

KETELITIAN NILAI TINGGI *DIGITAL SURFACE MODEL* DENGAN METODE *INTERFEROMETRIC SYNTHETIC APERTURE RADAR* MENGGUNAKAN CITRA SENTINEL-1

(Studi Kasus: Area Komplek ULM Banjarmasin)

Muhammad Fakhriannor¹, Ir. Achmad Ruchlihadiana T., M.M.².

¹Mahasiswa Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti, Bandung

²Dosen pembimbing 1 Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti, Bandung

ABSTRACT

The advancement of mapping technology has introduced various methods to obtain surface information, one of which is remote sensing using the Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) technique. This method requires accuracy validation in accordance with the Regulation of the Head of BIG No. 15 of 2014. This study aims to evaluate the accuracy of the Digital Surface Model (DSM) generated from Sentinel-1 imagery using the InSAR method by comparing it with the DSM derived from aerial photography as reference data.

The research applied a quantitative approach. The primary data consisted of Sentinel-1 imagery acquired on September 13, 2024, and September 25, 2024, while the comparative data were DSM from aerial photography. The study area was located in the Universitas Lambung Mangkurat Complex, Banjarmasin, with accuracy testing based on 50 sample points distributed across open areas, buildings, and vegetation, as well as 150 sample points covering the overall study area.

The results indicate that the highest accuracy was obtained in open areas with an RMSE of 3.969402437 meters, while the lowest accuracy was found in vegetation areas with an RMSE of 7.973876002 meters. The largest elevation difference occurred in vegetation (13.8636 meters), whereas the smallest was in built-up areas (0.0297 meters). The LE90 test showed values of 6.549117 meters in open areas (class 2), 6.753918 meters in built-up areas (class 2), 9.337902 meters for the overall area (class 3), and 13.156098 meters in vegetation (not meeting the accuracy standards) for 1:25,000 scale mapping. Therefore, the Sentinel-1 DSM derived from InSAR is suitable for use in open and built-up areas, but less appropriate in vegetated areas.

Keywords : *Digital Surface Model, InSAR, Sentinel-1, vertical accuracy, LE90.*

ABSTRAK

Kemajuan teknologi pemetaan menghadirkan berbagai metode untuk memperoleh informasi permukaan bumi, salah satunya penginderaan jauh dengan teknik *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (InSAR). Metode ini memerlukan validasi ketelitian nilai tinggi mengacu pada Peraturan Kepala BIG No. 15 Tahun 2014. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi ketelitian *Digital Surface Model* (DSM) hasil citra sentinel-1 metode InSAR dengan membandingkannya terhadap DSM foto udara sebagai data referensi.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif. Data utama berupa citra Sentinel-1 hasil perekaman 13 September 2024 dan 25 September 2024, sedangkan data pembandingan adalah DSM foto udara. Lokasi penelitian berada di Komplek Universitas Lambung Mangkurat Banjarmasin dengan pengujian akurasi berdasarkan 50 titik sampel pada area terbuka, bangunan, vegetasi dan 150 titik sampel keseluruhan area.

Hasil penelitian menunjukkan paling akurat pada area terbuka dengan RMSE 3,969402437 meter, sedangkan terendah pada vegetasi dengan RMSE 7,973876002 meter. Selisih elevasi terbesar terjadi di vegetasi 13,8636 meter dan terkecil di bangunan 0,0297 meter. Uji LE90 menunjukkan area

terbuka 6,549117 meter (kelas 2), bangunan 6,753918 meter (kelas 2), keseluruhan area 9,337902 meter (kelas 3), sedangkan vegetasi 13,156098 meter (tidak memenuhi standar) peta skala 1:25.000. Dengan demikian, DSM Sentinel-1 hasil InSAR layak digunakan pada area terbuka dan bangunan, namun kurang sesuai untuk area vegetasi.

Kata Kunci : *Digital Surface Model*, InSAR, Sentinel-1, ketelitian nilai tinggi, LE90.

