,18



Gambar 4. Grafik LUCC selama lima tahun terakhir

Gambar 4 menggambarkan mengenai rata-rata laju perubahan lahan periode tahun 2017 - 2021 dan hampir semua jenis penggunaan lahan mengalami perubahan positif kecuali pada areal pertanian. Areal pertanian hanya mengalami kenaikan di tahun 2020. Pada tahun sebelum dan setelahnya, terjadi penurunan

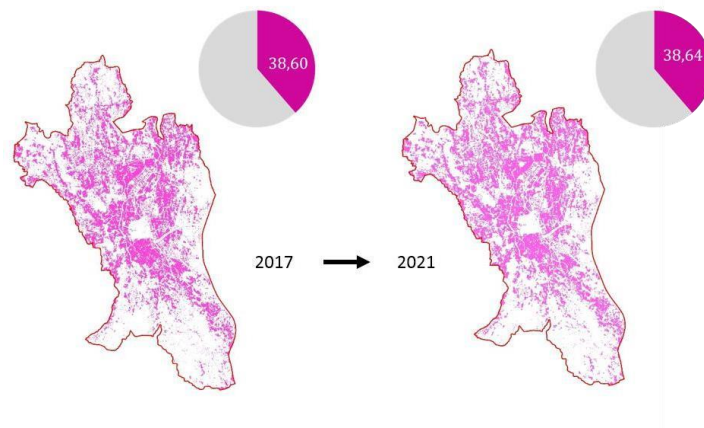
dengan rata-rata laju penurunan mencapai -1,52% per tahun. Pertumbuhan pada luas lahan untuk penggunaan lahan khususnya lahan terbangun merupakan hasil dari urbanisasi yang terus meningkat di Kota ini. Pembangunan perumahan, gedung tinggi seperti hotel serta fasilitas umum merupakan praktik yang akan berdampak pada perubahan penggunaan lahan. Hal tersebut tidak dapat kita hindari, karena kepentingan dari masyarakat yang harus dipertimbangkan.

Ketersediaan fasilitas umum dan memiliki kualitas pelayanan yang baik juga akan memicu terjadinya perpindahan penduduk, karena melihat berbagai peluang dan tingkat kenyamanan untuk bertempat tinggal. Surya, Ahmad, Sakti, & Sahban, (2020) melaporkan bahwa kepentingan yang esensial dari pekerjaan untuk masyarakat merupakan salah satu penyebab terjadinya perpindahan penduduk yang berlebihan. Yu, Zang, Wu, Liu, & Na (2011) menjelaskan bahwa kebijakan pemerintah daerah dalam bidang ekonomi akan mengakselerasi secara tidak langsung terjadinya LUCC di suatu daerah. Jika laju perubahan jenis penggunaan lahan yang terus meningkat setiap tahunnya dan diikuti dengan peningkatan pertumbuhan penduduk akan menciptakan berbagai permasalahan lingkungan (Pribadi, Vollmer, & Pauleit, 2018; Yu, Zang, Wu, Liu, & Na, 2011), sosial maupun ekonomi (Elhadary, Samat, & Obeng-Odoom, 2013). Jiang, Cheng, Li, Zhao, & Duan, (2015) menjelaskan bahwa perubahan penggunaan lahan dan tutupan lahan skala besar dalam jangka waktu yang lama dapat menyebabkan variasi yang signifikan dalam sifat fisikokimia tanah. Fenomena ini juga berdampak terhadap ketersediaan sumber daya air yang banyak ditemukan di daerah perkotaan yang berkembang pesat (Pribadi, Zasada, Müller, & Pauleit, 2017).

C. LUCC: Ekspansi lahan terbangun/permukiman

Pauleit, Pribadi, & El Wafa, (2019) menjelaskan bahwa sebagian besar populasi manusia sekarang tinggal di perkotaan sehingga abad 21 sering disebut sebagai abad urban. Hal yang sama terjadi di wilayah perkotaan Jabodetabek Megacity (Rustiadi, Pribadi, Pravitasari, Indraprahasta, & Iman, 2015) dan berdampak terhadap penggunaan lahan. Ekspansi lahan terbangun seperti pemukiman penduduk, infrastruktur dan kantor-kantor pelayanan telah terjadi di wilayah ini sejak dahulu. Berdasarkan perkembangan wilayah studi sebelumnya,

