

Pemanfaatan Citra Radarsat-2 dalam Pemetaan Kekasaran Permukaan dan Kelembapan Tanah (wilayah Studi: Indramayu, Jawa Barat)

SEPTYA DWI PUTRI¹, RIAN NURTYAWAN²

1. Institut Teknologi Nasional

2. Institut Teknologi Nasional

Email: Septyadwiputri22@gmail.com

ABSTRAK

Pemetaan kekasaran permukaan dan kelembapan tanah mempunyai peran penting dalam bidang hidrologi dan pertanian. Pada teknologi penginderaan jauh tingkat kecerahan, polarisasi, sudut hamburan, dan panjang gelombang memiliki dampak besar terhadap kekasaran permukaan dan kelembapan tanah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memetakan kekasaran permukaan dan kelembapan tanah dari citra Radarsat-2 pada lahan pertanian di wilayah Indramayu, Jawa Barat. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah semi-empirik. Kekasaran permukaan diturunkan menggunakan persamaan Campbell dan Shepard (1996), konstanta dielektrik diturunkan menggunakan persamaan Dubois (1995) dan dari dua parameter tersebut digunakan sebagai masukan untuk menghasilkan kelembapan tanah menggunakan persamaan Topp (1982). Hasil menunjukkan bahwa nilai Kekasaran permukaan menggunakan persamaan Campbell dan Shepard (1996) didapatkan nilai RMSE sebesar 0,0869 dari akuisisi citra bulan Juni sampai Oktober 2014. Sedangkan, untuk kelembapan tanah menggunakan persamaan Topp (1982) didapatkan nilai RMSE sebesar 3,0011 dari akuisisi citra bulan Juni sampai Oktober 2014.

Kata Kunci: Radarsat-2, Kekasaran Permukaan Tanah, Kelembapan tanah

ABSTRACT

Mapping the roughness of the soil surface and humidity has an important role in the field of hydrology and agriculture. In remote sensing technology brightness levels, polarization, scattering angles, and wavelengths have a major impact on surface roughness and soil moisture. The purpose of this study was to map the roughness of soil surface and moisture from Radarsat-2 imagery on agricultural land in Indramayu area, West Java. The method used in this research is semiempirical. Surface roughness is derived using the Campbell and Shepard equations (1996), dielectric constants are derived using the Dubois equation (1995) and from the two parameters are used as inputs to produce soil moisture using the Topp equation (1982). Results showed that the surface roughness value using the Campbell and Shepard equation (1996) obtained a RMSE value of 0.0869 from the acquisition of imagery from June to October 2014. Meanwhile, for soil moisture using the Topp equation (1982) was obtained RMSE value of 3.0011 from the acquisition of imagery from June to October 2014.

Keywords: Radarsat-2, Soil Surface Roughness, Soil Moisture

1. PENDAHULUAN

Pengetahuan tentang karakteristik distribusi kekasaran permukaan dan kelembapan tanah secara spasial dan temporal sangat penting (Gleick, 1996). Hal ini dikarenakan kekasaran permukaan dan kelembapan tanah berperan dalam pertumbuhan tanaman dan sebagai indikator untuk peristiwa kekeringan atau banjir yang akan datang (Douville & Chauvin, 2000). Selain itu, kekasaran permukaan dan kelembapan tanah merupakan parameter dalam pengkajian lingkungan seperti hidrologi, energi dan karbon bumi (Pathe, 2009).

Kekasaran permukaan dan kelembapan tanah akan terkait dengan jenis tanah, curah hujan, dan penggunaan tanah, misalnya untuk lahan pertanian, perkebunan, tegalan, atau sebagai permukiman. Sebagai contoh, tanaman padi sawah merupakan jenis tanaman yang memerlukan banyak air dalam masa pertumbuhannya dan dapat tumbuh dengan baik dalam kondisi tanah tergenang. Untuk beberapa jenis tanaman lainnya seperti umbi-umbian dapat tumbuh bertahan dengan baik pada kondisi lahan yang lebih kering (Pasandaran dkk., 2020).

Dalam penelitian tugas akhir ini pengukuran kekasaran permukaan dan kelembapan tanah pada wilayah Indramayu, Jawa Barat dilakukan dengan teknologi penginderaan jauh (indrajaya) gelombang mikro atau radar. Sistem radar merupakan salah satu sistem indrajaya yang sangat potensial diaplikasikan untuk pemantauan kekasaran permukaan dan kelembapan tanah karena menunjukkan kepekaan terhadap air yang terkandung dalam lapisan tanah (Pathe, 2009).

Citra radar yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah citra dari satelit RADARSAT-2. Satelit RADARSAT-2 di luncurkan pada bulan Desember 2007 oleh Canadian Space Agency (CAS), merupakan satelit komersial yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi (Canadian Space Agency, 2020). RADARSAT2 adalah sensor aktif sehingga perekaman data dapat dilakukan dalam semua kondisi dan cuaca. Agar citra RADARSAT-2 bertepatan dengan daerah yang menjadi fokus penelitian maka produk yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah Single Look Complex (SLC) dengan jenis beam mode: Fine Quad-Pol. Informasi yang diberikan dalam quad-pol akan meningkatkan sifat bio atau geofisik di permukaan bumi.

RADARSAT-2 beroperasi di bagian C-band pada spektrum elektromagnetik, memiliki panjang gelombang 0,055 m dan frekuensi 5,405 GHz. Sensor yang ada sepenuhnya adalah polarimetrik (merekam amplitudo dan fase relatif dari returned signal pada semua polarisasi: HH, VV, HV, VH, dimana huruf pertama mewakili jenis transmisinya, berupa polarisasi horizontal (H) atau vertikal (V), dan huruf kedua mewakili polarisasi yang diterima) (Deschamps, 2010).

Penelitian tugas akhir ini dilakukan untuk memperoleh peta kekasaran permukaan dan kelembapan tanah. Kekasaran permukaan diturunkan menggunakan persamaan Campbell dan Shepard (1996), konstanta dielektrik diturunkan menggunakan persamaan Dubois (1995) dan dari dua parameter tersebut digunakan sebagai masukan untuk menghasilkan kelembapan tanah menggunakan persamaan Topp (1982). Data yang digunakan yaitu citra Radarsat-2 diakuisisi pada 18 Juni 2014, 5 Agustus 2014, 22 September 2014, dan 16 Oktober 2014.

