

Analisis Perubahan Tutupan Lahan dari Citra TerraSAR-X Menggunakan Metode Analisis Texture dan Segmentasi di Jakarta

(Analysis of Land Cover Changes from TerraSAR-X Imagery Using Texture Analysis and Segmentation in Jakarta)

Haris Suka Dyatmika^{1,a}, Inggit Lolita Sari^{1,a}, Fadila Muchsin^{1,b}, Novie Indriasari^{1,b}, Marendra Eko Budlono^{1,b}

¹Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh, LAPAN
^aKontributor utama, ^bKontributor anggota

E-mail: haris.suka@lapan.go.id

Diterima: 16 November 2018; Direvisi: 24 Juni 2020; Disetujui: 24 Juni 2020

ABSTRACT

Rapid urban growth in Jakarta is indicated by the increases of building area, such as settlements, roads, commercial and others. Identification of land cover extent and its changes is a vital data for urban planning. One method for land cover mapping and its changes is obtained by the utilization of remote sensing data that characterize as having a continuity data, covers a vast area, and cost-effective. Remote sensing data can be obtained from optical and radar imagery. Radar data importance for mapping land cover and land cover changes because radar data does not constrain by time and weather. In early 2018, the TerraSAR-X (TSX) data can be acquired at the LAPAN Parepare ground station. This research uses the TSX Stripmap image mode with a spatial resolution of 3 m in 2010 and 2013. The TSX data will be used to map the land cover and land cover changes in Jakarta using method of the texture analysis and image segmentation. The accuracy assessment of the map will be assessed visually and quantitatively using the Pleiades images (0.5 m) and Google Earth images. The results show that the TSX images detect the current developments of settlements, new roads construction and provide information on the loss of green open space in Jakarta.

Keywords: *TerraSAR-X, land use changes, texture analysis, image segmentation*

ABSTRAK

Pembangunan wilayah yang cepat di kota Jakarta diindikasikan dengan peningkatan jumlah wilayah terbangun, seperti perumahan, jalan, bangunan komersial dan lainnya. Identifikasi tutupan lahan yang cepat dan terbaru serta informasi perubahannya sebagai data utama dalam merencanakan pembangunan sangat dibutuhkan. Salah satu metode untuk pemetaan tutupan lahan dan perubahannya diperoleh melalui pemanfaatan data penginderaan jauh yang memiliki sifat kontinu, dapat mencakup wilayah yang luas, serta efisien. Data penginderaan jauh yang digunakan meliputi citra optis dan radar. Data radar memiliki keunggulan dalam memetakan tutupan lahan dan perubahannya yang tidak terkendala waktu dan cuaca. Pada awal tahun 2018, data radar TerraSAR-X (TSX) telah dapat di akuisisi di stasiun bumi LAPAN Parepare. Penelitian ini menggunakan citra TSX mode Stripmap dengan resolusi spasial 3 m dan waktu yang digunakan adalah tahun 2010 dan 2013, yang digunakan untuk deteksi penutup lahan dan perubahannya di kota Jakarta menggunakan metode analisis tekstur dan segmentasi. Uji akurasi akan dilakukan menggunakan citra Pleiades (0,5m) dan Google Earth. Hasil yang diperoleh adalah citra TSX dapat mengidentifikasi perubahan lahan di kota Jakarta, yaitu perkembangan permukiman, pembangunan jalan baru dan informasi tentang berkurangnya area lahan terbuka hijau.

Kata kunci: *TerraSAR-X, perubahan tutupan lahan, analisis tekstur, segmentasi citra.*

1 PENDAHULUAN

Kota sebagai suatu wilayah dengan pemusatan penduduk dan kepadatan yang tinggi dibandingkan daerah sekitarnya, secara fisik didominasi wilayah terbangun seperti permukiman, kelengkapan fasilitas umum, dan kelengkapan infrastruktur yang terus mengalami perkembangan (Djoko Sujarto, 1992). Oleh karena itu perencanaan kota yang komprehensif dan keberlanjutan sangat diperlukan.

Pemantauan perubahan lahan dan perkembangan kota secara kontinu sering terkendala oleh keterbatasan data dan biaya, seperti penyediaan data yang diperoleh dari survei lapangan dan penggunaan foto udara. Namun, saat ini kendala tersebut berkurang karena keberlimpahan data satelit penginderaan jauh baik berupa data optis dan radar yang digunakan untuk memantau perkembangan kota secara luas, kontinu, dan efisien.

