

**PERBANDINGAN BIAYA DALAM PENDUGAAN KANDUNGAN HARA NITROGEN
PERKEBUNAN KARET DENGAN
MENGUNAKAN BEBERAPA JENIS CITRA PENGINDERAAN JAUH**

*Cost Comparison in Estimating Nitrogen Content of Rubber Plantation
Using Some Kinds of Remote Sensing Image*

Jamin Saputra^{1*}, Muhammad Kamal² dan Pramaditya Wicaksono²

¹Pusat Penelitian Karet

Jln. Raya Palembang – Pangkalan Balai km 29, Sembawa, Banyuasin 30953 – Sumatera Selatan

*Email: jamincomsu@yahoo.com

²Program Studi S2 Penginderaan Jauh, Fakultas Geografi, UGM
Bulaksumur Yogyakarta 55281

Diterima 24 Juni 2020 / Direvisi 16 Juli 2020 / Disetujui 16 September 2020

Abstrak

Nitrogen merupakan salah satu unsur hara yang dibutuhkan dalam jumlah yang besar oleh tanaman. Kekurangan nitrogen akan menyebabkan terhambatnya pertumbuhan dan penurunan produktivitas tanaman. Teknologi penginderaan jauh merupakan alternatif yang dapat digunakan untuk areal yang luas dan dengan waktu yang cepat serta biaya yang relatif murah untuk mengestimasi kandungan nitrogen. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi biaya estimasi kandungan hara nitrogen perkebunan karet dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh. Komponen yang digunakan dalam evaluasi efektivitas biaya antara lain; perolehan data lapangan, perolehan data citra, pengolahan citra dan uji akurasi hasil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa estimasi kandungan hara nitrogen perkebunan karet menggunakan citra Sentinel-2A lebih efektif dibandingkan dengan menggunakan citra GeoEye-1 dan Landsat 8 OLI karena biaya yang dikeluarkan paling rendah dan akurasi yang dihasilkan paling tinggi. Biaya dan akurasi masing-masing citra antara lain Sentinel-2A biaya Rp.8.490.500 dengan akurasi 86,83%, GeoEye-1 biaya Rp.13.732.500 dengan akurasi 81,46% dan

Landsat 8 OLI biaya Rp.8.490.500 dengan akurasi 83,53%. Biaya pendugaan kandungan hara nitrogen perkebunan karet menggunakan citra Sentinel-2A hanya 48,8% dari cara konvensional.

Kata kunci: GeoEye-1, Sentinel-2A, Landsat 8 OLI, unsur Nitrogen, tanaman karet

Abstract

Nitrogen is one of the nutrients needed in large quantities by plants. Plants that lack of nitrogen nutrients will cause stunted growth and decreased plant productivity. Remote sensing technology is an alternative that can be used for large areas and with a fast time and relatively low cost to estimate nitrogen nutrients. This research was carried out to evaluate the estimated cost of nitrogen nutrient content in rubber plantation by using remote sensing technology. Components used in the evaluation of cost-effectiveness such as; field data acquisition, image data acquisition, image processing, and results in accuracy testing. The results showed that the estimation of nitrogen content of rubber plantations using Sentinel-2A imagery was more effective than using GeoEye-1 and Landsat 8 OLI images because the costs were the lowest and the highest accuracy produced. The cost and accuracy of

each image include the Sentinel-2A costs Rp. 8.490.500 accuracy 86,83%, GeoEye-1 costs Rp.13.732.500 accuracy 81,46% and Landsat 8 OLI costs Rp.8.490.500 accuracy 83,53 %. Cost of estimating nitrogen content of rubber plantations using Sentinel-2A imagery is only 48.8% of the conventional method.

Keywords: GeoEye-1, Landsat 8 OLI, Sentinel-2A, Nitrogen element, rubber crop/plantation

Pendahuluan

Pemupukan merupakan salah satu kultur teknis dalam budidaya tanaman karet yang bertujuan untuk mempercepat pertumbuhan dan meningkatkan produktivitas tanaman karet. Beberapa hasil percobaan pemupukan menunjukkan bahwa masa tanaman belum menghasilkan (TBM) karet dapat dipersingkat menjadi 4 tahun dengan pemupukan yang intensif. Demikian juga terjadi pada tanaman menghasilkan (TM), pemupukan dapat

meningkatkan produksi 21-56% dibandingkan dengan tanaman yang tidak dipupuk (Angkapradipta *et al.*, 1986; Tambunan *et al.*, 1991). Umumnya pemupukan tanaman karet memberikan penambahan unsur hara makro seperti Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K), Kalsium (Ca), dan Magnesium (Mg). Nitrogen merupakan unsur hara yang paling besar kebutuhannya untuk mendukung pertumbuhan dan produksi yang optimal dibandingkan dengan unsur hara yang lainnya. Menurut Adiwiganda *et al.* (1994), kegiatan pemupukan harus efektif dan efisien sehingga dengan biaya pemupukan yang rendah dapat memberikan hasil yang optimal. Usaha pencapaian efisiensi pemupukan dilakukan menyusun dosis rekomendasi dengan mempertimbangkan faktor tanah, faktor tanaman (umur, produksi dan kesehatan tanaman) serta faktor lingkungan yang mempengaruhi efisiensi pemupukan. Dosis rekomendasi disusun menggunakan hasil analisis tanah dan daun tanaman karet pada

