

PENDUGAAN PRODUKTIVITAS BLOK KEBUN KELAPA SAWIT BERDASARKAN LUAS KANOPI DAN INDEKS VEGETASI MENGUNAKAN FOTO UDARA MULTISPEKTRAL

Prediction of Oil Palm Plantation Block Productivity Based On Canopy Area And Vegetation Index Using Multispectral Aerial Photographs

Tri Haryo Sagoro¹⁾, Andreas Wahyu Krisdiarto²⁾, Hermantoro³⁾

¹⁾Program Magister Manajemen Perkebunan, Institut Pertanian Stiper Yogyakarta

²⁾Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Stiper Yogyakarta
Jl. Nangka II Maguwoharjo, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55282, Indonesia
Penulis Korespondensi, email : andre@instiperjogja.ac.id

³⁾Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Stiper Yogyakarta
Jl. Nangka II Maguwoharjo, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55282, Indonesia

ABSTRAK

Perkebunan kelapa sawit umumnya mencakup areal yang luas, sehingga untuk monitoring tidak bisa lagi secara manual. Tuntutan efisiensi dapat dipenuhi dengan penerapan *Precision Farming* (PF), dimana analisis produksi dilakukan terhadap luasan yang kecil. Saat ini penerapan PF di perkebunan kelapa sawit misalnya untuk memperkirakan produksi berdasarkan informasi indeks tanaman yang diterjemahkan dari foto satelit. Penentuan nilai *Leaf Area Index* (LAI) saat ini banyak dilakukan secara konvensional, yakni dengan mengakumulasi jumlah luas daun dalam satu bidang tertentu kemudian dibagi dengan luas bidang tersebut. Sedangkan evaluasi yield atau hasil panen dilakukan berdasarkan satuan luasan blok. Informasi yang beragam di dalam satu blok tersebut diseragamkan sehingga berpotensi menghilangkan informasi detail yang bermanfaat. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model pendugaan empirik produktivitas kebun kelapa sawit per hancu panen melalui pendekatan luas kanopi dan indeks vegetasi tanaman kelapa sawit dengan teknologi kamera multispektral. Metode estimasi produktivitas kelapa sawit dilakukan dengan membandingkan hasil pengolahan menggunakan algoritma transformasi *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan *Normalized Difference Red Edge* (NDRE). Basis pendugaan adalah per hancu panen, dimana memiliki luasan $\pm 0,3$ ha. Hasil menunjukkan: 1) antara NDVI, NDRE dengan produksi TBS memiliki korelasi kuat dan sangat kuat; 2) antara luas kanopi terhadap produksi TBS memiliki keterkaitan yang kuat; 3) korelasi nilai indeks vegetasi NDVI terhadap produksi TBS adalah kuat. Persamaan penduga produktivitas dari nilai NDRE adalah $y = 3621,9x - 1153,8$ ($R^2 = 63,5\%$), persamaan penduga produktivitas berdasar luas kanopi adalah $y = 0,5479x - 717,08$ ($R^2 = 57,3\%$), dan persamaan penduga produktivitas berdasar NDVI adalah $y = 11,639x - 9709,2$ ($R^2 = 53,7\%$).

Kata kunci: Estimasi; Perkebunan; Tandan Buah Segar, NDRE; NDVI

ABSTRACT

Oil palm plantations generally cover a large area, so monitoring can no longer be done manually. Efficiency demands can be met by applying Precision Farming (PF), where production analysis is carried out on small areas. Currently, most of the determination of the Leaf Area Index (LAI) is done conventionally, namely by accumulating the number of leaf areas in a certain area and then dividing it by the area of that field. While the evaluation of yield or yield is carried out based on block area units. The various information in one block is homogenized so that it potentially eliminates useful detailed

information. This study aims to develop an empirical estimation model for the productivity of oil palm plantations per harvest through the vegetation index of oil palm plants using multispectral camera technology. The estimation method for palm oil productivity is carried out by comparing processing results using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) transformation algorithms. The basis for the estimation is per harvest, which has an area of ± 0.3 ha. The results show: 1) between NDVI, NDRE and FFB production have a strong and very strong correlation; 2) there is a strong relationship between canopy area and FFB production; 3) the correlation between the NDVI vegetation index value and FFB production is strong. The productivity estimator equation from the NDRE value, canopy area and NDVI respectively is $y = 3621.9x - 1153.8$ ($R^2 = 63.5\%$), $y = 0.5479x - 717.08$ ($R^2 = 57.3\%$), and $y = 11.639x - 9709.2$ ($R^2 = 53.7\%$).