Pemanfaatan data satelit penginderaan jauh seperti IKONOS, Worldview, Quickbird, SPOT dan ALOS untuk memetakan perubahan lahan di perkotaan dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai teknik klasifikasi, antara lain seperti klasifikasi terbimbing, *Object Based Image Analysis* (OBIA), *Support Vector Machine* (Kamusoko, 2017). Penelitian sebelumnya mengenai pemanfaatan data satelit resolusi spasial sangat tinggi untuk pemantauan perkembangan kota yaitu di kota Karbala menggunakan data Quickbird multi-temporal dari tahun

2002, 2007 dan 2013 dengan menggunakan metode OBIA (Aalshamkhi, Mojaddadi, Pradhan, & Abdullahi, 2017). Namun pemanfaatan data satelit optis, terutama untuk daerah tropis seringkali terkendala oleh awan.

Data satelit *Synthetic Aperture Radar* (SAR) merupakan data satelit yang bebas tutupan awan dan tidak terkendala waktu dalam perekaman datanya. Data radar dapat digunakan untuk pemantauan perkembangan kota yang pesat. Terdapat beberapa jenis data SAR antara lain TerraSAR-X (TSX), RADARSAT-2 dan ALOS PALSAR-2.

Salah satu metode untuk mendeteksi objek dari data SAR adalah dengan memanfaatkan nilai hamburan balik (*backscatter*) dari gelombang *micro* tersebut. Posisi suatu objek data radar ditentukan dari kombinasi arah dan jarak (*range*). Nilai intensitas koefisien *backscatter* dipengaruhi dari tingkat kekasaran objek dan konstanta dielektrik objek tersebut (Antonova, Käab, Heim, Langer, & Boike, 2016).

Tingkat kekasaran objek pada data SAR dari analisis *backscatter* digunakan untuk membedakan jenis objek, misal tanaman akan memiliki nilai *backscatter* yang tinggi (cerah) dikarenakan memiliki volume *backscatter* yang berasal dari hamburan bagian-bagian tubuh tanaman (*volume scattering*), sebaliknya air memiliki nilai *backscatter* yang relatif lebih rendah. Perbedaan nilai intensitas koefisien *backscatter* juga dipengaruhi oleh konstanta dielektrik dari tingkat kelembapan objek, misal tanah dengan

tingkat kelembapan tinggi akan memiliki nilai *backscatter* yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah kering.

Data TSX menggunakan panjang gelombang pendek (X) dengan panjang gelombang berkisar 31 mm, dan memiliki resolusi spasial 3 m. Kelebihan data TSX memiliki *revisit* lokasi yang sama di orbit yang sama, yaitu setiap 11 hari dan dapat merekam objek dengan sudut pandang satelit mode tertentu. Data TSX berdasarkan jenis mode datanya dapat digunakan untuk membedakan kedetailan spasial informasi objeknya dan skala peta yang dihasilkan. Data TSX mode Wide ScanSAR memiliki resolusi spasial 40 m, ScanSAR beresolusi spasial 18 m, Stripmap beresolusi spasial 3 m, SpotLight beresolusi spasial 1 m, Staring SpotLight beresolusi spasial lebih besar dari 0,25 meter (Eineder et al., 2013).

Pemanfaatan data SAR untuk pemantauan perkembangan kota telah dilakukan oleh Dell'Acqua dan Gamba (2003), menggunakan metode tekstur analisis dengan data yang digunakan ERS-1 tahun 1992 dan 1994. Data ERS-1 beresolusi spasial 12,5 m dan penelitian tersebut membuat kombinasi *band* baru hasil dari *occurrence matrix* serta menggunakan metode klasifikasi neural network untuk mendeteksi pusat kota, kepadatan bangunan, permukiman dan daerah sub urban. Adapun, pemanfaatan data TSX untuk pembuatan peta tutupan lahan dengan empat kelas tutupan lahan yaitu air, hutan, kota, dan lahan terbuka telah dilakukan oleh Esch et al., (2011). Penelitian tersebut menggunakan metode klasifikasi tidak terbimbing data TSX dengan akurasi mencapai 77% - 86%. Akurasi yang lebih baik diperoleh Esch et al., yaitu dengan menggunakan metode *Object Based Image Analysis*