PENDAHULUAN

Nilai tinggi (elevasi) memiliki peran penting dalam berbagai bidang, seperti pemetaan topografi, mitigasi bencana, perencanaan wilayah, hingga pemodelan hidrologi. Salah satu bentuk representasi data elevasi adalah *Digital Surface Model* (DSM) yang menggambarkan permukaan bumi beserta objek-objek di atasnya, seperti bangunan dan vegetasi. Seiring perkembangan teknologi penginderaan jauh, pembuatan DSM dapat dilakukan secara lebih efisien melalui teknik InSAR, khususnya dengan memanfaatkan citra satelit Sentinel-1. InSAR sendiri merupakan teknik penginderaan jauh yang digunakan untuk mengekstraksi informasi tiga dimensi dari permukaan bumi berdasarkan perbedaan fase gelombang radar (Haniah dan Yudo Prasetyo, 2011).

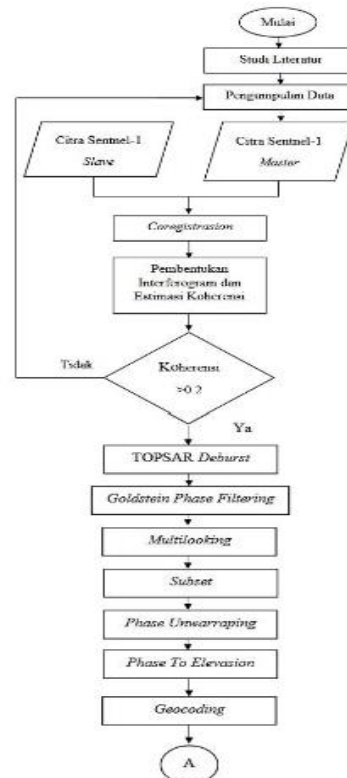
Meskipun metode InSAR telah banyak diterapkan untuk pemetaan, validasi terhadap DSM yang dihasilkan tetap diperlukan guna memastikan kelayakan data elevasi tersebut, terutama dalam pemanfaatannya pada berbagai kebutuhan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat ketelitian DSM hasil pengolahan citra Sentinel-1 menggunakan metode InSAR serta menguji kesesuaiannya dengan standar ketelitian berdasarkan Peraturan Kepala BIG No. 15 Tahun 2014. Sebagai data pembanding, digunakan DSM hasil pemrosesan foto udara yang disertai *orthophoto* kelas 2. *Orthophoto* kelas 2 ini memenuhi spesifikasi ketelitian peta dasar sebagaimana diatur dalam Peraturan Badan Informasi Geospasial (BIG) Nomor 6 Tahun 2018 tentang Perubahan atas Peraturan Kepala BIG Nomor 15 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar.

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh gambaran yang jelas mengenai tingkat ketelitian DSM berbasis InSAR Sentinel-1 serta kelayakannya untuk diaplikasikan dalam kegiatan pemetaan dan analisis spasial.

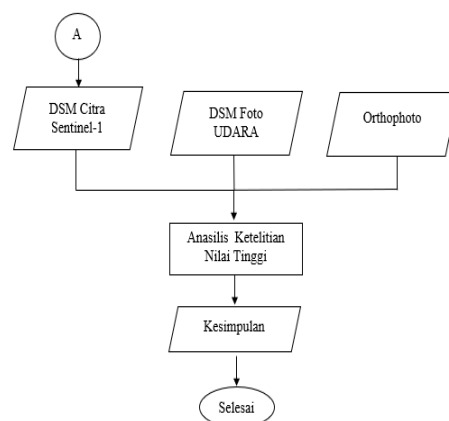
METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan tujuan untuk mengukur tingkat ketelitian nilai tinggi (*elevasi*) dari *Digital Surface Model* (DSM) yang dihasilkan melalui pemrosesan citra Sentinel-1 menggunakan teknik *Interferometric Synthetic*

Aperture Radar (InSAR). Rangkaian penelitian dirancang secara sistematis agar dapat menggambarkan tahapan kegiatan secara jelas. Alur kegiatan tersebut disajikan dalam bentuk diagram alir penelitian :



Gambar 1. Diagram alir Penelitian



Gambar 2. Diagram alir Penelitian

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian tugas akhir ini dilakukan di area kompleks kampus Universitas Lambung Mangkurat Banjarmasin, di Jl. Brigjen H. Hasan Basri Kayu Tangi Banjarmasin Utara, Banjarmasin, 70123 Kalimantan Selatan.