2. METODOLOGI

2.1 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perangkat Keras Perangkat keras yang digunakan untuk penelitian ini yaitu Laptop ASUS A442U dengan spesifikasi Intel(R) Core(TM) i5-8250U CPU @ 1.60GHz (8 CPUs), ~1.8GHz, RAM 8.00 GB;
2. Perangkat Lunak Perangkat lunak yang digunakan SNAP 7.0 yang digunakan untuk melakukan proses Koreksi Geometrik Radarsat-2, PCI Geomatica 2016 untuk pengolahan Radarsat-2, ArcGIS 10.3 untuk Layouting

2.2 Data Penelitian

1. Radarsat-2, dengan spesifikasi seperti pada Tabel 1. Akuisisi citra 18 Juni 2014; 5 Agustus 2014; 22 September 2014 dan 16 Oktober 2014;

Tabel 1. Spesifikasi data Radarsat-2

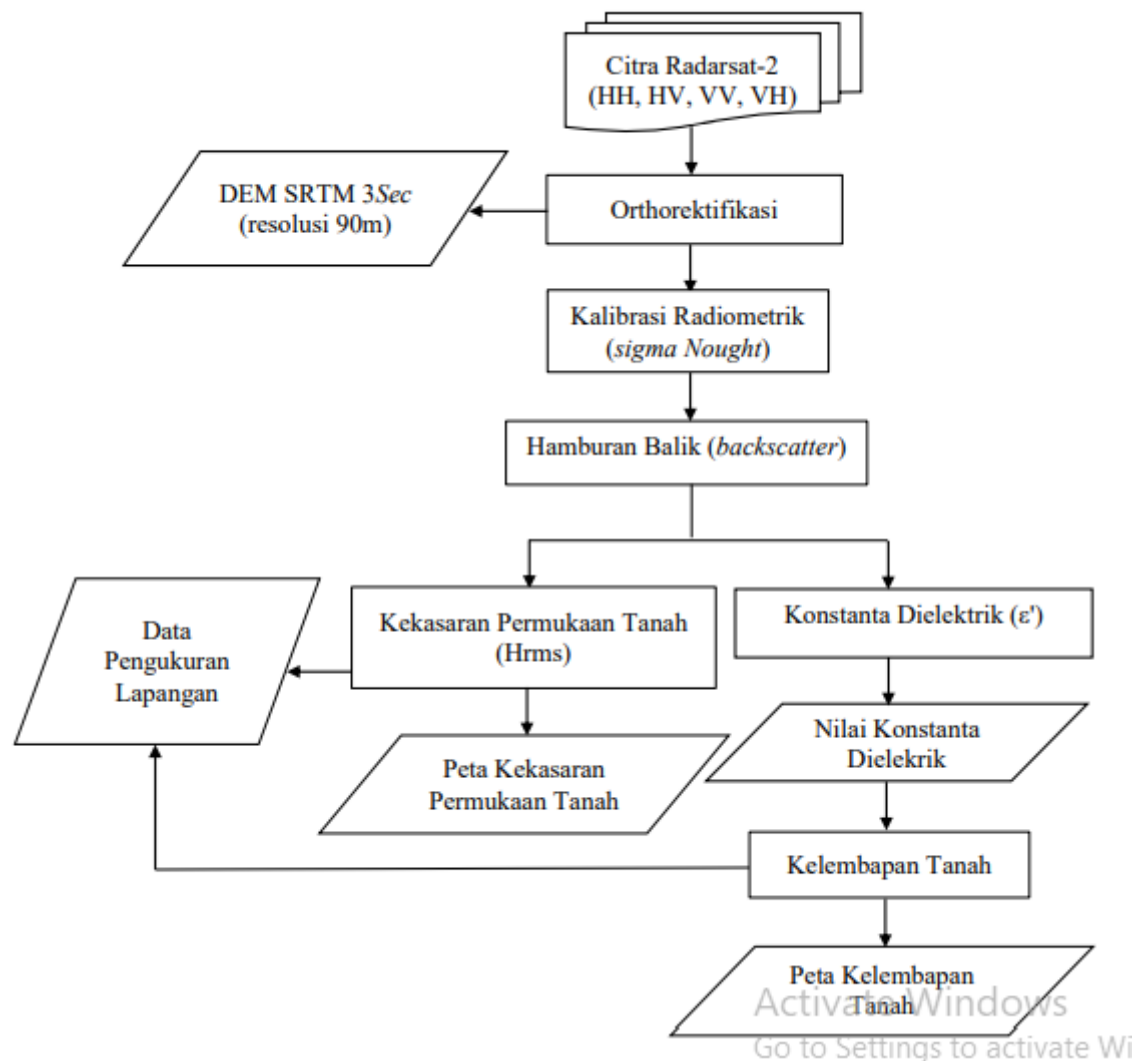
Spesifikasi	Keterangan
Mode pencitraan	Fine Quad Polarization
Frekuensi	5.405 Ghz
Incidence Angle	31.50°
Resolusi	8 meter
Arah Orbit	Ascending
Beam Mode	FQ12
Polarisasi	HH+HV+VH+VV

2. Data lapangan kekasaran permukaan dan kelembapan tanah
3. DEM SRTM Resolusi Spasial 90 meter

2.3 Pelaksanaan Penelitian

Adapun diagram alir dari metodologi penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. berikut.

Data citra Radarsat-2 yang digunakan merupakan data radar dengan polarisasi penuh yaitu HH, HV, VV, dan VH dan melakukan proses orthorektifikasi menggunakan data DEM SRTM dengan resolusi 90 meter.



Gambar. 1 Metodologi Penelitian

Tipe kalibrasi radiometrik yang digunakan adalah sigma nought. *sigma nought* merupakan koefisien atau ukuran konvensional dari kekuatan sinyal radar yang dipantulkan oleh sebaran terdistribusi, yang dinyatakan dalam bentuk dB. *sigma nought* biasanya digunakan untuk mengevaluasi kondisi rekonektifitas permukaan dan digunakan dalam interpretasi ilmiah citra SAR, karena nilai dari piksel benar-benar dikalibrasi, citra SAR yang berada dalam notasi *sigma nought* dapat dengan mudah dibandingkan.