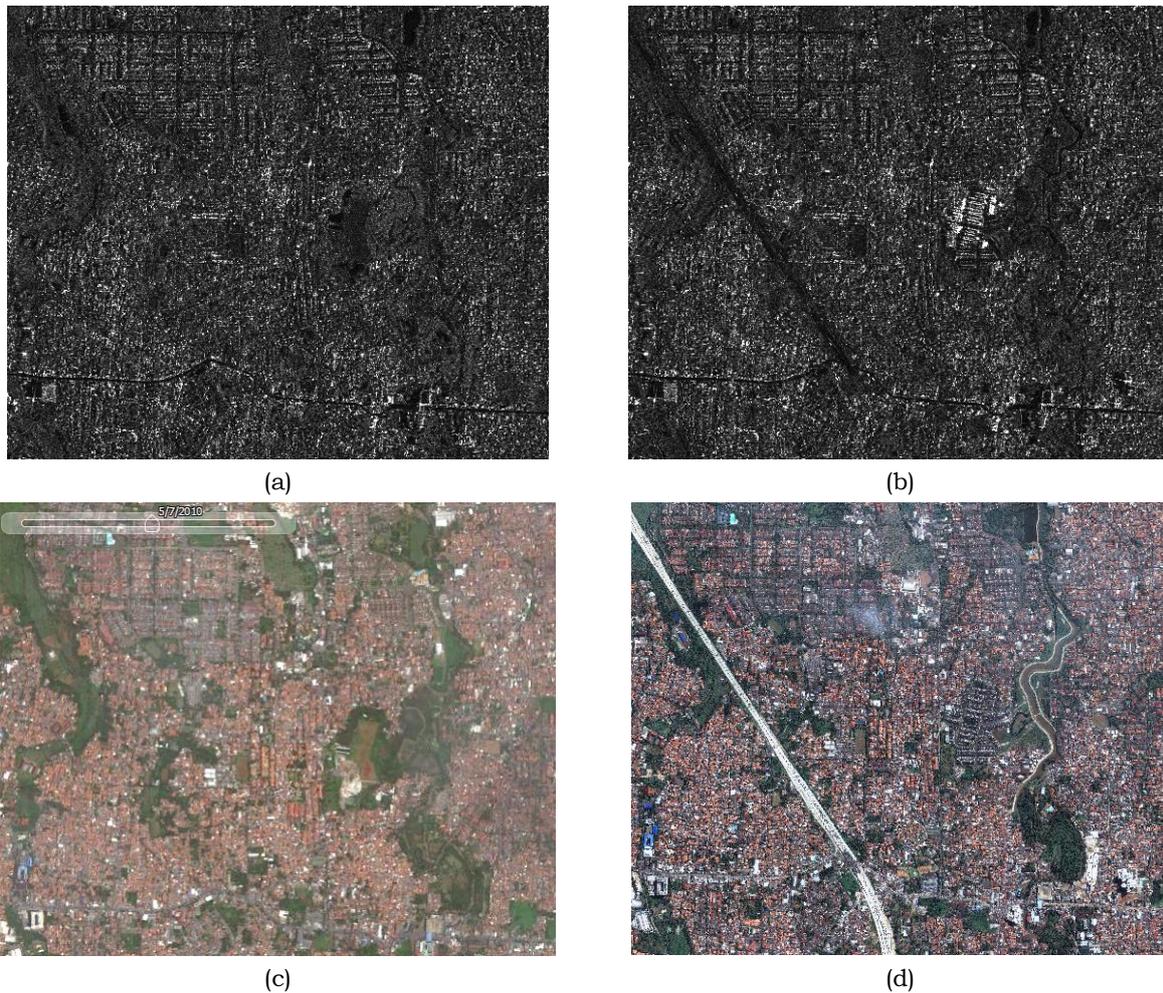
(OBIA) untuk mendeteksi wilayah terbangun dengan akurasi klasifikasi tutupan lahan yang mencapai 96% (Esch et al., 2010).

Pemanfaatan data SAR untuk deteksi perubahan lahan perkotaan di Indonesia dapat dilakukan karena ketersediaan data TSX telah mencakup hampir seluruh wilayah Indonesia. Data TSX direkam melalui stasiun bumi LAPAN di Parepare, Sulawesi Selatan. Penelitian ini akan mengulas secara singkat tentang pemanfaatan data TSX resolusi tinggi mode Stripmap untuk mendeteksi perkembangan Kota Jakarta dan perubahannya dari tahun 2010 dan 2013 menggunakan metode analisis tekstur (*occurrence matrix*) dan OBIA .

2 METODOLOGI

Kota Jakarta secara geografis terletak pada 5°19'12" - 6°23'54" LS dan 106°22'42" - 106°58'18" BT, namun penelitian ini lebih difokuskan di Jakarta Barat pada 6°13'10,03"LS - 6°14'24,64"LS dan 106°44'47,44"BT - 106°46'16,45"BT. Pembangunan yang pesat di Jakarta dapat dilihat dari berkurangnya luas area Ruang Terbuka Hijau (RTH) yang mencapai 9% dari luas keseluruhan wilayah di tahun 2013 (Febrianti & Sofan, 2014).

