

MONITORING PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN MENGUNAKAN CITRA SATELIT SENTINEL 1 DI DAS WANGGU KOTA KENDARI

Feri Fadlin^{1*}, Muhammad Arsyad Thaha², Farouk Maricar²,
dan Mukhsan Putra Hatta²

¹Jurusan Teknik dan Informatika, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda

²Departemen Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Makassar

*ferifadlin@politanisamarinda.ac.id

Pemasukan: 18 April 2021 Perbaikan: 31 Mei 2021 Diterima: 2 Juni 2021

Intisari

Perubahan penggunaan lahan pada Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan salah satu isu penting bagi penyusunan kebijakan. Monitoring perubahan penggunaan lahan pada DAS membutuhkan data dan informasi spasial dan bersifat multitemporal. Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah dengan pemanfaatan citra satelit Sentinel 1 yang dapat diperoleh secara gratis. Sentinel 1 merupakan satelit milik *European Space Agency* (ESA) yang diluncurkan pada tahun 2014 dengan membawa sensor *Synthetic Aperture Radar* (SAR). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola efektivitas pemanfaatan SAR untuk pemantauan perubahan penggunaan lahan di DAS Wanggu. Pengumpulan dan analisis awal data dilakukan menggunakan *Google Earth Engine* (GEE) yang merupakan *platform* berbasis *cloud* data dengan arsip data berskala dunia yang memberikan kesempatan kepada pengguna untuk mengakses dan menganalisis data secara *online* dan gratis. Hasil penelitian ini memberikan informasi bahwa pemanfaatan teknologi SAR dapat digunakan untuk pemantauan perubahan penggunaan lahan pada DAS. Hasil dari pengolahan citra SAR memberikan informasi terkait rona, warna dan pola penggunaan lahan tanpa dipengaruhi oleh kondisi cuaca khususnya tutupan awan. Berdasarkan hasil pengujian dengan menggunakan citra satelit resolusi tinggi diperoleh bahwa citra satelit Sentinel 1 memiliki akurasi 76,13% khususnya pada klasifikasi penggunaan lahan permukiman.

Kata Kunci : Sentinel-1, *Synthetic Aperture Radar* (SAR), *Google Earth Engine* (GEE), *Maximum Likelihood*

Latar Belakang

Deteksi perubahan penggunaan lahan dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi perubahan lingkungan terkait dengan laju urbanisasi, konversi lahan hutan dan ekspansi lahan pertanian (Zurqani et al., 2018). Perubahan penggunaan lahan pada Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan salah satu isu strategis dalam penyusunan kebijakan pengelolaan sumber daya air. Kendala yang sering ditemui di lapangan adalah ketersediaan data dan informasi serta alat analisis. Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah dengan pemanfaatan citra satelit

penginderaan jauh untuk pemetaan penggunaan lahan dalam wilayah yang luas (Clerici et al., 2017).

Identifikasi perubahan penggunaan lahan dapat dilakukan dengan metode survei lapangan dan pemanfaatan data penginderaan jauh (Sica et al., 2019). Saat ini pemanfaatan citra satelit telah banyak dilakukan untuk pemantauan sumber daya alam dan perencanaan pembangunan (Fadlin et al., 2020). Citra satelit memberikan peluang untuk melakukan analisis wilayah secara spasial dan multitemporal dengan mencakup wilayah yang luas dalam waktu yang relatif lebih singkat (Fadlin et al., 2020).

Pendekatan penginderaan jauh dalam analisis wilayah dapat dengan menggunakan citra optis maupun citra radar (Ienco et al., 2019). Data citra optis dari citra satelit saat ini masih menjadi pilihan utama bagi pengguna data dari berbagai elemen. Hal ini disebabkan karena citra optis mudah untuk diinterpretasi sebab menunjukkan warna, rona dan penampakan yang sebenarnya dari objek yang terekam (*true colour*). Berbeda dengan citra radar atau *Synthetic Aperture Radar* (SAR) yang tidak menampilkan *true colour* atau hanya berupa penampakan hitam putih, sehingga membutuhkan penguasaan teknologi yang lebih untuk dapat melakukan interpretasi. Namun, kendala yang dihadapi dari pemanfaatan citra optis adalah kondisi cuaca atau awan sangat mempengaruhi tampilan objek yang terekam oleh satelit. Hal ini berbeda dengan citra SAR yang tidak dipengaruhi oleh kondisi cuaca, sebab gelombang yang dipancarkan dapat menembus awan, sehingga tetap dapat merekam kondisi objek dipermukaan dalam kondisi cuaca apapun.

Analisis perubahan penggunaan lahan dengan menggunakan citra satelit optis memiliki keterbatasan atau kendala terkait kondisi cuaca. Pemanfaatan data SAR dapat menjadi alternatif yang baik untuk analisis perubahan penggunaan lahan pada DAS, khususnya untuk wilayah yang memiliki tutupan awan tinggi. Keunggulan utama pemanfaatan data SAR adalah tidak terpengaruh oleh kondisi cahaya matahari dan awan karena menggunakan sistem penginderaan jauh aktif. Data dan informasi yang dihasilkan oleh SAR sangat bermanfaat ketika kondisi cuaca dan cahaya tidak baik karena dapat beroperasi di kondisi langit berawan, siang dan malam.