Keywords : Estimation; Fresh Fruit Bunch, Plantation; NDRE; NDVI

PENDAHULUAN

Indonesia menjadi penghasil minyak kelapa sawit (CPO) terbesar dunia dengan mempunyai perkebunan kelapa sawit seluas 16,8 juta hektar (Yuwono, 2022). Perkebunan kelapa sawit umumnya mencakup luasan yang besar, sehingga untuk melakukan monitoring yang produktif dibutuhkan teknologi yang lebih murah dan efisien (Krisdiarto et al., 2019; Krisdiarto and Wisnubhadra, 2019; Mirzaeinia et al., 2019). Tuntutan produktivitas dan efisiensi mendorong penggantian metode manual yang memakan waktu lama dengan otomatisasi atau digital, misalnya penggunaan pesawat tanpa awak (drone) dalam pengumpulan data spasial di perkebunan kelapa sawit (O'Driscoll, 2018). Teknologi drone sangat berpotensi dikembangkan dan diaplikasikan di Indonesia karena sesuai karakteristik topografis dan geografis kawasan ini (Duffy et al., 2018). Sejauh ini foto hasil pemetaan dari drone biasanya baru dipergunakan untuk menghitung jumlah pokok tanaman kelapa sawit, sementara dalam ilmu dan teknologi pengolahan citra dari penginderaan jauh sudah berkembang pemanfaatan sensor-sensor multispektral seperti inframerah, thermal atau bahkan hiperspektral.

Beberapa permasalahan penting perkebunan kelapa sawit adalah: 1) permasalahan teknis penyebab rendahnya produktivitas tanaman dibandingkan potensinya; 2) pengeluaran biaya produksi yang terlalu tinggi akibat input yang tidak sesuai, penerapan metode yang tidak efisien dan sistem administrasi yang kurang teratur. Masalah-masalah tersebut dapat diatasi dengan penerapan *Precision Farming* (PF)

dalam manajemen perkebunan. Salah satu aplikasi PF di perkebunan kelapa sawit yaitu untuk estimasi produksi per blok atau pokok tanaman. Ketepatan estimasi produksi dalam manajemen perkebunan kelapa sawit akan menentukan program kerja perkebunan yang tepat agar dapat dicapai keuntungan yang optimal. Saat ini estimasi produksi kelapa sawit berdasar citra PF yang banyak diterapkan di perkebunan kelapa sawit didasarkan pada informasi indeks tanaman yang diturunkan dari foto satelit Quickbird (Balasundram et al., 2013; Darmawan et al., 2016; Khamis et al., 2005; Setyowati et al., 2016). Produktivitas tanaman kelapa sawit turut ditentukan oleh ukuran tajuk atau luas daun sebagai permukaan fotosintesis (Romero et al., 2022). Kajian oleh (Hardon et al., 2008) juga memperlihatkan adanya korelasi positif antara luas daun dengan hasil pada tanaman kelapa sawit pada jenis yang sama.

Kanopi tanaman dapat dicirikan dengan nilai *Leaf Area Index* (LAI), yang secara konvensional ditentukan dengan mengukur dan mengakumulasi jumlah luas daun dalam satu bidang tertentu dan dibagi dengan luas bidang tersebut (Risdiyanto and Setiawan, 2007). LAI juga dapat ditentukan menggunakan alat ukur radiasi surya seperti tube solari meter. Baik metode pengukuran konvensional maupun dengan solarimeter tersebut mempunyai keterbatasan spasial. Kelemahan tersebut dapat diatasi dengan teknik penginderaan jauh. Prinsip pendugaan LAI dari teknik penginderaan jauh adalah memanfaatkan sifat spektral dari permukaan, baik yang bersumber dari radiasi gelombang pendek

dari matahari maupun radiasi gelombang panjang dari permukaan .