Data yang digunakan adalah TSX Stripmap polarisasi tunggal HH wilayah Jakarta pada tanggal 09 Agustus 2010 dan 1 Maret 2013. Kedua data tersebut memiliki sudut pandang satelit (*incidence angle*) 33,1°. Data optis resolusi sangat tinggi Pleiades tahun 2014 dan *Google Earth* tahun 2010 digunakan sebagai data referensi untuk penilaian akurasi peta yang dilakukan secara kualitatif (pengecekan visual) dan kuantitatif (Gambar 2-1).



Gambar 2-1: Tampilan sebagian Kota Jakarta dari data (a) TSX tanggal 9 Agustus 2010, (b) TSX tanggal 1 Maret 2013, (c) Google Earth tahun 2010, dan (d) Pleiades tahun 2014.

Data TSX diperoleh dari LAPAN dengan format produk *Single Slantlook range Complex* (SSC) L1B, tahapan *preprocessing* dilakukan menggunakan *software open source* SNAP 2.0 untuk mengkoreksi data ke format level *terrain*. Informasi nilai intensitas koefisien *backscatter* diperoleh dengan mengkonversi nilai *Digital Number* (DN) *integer* menjadi desibel (dB). Informasi ekstraksi koefisien *backscatter* yang digunakan pada pengolahan ini adalah nilai *Sigma Naught* (σ°) yang diturunkan dari nilai *Beta Naught* (β°).

Beta Naught adalah nilai koefisien hambur balik pada unit area *slant range*, sedangkan nilai *Sigma Naught* adalah nilai koefisien hambur balik *ground range*, formula konversi adalah sebagai berikut (AIRBUS, 2008);

$$\beta^\circ = k_s \cdot |DN|^2 \quad (1)$$

$$\beta^\circ_{dB} = 10 \cdot \log_{10} (\beta^\circ) \quad (2)$$

$$\sigma^\circ = \beta^\circ \cdot \sin\theta \quad (3)$$

$$\sigma^\circ_{dB} = \beta^\circ_{dB} + 10 \cdot \log_{10} (\sin\theta) \quad (4)$$

dimana; k_s adalah nilai kalibrasi dan faktor *scaling* yang terdapat dalam metadata (*calFactor*), dan θ adalah nilai sudut pandang satelit.

Data dalam σ° selanjutnya untuk identifikasi objek melalui nilai intensitas *backscatter* pada data TSX yang sebelumnya telah dilakukan proses *speckle noise filter*. Gangguan (*noise*) dikarenakan adanya nilai interferensi acak data radar yang koheren, yang mengakibatkan perbedaan rata-rata hambur balik secara acak dan tajam menyebabkan perbedaan (intensitas) daerah gelap dan terang. Perbedaan nilai intensitas koefisien hambur balik yang acak tersebut mengakibatkan menurunnya kualitas citra dan sulitnya data untuk diinterpretasi.

Proses *speckle noise filter* dilakukan menggunakan metode Lee *filter* dengan pemfilteran didasarkan pada ukuran spasial (*adaptive filter*) nilai standar deviasi pada ukuran window tertentu sehingga menghasilkan data dengan nilai baru (Lee, Jurkevich, Dewaele, Wambacq, & Oosterlinck, 1994). Pemilihan ukuran *window* menurut Li (2013) yang baik adalah 5 x 5 dibandingkan dengan *window* berukuran 3 x 3. Hal ini karena pada ukuran *window* yang lebih kecil menyebabkan pemfilteran nilai data SAR secara statistik tidak independen karena *oversampling* akibat pengaruh resolusi spasial data. Akan tetapi pada *window* dengan ukuran yang lebih besar dapat membuat kabur tepi dan titik fokus objek. Pada penelitian ini, penentuan ukuran *window* didasarkan pada eksperimental dan penilaian secara visual untuk kemudahan mendeteksi objek. Ukuran *window* yang digunakan pada penelitian ini adalah 5 x 5.

Data yang telah dilakukan filter selanjutnya diproses analisis tekstur untuk mengetahui keterhubungan antara piksel satu dengan piksel sekitarnya, yaitu keterhubungan nilai statistik dan spasialnya. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah analisis tektur orde satu (*Grey Level Occurrence Matrices*). Pemilihan metode analisis tekstur yang digunakan berdasarkan visual kualitatif. Metode analisis tekstur orde satu yang digunakan adalah *mean*, yaitu nilai yang didasarkan pada nilai rata-rata lokal hambur balik piksel, entropi yang mengukur tingkat kerandoman, dan data *range* yang merupakan hasil pengukuran beda antara nilai maksimum dan minimum pada ukuran *window* lokal (Haralick & Shanmugam, 1973).