Tabel 1. Komponen yang digunakan dalam evaluasi efektivitas biaya

Komponen	Sub-komponen	Biaya dan Waktu
1. Perolehan data lapangan	➤ Pengambilan sampel	➤ Upah tenaga kerja, hari kerja, dan akomodasi
	➤ Analisis di laboratorium	➤ Biaya analisis nitrogen dan klorofil tanaman
2. Perolehan data citra	➤ Citra Landsat 8 OLI, Sentinel-2A dan GeoEye-1	➤ Biaya citra Landsat 8 OLI, Sentinel-2A dan GeoEye-1
	➤ Persiapan citra	➤ Upah tenaga kerja, hari kerja
3. Pengolahan citra	➤ <i>Software</i> pengolah citra ENVI	➤ Biaya membeli lisensi untuk pelajar atau mahasiswa
	➤ Citra Landsat 8 OLI	➤ Upah tenaga kerja, hari kerja
	➤ Sentinel-2A	➤ Upah tenaga kerja, hari kerja
4. Uji akurasi hasil	➤ GeoEye-1	➤ Upah tenaga kerja, hari kerja
	➤ Citra Landsat 8 OLI	➤ Upah tenaga kerja, hari kerja
	➤ Sentinel-2A	➤ Upah tenaga kerja, hari kerja
	➤ GeoEye-1	➤ Upah tenaga kerja, hari kerja

luasan tertentu yang sering disebut blok contoh atau LSU (*leaf sampling unit*).

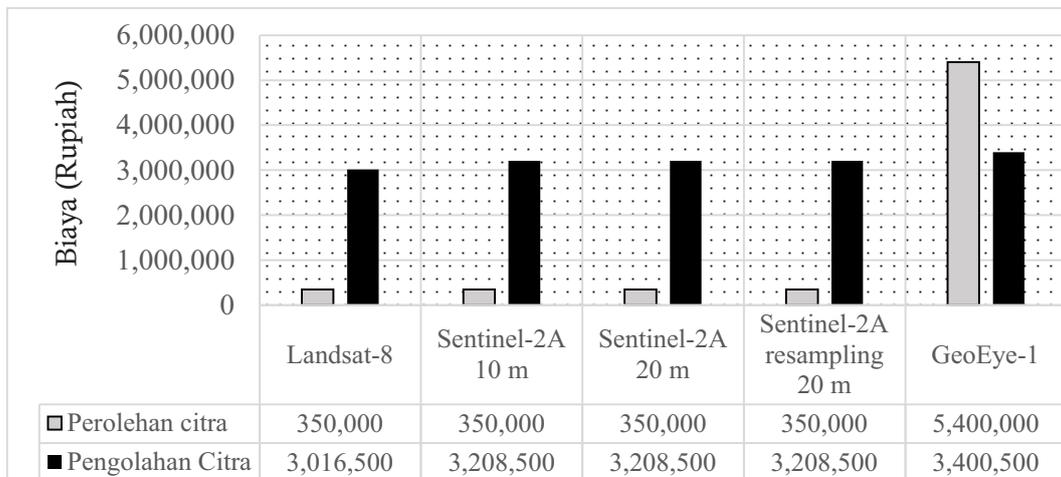
Pada prakteknya, pemupukan yang berdasarkan pada hasil analisis hara tanaman dan tanah hanya dilakukan oleh perusahaan besar. Sementara itu perusahaan kecil atau petani karet melakukan pemupukan tidak berdasarkan hasil analisis hara tanaman dan tanah, hanya berdasarkan dosis rekomendasi umum. Metode penentuan kebutuhan pupuk saat ini membutuhkan waktu lama dan biaya yang mahal karena LSU yang dibuat hanya untuk 40-60 ha tanaman dengan umur dan jenis klon yang sama, sehingga untuk areal yang luas membutuhkan biaya analisa tanah dan daun yang cukup mahal. Oleh karena itu

sangat dibutuhkan suatu teknologi yang dapat mengestimasi kondisi hara tanaman secara cepat dengan biaya yang murah.