Unit satuan (luasan) evaluasi yield atau hasil panen yang saat ini banyak dilakukan adalah berdasarkan blok (25-100 Ha). Informasi yang beragam di dalam satu blok tersebut diseragamkan (homogenisasi) dengan cara menghitung rata-ratanya. Homogenisasi ini dapat menghilangkan informasi detail yang bermanfaat bagi ahli agronomi untuk mengevaluasi kondisi tanaman di dalam blok tersebut. Oleh karena itu, satuan penelitian ini diusulkan untuk dibuat dalam satuan hanca panen dan TPH. Dengan satuan hanca panen dan Tempat Pengumpulan Hasil (TPH) ini, maka unit satuan yang dievaluasi menjadi semakin sempit sehingga rencana perbaikan dapat lebih fokus, misal terdapat kasus rendahnya *yield*.

Tujuan

Penelitian ini bertujuan mengembangkan model pendugaan empirik produktivitas kebun kelapa sawit per hanca panen/TPH melalui pendekatan luas kanopi dan indeks vegetasi tanaman kelapa sawit dengan teknologi kamera multispektral yang dibawa oleh drone.

METODE

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- 1.Perangkat keras, drone DJI Matrice 300 RTK dengan Multispektral Camera Micasense RedEdge P. (MicaSense Series RedEdge-P - <https://www.dji.com/content/uploads/2022/08/AgEagle-RedEdge-P-Brochure-EN.Pdf>, n.d.)
- 2.Perangkat keras, satu unit Personal Computer (PC).
- 3.Perangkat lunak Agisoft Metashape, digunakan untuk pengolahan data foto udara.
- 4.Perangkat lunak ArcGIS Pro, digunakan untuk analisis indeks vegetasi (NDVI dan NDRE).

Bahan untuk penelitian ini adalah Blok pertanaman kelapa sawit dan Tandan Buah Segar (TBS) kelapa sawit.

Cuplikan Penelitian

Populasi dalam penelitian ini adalah tanaman kelapa sawit di satu blok kebun kelapa sawit di PT. MSM, Kalimantan Tengah dengan luas 50-75 ha. Cuplikan dalam penelitian ini adalah seluruh hanca yang terdapat di dalam blok kebun yang sudah ditentukan. Kriteria penentuan populasi dan sampel mengikuti ketentuan pada tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Penentuan Populasi dan Sampel

No	Kriteria
1	Blok dengan tahun tanam ≤ 6 tahun, untuk memastikan bahwa secara fisik belum terjadi tumpang tindih antar pelepah tanaman.
2	Blok yang memiliki jenis tanah Entisol. Agar mudah dibedakan kanopi pokok dengan latar belakang permukaan tanah dari foto udara.
3	Blok yang memiliki tahun tanam dan jenis tanah dan yang sama.
4	Penentuan petak (setiap 2 pasar pikul) untuk memasok TBS ke TPH.

Variabel Penelitian

1. Variabel bebas: luas kanopi, nilai indeks vegetasi NDVI dan nilai indeks vegetasi NDRE
2. Variabel terikat: produksi tandan buah segar (TBS) kelapa sawit

Pengambilan Data

1. Pemotretan Udara
2. Pemanenan TBS dan penimbangan beratnya di TPH

Analisis Data

1. Penyusunan persamaan regresi linier untuk menggambarkan hubungan antara luas kanopi terhadap produktivitas TBS, nilai indeks vegetasi NDVI terhadap produktivitas TBS dan nilai indeks vegetasi NDRE terhadap produktivitas TBS di TPH menggunakan software SPSS dan Microsta, dengan bentuk persamaan:

$$Y = a + \alpha \times \text{LuasKanopi}$$

$$Y = b + \beta \times \text{NDVI}$$

$$Y = c + \gamma \times \text{NDRE}$$

dimana:

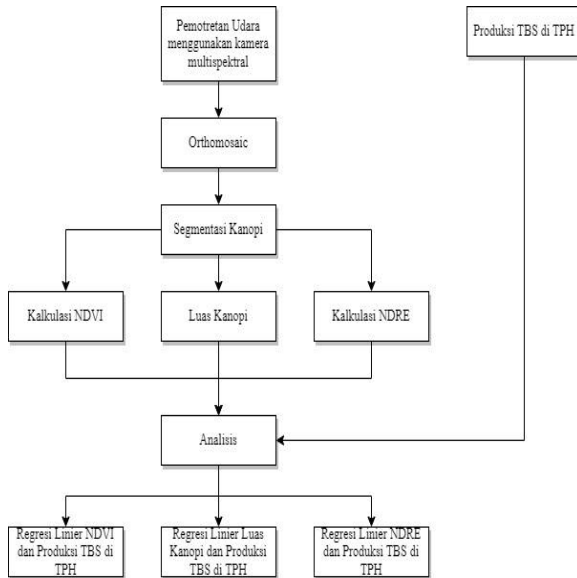
$$Y = \text{Produktivitas TBS}$$

$$\alpha = \text{gradien persamaan luas kanopi}$$

$$\beta = \text{gradien persamaan NDVI}$$

$$\gamma = \text{gradien persamaan NDRE}$$

- a,b, dan c = titik potong pada sumbu Y
2. Penghitungan koefisien determinasi untuk menggambarkan kekuatan persamaan regresi pada poin 1 mewakili dinamika data antar variabel penelitian.



Gambar 1. Tahapan penelitian

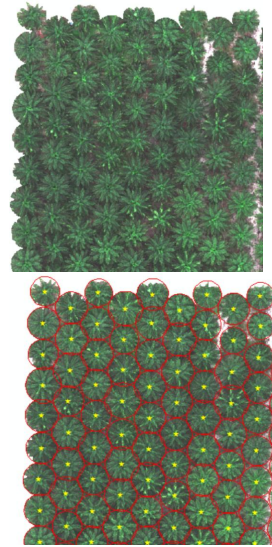
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil akuisisi citra foto dengan kamera sensor multispektral menghasilkan foto udara multispektral resolusi 7 cm yang terdiri dari 6 band data yaitu band Blue, band Green, band Red, band NIR, band Red Edge dan band Pankromatik

Angka Kerapatan Panen (AKP) mencapai 105% (lebih dari 100%) dalam 4 kali rotasi panen, artinya semua pokok dalam blok 531 (Q45) telah menghasilkan TBS, yang totalnya mencapai 18.136,62 kg.

Jumlah Pokok, Luas Daun dan Leaf Area Index (LAI)

Proses penyediaan data jumlah pokok dan luas daun dilakukan dengan berdasar foto udara band RGB (Natural) menggunakan software ArcGIS Pro Deep Learning Tools. Dari hasil pengolahan citra, didapatkan jumlah pokok sawit pada blok obyek penelitian sebanyak 2,010 pohon.



(a) (b)

Gambar 2. Membuat Lingkaran Pokok Sawit
a. RGB Composite Image
b. Image Lingkaran Pokok Sawit

Efek bayangan pada gambar dihilangkan menggunakan fitur *Image Analyst Extension* pada software ArcGIS Pro. Demikian juga obyek tanah pada citra foto dianalisa menggunakan software yang sama, dalam hal ini fitur *Image Analyst Extension* digunakan untuk menghasilkan *Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)* dari citra foto. Luas daun diperoleh dari setiap lingkaran yang telah dibersihkan dari *background* tanah. Gambar 3 menunjukkan setiap pokok sawit memiliki luas daun (meter persegi) pada kolom *SAVIMasked_Area* (hasil dari *ExG* dan *SAVI*).