Untuk menghitung nilai kekasaran permukaan tanah (h_0) digunakan persamaan Campbell dan Shepard 1996 (1) yang memanfaatkan hubungan antara backscattering coefficient HV (σ^{HV}), local incidence angle (ϕ), dan panjang gelombang (λ).

$$h_0 - h_v(\lambda) = \lambda [-1.60 \ln(1 - \sigma^{HV} 0.04 \cos \phi)]^{0.5} \quad (1)$$

dengan $h_0 - h_v(\lambda)$ adalah nilai kekasaran permukaan tanah (cm), λ adalah simbol untuk panjang gelombang yang digunakan oleh satelit RADARSAT-2 dengan nilai 5.6 cm, σ^{HV} adalah simbol untuk nilai *backscattering coefficient* dari tipe polarisasi HV (dB), dan ϕ adalah simbol untuk local *incidence angle* (derajat). Pada persamaan (1) hanya menggunakan tipe polarisasi HV, hal ini dapat diketahui dari nilai *backscattering coefficient* yang digunakan, yaitu σ^{HV} . Untuk

*Pemanfaatan Citra Radarsat-2 dalam Pemetaan Kekasaran Permukaan Tanah
dan Kelembapan Tanah
(Wilayah Studi: Indramayu, Jawa barat)*

mengetahui pengaruh tipe polarisasi tersebut dilakukan modifikasi terhadap persamaan (1) yang menggunakan tipe polarisasi HV menjadi persamaan (2) dengan tipe polarisasi HH, persamaan (3) dengan tipe polarisasi VV dan persamaan (4) dengan polarisasi VH.

$$h_o-hh(\lambda) = \lambda [-1.60 \ln(1 - \sigma^{HH} 0.04 \cos \phi)]^{0.5} \quad (2)$$

$$h_o-vv(\lambda) = \lambda [-1.60 \ln(1 - \sigma^{VV} 0.04 \cos \phi)]^{0.5} \quad (3)$$

$$h_o-vh(\lambda) = \lambda [-1.60 \ln(1 - \sigma^{VH} 0.04 \cos \phi)]^{0.5} \quad (4)$$

Dalam pengolahan citra satelit RADARSAT-2 untuk menentukan kelembapan tanah menggunakan persamaan Dubois (1995). Persamaan Dubois (1995) menggunakan hubungan antara panjang gelombang (λ), koefisien hamburan balik HH dan VV (σ^{HH} dan σ^{VV}) dan sudut yang terbentuk (θ) seperti pada persamaan (5).

$$\epsilon' = \log_{10}(\sigma^{HH} 0,7857 \sigma^{VV}) 10^{-0.19 \cos 1.82 \theta \sin 0.92 \theta \lambda^{0.15} - 0.042 \tan \theta} \quad (5)$$

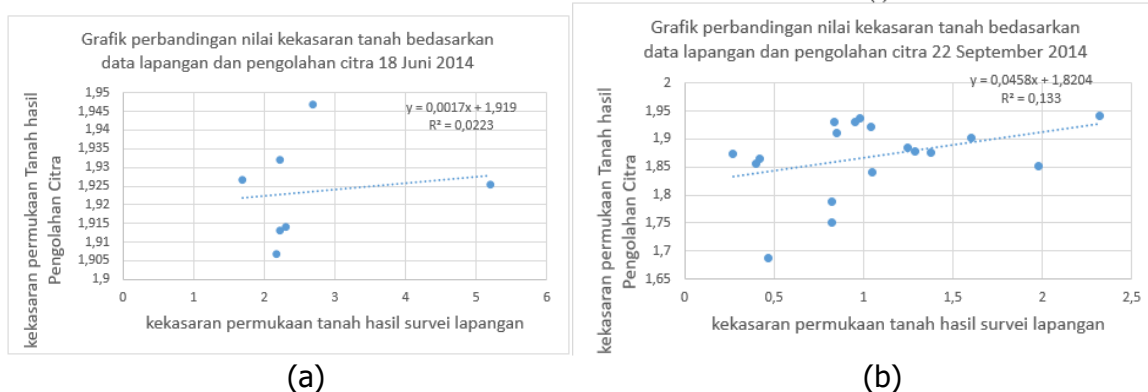
Setelah mendapatkan nilai konstanta dielektrik (ϵ') proses selanjutnya yaitu menghitung kelembapan tanah menggunakan persamaan Topp (1982). Persamaan persamaan Topp (1982) menggunakan parameter konstanta dielektrik (ϵ') seperti pada persamaan (6), berikut ini (Topp, Davis, & Annan, 1982).

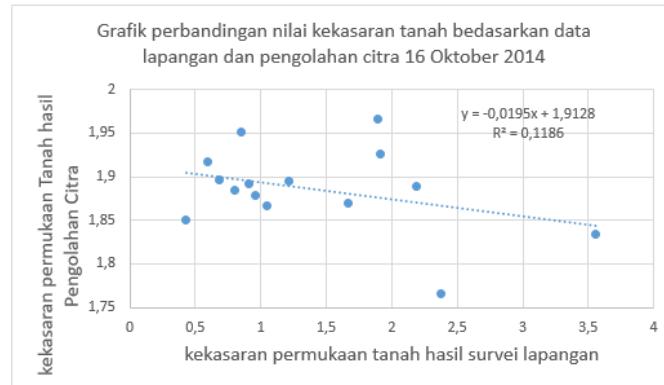
$$\theta v = -0.053 + 0.029K - 5.5 \times 10^{-4} K^2 + 4.3 \times 10^{-6} K^3 \quad (6)$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Kekasaran permukaan Tanah

Nilai kekasaran permukaan tanah hasil perhitungan pada citra dengan menggunakan persamaan (1) terhadap data lapangan (Nurtyawan dkk., 2016) menggunakan persamaan regresi bentuk linear. Gambar 2 menunjukkan grafik perbandingan nilai kekasaran permukaan berdasarkan data lapangan dan pengolahan citra.