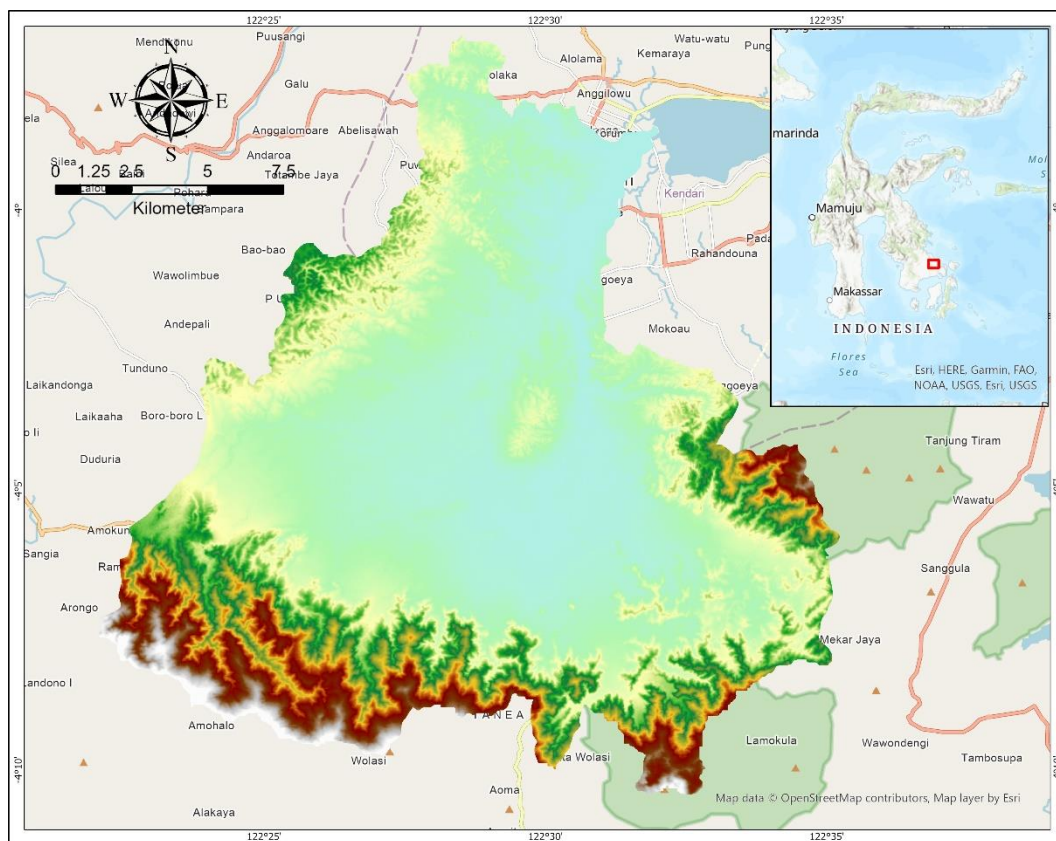
Citra satelit Sentinel 1 milik *European Space Agency* (ESA) merupakan hasil perekaman permukaan bumi dengan memanfaatkan sensor SAR (Malenovsky et al., 2012). Citra satelit Sentinel 1 tersedia secara gratis dan dapat diakses melalui portal milik ESA. Peningkatan informasi akses data dan teknologi saat ini juga memungkinkan untuk mengases data citra satelit Sentinel 1, mengolah dan menganalisis menggunakan platform gratis *Google Earth Engine* (GEE). GEE yang merupakan *platform* berbasis *cloud* data dengan arsip data berskala dunia yang memberikan kesempatan kepada pengguna untuk mengakses dan menganalisis data secara online dan gratis (Ghorbanian et al., 2020).

Berdasarkan uraian latar belakang dan permasalahan di atas maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui atau sebagai kajian awal dalam memonitoring perubahan penggunaan lahan pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Wanggu di Kota Kendari dengan menggunakan citra satelit Sentinel 1.

Metodologi Studi

Lokasi Studi

Dalam kaitannya dengan pengelolaan sumber daya air, tidak terlepas dari peran Daerah Aliran Sungai (DAS) sebagai daerah tangkapan air yang juga berperan dalam menyediakan kebutuhan air bagi manusia. Penelitian ini dilaksanakan di DAS Wanggu Kota Kendari. Batas hidrologi DAS diperoleh dari hasil pengolahan data *Digital Elevation Model* Nasional (DEMNAS) dengan melalui beberapa tahapan. Pemanfaatan data DEMNAS untuk pembuatan batas DAS dilakukan sebab saat ini data DEMNAS merupakan data digital topografi yang memiliki resolusi yang baik yaitu 0,27 Arcsecond atau 8,4 meter, sehingga sangat baik digunakan untuk menyusun batas DAS. Berdasarkan hasil analisis data DEMNAS dan pengolahan menggunakan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) maka diperoleh batas DAS Wanggu sekaligus menjadi objek kajian pada penelitian ini (Gambar 1)



Gambar 1. Peta Daerah Aliran Sungai (DAS) Wanggu Kota Kendari

Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah produk Sentinel 1 tahun 2014 hingga tahun 2020 dengan format *Interferometric Wide Swath* (IW) data level 1 *Ground Range Detected* (GRD). Data yang digunakan telah diproyeksikan menggunakan model elipsoid bumi, secara detail format data Sentinel 1 IW dapat dilihat pada Tabel 1.