Kota Bogor merupakan pusat pertanian dan pemukiman (dalam bentuk vila) yang dijadikan oleh para penguasa dan pengusaha daerah. Hal inilah yang membuat daerah ini menjadi beban sekarang ini, karena melihat di berbagai pelosok wilayah telah terbangun permukiman untuk perumahan elit yang sangat luas dan menginvasi beberapa areal pertanian dan dapat dikatakan terjadinya fenomena urban sprawl. Pratomo, Samsura, & Krabben, (2020) menjelaskan bahwa akibat pembangunan skala besar akibat tekanan pertumbuhan penduduk berdampak terhadap penggunaan lahan di sekitarnya. Gambar 5 menunjukkan lahan terbangun telah terdistribusi di berbagai pelosok. Distribusi penggunaan lahan ini meningkat sejak tahun 2017 yang hanya 38,60% dari total luas wilayah studi dan sekarang tahun 2021 mencapai 38,64%.



Gambar 5. Distribusi Spasial dan Persentase Luas Lahan dari Lahan Terbangun/Pemukiman tahun 2017 dan 2021

Pemukiman padat penduduk bahkan areal pemukiman kumuh dapat di temukan di sudut-sudut Kota Bogor. Gambar 6, telah memperjelas mengenai kondisi pemukiman di wilayah studi yang sempit dan tidak beraturan serta dibatasi dengan jalan kecil. Ini umum ditemukan di sudut-sudut kota di kota-kota besar di Indonesia dan khususnya Kota Bogor. Pertumbuhan ekonomi dan urbanisasi membuat daerah pemukiman perkotaan menjadi sempit dan sering kali terdapat persaingan antara kepemilikan lahan. Ketergantungan akan lahan dari masyarakat urban membuat isu kepemilikan lahan menjadi sangat esensial dan bahkan masyarakat miskin memilih tinggal di hunian yang tidak layak untuk ditinggali seperti tepian sungai. Padahal, dampak lingkungan seperti bencana banjir sangat berpotensi terjadi dan dinilai sangat merugikan masyarakat yang

tinggal di tepian sungai. Tarigan dkk., (2016) mengungkapkan bahwa pemukiman kumuh, bencana banjir, dan infrastruktur dasar merupakan tantangan bagi pemerintah setempat dalam menjalankan pembangunan berkelanjutan. Jones (2017) menjelaskan bahwa kebijakan dan strategi urbanisasi yang berkelanjutan merupakan alat utama untuk mencapai pembangunan berkelanjutan dari kota-kota yang sedang berkembang sekarang ini.



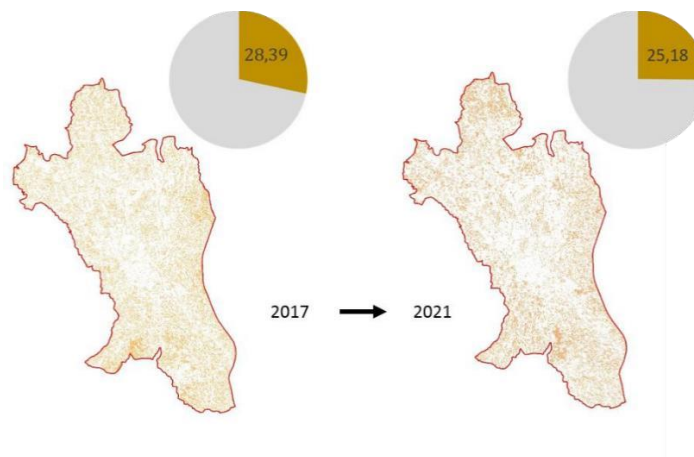
Gambar 6. Pemukiman Padat Penduduk di Kota Bogor (Copyright: Azelia)