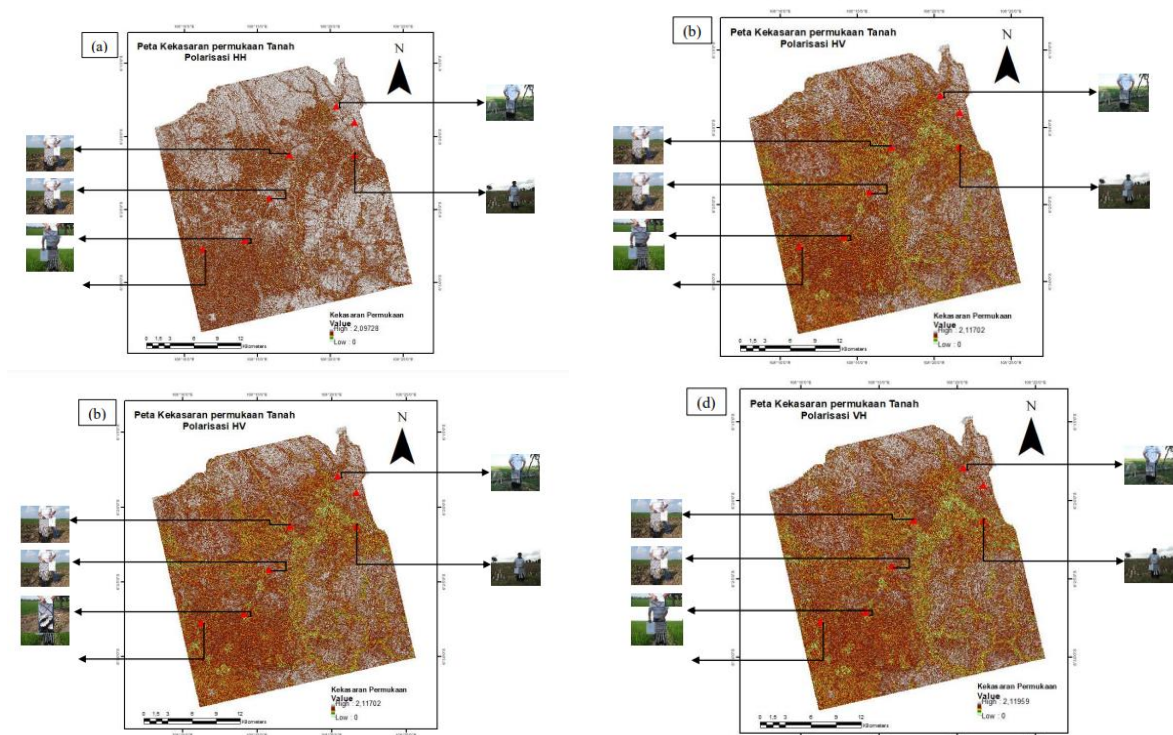




(c)

Gambar. 2 Grafik hasil kekasaran permukaan tanah hasil pengolahan citra dan pengolahan citra (a) 18 Juni 2014, (b) 22 September 2014, dan (c) 16 Oktober 2014

Hasil menunjukkan bahwa nilai Kekasaran permukaan tanah menggunakan persamaan Campbell dan Shepard (1996) didapatkan nilai RMSE sebesar 0,0869 dari akuisisi citra bulan Juni sampai Oktober 2014. Berdasarkan hasil dari pemetaan kekasaran permukaan tanah pada citra menggunakan persamaan (1), Persamaan (2), Persamaan (3) dan Persamaan (4) dilakukan validasi terhadap data lapangan (Nurtyawan dkk., 2016). Berdasarkan hasil validasi tersebut, didapatkan peta kekasaran permukaan tanah pada masing-masing polarisasi yang dapat dilihat pada Gambar 3.

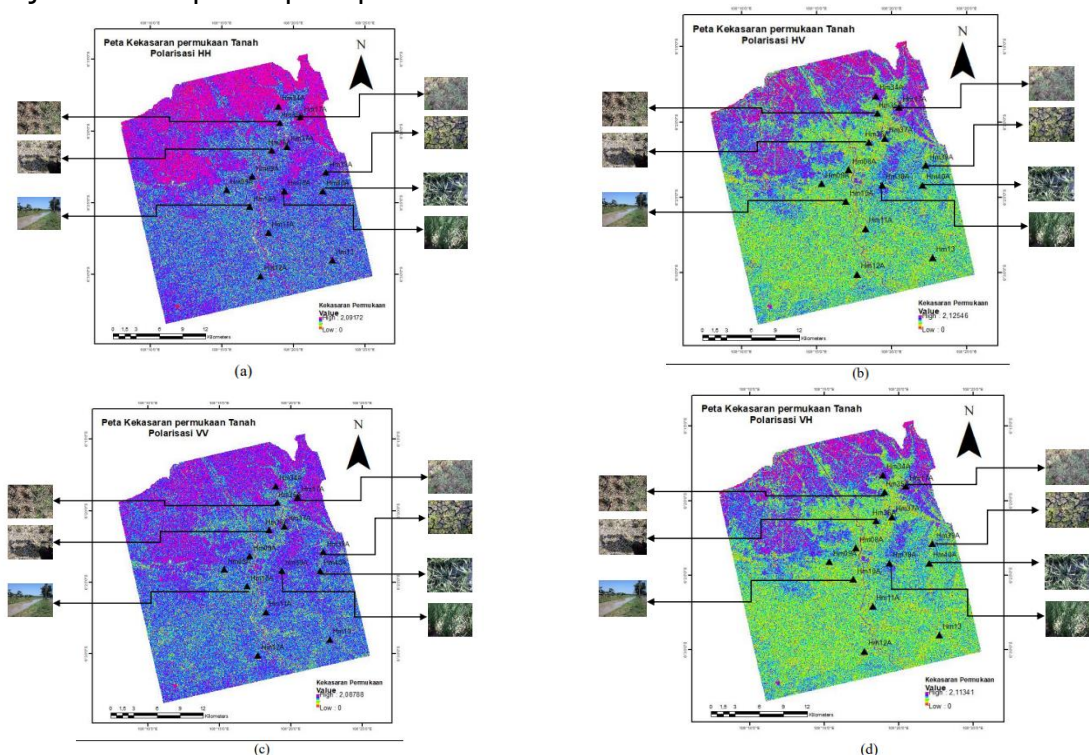


Gambar. 3 Peta Kekasaran Tanah 18 Juni 2014: (a) Polarisasi HH, (b) Polarisasi HV, (c) Polarisasi VV dan (d) Polarisasi VH

Bedasarkan persamaan Campbell dan Shepard (1996), didapat nilai kekasaran tanah berdasarkan polarisasi HH,HV,VV dan VH pada Gambar 3 dapat diketahui bahwa polarisasi dengan tipe HV dan VH memberikan nilai kekasaran yang paling tinggi diantara empat tipe polarisasi lainnya dengan nilai polarisasi HV = 2,11702 dan VH = 2,11959. Untuk tipe polarisasi HH didapat nilai kekasaran sebesar = 2, 09728 dan polarisasi VV = 2,08734. Nilai tertinggi