Gambar 3. Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan pengambilan titik sampel untuk menguji perbandingan ketelitian nilai tinggi *Digital Surface Model* (DSM) hasil InSAR dengan *Digital Surface Model* (DSM) yang diperoleh dari hasil pemrosesan foto udara sebagai data referensi, sebanyak 50 titik sampel yang dilakukan pada area terbuka, bangunan, vegetasi. Pengambilan titik sampel ini dilakukan pada wilayah atau lokasi penelitian yang sama dan yang menjadi pembeda hanya pada kategori pengambilan titik sampel.

Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data sekunder. penelitian ini menggunakan dua sumber data utama. Pertama, citra Sentinel-1 yang diunduh melalui situs *Copernicus Data Space Ecosystem* dengan tanggal perekaman 13 September 2024 (master) dan 25 September 2024 (slave), yang dimanfaatkan untuk menghasilkan *Digital Surface Model* (DSM) melalui pemrosesan menggunakan metode *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (InSAR). Kedua, data DSM dan *orthophoto* yang diperoleh dari pihak terkait, yang digunakan sebagai data referensi dalam mengevaluasi ketelitian DSM hasil pengolahan citra Sentinel-1.

Pengolahan Data

Pengolahan data dalam penelitian ini dilakukan secara sistematis melalui beberapa tahapan. Pembuatan *Digital Surface Model* (DSM) dari citra Sentinel-1 menggunakan

metode InSAR diawali dengan pengumpulan data, dilanjutkan estimasi *baseline* untuk melihat hubungan antara citra *master* dan *slave*. Selanjutnya dilakukan evaluasi nilai koherensi pasca *coregistration* dengan pembentukan interferogram. Menurut Handaru Aryo Sunu dkk. (2019), pasangan citra dapat diproses lebih lanjut jika nilai koherensi (γ) > 0,2, sedangkan pada tahap *coregistration* juga dilakukan *Apply Orbit File* untuk koreksi fase ke ketinggian akibat kesalahan horizontal maupun vertikal (Johan Ariyantoni dan Catur Aries Rokhmana, 2020).

Tahapan berikutnya meliputi *TOPS Deburst* untuk menyusun citra, *Goldstein Phase Filtering* untuk mengurangi *noise*, *Multilooking* untuk mengurangi *speckle noise* dan meningkatkan akurasi, serta *Subset* untuk memfokuskan analisis pada wilayah studi. Setelah itu dilakukan *Phase Unwrapping* guna mengubah fase relatif menjadi absolut, diikuti *Phase to Elevation* yang mengonversi fase interferogram menjadi ketinggian serta *terrain correction* menggunakan DEM agar distorsi berkurang (Johan Ariyantoni dan Catur Aries Rokhmana, 2020). Tahap akhir yaitu *Geocoding* untuk mengubah posisi piksel menjadi koordinat geografis. Seluruh proses pengolahan, kecuali *Phase Unwrapping*, dilakukan dengan perangkat lunak SNAP milik ESA, sedangkan *Phase Unwrapping* menggunakan perangkat lunak terbuka SNAPHU di sistem operasi Linux (Handaru Aryo Sunu, Bambang Darmo Yuwono, & Andri Suprayogi, 2019).