Tahapan klasifikasi segmentasi OBIA diproses menggunakan *software* ERDAS IMAGINE Objectives (EIO) (Objectives, version 15). Dalam OBIA,

pengklasifikasian piksel tidak hanya didasarkan nilai koefisien hambur balik, tetapi berdasarkan hubungan spasialnya, bentuk ukuran dan tekstur (Blaschke, 2010). Pada *software* EIO tahapan segmentasi dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu segmentasi berdasarkan analisis nilai piksel (*pixel image segmentation*) dan klasifikasi vektor untuk pendekatan obyeknya (*object vector classification*).

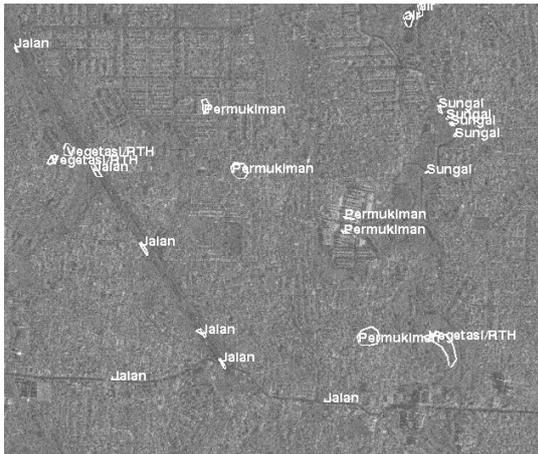
Proses klasifikasi nilai piksel dilakukan berdasarkan pada nilai koefisien hambur balik menggunakan metode *Single Feature Probability* (SFP) dan metode segmentasi menggunakan *Segmentation Lamda Schedule* (SLS). Proses segmentasi (SLS) dilakukan menggunakan metode *bottom up region* berdasarkan ukuran, tekstur, bentuk dan spektral atau koefisien hambur balik pikselnya. Klasifikasi vektor objek yaitu dengan mengelompokkan vektor hasil segmentasi berdasarkan metode *Empirical Disribution Analysis* (EDA) sesuai nilai histogram piksel dalam setiap vektor.

Analisa akurasi secara kuantitatif dilakukan dengan mengambil sampel hasil klasifikasi citra TerraSAR-X yang divalidasi dengan citra optis sebagai data referensi. Citra referensi optis resolusi spasial sangat tinggi (Pleiades) dan Google Earth dapat memberikan informasi yang mudah dan akurat karena jelas kenampakan objeknya untuk dilakukan penilaian akurasi secara visual.

3 HASIL PEMBAHASAN

Pengolahan σ^0 data TSX menunjukkan bahwa beberapa objek dapat dibedakan berdasarkan nilai intensitasnya (dB), yaitu air/waduk, sungai, jalan, permukiman dan vegetasi/RTH (Gambar 3-1 dan 3-2).

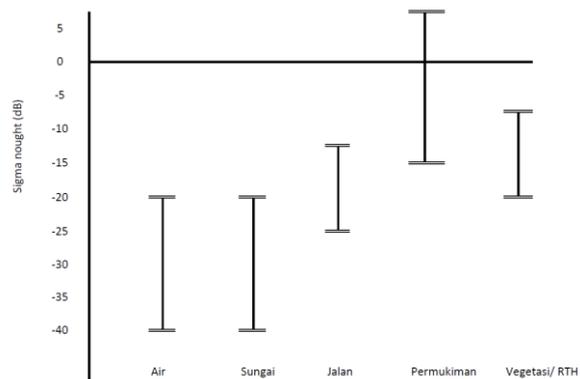
Dalam Gambar 3-2 diketahui rentang nilai beberapa objek yang saling *overlap* yang dapat memberikan *error* terhadap klasifikasi, namun nilai tersebut bisa berbeda dengan data/ AOI lainnya.