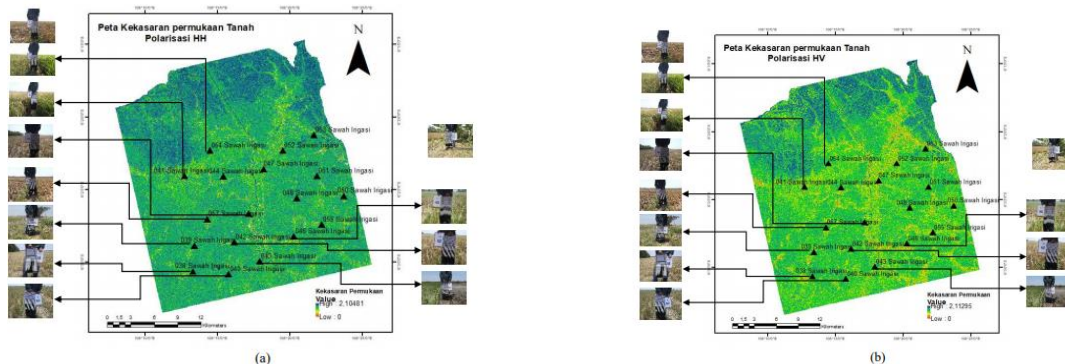
*Pemanfaatan Citra Radarsat-2 dalam Pemetaan Kekasaran Permukaan Tanah
dan Kelembapan Tanah
(Wilayah Studi: Indramayu, Jawa barat)*

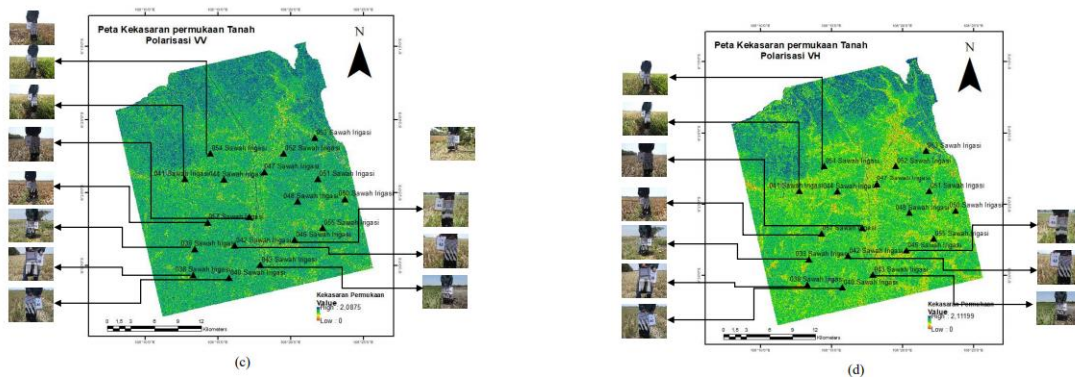
pada peta kekasaran permukaan tanah ditunjukkan oleh warna putih dan nilai terendah ditunjukkan oleh warna biru. Hasil dari citra kekasaran permukaan tanah 18 Juni 2014 menunjukkan terdapat air pada permukaan tanah.



Gambar. 4 Peta Kekasaran Tanah 05 Agustus 2014: (a) Polarisasi HH, (b) Polarisasi HV, (c) Polarisasi VV dan (d) Polarisasi VH

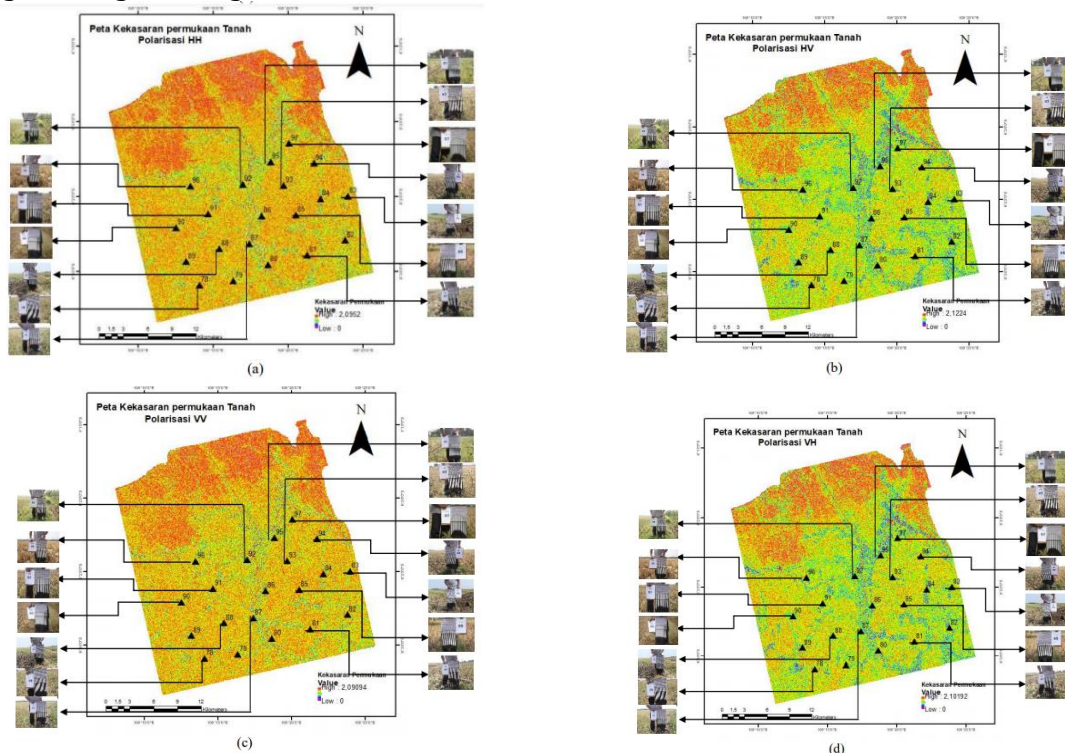
Bedasarkan Gambar 4 dapat diketahui bahwa nilai kekasaran permukaan tanah yang didapat dari persamaan Campbell dan Shepard (1996) yang diberikan oleh data akuisisi citra pada bulan September lebih kecil dari pada bulan Juni dan Agustus. Pada bulan September nilai kekasaran permukaan tanah yang paling tinggi diberikan oleh tipe polarisasi HV dan VH. Dengan masing-masing nilai $HH = 2,10481$; $HV = 2,11295$; $VV = 2,0875$; dan $VH = 2,11199$. Nilai tertinggi pada peta kekasaran permukaan ditunjukkan oleh warna merah dan nilai terendah ditunjukkan oleh warna abu-abu. Hasil dari citra kekasaran permukaan tanah 05 Agustus 2014 menunjukkan air pada permukaan tanaman mulai menyusut dan mempengaruhi gelombang yang dipantulkan oleh obyek