Kandungan hara nitrogen pada tanaman umumnya dilakukan dengan menganalisis jaringan tanaman di laboratorium dengan metode Kjeldahl (Balai Penelitian Tanah, 2009). Menurut Rosmarkam dan Yuwono (2002) untuk mengetahui kandungan hara nitrogen pada tanaman dapat dilakukan melalui analisis kandungan nitrogen pada daun tanaman. Hal ini dikarenakan bagian tanaman yang berwarna hijau mengandung nitrogen protein terbanyak dan meliputi 70% - 80% dari total nitrogen tanaman.

Tabel 2. Rincian biaya estimasi kandungan nitrogen menggunakan citra penginderaan jauh.

No	Komponen Biaya	Satuan	Jumlah	Biaya Satuan	Jumlah Biaya
1.	Pengambilan sampel tanaman				
	- Tenaga kerja lapangan	Hari	12	92.000	1.104.000
	- Analisis kandungan Nitrogen	Sampel	30	58.000	1.740.000
2.	Perolehan citra				
	- Landsat 8 OLI	<i>Scene</i>	1	350.000	350.000
	- Sentinel-2A	<i>Scene</i>	1	350.000	350.000
	- GeoEye-1 (Arsip > 90 hari)	km ²	25	216.000	5.400.000
3.	Pengolahan Citra				
	- <i>Software</i> pengolahan citra (ENVI)	Paket	1	2.632.500	2.632.500
	- Landsat 8 OLI	Hari	2	192.000	384.000
	- Sentinel-2A 10 m	Hari	3	192.000	576.000
	- Sentinel-2A 20 m	Hari	3	192.000	576.000
	- Sentinel-2A <i>resampling</i> 20 m	Hari	3	192.000	576.000
	- GeoEye-1	Hari	4	192.000	768.000
4.	Uji akurasi hasil estimasi				
	- Tenaga kerja lapangan	Hari	8	92.000	736.000
	- Analisis kandungan Nitrogen	Sampel	20	58.000	1.160.000
	- Pengolahan data nitrogen dan citra	Hari	1	192.000	192.000
	Total biaya estimasi				
	- Landsat 8 OLI				8.298.500
	- Sentinel-2A 10 m				8.490.500
	- Sentinel-2A 20 m				8.490.500
	- Sentinel-2A <i>resampling</i> 20 m				8.490.500
	- GeoEye-1				13.732.500



Gambar 1. Perbandingan biaya perolehan dan pengolahan citra.

Dengan perkembangan teknologi saat ini, kandungan hara nitrogen pada tanaman dapat diketahui dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh. Penelitian estimasi kandungan hara nitrogen dengan menggunakan citra penginderaan jauh multispektral pada tanaman semusim telah dilakukan, diantaranya pada tanaman jagung menggunakan citra Quickbird (Bausch dan Khosla, 2010), pada tanaman gandum menggunakan citra Ikonos (Jia *et al.*, 2011), dan pada tanaman gandum menggunakan citra RapidEye (Basso *et al.*, 2016; Magney *et al.*, 2016). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi (R^2) lebih dari 0,70. Hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan citra resolusi tinggi berpotensi digunakan untuk mengestimasi kandungan nitrogen pada tanaman pertanian. Saputra (2018) melaporkan bahwa pendugaan kandungan hara nitrogen di perkebunan karet berpotensi dilakukan menggunakan teknologi penginderaan jauh. Penggunaan citra dengan resolusi menengah seperti Sentinel 2A (10 m) dan Landsat 8 (30 m) diperkirakan memiliki akurasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan citra beresolusi tinggi seperti citra

GeoEye-1 (2 m). Hasil pendugaan kandungan nitrogen dapat disajikan dalam bentuk peta sebaran kandungan hara.

Penggunaan teknologi penginderaan jauh lebih efisien dibandingkan dengan cara konvensional untuk melakukan pemetaan informasi pada wilayah yang cukup luas (Lewis *et al.*, 2013; Mumby *et al.*, 1999). Sehubungan dengan potensi tersebut, maka perlu dilakukan penelitian dengan tujuan mengevaluasi biaya estimasi kandungan hara nitrogen perkebunan karet dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh.