D. LUCC: Fragmentasi area *peri-urban farming*

Areal pertanian perkotaan (*peri-urban farming*) merupakan jenis penggunaan lahan yang sekarang ini juga terkena dampak dari adanya LUCC terutama akibat dari ekspansi areal terbangun (Pribadi & Pauleit 2015). Ini merupakan masalah global yang dihadapi oleh kota-kota di berbagai negara. Misalnya saja di Kota Hanoi, Vietnam, terjadi ekspansi lahan terbangun di wilayah perkotaan dan sekitarnya sehingga menyebabkan terfragmentasinya lahan-lahan pertanian di wilayah tersebut (V. Pham, T. Pham, Tong, Nguyen, N. Pham 2014). Fenomena ini telah terjadi di kawasan perkotaan Jabodetabek, dimana pesatnya pembangunan permukiman dan infrastruktur publik mengubah lanskap pertanian menjadi areal terbangun (Rustiadi, Pribadi, Pravitasari, Indraprahasta, & Iman, 2015). Terlebih wilayah studi merupakan salah satu kota yang masuk Kawasan perkotaan ini dan merupakan pusat konsentrasi masyarakat urban (Firman,

Surbakti, Idroes, Simarmata 2011).

Data persentase luas lahan pertanian dari luas wilayah studi pada tahun 2017 dan 2021, telah terjadi penurunan luas lahan di tahun 2021 yang mencapai 25,18% dari sebelumnya 28,39% tahun 2017 (Gambar 7). Hasil penelusuran tim kami di wilayah studi memberikan gambaran bahwa telah terjadi pembangunan Gedung-gedung bertingkat seperti hotel dan apartemen di sekitar areal pertanian (Gambar 8). Hal ini membuat areal pertanian perkotaan sering dan mudah terfragmentasi dan bahkan terkonversi secara menyeluruh menjadi jenis penggunaan lain. Hal ini selaras dengan penelitian V. Pham, T. Pham, Tong, Nguyen, & N. Pham (2014), bahwa areal pertanian mengalami fragmentasi lahan dan memiliki bentuk yang tidak beraturan. Sedangkan menurut Rondhi, Pratiwi, Handini, Sunartomo, & Budima, (2018), konversi lahan areal pertanian urban mudah terjadi akibat aksesibilitas dan lokasi daerah pinggiran kota yang cocok untuk pembangunan perumahan.



Gambar 7. Penurunan persentase luas lahan dan fragmentasi areal pertanian perkotaan terhadap luas wilayah studi (perbandingan tahun 2017 dan 2021)

Wilayah peri-urban, lahan pertanian dalam menghadapi dampak urbanisasi yang terus meningkat secara masif, membuat topik ini menjadi perdebatan global (Elhadary, Samat, & Obeng-Odoom, 2013). Hal ini menimbulkan kekhawatiran terhadap masyarakat urban dalam menghadapi krisis pangan perkotaan yang semakin meningkat (V. Pham, T. Pham, Tong, Nguyen, & N. Pham, 2014). Kharisma & Abe (2019) menjelaskan bahwa terdapat beberapa faktor penyebab diantaranya kombinasi antara pertumbuhan ekonomi dan urbanisasi yang cepat,

ketergantungan pasar, pengeluaran pendapatan untuk memperoleh makanan, dan kebutuhan makanan yang beragam meningkatkan kerentanan rumah tangga terhadap kerawanan pangan di wilayah perkotaan. Faktor lainnya yaitu tekanan dan efek urbanisasi dan pertumbuhan penduduk yang semakin meningkat dan harus terus dievaluasi dalam pengambilan kebijakan. Pribadi dan Pauleit (2015) menjelaskan bahwa tanaman hortikultura dataran rendah dan budidaya perairan pedalaman mampu beradaptasi dan bahkan mendapat manfaat dari urbanisasi karena akses pasar perkotaan, sedangkan sawah, tanaman pangan dan ternak terdampak oleh urbanisasi dan pindah ke daerah non-urban. Banyak dari manfaat mengenai keberadaan dari areal pertanian dalam fungsi hidrologi. Seperti yang dijelaskan oleh Pribadi, Zasada, Müller, & Pauleit (2017), bahwa pelestarian ruang terbuka hijau, termasuk pertanian pinggiran kota, telah ditekankan dalam perencanaan kota untuk mempertahankan atau meningkatkan kapasitas tangkapan air.