Gambar. 5 Peta Kekasaran Tanah 22 September 2014: (a) Polarisasi HH, (b) Polarisasi HV, (c) Polarisasi VV dan (d) Polarisasi VH

Bedasarkan Gambar 5 dapat diketahui bahwa nilai kekasaran permukaan tanah yang didapat dari persamaan Campbell dan Shepard (1996) yang diberikan oleh data akuisisi citra pada bulan September lebih kecil dari pada bulan Juni dan Agustus. Pada bulan September nilai kekasaran permukaan tanah yang paling tinggi diberikan oleh tipe polarisasi HV dan VH. Dengan masing-masing nilai $HH = 2,10481$; $HV = 2,11295$; $VV = 2,0875$; dan $VH = 2,11199$. Nilai tertinggi pada peta kekasaran permukaan tanah ditunjukkan oleh warna *dark navy* dan nilai terendah ditunjukkan oleh *flame red*. Hasilnya pada 22 September 2014 menunjukkan permukaan tanah sangat kering dan gelombang yang dipantulkan lebih baik karena kondisi topografi sangat kering.



Gambar. 6 Peta Kekasaran Tanah 16 Oktober 2014: (a) Polarisasi HH, (b) Polarisasi HV, (c) Polarisasi VV dan (d) Polarisasi VH

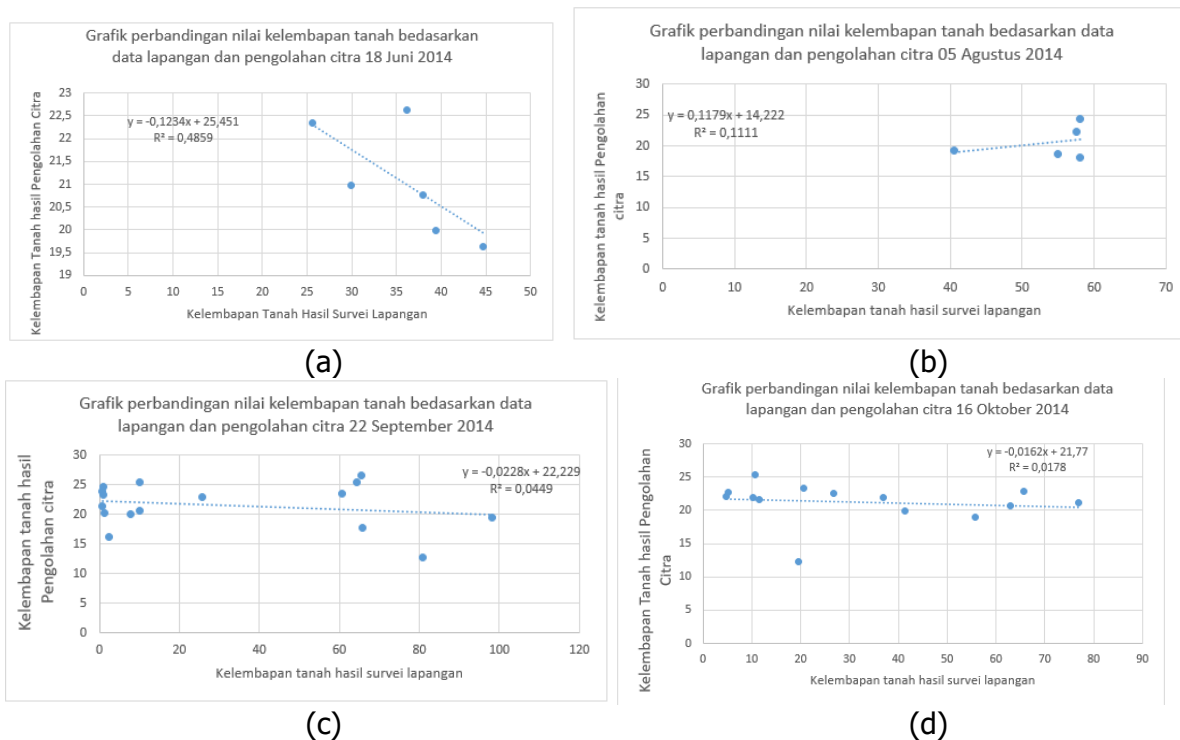
Bedasarkan Gambar 5 dapat diketahui bahwa nilai kekasaran permukaan tanah yang paling tinggi diberikan oleh tipe polarisasi HV dan VV. Hal ini berbeda dengan hasil yang diperoleh sebelumnya dari Gambar 2; Gambar 3 dan Gambar 4 untuk transmisi vertikal. Untuk nilai $HH = 2,0952$; $HV = 2,1224$; $VV = 2,09094$; dan $VH = 2,01992$. Nilai tertinggi pada peta kekasaran

*Pemanfaatan Citra Radarsat-2 dalam Pemetaan Kekasaran Permukaan Tanah
dan Kelembapan Tanah
(Wilayah Studi: Indramayu, Jawa barat)*

permukaan ditunjukkan oleh warna merah dan nilai terendah ditunjukkan oleh abu-abu. Pada peta kekasaran permukaan tanah 16 oktober 2014 menunjukkan permukaan cukup kering dan gelombang dipantulkan lebih baik karena kondisi topografi cukup kering.