Analisis Data

Pada tahap ini dilakukan pengujian akurasi dengan membandingkan nilai tinggi dari *Digital Surface Model* (DSM) dari citra sentinel-1 terhadap DSM dari foto udara. Pengujian menggunakan metode *Root Mean Square Error* (RMSE). RMSE dilakukan untuk mengetahui tingkat ketelitian nilai tinggi DSM hasil pengolahan citra sentinel-1 dengan metode InSAR melalui perbandingan terhadap DSM acuan foto udara. Rumus menghitung RMSE disajikan pada persamaan berikut :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - y_j)^2}{N-1}} \dots\dots\dots 1$$

Dengan y_i = Nilai elevasi dari DSM
 y_j = Nilai elevasi referensi
 N = jumlah titik sampel

Berdasarkan nilai RMSE yang diperoleh dari persamaan 1. Dilanjutkan dengan LE90, LE90 adalah ukuran ketelitian geometrik vertikal yaitu nilai jarak yang menunjukkan bahwa 90% kesalahan atau perbedaan nilai ketinggian objek di peta dengan nilai ketinggian sebenarnya tidak lebih besar daripada nilai jarak tersebut. Nilai LE90 didapatkan dari persamaan berikut:

$$LE90 = 1,6499 \times RMSE \dots\dots\dots 2$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Akurasi Ketelitian Ketelitian Nilai Tinggi Citra Sentinel-1 Metode InSAR Terhadap DSM Foto Udara

Pengujian akurasi ketelitian ketelitian nilai tinggi citra sentinel-1 metode InSAR terhadap DSM foto udara, dibagi menjadi tiga area uji area tersebut diantaranya terbuka, bangunan, vegetasi dan keseluruhan area.

Tabel 1. menunjukkan hasil perhitungan selisih ketinggian (Δh) antara DSM citra sentinel-1 dan DSM foto udara pada area terbuka yang mencakup nilai rata-rata, maksimum, minimum, dan *Root Mean Square Error* (RMSE) sebagai berikut:

Tabel 1. Area Terbuka

Area terbuka			
rata-rata Δh (m)	Δh max (m)	Δh min (m)	RMSE (m)
3.892770063	6.01668	2.41745	3.969402437

Pada area terbuka, diperoleh nilai rata-rata selisih ketinggian (Δh) sebesar 3,892770063 meter, dengan nilai Δh maksimum sebesar 6,01668 meter, Δh minimum sebesar 2,41745 meter, dan nilai RMSE sebesar 3,969402437 meter.

Tabel 2. menunjukkan hasil perhitungan selisih ketinggian (Δh) antara DSM citra sentinel-1 dan DSM foto udara pada area bangunan yang mencakup nilai rata-rata, maksimum, minimum, dan *Root Mean Square Error* (RMSE) sebagai berikut:

Tabel 2. Pada Area Bangunan

Area Bangunan			
rata-rata Δh (m)	Δh max (m)	Δh min (m)	RMSE (m)
-2.46956207	9.95832	0.02967	4.093531764

Pada area bangunan, diperoleh rata-rata selisih ketinggian (Δh) sebesar -2,46956207 meter, dengan nilai Δh maksimum sebesar 9,95832 meter, dan Δh minimum mencapai 0,02967 meter. Nilai nilai RMSE mencapai 4,093531764 meter.

Tabel 3. menunjukkan hasil perhitungan selisih ketinggian (Δh) antara DSM citra sentinel-1 dan DSM foto udara pada area vegetasi yang mencakup nilai rata-rata, maksimum, minimum, dan *Root Mean Square Error* (RMSE) sebagai berikut:

Tabel 3. Pada Area Vegetasi

Area Vegetasi			
rata-rata Δh (m)	Δh max (m)	Δh min (m)	RMSE (m)
-6.47145148	13.8636	0.92845	7.973876002

Pada area vegetasi, diperoleh rata-rata selisih ketinggian (Δh) sebesar -6,47145148 meter, dengan Δh maksimum sebesar 13,8636 meter dan Δh minimum mencapai 0,92845 meter. Nilai RMSE tercatat sebesar 7,973876002 meter.