Field:	Add	Calculate	Selection:	Select By Attributes	Zoom to	Switch	Clear	Delete
OBJECTID *			SHAPE *	ID_OPK	No_IPH	SAVIMasked_Area	Shape_Length	Shape_Area
1			Polygon	<Null>	TPH-008	48.192553	0.00086	0
2			Polygon	<Null>	TPH-008	56.437433	0.000683	0
3			Polygon	<Null>	TPH-008	59.679188	0.00068	0
4			Polygon	<Null>	TPH-041	73.854571	0.001105	0
5			Polygon	<Null>	TPH-041	53.190965	0.000851	0

Gambar 3. Luas Kanopi per pokok

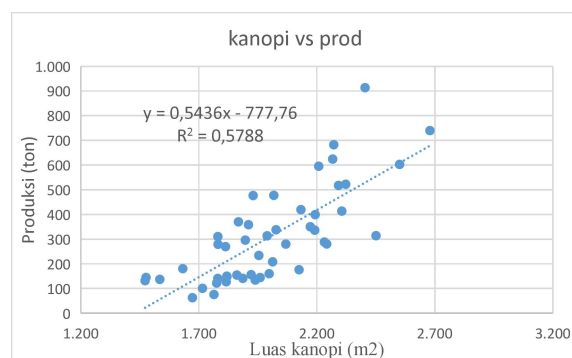
Leaf Area Index (LAI) diperoleh dari jumlah luas kanopi dibagi luas hanca sebagai satuan unit analisis. Hasil perhitungan tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Leaf Area Index (LAI)

TPH	Jumlah Pokok	Luas Kanopi (m ²)	Luas hanca (m ²)	Leaf area Index
001	44	2.679	3.100	0,864
002	44	2.551	3.200	0,797
003	44	2.292	3.200	0,716
004	44	2.208	3.200	0,690
005	44	2.193	3.100	0,707
006	44	2.267	3.200	0,708
007	44	2.018	3.200	0,631
008	44	1.813	3.200	0,567
009	44	1.781	3.200	0,556
010	44	1.472	3.200	0,460

Luas Kanopi Terhadap Produksi TBS

Luas Kanopi dengan Produksi TBS memiliki hubungan yang positif dan kuat ($r = 0,757$) (Sarwono, 2006). Ini berarti 75,7% produksi TBS (ton) dipengaruhi oleh luas tajuk daun pohon tersebut. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian (Hardon et al., 2008; Squire, 1984). Demikian juga LAI memiliki hubungan yang positif dan kuat ($r = 0,669$) dengan Produksi TBS, berarti semakin tinggi leaf area indeks, akan semakin berat pula total TBS yang dihasilkan blok tersebut. Namun 25-34% dipengaruhi oleh faktor-faktor lain, misalnya topografi, curah hujan, dan titik-titik pokok kelapa sawit yang mati.



Gambar 4. Luas kanopi terhadap produksi TBS

Nilai koefisien determinasi persamaan pada Gambar 4 yang sebesar 0,58

memperlihatkan bahwa persamaan tersebut cukup baik (Wibowo, 2012) menggambarkan fenomena hubungan antara luas kanopi dengan produksi, atau 58% sebaran variabel produksi dapat dijelaskan oleh variabel luas kanopi.

Nilai NDVI dan NDRE terhadap Jumlah TBS

Normalized Different Vegetation Index (NDVI) atau Indeks vegetasi adalah indeks yang menggambarkan tingkat kehijauan suatu tanaman. Indeks vegetasi merupakan kombinasi matematis antara band merah dan band Near-Infrared Radiation (NIR). NDVI dapat digunakan sebagai indikator keberadaan dan kondisi vegetasi.

Perhitungan NDVI didasarkan pada prinsip bahwa tanaman hijau tumbuh secara sangat efektif dengan menyerap radiasi di daerah spektrum cahaya tampak (*Photosynthetically Active Radiation*), sementara itu tanaman hijau sangat memantulkan radiasi dari daerah inframerah dekat. Nilai NDVI dari konsep pola spektral berdasarkan prinsip ini menggunakan hanya citra band merah, dirumuskan sebagai berikut :