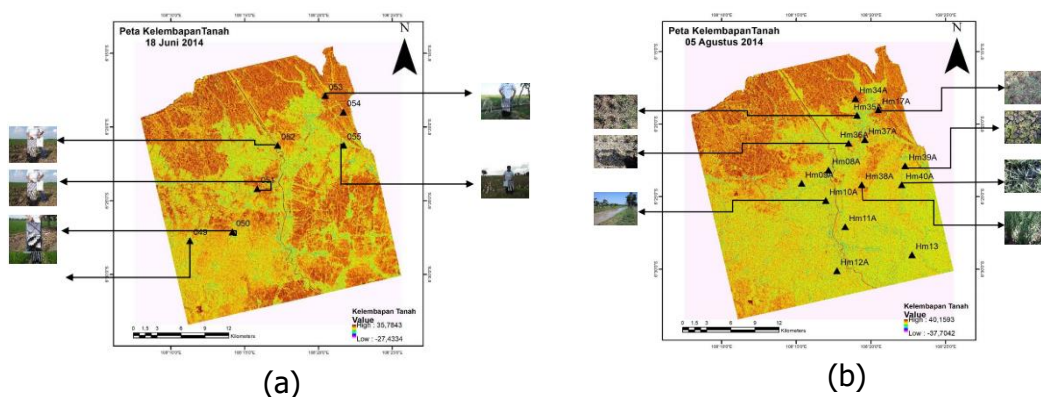
4.2 Hasil Kelembapan Tanah

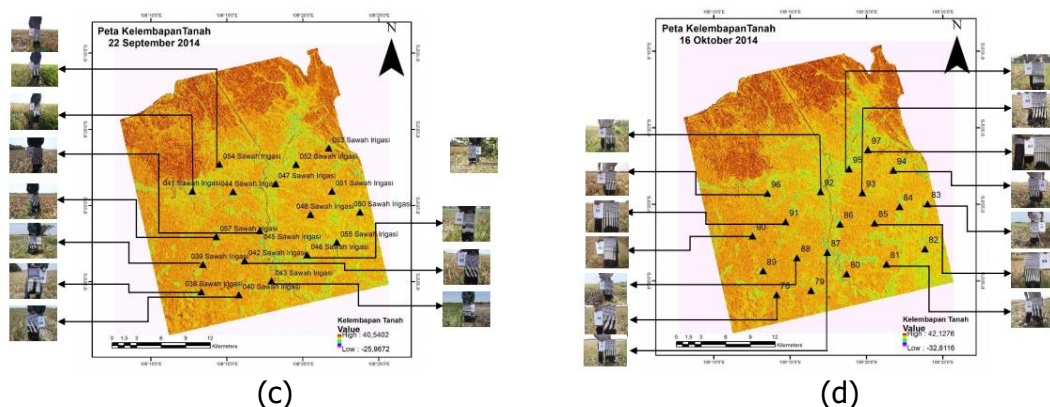
Nilai kekasaran permukaan tanah hasil perhitungan pada citra dengan menggunakan persamaan (6) terhadap data lapangan (Nurtyawan dkk., 2016) menggunakan persamaan regresi bentuk inear. Gambar 8 menunjukkan grafik perbandingan nilai kekakasaran permukaan berdasarkan data lapangan dan pengolahan citra.



Gambar. 7 Grafik hasil kekasaran permukaan tanah hasil pengolahan citra dan pengolahan citra (a) 18 Juni 2014, (b) 05 Agustus 2014, (c) 22 September 2014, dan (d) 16 Oktober 2014

Kelembapan tanah menggunakan persamaan Topp (1982) didapatkan nilai RMSE sebesar 3,0011 dari akuisisi citra bulan Juni sampai Oktober 2014. Berdasarkan hasil tersebut, didapatkan persamaan regresi untuk masing-masing citra yang digunakan untuk membuat model kelembapan tanah. Gambar 9 menunjukkan visualisasi peta kelembapan tanah.





Gambar. 8 Hasil Peta Kelembapan Tanah (a) 18 Juni 2014, (b) 05 Agustus 2014, (c) 22 September 2014 dan (d) 16 Oktober 2014.

5. KESIMPULAN

Kekasaran permukaan dengan persamaan Campbell dan Shepard (1996) menggunakan empat polarisasi yaitu HH, HV, VV, dan VH. Polarisasi yang terbaik adalah polarisasi HH dan VV. Pada 18 Juni 2014 nilai tertinggi didapat pada polarisasi HV dan VH sebesar 2,11702 dan 2,11959. Pada 05 Agustus 2014 nilai tertinggi didapat pada polarisasi HV dan VH sebesar 2,12546 dan 2,11341. Pada 22 September 2014 nilai tertinggi didapat pada polarisasi HV dan VH sebesar 2,11295 dan 2,11199. Pada 16 Oktober 2014 nilai tertinggi didapat pada polarisasi HV dan VV sebesar 2,1224 dan 2,09094.

Kekasaran permukaan menggunakan persamaan Campbell dan Shepard (1996) didapatkan nilai RMSE sebesar 0,0869.

Kelembapan Tanah menggunakan persamaan Topp (1982), menunjukkan keragaman nilai kelembapan tanah sejak 18 Juni 2014 sampai 10 Oktober 2014. Pada 18 Juni 2014 estimasi nilai maksimum kelembapan tanah sebesar 36,1667. Pada 05 Agustus 2014 didapat nilai maksimum kelembapan tanah sebesar 40,1593. Pada 22 September 2014 didapat nilai maksimum kelembapan tanah sebesar 38,1599 dan pada 16 Oktober 2014 didapat nilai maksimum kelembapan tanah sebesar 38,6894.

Kelembapan tanah menggunakan persamaan Topp (1982) didapatkan nilai RMSE sebesar 3,0011.

DAFTAR PUSTAKA

- Andari, M. T. (2014). *Pemanfaatan Citra Radarsat-2 dalam Pemantauan Fase Pertumbuhan Tanaman Padi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Arnold, J. E. (1999). *Soil Moisture*. USA: GHCC, Inc.
- Asdak, C. (2004). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Behari, J. (2005). *Microwave Dielectric Behavior of Wet Soils*. New York, NY: USA: Springer.
- Campbell, B. A., & Shepard, M. K. (1996, AUGUST). Lava flow surface roughness and depolarized radar scattering. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, 101, 18,941-18,951.
- Canada, N. R. (2014). *Polarization in radar systems*. Diambil kembali dari <https://www.nrcan.gc.ca/>: <https://www.nrcan.gc.ca/>

*Pemanfaatan Citra Radarsat-2 dalam Pemetaan Kekasaran Permukaan Tanah
dan Kelembapan Tanah
(Wilayah Studi: Indramayu, Jawa barat)*