Gambar 8. Ekspansi gedung tinggi di wilayah pertanian (Copyright: Azelia)

E. Penilaian *Google Earth Engine*

Pengembangan *platform Google Earth Engine* berbasis *cloud computing* dinilai telah mampu memberikan gambaran mengenai perubahan penggunaan lahan (LUCC) yang terjadi di wilayah studi. Di sisi lain, masih adanya kekurangan mengenai kemampuan identifikasi dan pemetaan distribusi LUCC. Misalnya saja, terdapat klasifikasi land use yang tidak sesuai dan hal ini

dipengaruhi oleh kemampuan indeks dalam proses identifikasi sehingga perlu adanya keterlibatan berbagai indeks yang spesifik dan dapat membantu proses klasifikasi berlangsung di *platform* ini. Adanya pengaruh dari berbagai faktor, seperti efek atmosfer (indeks ARVI dan VARI; Kaufman dan Tanre 1992; Gitelson et al. 2002), kecerahan tanah (indeks SAVI; Huete 1988), kelembaban vegetasi dan lain-lainnya, memberikan peluang rendahnya kemampuan identifikasi jika memakai indeks yang belum diperbaharui.

Kesimpulan

Perubahan penggunaan dan tutupan lahan (LUCC) merupakan salah satu penyebab perubahan iklim dan lingkungan global dan dampaknya telah banyak dirasakan serta terlihat jelas. Penggunaan citra Sentinel-2 *MultiSpectral Instrument* (MSI) telah memberikan gambaran mengenai LUCC secara spatio-temporal yang terjadi di Kota Bogor dengan bantuan berbagai indeks (NDVI, NDWI, dan NDBI) serta algoritma *Random Forest* (RF). Terdapat tren dengan dinamika perubahan yang beragam pada setiap jenis penggunaan lahan di wilayah studi. Secara temporal, terdapat laju perubahan yang positif terhadap jenis perubahan penggunaan lahan seperti badan air (104,70%), pemukiman (0,11%), lahan terbuka (34,55%) dan kecuali pada pertanian (-11,29%) serta vegetasi (-13,31%). Secara spasial, terjadi ekspansi lahan terbangun termasuk pemukiman terjadi peningkatan pada tahun 2021 jika dibandingkan pada tahun 2017. Pada luas areal pertanian mengalami kemerosotan pada tahun 2017 jika dibandingkan dengan tahun 2021. LUCC di wilayah studi mengakibatkan areal pertanian mengalami fragmentasi lahan akibat invasi pemukiman, sehingga dapat menjadi bahan evaluasi bagi pemerintah setempat dalam menunjang pembangunan berkelanjutan. Penggunaan konsep ini dalam mengidentifikasi LUCC secara spatio-temporal masih belum maksimal dalam kinerjanya, sehingga dibutuhkan kombinasi indeks yang memperhatikan kemampuannya.

Daftar Pustaka

- Banerjee, A., Chen, r., Meadows, M. E., Singh, R. B., Mal, S., & Sengupta, D. (2020). An analysis of long-term rainfall trends and variability in the Uttarakhand Himalaya using google earth engine. *Remote Sensing*, 12(4), 1 - 24. <https://doi.org/10.3390/rs12040709>
- Beaton, A., Whaley, R., Corston, K., & Kenny, F. (2019). Identifying historic river ice breakup timing using MODIS and google earth engine in support of operational flood monitoring in Northern Ontario. *Remote Sensing of Environment*, 224, 352 - 364. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.011>
- Bi, W., Weng, B., Yuan, Z., Ye, M., Zhang, C., Zhao, Y., Yan, D., & Xu, T., 2018. Evolution characteristics of surface water quality due to climate change and LUCC under scenario simulations: a case study in the Luanhe River Basin. *International journal of environmental research and public health*, 15(8), 724. <https://doi.org/10.3390/ijerph15081724>
- BPS Bogor. 2021. Kota Bogor dalam angka tahun 2021. Bogor, Indonesia: Badan Pusat Statistik Kota Bogor.
- BPS Jawa Barat 2021. Jawa Barat dalam angka tahun 2021. Bandung, Indonesia: Badan Pusat Statistik. Provinsi Jawa Barat.
- Elhadary, Y. A. E., Samat, N., & Obeng-Odoom, F. (2013). Development at the peri-urban area and its impact on agricultural activities: An example from the Seberang Perai Region, Penang State, Malaysia. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 37(7), 834-856. <https://doi.org/10.1080/21683565.2013.797950>
- Faichia, C., Tong, Z., Zhang, J., Liu, X., Kazuva, E., Ullah, K., & Al-Shaibah, B. (2020). Using RS data-based CA-markov model for dynamic simulation of historical and future LUCC in Vientiane, Laos. *Sustainability*, 12(20), 8410. <https://doi.org/10.3390/su12208410>
- Firman, T., Surbakti, I. M., Idroes, I. C., & Simarmata, H. A. (2011). Potential climate-change related vulnerabilities in Jakarta: Challenges and current status. *Habitat International*, 35(2), 372 - 378. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2010.11.011>
- Gao, B. C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, 58(3), 257-266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google earth engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment*, 202, 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., Starkc, R., Rundquist, D. 2002. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 80, 76-87. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00289-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00289-9)
- Hegazy, I. H., & Kaloop, M. R. (2015). Monitoring urban growth and land use change detection with GIS and remote sensing techniques in Daqahlia