Bahan dan Metode

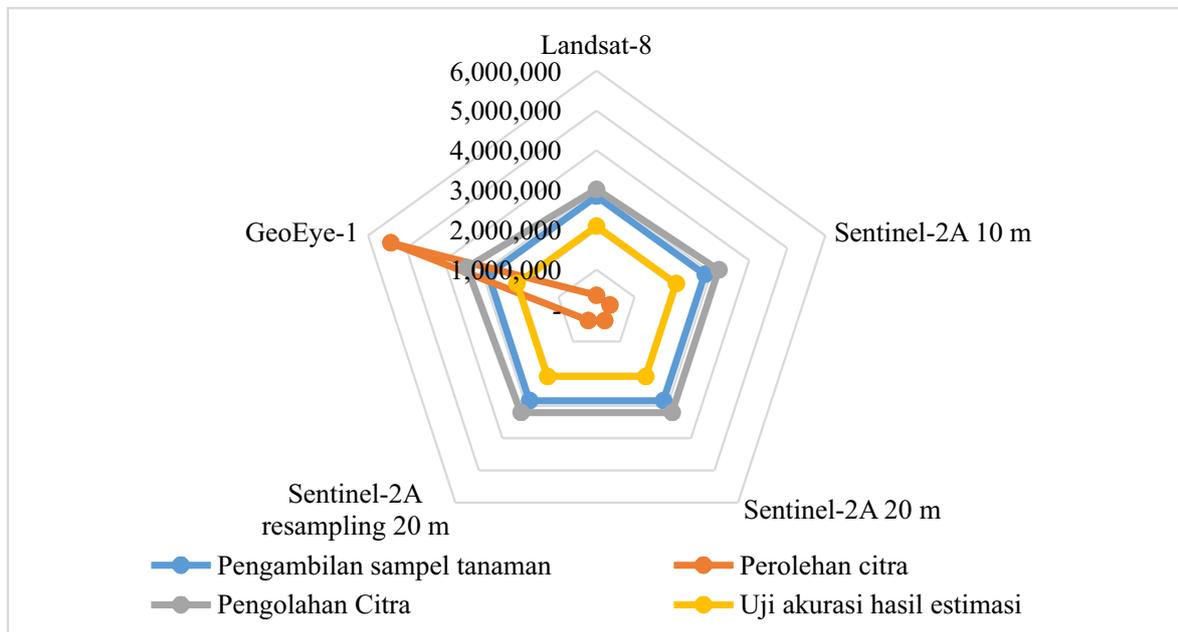
Penelitian dilakukan pada tahun 2018 di Kebun Percobaan Penelitian Pusat Penelitian Sembawa pada areal seluas 1.000 ha. Secara administrasi terletak di Desa Lalang Sembawa, Kecamatan Sembawa, Kabupaten Banyuasin, Provinsi Sumatera Selatan. Bahan yang digunakan adalah citra penginderaan jauh yang terdiri dari citra GeoEye-1 dengan resolusi spasial 2 m dan cakupan areal minimal 25 km² tergantung pesanan, Sentinel-2A dengan resolusi spasial 10 m dan cakupan areal 290 km², dan Landsat 8 OLI dengan resolusi

Perbandingan biaya dalam pendugaan kandungan hara nitrogen perkebunan karet dengan menggunakan beberapa jenis citra penginderaan jauh

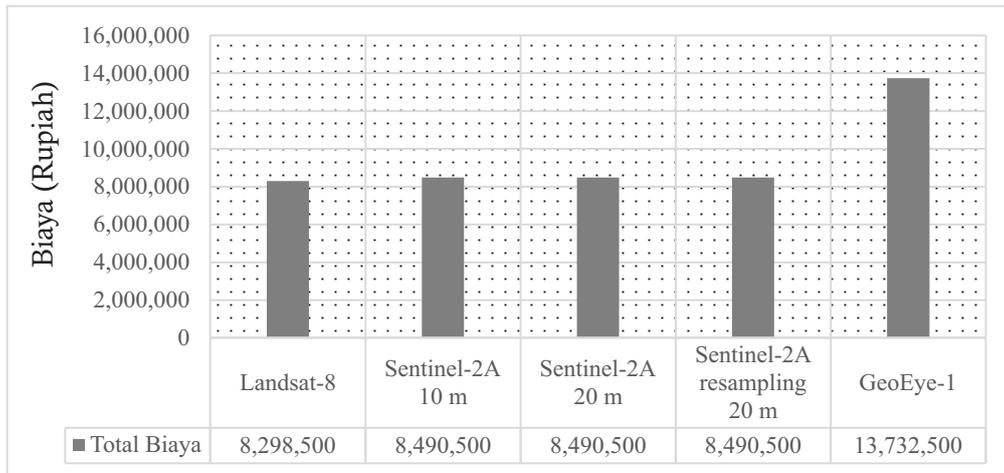
spasial 30 m dan cakupan areal 170 x 183 km². Evaluasi biaya perlu dilakukan untuk mengetahui perbandingan efektivitas biaya yang dikeluarkan dengan metode yang dilakukan terhadap akurasi hasil estimasi. Metode estimasi dibagi berdasarkan jenis citra yang digunakan yakni citra GeoEye-1, Sentinel-2A, dan Landsat 8 OLI.