Gambar 3-1: Training area nilai intensitas koefisien backscatter σ^0 (dB) tahun 2013

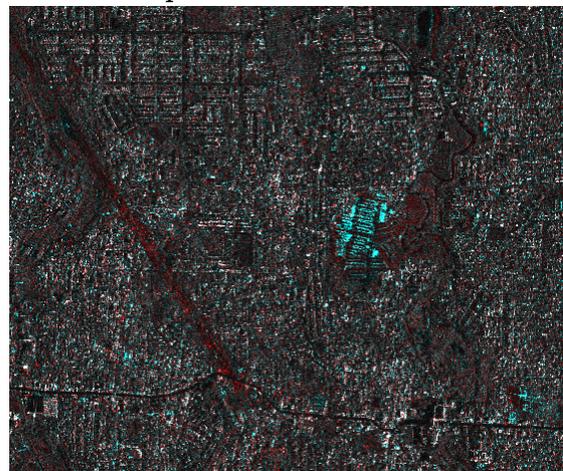
Nilai koefisien hambur balik permukiman dan vegetasi diidentifikasi dengan nilai yang tinggi karena pada gelombang pendek (X) sangat rentan dipengaruhi oleh tingkat kekasaran permukaan, seperti pada tanaman, yaitu karena tingginya tingkat *diffuse scattering* dan *volume scattering*. Namun nilai hambur balik pada tanaman juga dipengaruhi oleh konstanta dielektrik kelembaban air dan kemampuan sinyal X yang tidak menembus tanaman secara sempurna, yaitu hanya pada bagian atas lapisan tanaman, sehingga lebih rendah nilai intensitasnya daripada objek permukiman. Sedangkan nilai kelas air/waduk dan sungai hampir mendekati dikarenakan karakter pantulan *specular* dari objek air sehingga sulit untuk dibedakan dan menghasilkan kelas klasifikasi sama.

Deteksi perubahan lahan pada sinyal gelombang pendek TSX lebih mudah diidentifikasi karena karakteristik tingginya tingkat ketidak-koheren data gelombang pendek dibandingkan gelombang lainnya serta kelebihan kemampuan temporal yang tinggi. Kedua hal tersebut menjadi kelebihan data TSX dalam mendeteksi perubahan lahan.



Gambar 3-2: Grafik nilai intensitas koefisien backscatter σ^0 (dB) tahun 2013 untuk 5 kelas tutupan lahan: air/waduk, sungai, jalan, permukiman dan vegetasi/ruang terbuka hijau.

Identifikasi perubahan lahan di Jakarta dari tahun 2010 dan 2013 secara cepat dengan analisis visual dari data TSX, diketahui terjadinya perubahan lahan akibat pembangunan jalan baru dan permukiman yang ditunjukkan dengan warna merah dan biru muda pada Gambar 3-3.



Gambar 3-3: Perubahan tutupan lahan tahun 2010 dan tahun 2013 yang dideteksi secara visual menggunakan komposit layer merah dan hijau.

Karakteristik penutupan lahan di wilayah perkotaan yang beragam tersusun antara bangunan, jalan, rumput, dan tanaman berikut pengaruh variasi orientasi dan geometri sensor akan menyebabkan klasifikasi berdasarkan nilai *threshold* dari nilai

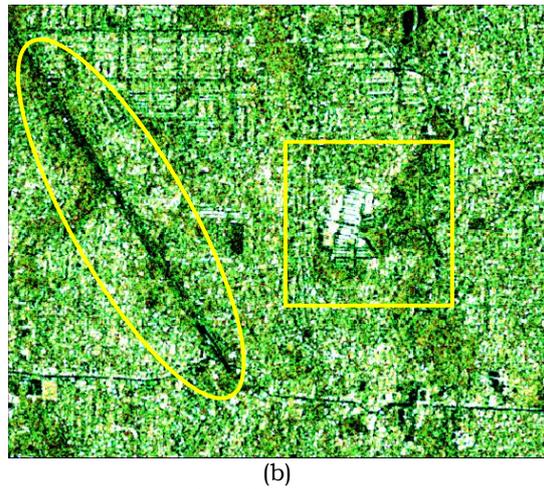
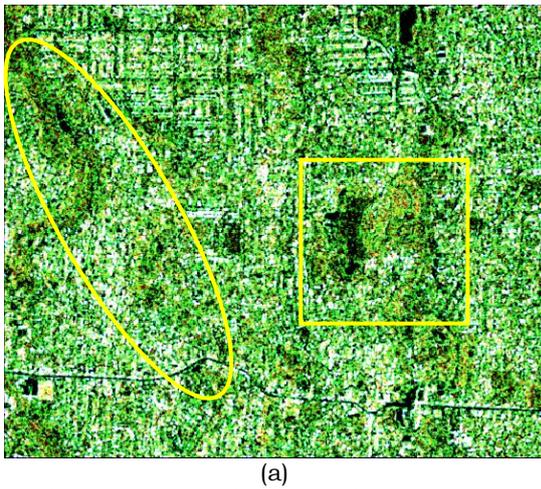
intensitas hambur balik data TSX sulit untuk dilakukan. Oleh karena itu pemanfaatan metode analisis tekstur sangat sesuai untuk deteksi perubahan lahan secara cepat di perkotaan terutama dengan pemanfaatan data TSX. Hasil analisis tekstur orde satu di Jakarta yang diolah dari data TSX setelah dilakukan proses *Lee filter* dan citra komposit tekstur *mean*, entropi dan data *range* dapat dilihat di Gambar 3-4. Komposit 3 *band hasil* analisis tekstur tersebut secara visual juga menunjukkan adanya pembangunan jalan dan permukiman dari tahun 2010 hingga tahun 2013. Klasifikasi segmentasi OBIA juga menunjukkan adanya konversi lahan dari permukiman dan vegetasi/RTH menjadi