$$NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R} \quad (1)$$

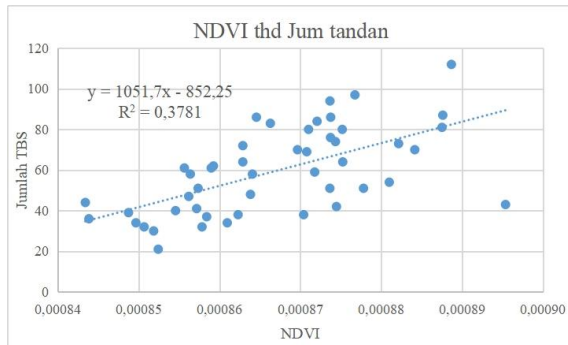
(Huete et al., 1999)

dimana:

NIR= radiasi inframerah dekat dari piksel.

Red= radiasi cahaya merah dari piksel

Hubungan antara NDVI dengan jumlah TBS disajikan pada Gambar 5, dimana menunjukkan nilai R sebesar 0,61 dan R²=0,38. hal tersebut memperlihatkan korelasi antara NDVI dan jumlah TBS cukup kuat, namun kurang lebih 40% nilai NDVI tidak berhubungan dengan jumlah TBS. Hal ini karena jumlah buah yang dihasilkan dalam satu blok kebun banyak dipengaruhi oleh produktivitas per pokok dan adanya keterlambatan panen (restan).

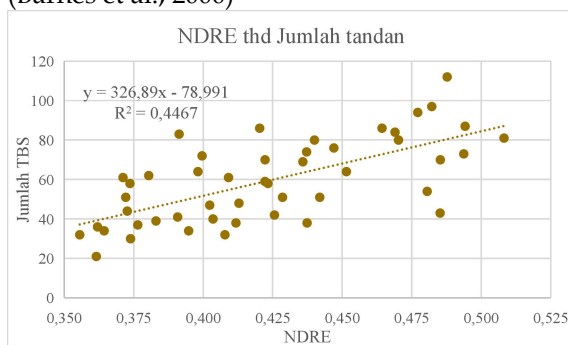


Gambar 5. NDVI terhadap jumlah TBS

Indeks NDRE (*Normalized Difference Red Edge*) adalah indeks yang dapat dianalisa melalui sensor kamera. Sensor dengan NDRE memiliki kemampuan menganalisis kandungan klorofil sebuah tanaman dari tingkat kehijauan warna daun tersebut. NDRE juga dapat membaca variabilitas luas daun dan efek sebuah tanaman dilihat dari *background* tanahnya. Nilai NDRE yang tinggi menunjukkan kadar kandungan klorofil daun yang tinggi

$$NDRE = \frac{NIR - RedEdge}{NIR + RedEdge} \quad (2)$$

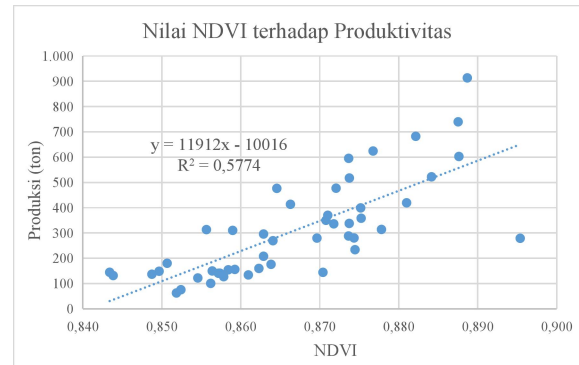
(Barnes et al., 2000)



Gambar 6. NDRE terhadap jumlah TBS

Gambar 6 memperlihatkan bahwa 67% NDRE memiliki korelasi terhadap jumlah TBS, dan persamaan regresi tersebut secara moderat menggambarkan sebaran data yang ada. Hampir sama dengan NDVI, nilai NDRE tidak terlalu kuat berelasi dengan jumlah TBS yang dihasilkan blok kebun.