Tabel 4. menunjukkan hasil perhitungan selisih ketinggian (Δh) antara DSM citra sentinel-1 dan DSM foto udara pada semua area (terbuka, bangunan, vegetasi) yang mencakup nilai rata-rata, maksimum, minimum, dan *Root Mean Square Error* (RMSE) sebagai berikut:

Tabel 4. Pada Semua Area (Terbuka, Bangunan, Vegetasi)

Semua Area			
rata-rata Δh (m)	Δh max (m)	Δh min (m)	RMSE (m)
-1.68274782	13.8636	0.0297	5.659677744

Pada semua area (terbuka, bangunan, vegetasi), diperoleh rata-rata selisih ketinggian (Δh) sebesar -1,68274782 meter, dengan Δh maksimum sebesar 13,8636 meter dan Δh minimum mencapai 0,0297 meter. Nilai RMSE tercatat sebesar 5,659677744 meter. Didapat bahwa selisih nilai tinggi (Δh) terbesar terjadi di area vegetasi sebesar 13,8636 meter, sedangkan

yang terkecil pada area bangunan sebesar 0,0297 meter.

Ketelitian Nilai Tinggi Berdasarkan Standar Peraturan Kepala BIG No. 15 Tahun 2014

Setelah melakukan analisis uji akurasi ketelitian nilai tinggi dari DSM hasil foto udara dengan DSM hasil pengolahan citra sentinel-1 menggunakan metode InSAR, dilakukan juga perhitungan nilai LE90 yang nantinya diketahui ketelitian nilai tinggi apakah sesuai dengan standar Peraturan Kepala BIG No. 15 Tahun 2014.

Tabel uji ketelitian nilai tinggi dapat di klasifikasikan berdasarkan peta ketelitian rupa bumi. Pada skala peta 1:25.000 ketelitian dibagi menjadi tiga kelas dengan batas toleransi sebagai berikut:

1. Kelas 1 : $LE90 \leq 5$ meter
2. Kelas 2 : $LE90 \leq 7,5$ meter
3. Kelas 3 : $LE90 \leq 10$ meter

Tabel 5. menunjukkan hasil uji ketelitian nilai tinggi LE90 dari DSM Sentinel-1 menggunakan metode InSAR pada berbagai kategori area.

Tabel 5. Hasil Uji Ketelitian Nilai Tinggi

No	Kategori Area	LE90 (m)	Klasifikasi
1	Area Terbuka	6.549117	Kelas 2
2	Area Bangunan	6.753918	Kelas 2
3	Area Vegetasi	13.15609	Tidak memenuhi standar
4	Semua Area	9.337902	Kelas 3

Berdasarkan tabel 4.7, terlihat bahwa area terbuka dan bangunan memiliki nilai LE90 masing-masing 6,549117 meter dan 6,753918 meter, sehingga termasuk Kelas 2 sesuai Perka BIG No. 15 Tahun 2014. Area vegetasi memiliki LE90 13,156098 meter, yang tidak memenuhi standar ketelitian peta skala 1:25.000. Secara keseluruhan, seluruh area menunjukkan LE90 sebesar 9,337902 meter, termasuk dalam Kelas 3. Ketelitian nilai tinggi DSM hasil InSAR citra sentinel-1 terhadap data referensi menunjukkan perbedaan nilai ketelitian yang bervariasi tergantung pada jenis area.

KESIMPULAN

Kesimpulan pada analisis ketelitian nilai tinggi DSM dari citra sentinel-1 menggunakan metode InSAR, terhadap data DSM referensi penelitian ini sebagai berikut :