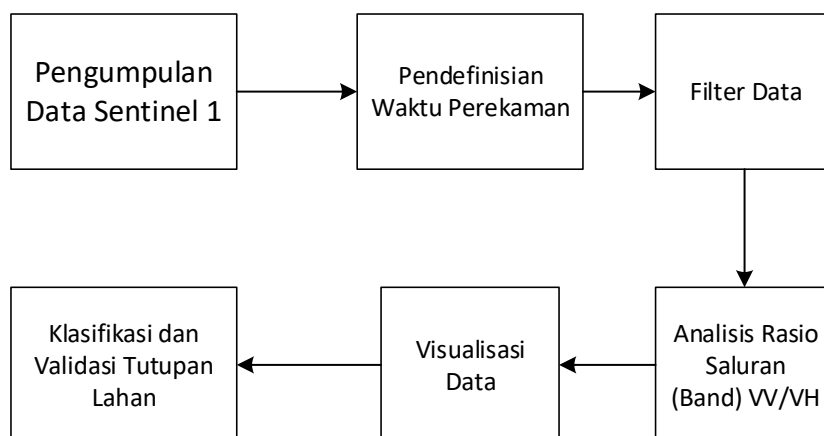
Format data Sentinel 1 IW

Karakteristik	Value
Swath Width	250 km
Incidence angle range	29.1 ⁰ – 46.0 ⁰
Elevation beams	3
Azimuth steering angle	± 0.6°
Azimuth and range looks	Single
Polarization options	Dual HH+HV, VV+VH Single HH, VV
Maximum Noise Equivalent Sigma Zero (NESZ)	-22 dB
Radiometric stability	0.5 dB (3σ)
Radiometric accuracy	1 dB (3σ)
Phase error	5°

Sumber: (Fathoni et al., 2017b)

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan *platform Google Earth Engine (GEE)*. GEE merupakan *platform* berbasis *cloud* yang menawarkan kemampuan menganalisis data dalam jumlah yang besar dan berskala dunia. Komponen utama dalam analisa data menggunakan GEE terdiri atas Dataset, APIs dan Code Editor. Tahapan dalam analisis data untuk monitoring perubahan penggunaan lahan menggunakan GEE dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahapan dalam pengolahan data di *platform Google Earth Engine*

Script pada *Code editor* yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada masing-masing tahapan yang dilakukan dalam pengolahan data. *Script* pada *Code Editor* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.

Validasi data hasil klasifikasi menggunakan citra satelit Sentinel 1 dilakukan dengan menggunakan fit test (F) (Bates & Roo, 2000) sebagai berikut:

$$F = \frac{M1 \cap M2}{M1 \cup M2} \times 100\% \quad (1)$$

dimana $M1$ dan $M2$ masing-masing adalah cakupan area dalam satuan hektar (ha) penggunaan lahan berdasarkan hasil klasifikasi SAR dan citra satelit resolusi tinggi

sebagai media validasi, dan \cap serta \cup masing-masing adalah irisan dan gabungan luasan area klasifikasi SAR dan citra satelit resolusi tinggi. F merupakan nilai yang mengindikasikan akurasi hasil klasifikasi dari citra satelit Sentinel 1 dengan rentang nilai $F < 50\%$ (akurasi rendah), $50\% \leq F < 75\%$ (sedang) dan $F \geq 75\%$ (akurasi baik).

Tabel 2. Tahapan prosedur pengolahan data Citra Satelit Sentinel 1 menggunakan *Google Earth Engine*

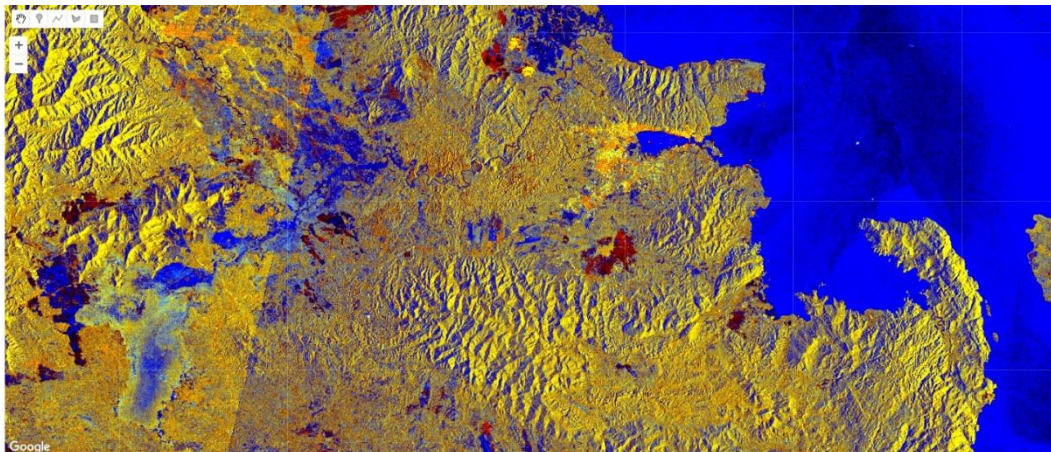
No	Tahapan Pengolahan Data	Script
1.	Pengumpulan data Sentinel 1	<code>var ic = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S1_GRD")</code>
2.	Pendefinisian waktu perekaman citra sebagai rentang waktu perubahan penggunaan lahan	<code>var date_start = ee.Date("2019-07-17") var date_end = ee.Date("2019-08-17")</code>
3.	Penerapan filter waktu untuk jenis data VV-VH, Instrumen Mode dan <i>masking</i> file citra satelit	<code>var ic_vvvh = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S1_GRD').filterDate(date_start,date_end)</code>
4.	Melakukan perhitungan dengan membandingkan data saluran VV dan VH dengan membuat band rasio	<code>var new_image = ee.Image(image) var i_ratio = image.select("VV").divide(image.select("VH")) i_ratio = i_ratio.rename("VV/VH") new_image = new_image.addBands(i_ratio) return new_image</code>
5.	Menambahkan data band ratio VV/VH ke data <code>ic_vvvh</code>	<code>ic_vvvh = ic_vvvh.map(add_ratio_band)</code>
6.	Memilih orbit satelit	<code>var ic_vvvh_desc = ic_vvvh.filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass', 'DESCENDING'));</code>
7.	Visualisasi data hasil analisa GEE	<code>var MinVV = -12 var MaxVV = -5 var MinVH = -18 var MaxVH = -11 var MinRatio = 0.5 var MaxRatio = 0.7 var bands = ["VV","VH","VV/VH"]</code>
8.	Menampilkan data ke layer	<code>Map.addLayer(ic_vvvh_desc, {bands:bands, min:[MinVV, MinVH, MinRatio], max:[MaxVV, MaxVH, MaxRatio]}, "S1e")</code>