- governorate Egypt. International Journal of Sustainable Built Environment. 4(1), 117 - 124. <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2015.02.005>
- Huete, A. R. 1988. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). Remote Sensing of Environment, 25, 295-309. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)
- Jiang, P., Cheng, L., Li, M., Zhao, R., & Duan, Y. (2015). Impacts of LUCC on soil properties in the riparian zones of desert oasis with remote sensing data: a case study of the middle Heihe River basin, China. Science of the Total Environment, 506, 259-271. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.11.004>
- Jones, P. (2017). Formalizing the informal: Understanding the position of informal settlements and slums in sustainable urbanization policies and strategies in Bandung, Indonesia. Sustainability, 9(8), 1436. <https://doi.org/10.3390/su9081436>
- Kaufman, Y. J., & Tenre, D. 1992. Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) for EOS-MODIS. IEEE Transactions on Geoscience And Remote Sensing, 30(2), 261-270.
- Kharisma, V., & Abe, N. (2020). Food insecurity and associated socioeconomic factors: Application of Rasch and Binary Logistic Models with household survey data in three megacities in Indonesia. Social Indicators Research, 148(2), 655-679.
- Kim, C. (2016). Land use classification and land use change analysis using satellite images in Lombok Island, Indonesia. Forest Science and Technology, 12(4), 183-191. <https://doi.org/10.1080/21580103.2016.1147498>
- Kumar, L., & Mutanga, O., (2018). Google earth engine applications since inception: Usage, trends, and potential. Remote Sensing, 10(10), 1509. <https://doi.org/10.3390/rs10101509>
- Mutanga, O., & Kumar, L.. (2019). Google earth engine applications. Remote Sensing, 11(5), 591. <https://doi.org/10.3390/rs11050591>
- Parente, L., Mesquita, V., Miziara, F., Baumann, L., & Ferreira, L. (2019). Assessing the pasturelands and livestock dynamics in Brazil, from 1985 to 2017: a novel approach based on high spatial resolution imagery and google earth engine cloud computing. Remote Sensing of Environment, 232, 1 - 11. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111301>
- Rad, A. M., Kreitler, J. and Sadegh, M. (2021) ‘Augmented Normalized Difference Water Index for Improved Surface Water Monitoring’, *Environmental Modelling and Software*. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105030>
- Pauleit, S., Pribadi, D. O., & Abo El Wafa, H. (2019). Peri-urban agriculture: lessons learnt from Jakarta and Addis Ababa. Field Actions Science Reports. The journal of field actions, (Special Issue 20), 18-25.
- Pham, V. C., Pham, T. T. H., Tong, T. H. A., Nguyen, T. T. H., & Pham, N. H. (2014). The conversion of agricultural land in the peri-urban areas of Hanoi (Vietnam): patterns in space and time. Journal of Land Use Science, 10(2), 224-242. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2014.884643>