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat akurasi ketelitian nilai tinggi *Digital Surface Model* (DSM) yang dibuat menggunakan citra sentinel-1 sangat bergantung pada jenis areanya. Area terbuka dan bangunan menunjukkan akurasi yang paling baik dan konsisten. Hal ini berbanding terbalik dengan area vegetasi yang memiliki akurasi paling rendah dan perbedaan ketinggian yang paling besar. Perbedaan ini dipengaruhi oleh rapatnya vegetasi yang padat. Meskipun metode ini berhasil mendapatkan nilai yang mendekati data acuan di beberapa titik, adanya perbedaan besar di titik lain menunjukkan bahwa DSM ini lebih cocok digunakan untuk memetakan area terbuka dan bangunan, dan tidak disarankan untuk area dengan vegetasi lebat.
2. Berdasarkan uji *Linear Error* 90% (LE90) terhadap standar Peraturan Kepala BIG No. 15 Tahun 2014, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa DSM yang dihasilkan memenuhi standar ketelitian peta skala 1:25.000 pada sebagian besar area. Secara spesifik, area terbuka dan bangunan masuk dalam klasifikasi Kelas 2, sementara keseluruhan area penelitian diklasifikasikan sebagai Kelas 3. Namun, area vegetasi menjadi satu-satunya yang tidak memenuhi standar ketelitian yang disyaratkan. Dengan demikian, DSM ini sangat sesuai untuk aplikasi pemetaan di area terbuka dan bangunan, namun tidak direkomendasikan untuk area yang memiliki tutupan vegetasi padat.

SARAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, saran dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Disarankan menggunakan data referensi dengan tingkat ketelitian yang lebih tinggi, seperti hasil pengukuran langsung di lapangan menggunakan alat survei

- seperti total station, untuk meningkatkan akurasi validasi DSM hasil pengolahan metode InSAR.
2. Untuk penelitian selanjutnya analisis area yang lebih luas dan bervariasi tidak hanya pada area terbuka, bangunan, dan vegetasi
 3. Penggunaan laptop atau komputer yang memiliki yang memadai agar dalam menjalankan aplikasi dapat berjalan lancar dan efisien.
 4. Diperlukan kajian lebih lanjut terkait pembuatan DSM menggunakan metode lain sebagai pembandingan terhadap metode InSAR, guna mengevaluasi keunggulan dan keterbatasan masing-masing pendekatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyantoni, J., & Rokhmana, C. A. (2020). Evaluasi polarisasi citra SAR (SYNTHETIC APERTURE RADAR) untuk klasifikasi obyek tutupan lahan. *Elipsoida: Jurnal Geodesi dan Geomatika*, 3(01), 22-29.
- Augustan. (2010). *Mengamati perubahan gunung api di Indonesia dengan metode InSAR*. Indonesia.
- Badan Informasi Geospasial Indonesia. (2014). *Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial No. 15 Tahun 2014 tentang pedoman teknis ketelitian peta dasar*.
- Hadi, B. S. (2007). *Dasar-dasar fotogrametri*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Haniah, H., & Prasetyo, Y. (2011). Pengenalan teknologi radar untuk pemetaan spasial di kawasan tropis. *Teknik*, 32(2), 156–162.
- Hirt, C. (2015). Digital terrain models. In E. W. Grafarend (Ed.), *Encyclopedia of geodesy* (pp. 1–10). Berlin: Springer.
- Husna, S. N., Subiyanto, S., & Hani'ah, H. (2016). Penggunaan parameter orientasi eksternal (EO) untuk optimalisasi digital triangulasi fotogrametri untuk keperluan ortofoto. *Proceeding FIT-ISI 2016*.
- Julzarika, A. (2009). Perbandingan teknik orthorektifikasi citra satelit SPOT 5 wilayah Semarang dengan metode Digital Mono Plotting (DMP) dan metode Rational Polynomial Coefficients (RPCs). *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Citra Digital*, 6, 11–21.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2004). *Remote Sensing and Image Interpretation*. New York: John Wiley & Sons.
- Lukiawan, R., Purwanto, E. H., & Ayundyahrini, M. (2019). Standar koreksi geometrik citra satelit resolusi menengah dan manfaat bagi pengguna. *Jurnal Standardisasi*, 21(1), 45-54.
- Maharani, M. (2016). Kajian proses ortorektifikasi citra satelit resolusi tinggi multiple image untuk pemetaan skala besar. *Proceeding FIT-ISI 2016*.
- Meyer, F. J., & Carroll, M. D. (2022, April 19). *Mapping Crops and their Biophysical Characteristics with Polarimetric Synthetic Aperture Radar and Optical Remote Sensing - Part 2: Polarimetry Practical – SAR Polarimetry with Sentinel-1, RCM, & SAOCOM Imagery for Agriculture* [Materi Pelatihan/Presentasi]. NASA Applied Sciences. https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2022-04/CropMonitoring_Part2.pdf
- Natadikara, R. (2020). *Analisis Deformasi Gunung Anak Krakatau Menggunakan Metode Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR)* (Tugas Akhir Sarjana). Institut Teknologi Sumatera.
- Natsir. (2014). *Geometri Akuisisi Data Radar*. Bahan Ajar/Modul Kuliah (tidak dipublikasikan).
- Nugroho, S. H. (2013). Prediksi luas genangan pasang surut (rob) berdasarkan analisis data spasial di Kota Semarang, Indonesia. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 4(1), 71–87.
- Purwanto, T. H. (2015). *Digital terrain modelling*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Sadono, R. (2018). Prediksi lebar tajuk pohon dominan pada pertanaman jati asal kebun benih klon di Kesatuan Pemangkuan Hutan Ngawi, Jawa Timur. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 12(2),