Sumber: (Bengtsson et al., 2021)

Hasil Studi dan Pembahasan

Pengolahan data citra satelit Sentinel 1 menggunakan GEE menghasilkan data visualisasi DAS Wanggu dengan rona warna yang berbeda-beda. Perbedaan rona warna tersebut mengindikasikan perbedaan pantulan spektral di permukaan sekaligus menunjukkan adanya perbedaan tutupan lahan. Perbedaan rona warna tersebut kemudian diinterpretasikan dengan bantuan *software* GIS dan citra satelit

resolusi tinggi untuk memperoleh kelas penggunaan lahan pada lokasi penelitian Daerah Aliran Sungai Wanggu. Otput hasil pengolahan citra satelit Sentinel 1 menggunakan GEE dapat dilihat pada Gambar 3.



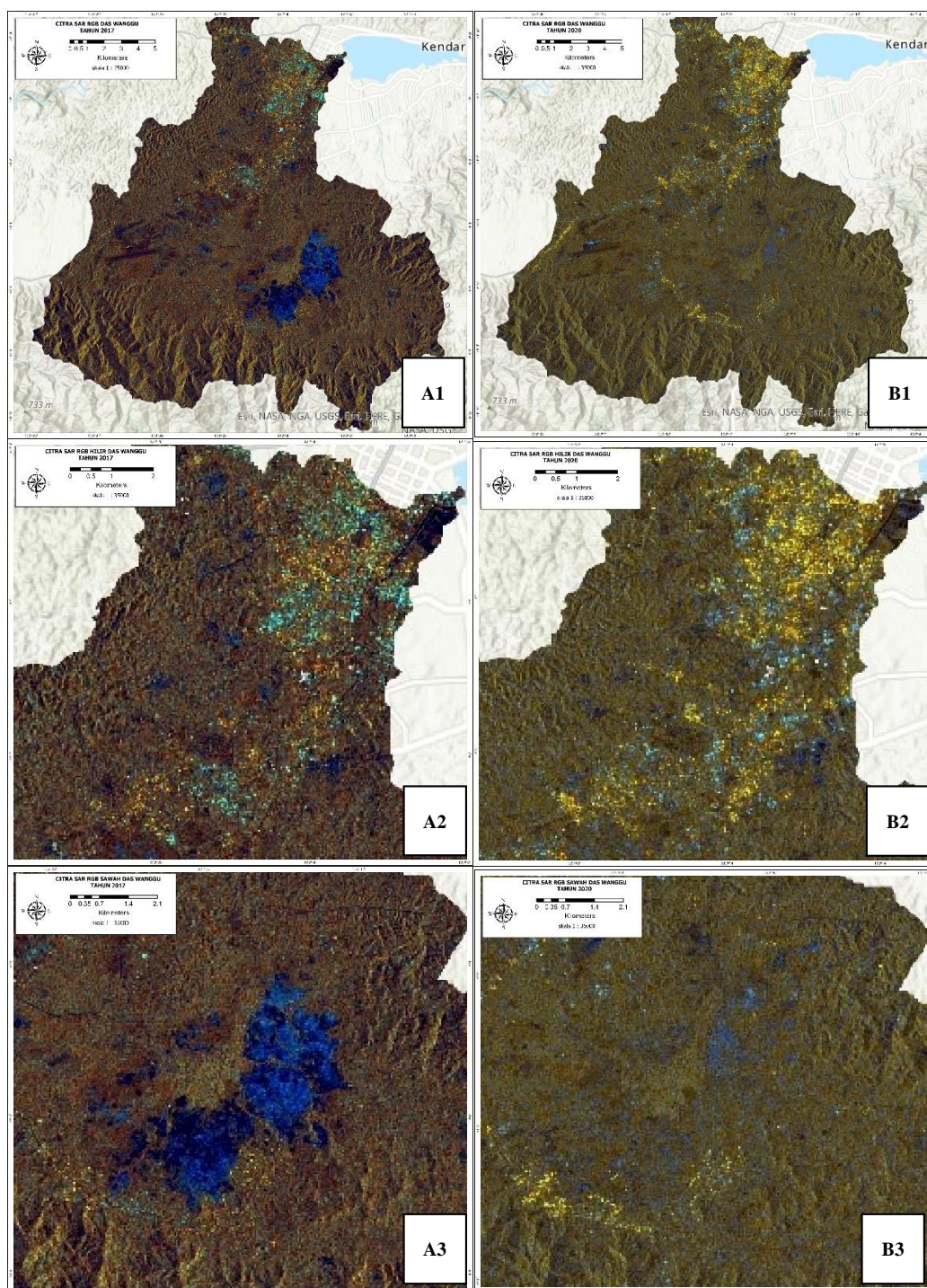
Gambar 3. Citra Satelit Sentinel 1 hasil pengolahan menggunakan GEE