jalan (kuning elips), konversi vegetasi/RTH menjadi permukiman (kuning kotak) pada Gambar 3-5.

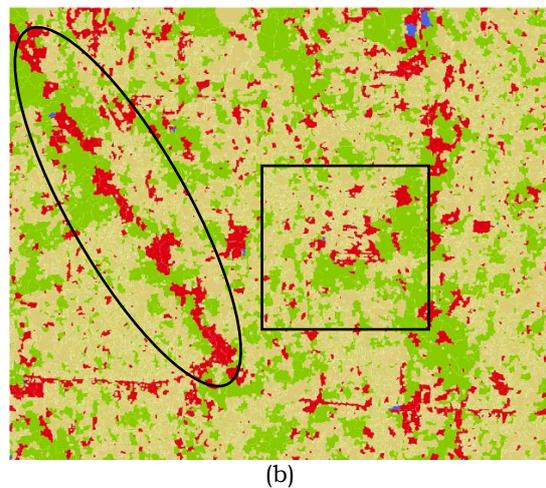
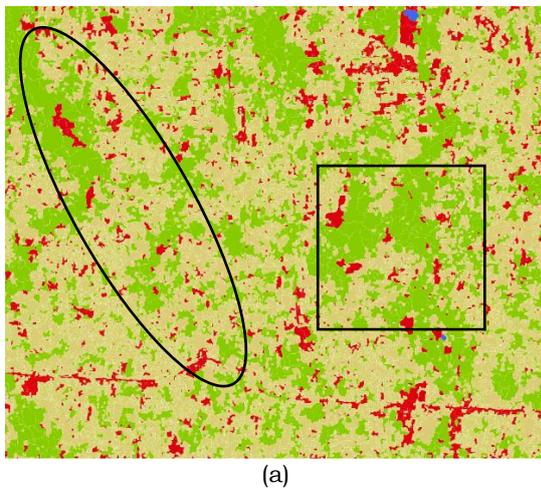
Analisis hasil akurasi secara kuantitatif ditampilkan pada Tabel 3-1. Akurasi yang diperoleh bervariasi terhadap masing-masing objek. Pada kelas tutupan lahan air, akurasi yang diperoleh masih rendah, hal ini disebabkan sedikitnya area air di wilayah penelitian, sehingga sampel yang diambil juga kurang. Sementara kelas jalan, permukiman, dan vegetasi bervariasi dari 52,17% - 69,56%.

Tabel 3-1: PENILAIAN AKURASI KLASIFIKASI TUTUPAN LAHAN TAHUN 2013 (%)

Air	Jalan	Permukiman	Vegetasi
13,25	52,17	69,56	61,90



Gambar 3-4: Layer komposit hasil tekstur analisis *occurrence* matrik orde satu, yaitu *mean*, entropi dan data *range* (a) di tahun 2010 dan (b) di tahun 2013



Gambar 3-5: Layer komposit hasil analisis tekstur *occurrence* matrik orde satu, yaitu *mean*, entropi dan data *range* tahun (a) di tahun 2010 dan (b) di tahun 2013, dengan jalan ditunjukkan pada warna (merah), permukiman (kuning), vegetasi (hijau) dan air (biru)

Pada penelitian ini dapat diketahui adanya perubahan lahan akibat pesatnya pembangunan di Jakarta dengan konversi lahan dari area vegetasi ke lahan terbangun. Pada penelitian ini, klasifikasi segmentasi yang dihasilkan masih kurang optimal dikarenakan keterbatasan kemampuan software yang kurang fleksibel untuk menggabungkan dengan parameter-parameter yang lain. Untuk itu diperlukan kajian perbandingan dengan software segmentasi lain, seperti e-Cognition dan *feature extraction* ENVI serta software segmentasi *opensource* lainnya.