- Phiri, D., Simwanda, M., Salekin, S., Nyirenda, V. R., Murayama, Y., & Ranagalage, M. (2020). Sentinel-2 data for land cover/use mapping: a review. *Remote Sensing*, 12(14), 2291. <https://doi.org/10.3390/rs12142291>
- Pratomo, R. A., Samsura, D. & van der Krabben, E. 2020. Transformation of local people's property rights induced by new town development (case studies in Peri-Urban areas in Indonesia). *Land*, 9(7), 236. <https://doi.org/10.3390/land9070236>
- Pribadi, D. O., & Pauleit, S. (2015). The dynamics of peri-urban agriculture during rapid urbanization of Jabodetabek Metropolitan Area. *Land use policy*, 48, 13-24. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.009>
- Pribadi, D. O., Zasada, I., Müller, K., & Pauleit, S. (2017). Multifunctional adaption of farmers as response to urban growth in the Jabodetabek Metropolitan Area, Indonesia. *Journal of Rural Studies*, (55), 100-111. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2017.08.001>
- Pribadi, D. O., Vollmer, D., & Pauleit, S. (2018). Impact of peri-urban agriculture on runoff and soil erosion in the rapidly developing metropolitan area of Jakarta, Indonesia. *Regional Environmental Change*, 18(7), 2129-2143. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2011.08.009>
- Rodríguez-Benito, C., Caballero, I., Nieto, K., & Navarro, G. (2021). Observation of maritime traffic interruption in Patagonia during the COVID-19 lockdown using copernicus sentinel-1 data and google earth engine. *Remote Sensing*, 13(6), 1119. <https://doi.org/10.3390/rs13061119>
- Rondhi, M., Pratiwi, P. A., Handini, V. T., Sunartomo, A. F., & Budiman, S. A. (2018). Agricultural land conversion, land economic value, and sustainable agriculture: A case study in East Java, Indonesia. *Land*, 7(4), 148. <https://doi.org/10.3390/land7040148>
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA special publication*, 351, 309-317.
- Rudiyanto, Minasny, B., Shah, R. M., Soh, N. C., Arif, C., & Setiawan, B. I. (2019). Automated near-real-time mapping and monitoring of rice extent, cropping patterns, and growth stages in Southeast Asia using sentinel-1 time series on a google earth engine platform. *Remote Sensing*, 11(14), 1666. <https://doi.org/10.3390/rs11141666>
- Rustiadi, E., Pravitasari, A. E., Setiawan, Y., Mulya, S. P., Pribadi, D. O., & Tsutsumida, N. (2019). Impact of continuous Jakarta megacity urban expansion on the formation of the Jakarta-Bandung conurbation over the rice farm regions. *Cities*, 111, 103000. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.103000>
- Rustiadi, E., Pribadi, D. O., Pravitasari, A. E., Indraprahasta, G. S., & Iman, L. S. (2015). Jabodetabek megacity: from city development toward urban complex management system. in R. B. Singh (ed.), *Urban Development Challenges, Risks and Resilience in Asian Mega Cities*. 421-445). Tokyo, Jepang: Springer Nature Switzerland AG.

- Sadek, M., & Li, X. (2019). Low-cost solution for assessment of urban flash flood impacts using Sentinel-2 satellite images and fuzzy analytic hierarchy process: a case study of Ras Ghareb City, Egypt. *Advances in Civil Engineering*, 2019(23), 1 - 15. <https://doi.org/10.1155/2019/2561215>
- Sakieh, Y., & Salmanmahiny, A. (2016). Performance assessment of geospatial simulation models of land-use change—a landscape metric-based approach. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(3), 1 - 16.
- Saputra, M. H., & Lee, H. S. (2019). Prediction of land use and land cover changes for north sumatra, indonesia, using an artificial-neural-network-based cellular automaton. *Sustainability*, 11(11), 3024. <https://doi.org/10.3390/su11113024>
- Sidhu, N., Pebesma, E., & Câmara, G. (2018). Using google earth engine to detect land cover change: Singapore as a use case. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 486-500. <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1451782>
- Surya, B., Ahmad, D. N. A., Sakti, H. H., & Sahban, H. (2020). Land use change, spatial interaction, and sustainable development in the metropolitan urban areas, South Sulawesi Province, Indonesia. *Land*, 9(3), 95. <https://doi.org/10.3390/land9030095>
- Tarigan, A. K., Sagala, S., Samsura, D. A. A., Fiisabiilillah, D. F., Simarmata, H. A., & Nababan, M. (2016). Bandung City, Indonesia. *Cities*, (50), 100-110. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2015.09.005>
- Xu, H. (2008) 'A New Index for Delineating Built-Up Land Features in Satellite Imagery', *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/01431160802039957>
- Yu, W., Zang, S., Wu, C., Liu, W., & Na, X. (2011). Analyzing and modeling land use land cover change (LUCC) in The Daqing City, China. *Applied Geography*, 31(2), 600 - 608. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.11.019>