Tampilan citra SAR yang dihasilkan memiliki kareakteristik yang berbeda dengan citra optis. Hal tersebut disebabkan SAR menggunakan sistem penginderaan jauh aktif, sedangkan citra optis menggunakan sistem penginderaan jauh pasif. Perbedaan utama dari citra satelit yang dihasilkan adalah tampilan SAR berupa kekasaran, tekstur, dan rona yang dihasilkan oleh pantulan balik gelombang yang dipancarkan oleh sensor (*backscatter*), sedangkan pada citra optis merupakan pantulan objek dari sinar matahari sebagai sumber energi utama dalam sistem penginderaan jauh pasif. Berdasarkan perbedaan tersebut, maka teknik interpretasi yang digunakan juga berbeda.

Teknik interpretasi yang dilakukan untuk mempermudah interpretasi data SAR adalah dengan komposit *Red Green Blue* (RGB) secara temporal untuk melakukan monitoring perubahan pola penggunaan lahan. Interpretasi data SAR juga memerlukan pemahaman lebih khususnya terkait dengan perubahan area persawahan, karena sawah memiliki fase pertumbuhan dimana tiap fasenya memiliki nilai *backscatter* yang berbeda (Dineshkumar et al., 2019). Penyusunan komposit RGB dilakukan dengan menggunakan 3 *band*, yaitu *band* merah menggunakan polarisasi VV, *band* hijau menggunakan polarisasi VH serta *band* hijau menggunakan polarisasi VV/VH. RGB multitemporal pada lokasi kajian dapat dilihat pada Gambar 4.

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data, terlihat bahwa terdapat rona warna yang berbeda pada beberapa wilayah yang tampak pada citra. Gambar A1 dan B1 menampilkan kondisi tutupan lahan secara keseluruhan pada DAS Wanggu yang menunjukkan adanya perbedaan rona warna. Perbedaan tersebut kemudian di fokuskan pada dua wilayah yaitu kawasan permukiman di wilayah hilir (A2 dan B2) serta kawasan Persawahan di wilayah hulu (A3 dan B3). Pada kawasan permukiman di wilayah hilir, terlihat adanya peningkatan rona warna kuning yang merupakan kawasan permukiman dalam rentang waktu 2017 sampai 2020. Pada

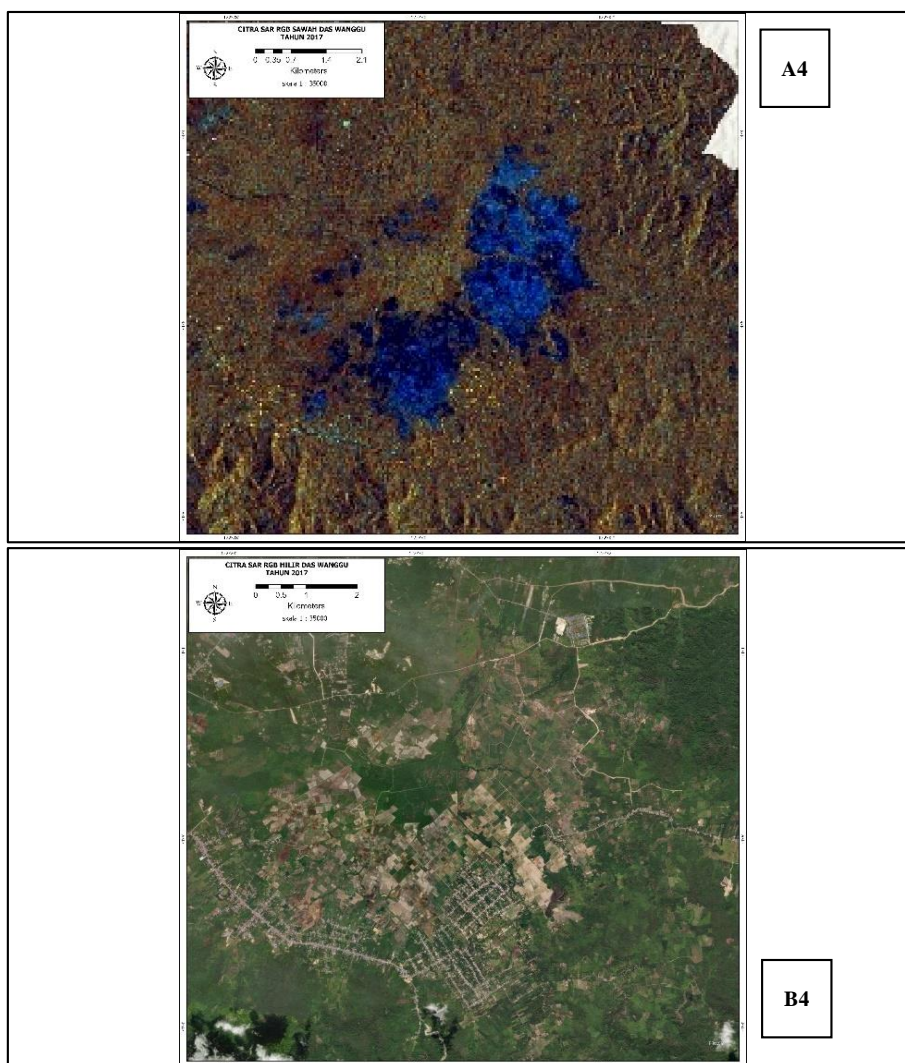
wilayah hulu, warna biru pada data SAR komposit RGB yang dihasilkan menandakan penutupan lahan dengan jenis sawah.