Komponen yang digunakan dalam evaluasi efektivitas biaya antara lain; data lapangan, data citra, pengolahan citra dan uji akurasi hasil. Biaya yang dikeluarkan untuk mendapatkan data lapangan merupakan total biaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan data kandungan hara perkebunan karet pada lokasi penelitian. Beberapa komponen biaya dalam perolehan data lapangan antara lain biaya tenaga kerja untuk pengambilan sampel daun tanaman dan biaya analisis kandungan hara di laboratorium. Total biaya tersebut menjadi biaya perolehan data lapangan.

Biaya yang dikeluarkan untuk mendapatkan data citra merupakan total biaya yang dikeluarkan untuk mendapatkan data citra pada lokasi penelitian. Citra yang digunakan pada penelitian ini adalah citra GeoEye-1, Sentinel-2A, dan Landsat 8 OLI. Biaya yang dikeluarkan untuk perolehan citra Landsat 8 OLI dan Sentinel-2A hanya biaya untuk mendownload citra tersebut dari website <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Sedangkan perolehan data citra GeoEye-1 berdasarkan luas areal yang dipesan sesuai dengan luas areal penelitian dan harga per kilometer persegi citra GeoEye-1. Berdasarkan informasi dari Pusat Pemanfaatan Teknologi Dirgantara LAPAN di website pusfatekgan.lapan.go.id, biaya pemesanan citra GeoEye-1 empat band 16 USD per km² untuk arsip (lebih 90 hari) dengan luas pemesanan minimum 25 km² dan 25 USD per km² untuk *fresh* arsip (kurang dari 90 hari) dengan luas pemesanan minimum 100 km² dan jarak antar *vertex* minimum 5 km.



Gambar 2. Distribusi biaya antar metode estimasi.



Gambar 3. Perbandingan total biaya antar metode estimasi

Biaya pengolahan data citra, baik untuk citra Landsat 8 OLI, Sentinel-2A dan GeoEye-1 dihitung berdasarkan biaya pembelian lisensi *software* pengolahan citra (ENVI) dan jumlah hari kerja yang diperlukan untuk pengolahan data citra sampai menghasilkan peta kandungan hara nitrogen tanaman karet di lokasi penelitian. Sementara itu uji akurasi hasil didapatkan dari hasil pengolahan peta hasil estimasi dengan sejumlah hasil data lapangan untuk uji akurasi. Hasil uji akurasi mendapatkan peta kandungan hara perkebunan karet pada lokasi penelitian dengan informasi akurasi hasil pemetaan. Rangkuman komponen yang digunakan dalam evaluasi efektivitas biaya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tenaga kerja dalam penelitian ini dibedakan menjadi tenaga kerja lapangan untuk pengambilan sampel pada setiap plot pengamatan dan tenaga kerja yang memiliki keterampilan dalam pengolahan data citra. Gaji tenaga kerja lapangan berdasarkan Upah Minimum Provinsi (UMP) Provinsi Sumatera Selatan tahun 2017 sebesar Rp. 2.388.000 per bulan sehingga apabila dihitung harian dengan 26 hari kerja per bulan maka upah hariannya dibulatkan menjadi Rp. 92.000. Tenaga kerja yang dianggap memiliki keterampilan dalam pengolahan data citra dalam penelitian ini

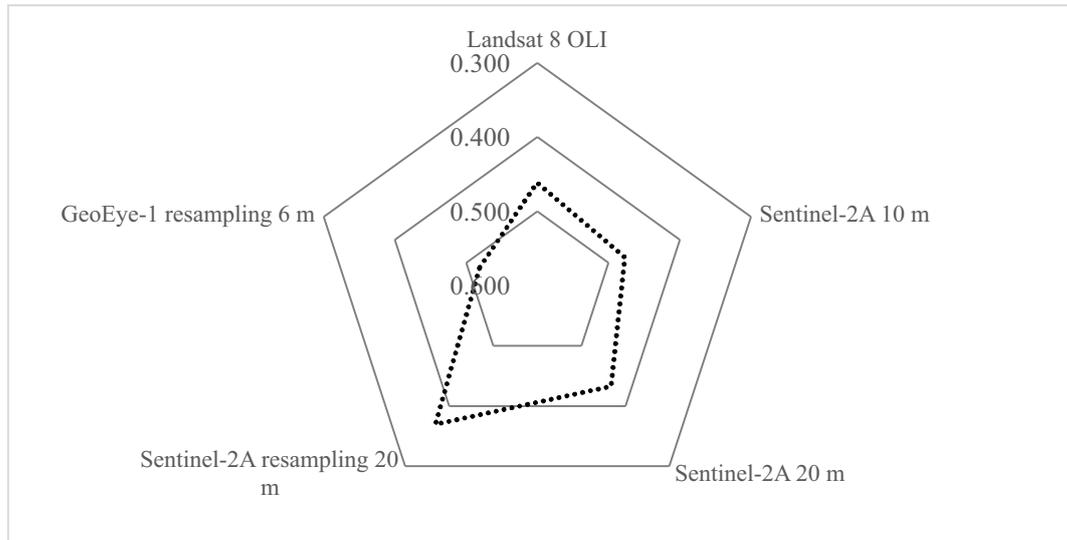
adalah lulusan sarjana (S1). Gaji per bulan lulusan sarjana (S1) diasumsikan sebesar Rp. 5.000.000, sehingga upah hariannya dibulatkan menjadi Rp. 192.000.