Nilai NDVI Terhadap Produksi TBS

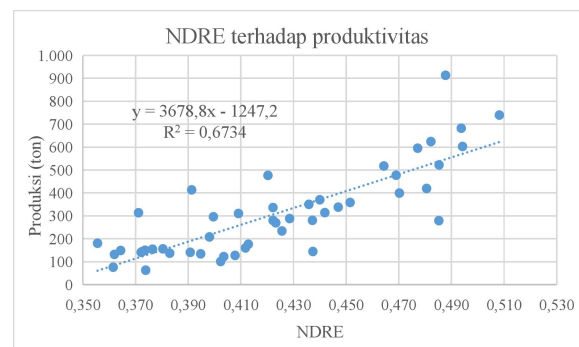


Gambar 7. Nilai NDVI terhadap produksi TBS

Produksi buah (kg) kelapa sawit terkait dengan kesuburan dan tingkat pertumbuhan tanaman tersebut (Pahan, 2015). Hasil regresi NDVI dengan Produksi TBS pada Gambar 7 juga memperlihatkan hal tersebut. Nilai koefisien regresi sebesar 0,73 menunjukkan nilai NDVI berhubungan erat dengan produksi TBS (ton). Sedangkan nilai R2 persamaan sebesar 0,58 berarti persamaan dapat secara moderat digunakan untuk menduga produksi TBS berdasar NDVI.

NDRE Terhadap Produksi TBS

Nilai NDRE merupakan indikator tingkat klorofil suatu pohon (blok pertanaman). Data yang tersaji pada Gambar 8 memperlihatkan kuatnya korelasi antara nilai NDRE dengan produksi TBS ($r = 0,797$). Persamaan garis pada Gambar 8 yang memiliki R2 sebesar 0,67 memperlihatkan bahwa persamaan ini cukup dapat digunakan untuk menduga produksi TBS dari nilai NDRE. Kurang lebih 33% data yang berpotensi menyimpang dari prediksi tersebut.



Gambar 8. Nilai NDRE terhadap produksi TBS

Saat ini pendugaan (taksasi) produksi kebun kelapa sawit dilakukan atas satu blok yang luasnya ± 50 Ha, sehingga kurang dapat memenuhi kebutuhan PF. Taksasi tersebut didasarkan atas Berat Janjang Rerata (BJR) TBS blok tersebut pada panen sehari sebelumnya. Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa pendugaan dapat dilakukan per hanca, yang luasnya hanya 3000m^2 , dengan metode tidak langsung, yaitu pemotretan udara. Metode pendugaan ini akan lebih cepat dan presisi karena cakupan areanya jauh lebih kecil.

SIMPULAN dan SARAN

Simpulan

Dapat disimpulkan bahwa : 1) antara luas kanopi terhadap produksi TBS memiliki keterkaitan yang kuat; 2) antara nilai NDVI dan NDRE dengan produksi TBS memiliki korelasi kuat dan sangat kuat; 3) korelasi nilai indeks vegetasi NDVI terhadap produksi TBS adalah kuat. Persamaan penduga produktivitas berdasar luas kanopi adalah $y = 0,5479x - 717,08$ ($R^2=57,3\%$); persamaan penduga produktivitas berdasar NDVI adalah $y = 11,639x - 9709,2$ ($R^2=53,7\%$), dan persamaan penduga produktivitas dari nilai NDRE adalah $y = 3621,9x - 1153,8$ ($R^2= 63,5\%$).

Saran

Diperlukan penelitian lanjutan antara lain:

1. Penelitian dengan cuplikan yang lebih luas dan beragam serta perlakuan yang lebih teliti agar didapatkan validitas yang lebih tinggi.
2. Analisa kelayakan ekonomi untuk dapat menentukan kapan metode pendugaan ini paling baik diterapkan, baik secara teknologi maupun ekonomi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada DRTPM Kemdikbudristek atas dukungan pendanaan penelitian melalui skema Pasca Sarjana Thesis Magister, dan PT. Mentaya Sawit Mas (MSM), Wilmar Group, atas fasilitasi lokasi dan bahan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Balasundram, S.K., Memarian, H., Khosla, R., 2013. Estimating Oil Palm Yields using Vegetation Indices Derived from Quickbird. *Life Science Journal* 10, 851-862.
- Barnes, E.M., Clarke, T.R., Richards, S.E., 2000. Coincident Detection Of Crop Water Stress, Nitrogen Status And Canopy Density Using Ground-Based Multispectral Data, in: *Proceeding of Fifth International Conference on Precision Agriculture*. Presented at the Fifth International Conference on Precision Agriculture., ASA-CSSA-SSSA, Madison, USA, pp. 1356-1370.
- Darmawan, S., Takeuchi, W., Haryati, A., Najib A M, R., Na'a'im, M., 2016. An investigation of age and yield of fresh fruit bunches of oil palm based on ALOS PALSAR 2, in: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Presented at the 8th International Conference and Exhibition on Remote Sensing and GIS, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/37/1/012037>
- Duffy, J.P., Pratt, L., Anderson, K., Land, P.E., Shutler, J.D., 2018. Spatial assessment of intertidal seagrass meadows using optical imaging systems and a lightweight drone. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 200, 169-180. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.11.001>
- Hardon, J.J., Williams, C.N., Watson, I., 2008. Leaf Area and Yield in the Oil Palm in Malaya. *Experimental Agriculture* 5, 25-32. <https://doi.org/10.1017/S0014479700009935>
- Huete, A., Justice, C., van Leeuwen, W., 1999. *Algorithm Theoretical Basis Document*.
- Khamis, A., Ismail, Z., Haron, K., Mohammed, A.T., 2005. Nonlinear Growth Models for Modeling Oil Palm Yield Growth.

- Krisdiarto, A.W., Wisnubhadra, I., 2019. Development of mobile-based apps for oil palm fresh fruit bunch transport monitoring system, in: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Presented at the Agricultural and Biosystem Engineering, IOP Science, Makasar, Indonesia, pp. 1-10.
- Krisdiarto, A.W., Wisnubhadra, I., Widodo, K.H., 2019. Kendali Jumlah dan Waktu Berangkat Truk Pengangkut TBS Untuk Minimalisasi Antrian di Pabrik Minyak Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung* Vol. 8, No. 4: 251-255 8, 251-255. <http://dx.doi.org/10.23960/jtep-l.v8.i4.251-255>
- Mirzaeinia, A., Hassanalian, M., Lee, K., 2019. Energy conservation of V-shaped swarming fixed-wing drones through position reconfiguration. *Aerospace Science and Technology* 94, 105398-105404. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2019.105398>
- O'Driscoll, J., 2018. Landscape applications of photogrammetry using unmanned aerial vehicles. *Journal of Archaeological Science: Reports* 22, 32-44. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.09.010>
- Pahan, I., 2015. *Panduan Praktis Budidaya Kelapa Sawit*, 1st ed. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Risdiyanto, I., Setiawan, R., 2007. Metode Neraca Energi Untuk Perhitungan Indeks Luas Daun Menggunakan Data Citra Satelit Multi Spektral. *J.Agromet* 21, 27. <https://doi.org/10.29244/j.agromet.21.2.27-38>
- Romero, H.M., Guataquira, S., Forero, D., 2022. Light Interception, Photosynthetic Performance, and Yield of Oil Palm Interspecific OxG Hybrid (*Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés x *Elaeis guineensis* Jacq.) under Three Planting Densities. *Plants* 11, 1166. <https://doi.org/10.3390/plants11091166>
- Sarwono, J., 2006. *Metode penelitian kuantitatif & kualitatif*. Graha Ilmu.
- Setyowati, H.A., Murti B S, S.H., Widyatmanti, W., 2016. Yield estimation comparison of oil palm based on plant density coefficient variation index using spot-6 imagery in part of Riau. *IOP Conf. Ser.:* *Earth Environ. Sci.* 37, 012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/37/1/012038>
- Squire, G.R., 1984. *Light Interception, Productivity and Yield of Oil Palm.*, 1. PORIM Internal Report, Kuala Lumpur.
- Wibowo, A.E., 2012. *Aplikasi Praktis SPSS Dalam Penelitian*. Gaya Media, Yogyakarta.
- Yuwono, M., 2022. *Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2021*. Badan Pusat Statistik.