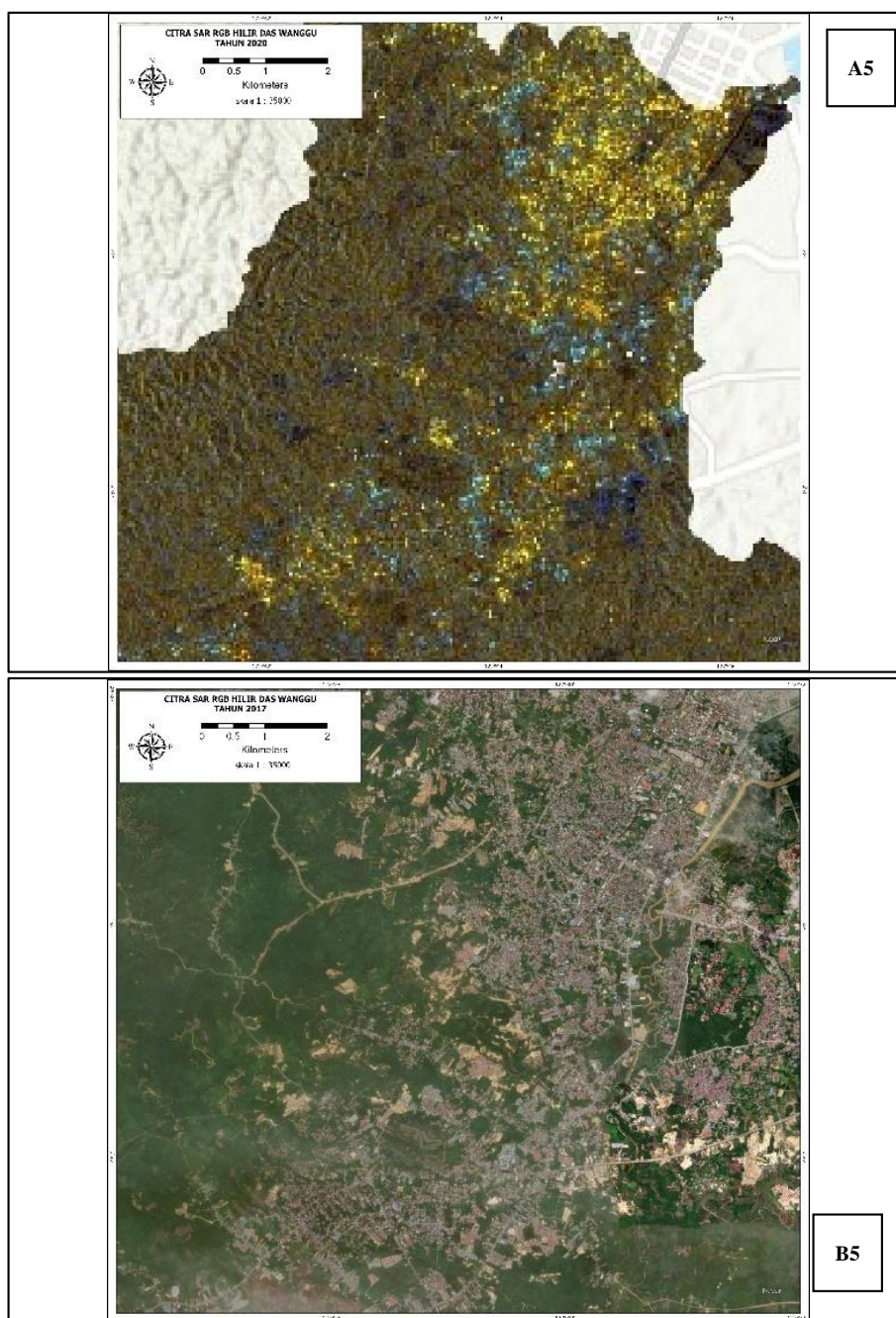
Gambar 4. Komposit RGB Sentinel 1 SAR pada DAS Wanggu