Hasil dan Pembahasan

Analisis efektivitas biaya dilakukan dengan cara membandingkan biaya yang dikeluarkan dengan metode yang dilakukan terhadap akurasi peta hasil estimasi. Metode estimasi dibagi berdasarkan jenis citra yang digunakan yaitu citra GeoEye-1, Sentinel-2A, dan Landsat 8 OLI. Metode estimasi menggunakan citra Sentinel-2A dibagi menjadi tiga metode antara lain dengan menggunakan band dengan resolusi spasial 10 m, 20 m, dan *resampling* band 10 m menjadi 20 m.

Rincian biaya yang dikeluarkan untuk masing-masing metode disajikan pada Tabel 2. Perbandingan biaya yang dikeluarkan untuk perolehan dan pengolahan data citra kelima metode estimasi disajikan pada Gambar 1. Hasil tersebut menunjukkan bahwa biaya perolehan citra GeoEye-1 sebesar Rp. 5.400.000 jauh lebih tinggi dibandingkan dengan biaya perolehan citra Landsat 8 OLI dan Sentinel-2A yang hanya Rp. 350.000. Hal tersebut dikarenakan biaya perolehan citra

Perbandingan biaya dalam pendugaan kandungan hara nitrogen perkebunan karet dengan menggunakan beberapa jenis citra penginderaan jauh



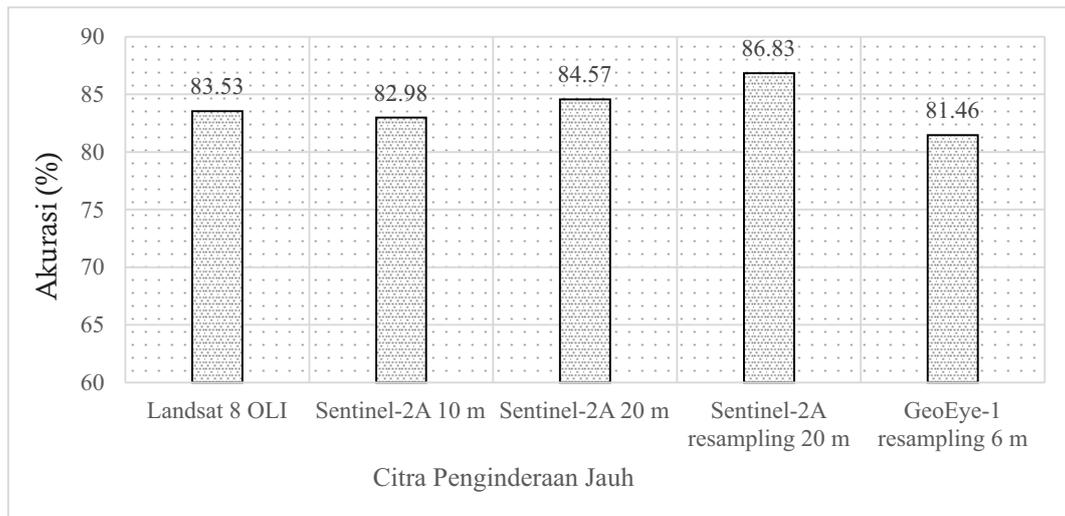
Gambar 4. Perbandingan SE antar metode estimasi.

GeoEye-1 diasumsikan dengan membeli citra luasan minimal 25 km² dengan harga 16 USD per km² untuk data arsip (tanggal perekaman lebih dari 90 hari). Asumsi harga mata uang dolar sebesar Rp. 13.500,- per USD. Sementara itu perolehan citra Landsat 8 OLI dan Sentinel-2A hanya digunakan untuk langganan internet *unlimited* selama satu bulan. Pada areal kajian yang lebih luas, maka biaya perolehan citra GeoEye-1 akan semakin tinggi karena terjadi peningkatan biaya sebesar Rp. 216.000 setiap km² sementara untuk citra Sentinel-2A dan Landsat 8 OLI memiliki luasan setiap *scene* yang cukup luas.