- Canadian Space Agency. (2020). Diambil kembali dari <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat2/default.asp>
- Carolita, I. (2012). Kajian Pemanfaatan Data ALOSPALSAR dalam Pemetaan Kelembaban Tanah . *Jurnal Penginderaan Jauh Vol.9 No.2*, 102-113.
- Crop, C. (2018). *The Ultimate guide to soil moister*. Diambil kembali dari <https://connectedcrops.ca/>
- Deschamps, B. (2010). *Evaluation of three semi-empirical soil moisture estimation models with RADARSAT-2 imagery*. Canada: Carleton University .
- Douville, H., & Chauvin, F. (2000). Relevance of soil moisture for seasonal climate predictions: a preliminary study. . *Climate Dynamics*, 16: 719-736.
- Esa. (2020). *ERS-1/2 SAR IM Single Look Complex L1*. Diambil kembali dari https://earth.esa.int/eogateway/catalog/ers-1-2-sar-im-single-look-complex-l1-sar_ims_1p-
- ESA. (2020). *Single Look Complex - Sentinel-1 SAR Technical Guide* Sentinel-1 SAR > Products and Algorithms > Level-1 Algorithms and Products > Level-1 Products > Single Look Complex. Diambil kembali dari <https://sentinel.esa.int/>.
- Esri. (2016, June 29). *What is orthorectified imagery?* Diambil kembali dari <https://www.esri.com/>
- Ferdianti, G. A. (2015). *Pemodelan Surface Roughness Pada Lahan Pertanian Dengan Menggunakan Citra Satelit Radarsat 2*. Bandung: Skripsi.
- Gleick, P. (1996). Water resources. Encyclopedia of Climate and Weather. *SH.Cutter. New York, Oxford University Press.*, 2 : 817-823.
- Hajnssek, D. G. (2001). *Inversion of Surface Parameters Using Polarimetric SAR*. Dissertation, Ljubljana, Slovenia.
- Handyani, L. (2011). *Geomorfologi Gunung Api Guntur (Garut, Jawa Barat) dan Analisis Aliran Lava Menggunakan Data Synthetic Aperture Radar Polarimetri Penuh (Fully Polarimetri)*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Hexagon. (2020). *Sigma Nought and Beta Nought image from Radar image in IMAGINE*. Diambil kembali dari <https://community.hexagongeospatial.com/>.
- Jamulya, & Suratman, W. (1993). *Pengantar Ilmu Tanah*. Yogyakarta: UGM Press.
- Jensen, J. (2009). *Active Microwave (RADAR)*. Columbia: Department of Geography, University of South Carolina.
- Koyama, C. N. (2012). *Quantitative Estimation of Surface Soil Moisture in Agricultural Landscapes using Spaceborne Synthetic Aperture Radar Imaging at Different Frequencies and Polarizations*. Inaugural-Dissertation.
- Kurnia, U., Agus, F., Adimihardja, A., & Dariah, A. (2006). *Sifat Fisik Tanah dan Metode Analisisnya*. Jakarta: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Lillesand, T. M., & Keifer, R. (1994). *Remote Sensing and Image Interpretation*. New York.
- MDA. (2020). *Radarsat-2 Product Description*. Diambil kembali dari <https://mdacorporation.com/geospatial/international/satellites/RADARSAT-2/products/>.
- mdacorporation.com. (2020). *RADARSAT-2 PRODUCT DESCRIPTION*. Diambil kembali dari <https://mdacorporation.com/>.
- Moran, M. S., Moreno, J. F., Mateo, M. C., Cruz, D. d., & Montoro, A. (2012, April). A RADARSAT-2 Quad-Polarized Time Series for Monitoring Crop and Soil Conditions in Barrax, Spain. *IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE ND REMOTE SENSING, VOL. 50, NO. 4*, 1057-1070.
- Morena, L. C., James, K. V., & Beck, J. (2004). An introduction to the RADARSAT-2 mission. *Can. J. Remote Sensing, Vol. 30, No. 3, pp.*, 221-234.

- Nurtyawan, R., Saepuloh, A., Budiharto, A., & Wikantika, K. (2016). Modeling Surface Roughness to Estimate Surface Moisture Using Radarsat-2 Quad Polarimetric SAR Data. *Journal of Physics: Conference Series* 739 012105.
- O'Grady, D., Leblanc, M., & Gillieson, D. (2013). Relationship of local incidence angle with satellite radar backscatter for different surface conditions. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 42-53.
- Pasandaran, E., Djufri, F., Rohmani, S. A., Damardjati, D. S., Subandriyo, M. S., & Hendayana, R. (2020). Manajemen Kebijakan Teknologi dan Kelembagaan Mendukung Pertanian Modern. Jakarta: IAARD PRESS, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Pathe, D. C. (2009). *Surface Soil Moisture Retrieval Using Envisat ASAR Global Mode Data*. Vienna: Vienna University of Technology.
- Pemprov Jawa Barat. (2020). Diambil kembali dari <https://jabarprov.go.id/>
- Rao, S. S., Kumar, D., Das, S. N., Nagaraju, M., Venugopal, M. V., Rajankar, P., . . . Sharma, J. R. (2013). Modified Dubois Model for Estimating Soil Moisture with Dual Polarized SAR Data. *J Indian Soc Remote Sens*.
- Rizzoli, P., & Brautigam, B. (2014, September). Radar Backscatter Modeling Based on Global TanDEM-X Mission Data. *IEEE Transactions on geoscience and Remote Sensing*, 52, 5974-5988.
- Sabin, F. (2007). *Remote Sensing Principle and Interpretation Third Edition*. Los Angeles: University of California and RSEI.
- Sahebi, M. R., & Angles, J. (2010). An inversion method based on multi-angular approaches for estimating bare soil surface parameters from RADARSAT-1. *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 2355-2366.
- Tehrani, H. M. (2014). Soil Moisture Estimation with polarimetric SAR Data. *University of Calgary, Calgary*.
- Topp, G. C., Davis, J. L., & Annan, A. P. (1982). Electromagnetic Determination of Soil Water Content using TDR: I. Applications to Wetting Fronts and Steep Gradients. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46: 672-678.
- Ulaby, F. T., Moore, R. K., & Fung, A. K. (1982). *Microwave Remote Sensing: Active and Passive* (Vol. II). Boston: Artech House.
- USGS. (2020). *USGS USGS EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global*. Diambil kembali dari <https://www.usgs.gov/>.
- Verhoest, N. E., Lievens, H., Wagner, W., Mozos, J. A., Moran, M. S., & Mattia, F. (2008). On the Soil Roughness Parameterization problem in soil Moisture Retrieval of Bare Surface from Synthetic Aperture Radar. *Sensors*, 4213-4248.