Data tersebut diperoleh berdasarkan hasil validasi komposit data RGB SAR dengan citra satelit resolusi tinggi pada lokasi yang sama (Gambar 4). Hal ini juga sesuai dengan hasil penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Fathoni et al. (2017a) yang

juga mengkaji tentang kajian awal pemanfaatan data radar Sentinel 1 untuk pemetaan lahan sawah. Dalam penelitian terdahulu dikemukakan bahwa warna rona biru gelap pada lahan sawah menunjukkan nilai *backscatter* yang rendah karena sinyal yang dipantulkan tidak kembali pada sensor. Sebaliknya, area persawahan akan memantulkan warna relatif lebih cerah dengan bercak-bercak putih yang menandakan adanya nilai *beckscatter* yang diterima oleh sensor, karena sawah sudah ditumbuhi tanaman atau dalam kondisi kering. Secara visual, dapat dilihat pada komposit RGB daerah persawahan pada tahun bulan Februari 2017 dan November 2020 menunjukkan adanya perbedaan namun tidak dapat diidentifikasi sebagai perubahan luasan. Perbedaan tersebut disebabkan waktu perekaman pada tahun 2017 adalah saat area persawahan belum dipenuhi oleh tumbuhan, sedangkan pada tahun 2020 telah dipenuhi oleh tumbuhan. Sebagai kontrol untuk melihat akurasi klasifikasi RGB SAR, maka dilakukan verifikasi menggunakan citra satelit resolusi tinggi. Perbandingan antara hasil klasifikasi RGB SAR dan citra satelit resolusi tinggi dapat dilihat pada gambar 5 dan 6.

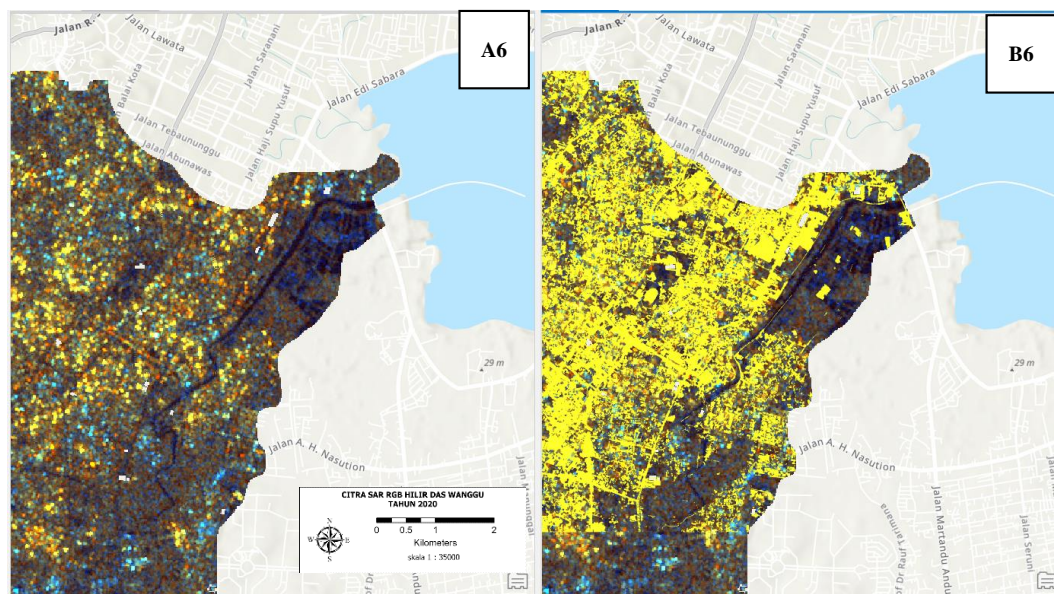


Gambar 5. Verifikasi hasil RGB SAR area persawahan



Gambar 6. Verifikasi hasil RGB SAR dengan Citra Satelit resolusi tinggi area pemukiman

Perbandingan hasil klasifikasi SAR dan citra satelit resolusi tinggi dilakukan dengan terlebih dahulu membatasi area validasi dilakukan dengan mengklasifikasikan kawasan permukiman sebagai objek yang paling mudah untuk diinterpretasi. Validasi dilakukan pada wilayah hilir dengan membandingkan area permukiman hasil klasifikasi menggunakan Citra Sentinel 1 dengan hasil klasifikasi citra satelit resolusi tinggi (Gambar 7).



Gambar 7. Perbandingan hasil klasifikasi lahan permukiman menggunakan data SAR dan Citra Satelit resolusi tinggi

Luas total area *sampling* yang digunakan untuk menguji validasi hasil klasifikasi tutupan lahan permukiman citra Sentinel 1 yang terlihat dalam Gambar A6 dan B6 adalah $M1 \cup M2$ adalah 2196,98 Ha. Luas irisan kawasan permukiman $M1 \cap M2$ adalah 1672,561 Ha. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai F sebesar 76,13%. Nilai tersebut termasuk dalam kategori baik yang artinya hasil klasifikasi menggunakan citra Satelit Sentinel 1 memiliki kesamaan 76,13% dengan citra satelit resolusi tinggi dengan waktu perekaman masing-masing citra adalah tahun 2020. Hasil tersebut sekaligus menunjukkan bahwa citra Satelit Sentinel 1 dapat digunakan untuk monitoring perubahan penggunaan lahan pada DAS disaat citra satelit optis mengalami kendala akibat kondisi cuaca (tutupan awan).