Biaya pengolahan citra diasumsikan menggunakan *software* ENVI. Informasi dari www.harrisgeospatial.com/academic harga lisensi mahasiswa selama satu tahun sebesar 195 USD atau sebesar Rp. 2.632.500. Pengolahan citra diasumsikan menggunakan tenaga yang terampil dengan pendidikan strata satu (S1) dengan gaji per bulan lulusan S1 diasumsikan sebesar Rp. 5.000.000, sehingga upah hariannya dibulatkan menjadi Rp. 192.000. Pengolahan citra diasumsikan sampai menjadi *layout* peta hasil estimasi. Jumlah hari yang diperlukan untuk

pengolahan citra resolusi tinggi lebih banyak karena membutuhkan memori lebih besar sehingga waktu pengolahan citra yang diperlukan lebih lama. Hasil perbandingan biaya pengolahan citra antar metode menunjukkan bahwa biaya pengolahan metode yang menggunakan citra GeoEye-1 sebesar Rp. 3.400.500 merupakan yang paling tinggi dibandingkan dengan metode yang lain yang hanya Rp. 3.016.500 untuk citra Landsat 8 OLI dan Rp. 3.208.500 untuk citra Sentinel-2A.

Perbandingan distribusi biaya antar metode estimasi disajikan pada Gambar 2. Gambar tersebut menunjukkan biaya perolehan citra yang paling besar pengaruhnya terhadap total biaya estimasi dengan citra GeoEye-1. Perbandingan total biaya estimasi kandungan hara nitrogen perkebunan karet antar metode disajikan pada Gambar 3. Perbandingan total biaya estimasi tersebut menunjukkan bahwa biaya estimasi kandungan hara nitrogen dengan menggunakan citra GeoEye-1 merupakan metode yang paling tinggi yaitu sebesar Rp. 13.732.500 dibandingkan dengan metode estimasi yang menggunakan citra Landsat 8 OLI hanya Rp. 8.298.500 dan



Gambar 5. Akurasi antar metode estimasi

metode estimasi yang menggunakan citra Sentinel-2A hanya Rp. 8.490.500. Komponen biaya yang membuat metode estimasi menggunakan citra GeoEye-1 paling tinggi adalah biaya perolehan citra karena citra dengan resolusi spasial yang tinggi belum tersedia secara gratis. Biaya yang dibutuhkan dengan cara konvensional untuk mengetahui kandungan hara nitrogen perkebunan karet maka biaya yang dibutuhkan terdiri dari biaya pengambilan sampel 8 hari Rp. 736.000 dan analisa nitrogen 20 sampel di laboratorium sebesar Rp. 1.160.000 jadi totalnya menjadi Rp. 1.896.000 (Tabel 2). Apabila dibandingkan dengan menggunakan citra Sentinel-2A maka biaya yang dibutuhkan hanya biaya perolehan citra Rp. 350.000 dan pengolahan citra Rp. 576.000 sehingga totalnya hanya Rp. 926.000. Berdasarkan hitungan tersebut artinya apabila menggunakan citra Sentinel-2A biayanya hanya 48,8% dari cara konvensional.

Selain biaya perolehan data citra, data lapangan dan pengolahan data, evaluasi efektivitas biaya juga mempertimbangkan akurasi estimasi masing-masing metode. Akurasi dapat dilihat dari nilai SE (*Standard Error*) dan persentase (%) akurasi.

Perbandingan akurasi antar metode estimasi disajikan pada Gambar 4 dan Gambar 5 (Saputra, Kamal, & Wicaksono, 2018). Dari perbandingan akurasi estimasi tersebut menunjukkan bahwa metode estimasi kandungan nitrogen dengan menggunakan citra Sentinel-2A merupakan metode yang paling akurat karena memiliki nilai SE yang paling rendah (0,36) dan persentase akurasi yang paling tinggi (86,83%).

Hasil evaluasi efektivitas biaya estimasi kandungan hara nitrogen menggunakan citra penginderaan jauh berdasarkan biaya yang dikeluarkan dan akurasi estimasi yang dihasilkan menunjukkan bahwa metode estimasi dengan menggunakan citra Sentinel-2A merupakan metode yang paling efektif. Hal ini menunjukkan bahwa hipotesis estimasi kandungan hara nitrogen perkebunan karet dengan menggunakan citra Sentinel-2A lebih efektif diterima.