4 KESIMPULAN

Ketersediaan data TSX di LAPAN dapat digunakan untuk memantau perkembangan dan pembangunan kota di Indonesia. Dengan menggunakan penggabungan analisis tekstur dan segmentasi diketahui adanya konversi lahan dari area vegetasi ke lahan terbangun, seperti pembangunan yang pesat di Jakarta. Perubahan lahan tersebut terjadi pada konversi lahan vegetasi/RTH menjadi jalan dan permukiman, sekaligus mengidentifikasi konversi lahan dari permukiman ke pembangunan jalan baru.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih atas dukungan ketersediaan data TerraSAR-X dan fasilitas pengolahan data kepada Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh LAPAN dan kepada Dr. Rahmat Arief, Dipl.-Ing. atas bimbingan dan diskusi terkait pengolahan data TerraSAR-X dan analisisnya.

DAFTAR RUJUKAN

Aal-shamkhi, A. D. S., Mojaddadi, H., Pradhan, B., & Abdullahi, S. (2017). Extraction and Modeling

of Urban Sprawl Development in Karbala City Using VHR Satellite Imagery *Spatial Modeling and Assessment of Urban Form* (281-296): Springer.

- AIRBUS. (2008). Calculation of Beta Naught and Sigma Naught for TerraSAR-X data.
- Antonova, S., Käab, A., Heim, B., Langer, M., & Boike, J. (2016). Spatio-temporal variability of X-band radar backscatter and coherence over the Lena River Delta, Siberia. *Remote sensing of Environment*, 182, 169-191.
- Blaschke, T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65(1), 2-16.
- BPS-Statistics Indonesia. (2017). *Statistical Year Book of Indonesia 2017*. Retrieved from Jakarta: <https://www.bps.go.id>
- Dell'Acqua, F., & Gamba, P. (2003). Texture-based characterization of urban environments on satellite SAR images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(1), 153-159.
- Djoko Sujarto. (1992). *Perkembangan Perencanaan Tata Ruang Kota di Indonesia*. Bandung: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITB
- Eineder, M., Fritz, T., Mittermayer, J., Roth, A., Boerner, E., & Breit, H. (2013). *TerraSAR Ground Segment—Basic Product Specification Document; Doc*. Retrieved from https://tandemx-science.dlr.de/pdfs/TX-GS-DD-3302_Basic-Products-Specification-Document_V1.9.pdf
- Esch, T., Schenk, A., Ullmann, T., Thiel, M., Roth, A., & Dech, S. (2011). Characterization of land cover types in TerraSAR-X images by combined analysis of speckle statistics and intensity information. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(6), 1911-1925.
- Esch, T., Thiel, M., Schenk, A., Roth, A., Muller, A., & Dech, S. (2010). Delineation of urban footprints from TerraSAR-X data by analyzing speckle characteristics and intensity information. *IEEE*

- Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(2), 905-916.
- Febrianti, N., & Sofan, P. (2014). Ruang terbuka hijau di DKI Jakarta berdasarkan analisis spasial dan spektral data Landsat 8. *Sumber*, 100, 11.15-12.15.
- Haralick, R. M., & Shanmugam, K. (1973). Textural features for image classification. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics*(6), 610-621.
- Hendrayana, H. (2002). Dampak Pemanfaatan Air Tanah. *Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta*.
- Kamusoko, C. (2017). Importance of Remote Sensing and Land Change Modeling for Urbanization Studies *Urban Development in Asia and Africa*, 3-10.
- Lee, J.-S., Jurkevich, L., Dewaele, P., Wambacq, P., & Oosterlinck, A. (1994). Speckle filtering of synthetic aperture radar images: A review. *Remote Sensing Reviews*, 8(4), 313-340.
- Li, Y. (2013). *Comparative study of speckle reduction approaches*. The George Washington University.
- Pravitasari, A. E. (2015). *Study On Impact Of Urbanization And Rapid Urban Expansion In Java And Jabodetabek Megacity, Indonesia*. Kyoto University.
- Tursilowati, L. (2002). *Urban heat island dan kontribusinya pada perubahan iklim dan hubungannya dengan perubahan lahan*. Paper presented at the Seminar Nasional Pemanasan Global dan Perubahan Global. Fakta, mitigasi, dan adaptasi. Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer dan Iklim LAPAN, ISBN.
- United Nations. (2015). *World urbanization prospects: the 2014 revision*. Retrieved from <https://esa.un.org/unpd/wup/publications/files/wup2014-highlights.Pdf>