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Citra satelit Sentinel 1 dapat digunakan untuk monitoring perubahan penggunaan lahan pada Daerah Aliran Sungai. Keunggulan utama dari citra Satelit Sentinel 1 adalah kemampuannya untuk merekam objek dipermukaan bumi dalam kondisi cuaca apapun yang dapat dilihat dari kondisi citra yang minim dari gangguan awan. Hasil analisis data citra satelit sentinel 1 SAR diperoleh informasi bahwa penggunaan data SAR temporal akan mempermudah interpretasi penggunaan lahan khususnya pada lahan sawah karena *backscatter* yang dihasilkan berbeda, sehingga rona warna yang dihasilkan juga berbeda pada tiap fase tanaman pada lahan sawah. Pada saat fase awal tanaman dimana lahan sawah masih didominasi oleh air memiliki rona warna gelap, sehingga sangat mudah untuk diinterpretasi. Sebaliknya, ketika sudah memasuki masa tumbuh atau ditumbuhi oleh tanaman

memiliki rona warna yang cenderung cerah atau menyerupai lahan dengan tutupan vegetasi pada umumnya. Hasil klasifikasi tutupan lahan permukiman citra Satelit Sentinel 1 pada wilayah hilir DAS Sungai Wanggu memiliki kemiripan 76,13% dengan citra satelit resolusi tinggi (CSRT) yang menunjukkan akurasi dari pemanfaatan citra satelit Sentinel 1 cukup baik dan mewakili kondisi objek pemanfaatan lahan di lapangan.

Saran

Sebagai saran dalam penelitian selanjutnya, dibutuhkan uji hasil klasifikasi Sentinel 1 berdasarkan kondisi tutupan lahan selain permukiman. Selain itu, metode klasifikasi perlu dikembangkan khususnya dengan metode pembelajaran mesin untuk mengenali objek hasil citra satelit agar dapat diperoleh hasil yang lebih baik di masa yang akan datang.

Daftar Referensi

- Bates, P. D., & Roo, A., 2000. A Simple Raster-Based Model for Flood Inundation Simulation. *Journal of Hydrology*, 236, 54–77. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00278-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00278-X)
- Bengtsson, Z., Torres-pérez, J., & Mccullum, A., 2021. Part 3: Using Google Earth Engine for Land Monitoring Applications. *NASA Applied Remote Sensing Training Program (ARSET)*. <https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/english/arset-using-google-earth-engine-land-monitoring-applications>
- Clerici, N., Valbuena Calderón, C. A., & Posada, J. M., 2017. Fusion of sentinel-1a and sentinel-2A data for land cover mapping: A case study in the lower Magdalena region, Colombia. *Journal of Maps*, 13(2), 718–726. <https://doi.org/10.1080/17445647.2017.1372316>
- Dineshkumar, C., Kumar, J. S., & Nitheshnirmal, S., 2019. *Rice Monitoring Using Sentinel-1 Data in the Google Earth Engine Platform*. June 2019, 4. <https://doi.org/10.3390/iecg2019-06206>
- Fadlin, F., Kurniadin, N. & Prasetya, A. S., 2020. Analisis Indeks Kekritisn Lingkungan di Kota Makassar Menggunakan Citra Satelit Landsat 8 OLI/Tirs. *Jurnal ELIPSOIDA*, 3(1), 55–63.
- Fadlin, F., Suparjo, Sajiah, A. Ma., Ransi, N., & Nangi, J., 2020. Analisis spasiotemporal Indeks Kekritisn Lingkungan menggunakan algoritma Land Surface Temperature dan Normalized Difference Vegetation Index di Kota Makassar. *semanTIK* 6(1), 89–98.
- Fathoni, M. N., Chulafak, G. A. & Kushardono, D., 2017. Kajian Awal Pemanfaatan Data Radar Sentinel-1 untuk Pemetaan Lahan Baku Sawah di Kabupaten Indramayu Jawa Barat. *Seminar Nasional Penginderaan Jauh Ke-4, October*, 179–186.

- Ghorbanian, A., Kakooei, M., Amani, M., Mahdavi, S., Mohammadzadeh, A. & Hasanlou, M., 2020. Improved land cover map of Iran using Sentinel imagery within Google Earth Engine and a novel automatic workflow for land cover classification using migrated training samples. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 167(April), 276–288. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.07.013>
- Ienco, D., Interdonato, R., Gaetano, R. & Ho Tong Minh, D., 2019. Combining Sentinel-1 and Sentinel-2 Satellite Image Time Series for land cover mapping via a multi-source deep learning architecture. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 158(February), 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.09.016>
- Malenovsky, Z., Rott, H., Cihlar, J., Schaepman, M. E., García-Santos, G., Fernandes, R., & Berger, M., 2012. Sentinels for science: Potential of Sentinel-1, -2, and -3 missions for scientific observations of ocean, cryosphere, and land. *Remote Sensing of Environment*, 120, 91–101. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.09.026>
- Sica, F., Pulella, A., Nannini, M., Pinheiro, M., & Rizzoli, P., 2019. Repeat-pass SAR interferometry for land cover classification: A methodology using Sentinel-1 Short-Time-Series. *Remote Sensing of Environment*, 232(June), 111277. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111277>
- Zurqani, H. A., Post, C. J., Mikhailova, E. A., Schlautman, M. A., & Sharp, J. L., 2018). Geospatial analysis of land use change in the Savannah River Basin using Google Earth Engine. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 69(September 2017), 175–185. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.12.006>.