Kesimpulan

Hasil evaluasi efektivitas biaya berdasarkan total biaya estimasi dan akurasi hasil estimasi menunjukkan bahwa estimasi kandungan hara nitrogen perkebunan karet pada areal seluas

1.000 ha menggunakan citra Sentinel-2A lebih efektif dibandingkan dengan menggunakan citra GeoEye-1 dan Landsat 8 OLI, karena biaya yang dikeluarkan paling rendah (Rp.8.490.500), nilai SE yang paling rendah (0,36) dan persentase akurasi paling tinggi (86,83%). Apabila menggunakan citra Sentinel-2A biaya estimasi hanya 48,8% dibandingkan dengan cara konvensional. Biaya perolehan citra yang paling besar pengaruhnya terhadap total biaya estimasi adalah citra GeoEye-1. Komponen biaya yang membuat metode estimasi menggunakan citra GeoEye-1 paling tinggi adalah biaya perolehan citra karena citra dengan resolusi spasial yang tinggi belum tersedia secara gratis. Perbandingan akurasi menunjukkan bahwa metode estimasi kandungan nitrogen dengan menggunakan citra Sentinel-2A merupakan metode yang paling akurat karena memiliki nilai SE yang paling rendah dan persentase akurasi paling tinggi.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktur Pusat Penelitian Karet yang telah memberi kesempatan untuk melanjutkan jenjang pendidikan S2 di Program Studi Penginderaan Jauh Fakultas Geografi UGM. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih pada Digital Globe Foundation yang telah menyediakan data citra GeoEye-1 dan USGS (United States Geological Survey) melalui website <https://earthexplorer.usgs.gov/> telah menyediakan data citra Sentinel-2A dan Landsat 8 OLI pada lokasi penelitian.

Daftar Pustaka

- Adiwiganda, Y. T., Hardjono, A., Manurung, A., Sihotang, U. T. B. D., Sudiharto, Goenadi, D. H., & Sihombing, H. (1994). Teknik penyusunan rekomendasi pemupukan tanaman karet. In Forum Komunikasi Karet (pp. 117). Sembawa: Pusat Penelitian Karet.
- Angkapradipta, P., Tuti-warsito, & Nurdin, M. S. (1986). Pengujian dosis anjuran pupuk N, P, dan K untuk tanaman karet GT 1 produktif pada tanah Latosol. *Menara Perkebunan*, 54(5), 111119.
- Balai Penelitian Tanah. (2009). *Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian.
- Basso, B., Fiorentino, C., Cammarano, D., & Schulthess, U. (2016). Variable rate nitrogen fertilizer response in wheat using remote sensing. *Precision Agriculture*, 17(2), 168182. <https://doi.org/10.1007/s11119-015-9414-9>
- Bausch, W. C., & Khosla, R. (2010). QuickBird satellite versus ground-based multi-spectral data for estimating nitrogen status of irrigated maize. *Precision Agriculture*, 11, 274290. <https://doi.org/10.1007/s11119-009-9133-1>
- Jia, L., Yu, Z., Li, F., Gnyp, M., Koppe, W., Bareth, G., ... Zhang, F. (2011). Nitrogen status estimation of winter wheat by using Ikonos satellite image in the north china plain. In D. Li & Y. Chen (Eds.), *5th Computer and Computing Technologies in Agriculture (CCTA)* (pp. 174184). Beijing, Cina: Springer, IFIP Advances in Information and Communication Technology.
- Lewis, D., Phinn, S., & Arroyo, L. (2013). Cost-Effectiveness of Seven Approaches to Map Vegetation Communities; A Case Study from Northern Australia's Tropical Savannas. *Remote Sensing*, 5, 377414.
- Magney, T. S., Eitel, J. U. H., & Vierling, L. A. (2016). Mapping wheat nitrogen uptake from RapidEye vegetation indices. *Precision Agriculture*, 17, 123. <https://doi.org/10.1007/s11119-016-9463-8>

- Mumby, P. J., Green, E. P., Edwards, A. J., & Clark, C. D. (1999). The cost-effectiveness of remote sensing for tropical coastal resources assessment and management. *Journal of Environmental Management*, 55, 157166.
- Rosmarkam, A., & Yuwono, N. W. (2002). *Ilmu Kesuburan Tanah*. Yogyakarta: Kanisius.
- Saputra, J., Kamal, M., & Wicaksono, P. (2018). Pengaruh Resolusi Spasial Citra terhadap Hasil Pemetaan Kandungan Hara Nitrogen Perkebunan Karet. *Jurnal Penelitian Karet*, 36(1), 1324.
- Tambunan, D., Sihombing, H., & Thomas. (1991). Pemupukan Nitrogen dan Kalium pada tanaman karet produktif klon PR 261 pada tanah podsolik merah kuning. *Buletin Perkebunan Rakyat*, 7(1), 2128.