- 127-141.
- Sari, D. R., & Cahyono, A. B. (2016). *Analisa Geometrik 3D True orthophoto Data LiDAR* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Semedi, B., Rijal, S. S., Sambah, A. B., & Isdianto, A. (2021). *Pengantar Penginderaan Jauh Kelautan*. Universitas Brawijaya Press.
- Suni, H. A., Yuwono, B. D., & Suprayogi, A. (2019). Analisis ketelitian DSM Kota Semarang dengan metode InSAR menggunakan citra Sentinel-1. *Jurnal Geodesi Undip*, 8(3), 17–26.
- Susetyo, D. B., & Perdana, A. P. (2015). Uji ketelitian digital surface model (DSM) sebagai data dasar dalam pembentukan kontur peta Rupabumi Indonesia (RBI). In *Seminar Nasional Penginderaan Jauh* (pp. 1–8).
- Sutanto. (1994). *Penginderaan jauh* (Jilid 1–2). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Syahroni, M. I. (2022). Prosedur penelitian kuantitatif. *EJurnal Al Musthafa*, 2(3), 43–56.
- Syauqani, A., Subiyanto, S., & Suprayogi, A. (2017). Pengaruh variasi tinggi terbang menggunakan wahana unmanned aerial vehicle (UAV) quadcopter DJI Phantom 3 Pro pada pembuatan peta orthofoto. *Jurnal Geodesi Undip*, 6(1).
- Tjahjadi, M. E., & Rifaan, M. (2019). Foto udara menggunakan unmanned aerial vehicle (UAV) untuk pemodelan 3D jalan raya. *Penginderaan Jauh*, 1–6.
- Ulfiani, D. F. D., Suwardhi, D., & Wisayantono, D. (2016). Kajian pemetaan digital skala besar berbasis teknologi fotogrametri UAV dan close range. *Proceeding FIT-ISI 2016*.
- Utami, W., Wibowo, Y. A., Ekawati, F. N. F., & Salim, M. N. (2019). Efektivitas pemanfaatan citra penginderaan jauh dalam percepatan penyelesaian penguasaan tanah kawasan hutan di Provinsi Sumatera Selatan.
- Wibowo, D.A. (2007). *Analisis Spasial Daerah Rawan Genangan Akibat Kenaikan Pasang Surut (Rob) di Kota Semarang*. Skripsi (tidak dipublikasikan), Jurusan Ilmu Kelautan Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Wolf, P. R. (1983). *Elemen fotogrametri*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Yudha, E., Mulyo, B., & Yuwono, W. (2011). Studi Deformasi Gunung Merapi Menggunakan Teknologi Interferometry Synthetic Aperture Radar (InSAR). *Jurnal ITS. Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya*, 1-7.
- Yudhistira, R. (2018). *Pemodelan 3D existing jalan raya dengan pemotretan foto udara (UAV)*. Kota Malang: Jurusan Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang.