



PENGHITUNGAN INDEKS VEGETASI CITRA *WORLDVIEW-2* UNTUK ESTIMASI PRODUKSI KELAPA SAWIT

WORLDVIEW-2 IMAGERY VEGETATION INDEX CALCULATION FOR OIL PALM YIELD ESTIMATION

Dhimas Wiratmoko, Hartono¹, dan Sigit Heru Murti BS¹

Abstrak Pemanfaatan penginderaan jauh yang diintegrasikan dengan faktor lingkungan untuk estimasi produksi melalui penghitungan index vegetasi Citra Worldview-2 telah dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh : 1) nilai indeks vegetasi *Red Edge Normalized Different Vegetation Index* (RENDVI) dan *Chlorophyll Index Red Edge* (CI_{RE}); 2) hubungan masing-masing nilai indeks vegetasi dengan produktivitas tanaman kelapa sawit; 3) persamaan estimasi produksi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini berupa penentuan indeks vegetasi RENDVI $[(\lambda_{NIR} - \lambda_{RED\ EDGE}) / (\lambda_{NIR} + \lambda_{RED\ EDGE})]$ dan $CI_{RE} = [(\lambda_{NIR} / \lambda_{RED\ EDGE}) - 1]$. Estimasi produksi dilakukan dengan regresi linier dan regresi linier berganda. Regresi linier melibatkan produktivitas (kg/ha/bulan) sebagai faktor dependen, sedangkan indeks vegetasi digunakan sebagai faktor independen. Regresi linier berganda digunakan dengan melibatkan faktor vegetatif (umur tanaman, jumlah pohon per ha, dan LAI), faktor lingkungan (persen liat, indeks kesuburan tanah, ketinggian tempat, dan keseimbangan air), dan transformasi indeks vegetasi. Hasil dari penelitian ini adalah 1) hasil transformasi indeks vegetasi RENDVI diperoleh -1 sampai dengan 0,493 dengan rerata 0,30, sedangkan CI_{RE} -1 sampai dengan 1,845 dengan rerata 0,85; 2) Transformasi indeks vegetasi RENDVI

dan CI_{RE} memiliki hubungan linier positif dengan produksi dengan nilai hubungan yang rendah ($r_{RENDVI} = 0,355$ dan $r_{CI_{RE}} = 0,354$). 4). Estimasi produksi yang diperoleh dari indeks vegetasi RENDVI dan CI_{RE} memiliki hasil yang hampir sama ($r=0,763$). Akurasi model estimasi menggunakan indeks vegetasi yang diintegrasikan dengan faktor lingkungan diperoleh secara keseluruhan lebih dari 90% pada bulan berjalan.

Kata Kunci : Estimasi produksi, indeks vegetasi, *Worldview-2*, kelapa sawit

Abstract *Remote sensing application that used integrated with environmental factors for oil palm yield estimating using Worldview-2 Imagery vegetation index (VI) was done. The aims of this study to get : 1) Red Edge Normalized Different Vegetation Index (RENDVI) and Chlorophyll Index Red Edge (CI_{RE}); 2) Correlation both of VI and oil palm yield; 3) oil palm yield estimation. The methods that used in this study were VI calculation by using RENDVI $[(\lambda_{NIR} - \lambda_{RED\ EDGE}) / (\lambda_{NIR} + \lambda_{RED\ EDGE})]$ and $CI_{RE} = [(\lambda_{NIR} / \lambda_{RED\ EDGE}) - 1]$. Oil palm yield estimation done by using linier regression and multiple linier regression. Linier regression used oil palm yield as dependent factor (Y) and VI as independent factor. Multiple linier regression used oil palm yield as dependent factor (Y), vegetative factors (oil palm yield, population per hectars, leaf area index) and environmental factor (% clay, soil fertility index, altitude and water balance) as independent factors. The results of this study were: 1) the RENDVI value range -1 to 0.493 with average 0.30; while the CI_{RE} value range -1 until*

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Dhimas Wiratmoko (✉)
Pusat Penelitian Kelapa Sawit
Jl. Brigjen Katamso No. 51 Medan, Indonesia
Email: wiratmoko2nd@gmail.com

¹ Staff Pengajar Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada

1.845 with average value 0.85. 2) The RENDVI dan CIRE have low positive linier correlation with oil pal yield rendah ($r_{\text{RENDVI}} = 0.355$ dan $r_{\text{CIRE}} = 0.354$); 3) Oil palm yield estimation that using RENDVI and CI_{RE} vegetation factors, environmentally factors data integration have similar correlation ($r=0.763$). Overall estimation model accuration get more than 90% estimation accuration on current month.

Key words : Production estimation, vegetation index, Worldview-2, palm oil

PENDAHULUAN

Estimasi produksi merupakan salah satu kegiatan untuk mengetahui potensi lahan. Estimasi produksi merupakan hal yang penting untuk dapat mengetahui potensi keberhasilan yang akan diperoleh dari suatu kegiatan budidaya tanaman. Kemampuan estimasi produksi merupakan hal yang penting bagi keberhasilan perusahaan tanaman kelapa sawit secara ekonomis (Weng, 1985 dalam Harahap *et al.*, 2000; Lubis, 2008). Penerapan berbagai data penginderaan jauh yang berkelanjutan terhadap pertumbuhan tanaman yang dikombinasikan dengan indeks vegetasi menunjukkan kondisi pertumbuhan tanaman secara temporal dan spasial (Qi *et al.*, 1993). Pemanfaatan penginderaan jauh (citra satelit) telah banyak diterapkan dalam monitoring dan manajemen tanaman (Hatfield *et al.*, 2008; Poudyal, 2013; Baso *et al.*, 2004; Yang *et al.*, 2013 dan Pinter *et al.*, 2003). Namun demikian penelitian estimasi produksi dengan memanfaatkan integrasi data penginderaan jauh dan data lingkungan di perkebunan kelapa sawit belum banyak digunakan. Salah satu penelitian tentang estimasi produksi tanaman kelapa sawit dilakukan oleh Hermantoro dan Purnawan (2009) yang memanfaatkan kualitas lahan melalui model *artificial neural network* (ANN). Penelitian ini hanya memanfaatkan dukungan data lingkungan dalam pemodelan.

Integrasi data penginderaan jauh, khususnya citra satelit dengan data lingkungan dapat dilakukan melalui pendekatan indeks vegetasi. Indeks vegetasi merupakan salah satu ciri yang menghubungkan reflektan daun, tajuk dengan karakteristik tajuk. Indeks vegetasi ini telah dikembangkan 40 tahun yang lalu, di antaranya pengembangan indeks vegetasi dan

aplikasinya terhadap tajuk tanaman (Hatfield *et al.*, 2008). Perubahan reflektan tajuk tanaman yang terbesar terdapat pada panjang gelombang inframerah dekat sepanjang musim tanam, hal ini diakibatkan oleh peningkatan biomassa, dengan demikian hamburan yang terdapat pada panjang gelombang visible menurun pada variasi musim yang berkaitan dengan penyerapan cahaya oleh fotosintesis (Hatfield *et al.*, 2008). Hatfield *et al.* (2008) memberikan gambaran bahwa perkembangan indeks vegetasi dimulai dari perbandingan atau rasio panjang gelombang infra merah dekat (NIR 800 nm) dengan merah (680 nm) (NIR/RED) yang yang dihubungkan dengan *Leaf Area Indeks* (LAI) dari penelitian yang dilakukan oleh Jordan (1969) dalam Hatfield *et al.* (2008). Penelitian tersebut kemudian diperbaiki oleh Tucker pada tahun 1978 yang mengemukakan *Different Vegetation Index* (DVI) sebagai selisih antara NIR-RED sebagai ukuran perubahan vegetasi dan penambahan kepercayaan indeks vegetasi yang dapat digunakan dalam skala yang lebih besar dalam estimasi tajuk tanaman (Hatfield *et al.*, 2008).

Studi *Worldview-2* (WV-2) yang berhubungan dengan tanaman antara lain dilakukan oleh Chemura (2012) dengan metode *object based image analysis* (OBIA) dalam penentuan umur tanaman kelapa sawit. Estimasi produksi pada tanaman sorgum yang dilakukan oleh Yang *et al.* (2013) menggunakan indeks vegetasi NDVI mendapatkan korelasi yang positif dengan nilai korelasi ($r>0,8$). Berdasarkan beberapa hal tersebut penelitian tentang estimasi produksi melalui pemanfaatan band *red* (merah) dan Red Edge Band dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan : 1). nilai indeks *Red Edge Normalized Different Vegetation Index* (RENDVI) dan *Chlorophyll Index Red Edge* (CI_{RE}); 2). hubungan masing-masing nilai indeks vegetasi dengan produktivitas tanaman kelapa sawit; 3). persamaan estimasi produksi yang diintegrasikan dengan data faktor vegetatif dan lingkungan.

BAHAN DAN METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di afdeling 3 dan 4 Unit Kebun Adolina, PT. Perkebunan Nusantara IV. Lokasi penelitian ini secara geografis terletak pada 98°55'-



99°00' BT dan 3°20'-3°38' LU. Penelitian hanya dilakukan pada tanaman tahun tanam 2007 dan 2008 di Afdeling 3 dan 4, yang dibagi menjadi 3 (tiga) lokasi untuk mempermudah penyusunan peta akhir dengan skala 1:10.000.

Bahan dan Alat

Metode penelitian ini berbasis data raster dengan satuan terkecil yang digunakan setiap piksel raster 1,85 x 1,85 meter. Bahan yang digunakan berupa 1). Peta administrasi kebun skala 1:50.000; 2) Peta kelas kesesuaian lahan kebun skala 1 : 50.000; 3). Citra satelit *Worldview-2* pada tanggal perekaman 20 September 2013; 4). Peta Rupabumi lembar 0619-62 (Lubuk Pakam); 5). Data produksi, data pengukuran vegetatif (LAI), dan data analisa tanah. Alat-alat yang digunakan berupa : 1) Perangkat lunak ArcGIS 9.3; 2) Perangkat ILWIS 3.4; 3). seperangkat computer; dan 4). *EPOCH-35 RTK GNSS SYSTEM*.

Metode Penelitian

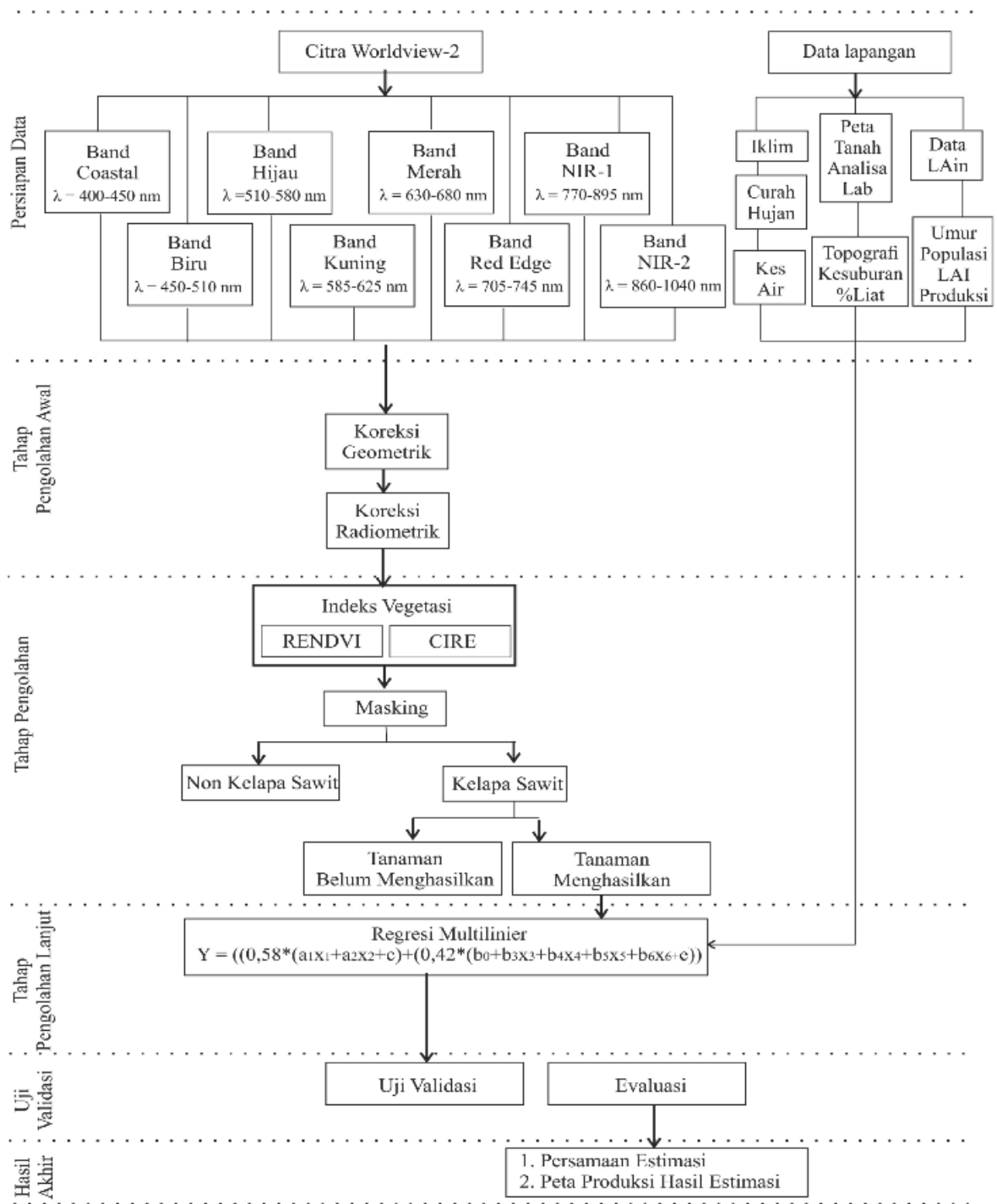
Estimasi produksi dihitung melalui regresi linier dan regresi linier berganda. Indeks vegetasi yang digunakan dalam perhitungan estimasi produksi ini adalah $RENDVI = \frac{(\lambda_{NIR} - \lambda_{REDEGE}) / (\lambda_{NIR} + \lambda_{REDEGE})}{[(\lambda_{NIR} / \lambda_{RED\ EDGE}) - 1]}$. Regresi linier melibatkan produktivitas (kg/ha/bulan) sebagai faktor dependen, sedangkan indeks vegetasi digunakan sebagai faktor independen. Regresi linier berganda digunakan dengan melibatkan faktor vegetatif (umur tanaman, jumlah pohon per ha, dan LAI), faktor lingkungan (persen liat, Indeks Kesuburan Tanah, ketinggian tempat, dan keseimbangan air), dan transformasi indeks vegetasi. Hasil indeks vegetasi kemudian dihitung melalui regresi linier berganda sebagai faktor independen bersama faktor vegetatif dan faktor lingkungan dengan data produksi sebagai faktor dependen $[Y = a_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + b_6x_6 + b_7x_7 + b_8x_8]$. Validasi persamaan yang terbentuk dilakukan dengan perhitungan simpangan antara data produksi hasil estimasi dengan data produksi riil di lapangan $[|Produksi\ Estimasi - Produksi\ Riil|]$ serta menghitung akurasinya $[100 - ((Nilai\ simpangan / Produksi\ Riil) \times 100)]$. Penentuan titik sampel *ground ceck* menggunakan *stratified random sampling* berdasarkan kondisi tajuk pada tingkat pengelolaan yang sama (Gambar 1).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakter Spektral *Band Worldview-2* di Perkebunan Kelapa Sawit Adolina

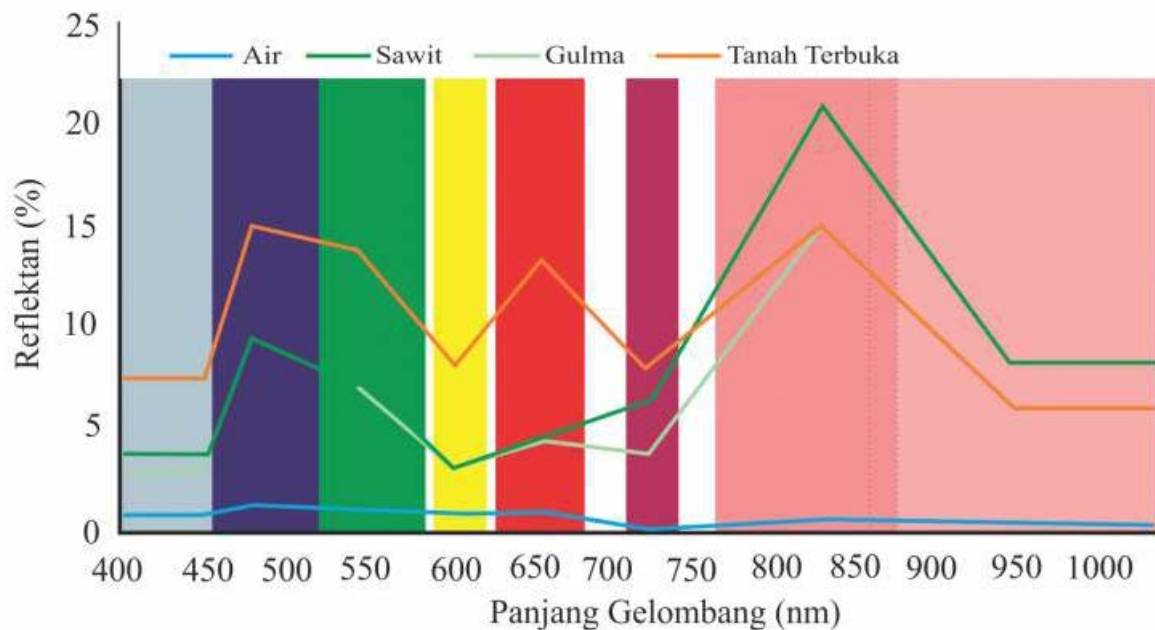
Pengenalan objek tersebut berupa karakteristik respon spektral objek berupa nilai pantulan spektral. Pada saluran tunggal pantulan spektral direpresentasikan melalui warna pada setiap band. Karakteristik spektral tersebut memiliki perbedaan warna dikarenakan panjang gelombang yang ditangkap pada saat perekaman citra di setiap band untuk setiap objek memiliki karakter tersendiri. Karakter objek yang dalam penelitian ini diambil melalui sampel terhadap 4 (empat) objek yang berada di lingkungan perkebunan kelapa sawit berupa objek air, tanah terbuka, tanaman kelapa sawit dan gulma. Objek air dalam pengenalan karakter spektral *Worldview-2* (WV-2) pada perkebunan kelapa sawit di Unit kebun Adolina ini mendapatkan nilai reflektan yang paling kecil di setiap band (Cyan, Biru, Hijau, Kuning, Merah, *Red Edge*, dan Infra Merah) yaitu antara 0,0-0,01%.

Band Multispectral sangat responsif terhadap reflektan objek tanah terbuka sehingga memiliki reflektan tertinggi pada band multispektral yaitu 6-16,5%, sedangkan kedua band Infra Merah Dekat sangat responsif terhadap reflektan tanaman terutama tanaman kelapa sawit (Gambar 1.). Hal ini sesuai dengan gambaran yang terdapat dalam Jensen (2007) dalam Danoedoro (2012) yang menampilkan karakter spektral permukaan bumi baik berupa air, tanah maupun vegetasi dan Hatfield *et al.* (2008) yang menggambarkan reflektan tanaman berupa jagung. Karakter air memiliki reflektan terendah dari seluruh band, sedangkan objek berupa tanah lempung berpasir memiliki reflektan di atas reflektan air dan mencapai reflektan tertinggi pada panjang gelombang 700-1100 nm, sedangkan objek rumput memiliki reflektan tertinggi pada panjang gelombang 400-700 nm. Hatfield *et al.* (2008) menyatakan bahwa tanaman jagung yang berwarna hijau kekuningan memiliki reflektan yang cenderung naik pada panjang gelombang 400-500 nm, kemudian pada panjang gelombang 500-550 nm mengalami puncak pertama dan menurun sampai dengan panjang gelombang 650 nm dan kembali naik sampai dengan 700 nm.



Gambar 1. Diagram Alir Estimasi Produksi kelapa sawit melalui Perhitungan Indeks Vegetasi Citra Worldview-2 dan Data Lapangan.

Figure 1. Flow Chart Oil Palm Yield Estimation using Worldview-2 Imagery Vegetation Index Calculation and Field Data.



Gambar 2. Karakter Spektral *Worldview-2* terhadap Tanaman Kelapa Sawit di Unit Kebun Adolina.

Figure 2. *Worldview-2* Spectral Character on Oil Palm in Adolina Plantation Unit.

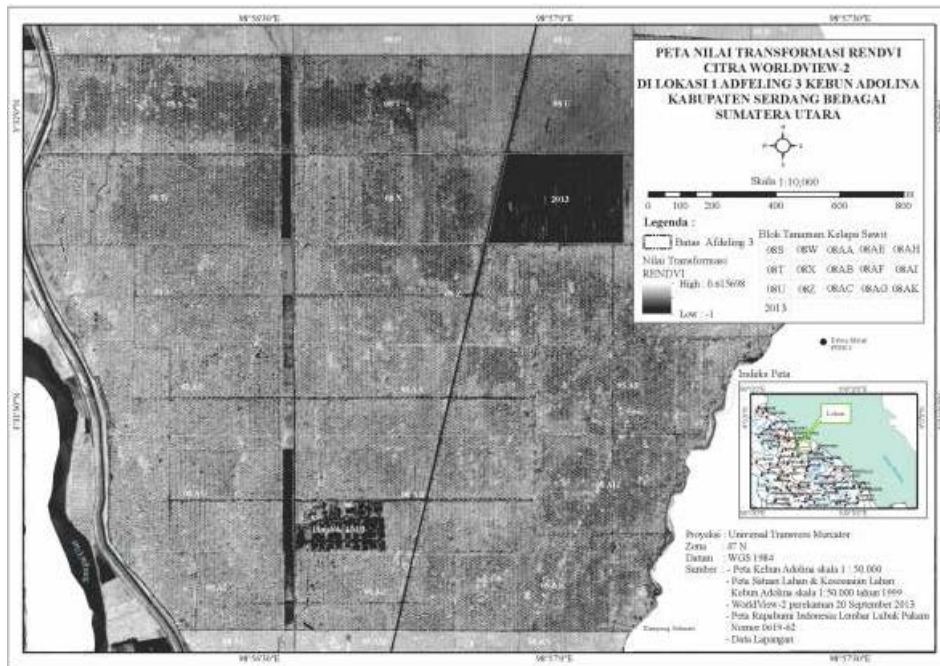
Citra WV-2 ini memiliki karakter band yang berbeda dengan citra yang lain, terutama *Red Edge Band* (705-745 nm). Karakter *Red Edge Band* ini sangat responsif terhadap pantulan vegetasi baik kelapa sawit maupun penutup tanah (*land cover*). Hasil sampling terhadap objek tanaman kelapa sawit dan objek gulma penutup tanah pada citra WV-2 menunjukkan bahwa *Red Edge Band* memiliki karakter yang lebih responsif terhadap objek vegetasi tersebut dibandingkan dengan *band* Merah (630-690 nm). Kurva kenaikan yang signifikan terjadi setelah melewati *band* merah. *Red Edge Band* yang responsif terhadap reflektan vegetasi tersebut memberikan gambaran bahwa *band* tersebut cukup responsif juga apabila ditransformasi melalui perhitungan indeks vegetasi yang melibatkan *Red Edge Band* dan *Band* Infra Merah Dekat. Kedua *band* memiliki karakter yang meningkat dalam rentang yang cukup pendek sehingga memungkinkan rentang hasil perhitungan transformasi indeks juga pendek. Hasil transformasi yang lebih pendek memungkinkan mendapatkan hubungan yang lebih positif terhadap data vegetatif maupun dengan data produksi. Hasil ini sejalan bila dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan

Hatfield *et al.* (2008) yang mengukur reflektan daun jagung yang memiliki karakter peningkatan reflektan sangat tajam mulai panjang gelombang 700-750 nm. Dengan demikian *Red Edge Band* merupakan *band* potensial untuk mendapatkan hubungan transformasi indeks vegetasi dengan data vegetatif maupun lingkungan di perkebunan kelapa sawit.

Transformasi Indeks Vegetasi dan Hubungan Indeks Vegetasi dengan Produktivitas

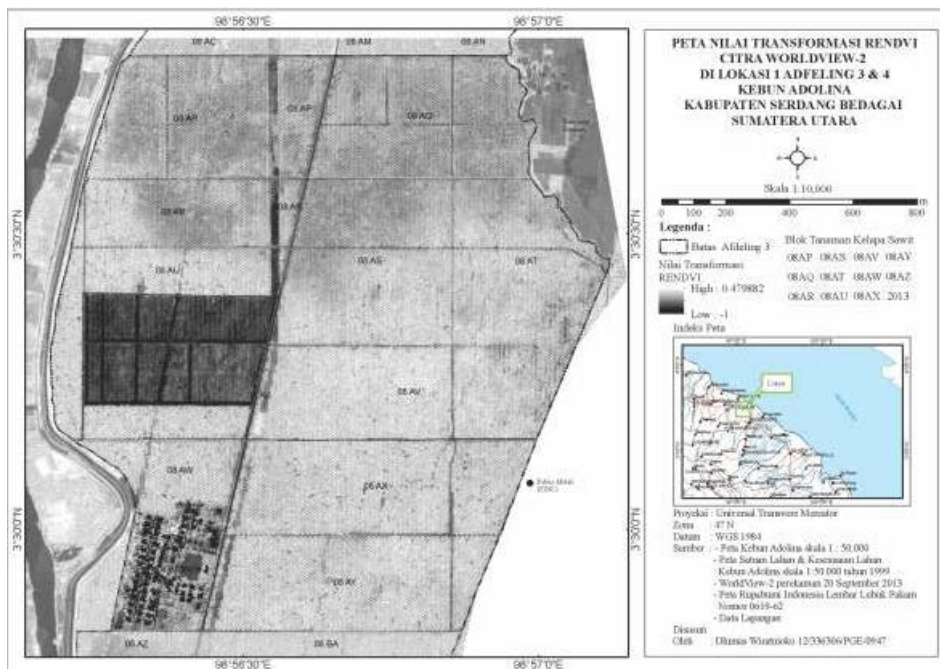
Red Edge Normalized Different Vegetation Index (RENDVI)

RENDVI merupakan indeks vegetasi yang diturunkan dari NDVI yang melibatkan reflektan dari panjang gelombang *red edge* ($\lambda=705-745$ nm) dan infra merah dekat ($\lambda=770-895$ nm). *Red Edge Band* merupakan karakter citra WV-2 yang tidak dimiliki oleh citra yang lain. Hasil perhitungan yang diperoleh dari RENDVI berkisar antara -1 sampai dengan 0,493 dengan rerata nilai RENDVI di lokasi 1, 2, dan 3 adalah berturut-turut sebesar 0,29; 0,30 dan 0,30 (Gambar 3,4,5).



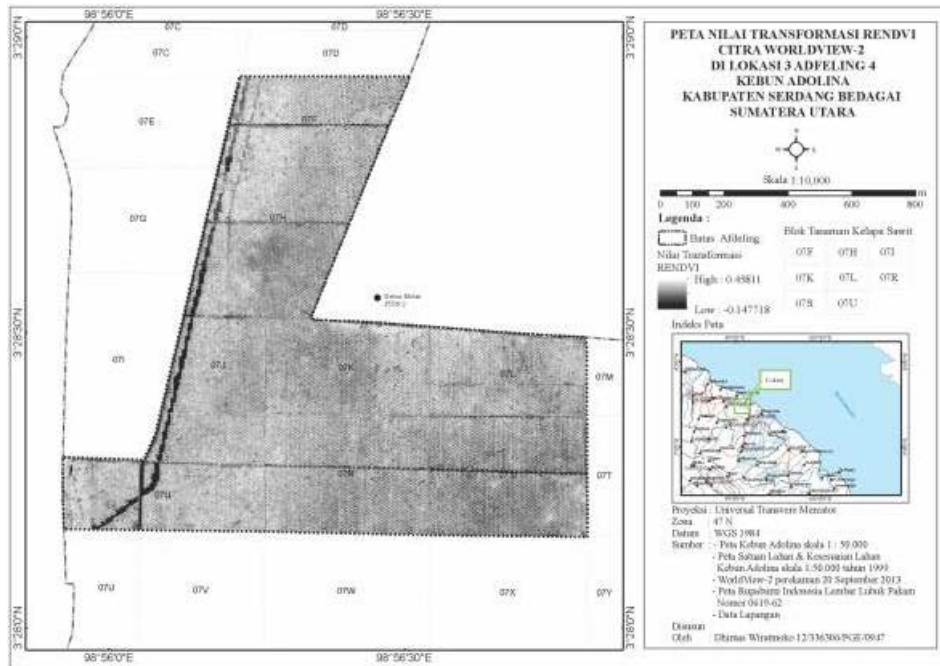
Gambar 3. Sebaran RENDVI di Lokasi 1 Afdeling 3 Kebun Adolina.

Figure 3. RENDVI value distribution on Location 1 at Division 3 Adolina Plantation.



Gambar 4. Sebaran RENDVI di Lokasi 2 Afdeling 3 dan 4 Kebun Adolina.

Figure 3. RENDVI value distribution on Location 2 at Division 3 and 4 Adolina Plantation.

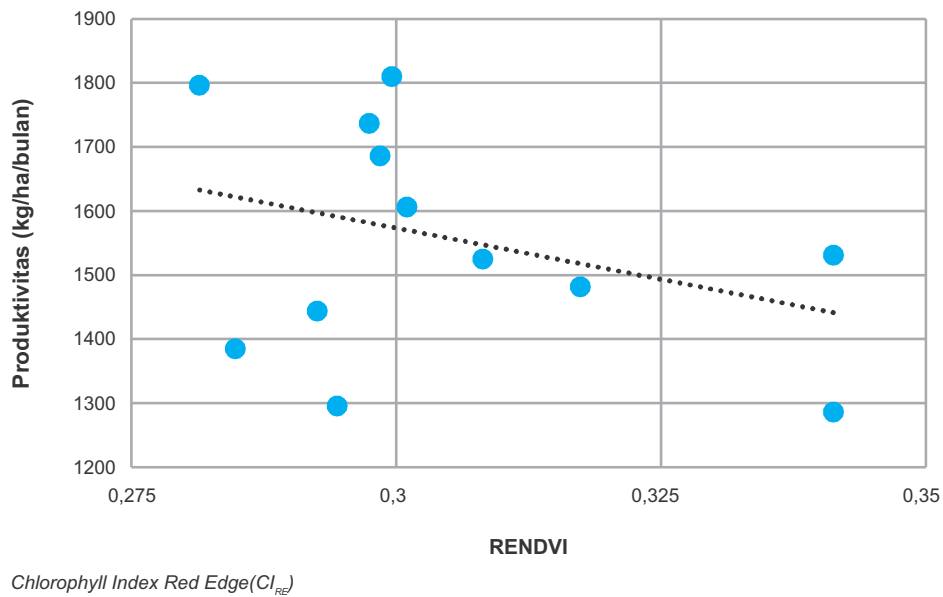


Gambar 5. Sebaran RENDVI di Lokasi 3 Afdeling 4 Kebun Adolina.

Figure 5. RENDVI value distribution on Location 3 at Division 4 Adolina Plantation.

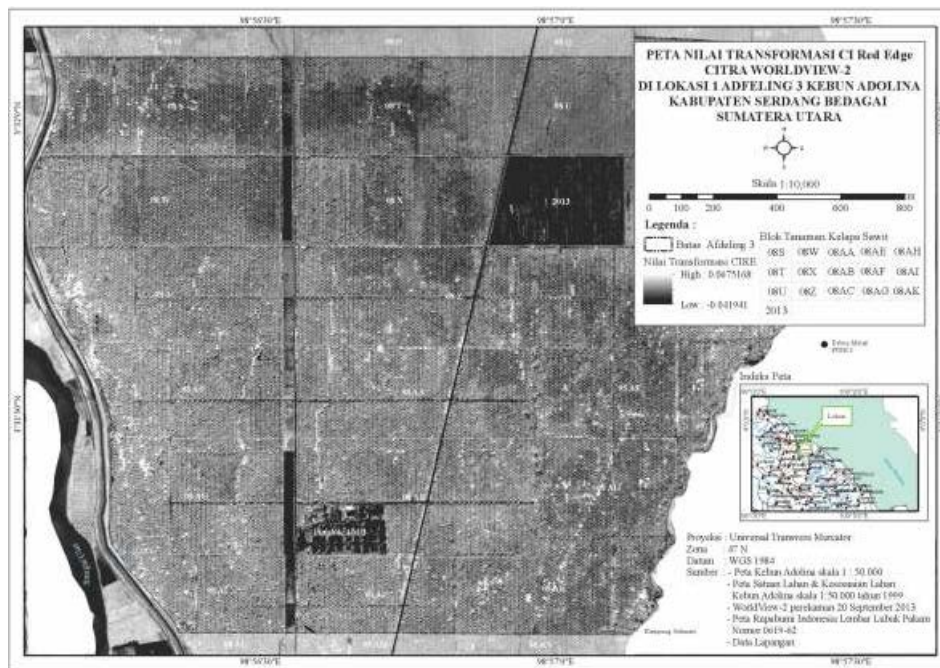
Hubungan antara indeks RENDVI dengan produktivitas kelapa sawit bulanan diperoleh nilai r sebesar 0,355 yang tergolong rendah (Sugiyono, 2014). Kondisi ini diduga diakibatkan oleh tingkat umur tanaman sampel yang diambil kurang beragam. Kondisi umur yang masih dalam satu kelompok umur (tanaman muda) sehingga memiliki pola pertumbuhan penutupan kerapatan yang mirip. Kondisi lain berupa asumsi kondisi varietas dan serangan hama sama, namun memberikan potensi produksi yang berbeda akan mengurangi besaran hubungan. Potensi produksi yang ditimbulkan oleh umur, varietas dan kondisi bebas hama penyakit akan memberikan gambaran hubungan yang lebih kuat. Besarnya hubungan RENDVI yang rendah ini dipengaruhi oleh faktor-faktor yang lain yang mempengaruhi produksi. Namun, sehubungan dengan besarnya nilai RENDVI ini akan memberikan hasil yang lebih kuat dibandingkan dengan hubungan langsungnya apabila diintegrasikan dengan data lain seperti data vegetatif dan data faktor lingkungan yang mempengaruhi produksi. Hubungan regresi linier RENDVI dengan produktivitas tanaman kelapa sawit disajikan dalam Gambar 6.

CI merupakan indeks vegetasi yang digunakan untuk aplikasi Indeks Luas Daun (*Leaf Area Index /LAI*) dan klorofil. CI Red Edge (CI_{RE}) melibatkan reflektan dari panjang gelombang Red Edge ($\lambda=705-745$ nm) dan infra merah dekat ($\lambda=770-895$ nm). Hasil perhitungan yang diperoleh dari CI_{RE} berkisar antara -1 sampai 1,845 dengan rerata 0,85. Sebaran CI_{RE} disajikan pada Gambar 7, 8, dan 9. Nilai $CI_{RE} < 0,5$ merupakan objek gelap berupa tanah terbuka, baik jalan, perumahan, areal replanting maupun areal kelapa sawit tanpa penutup tanah. Sedangkan nilai $> 0,5$ berupa objek vegetasi baik berupa kelapa sawit maupun tanaman penutup tanah. Kedua transformasi indeks ini potensial untuk digunakan sebagai parameter penghitungan estimasi produksi, dikarenakan pada beberapa penelitian (Hatfield, 2008) menggunakan CI sebagai alat mengetahui jumlah klorofil pada hijau daun. Walaupun dalam penelitian ini tidak menggunakan pengukuran klorofil dalam hijau daun, namun besarnya CI yang terbentuk menggambarkan dukungan jumlah klorofil terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman.



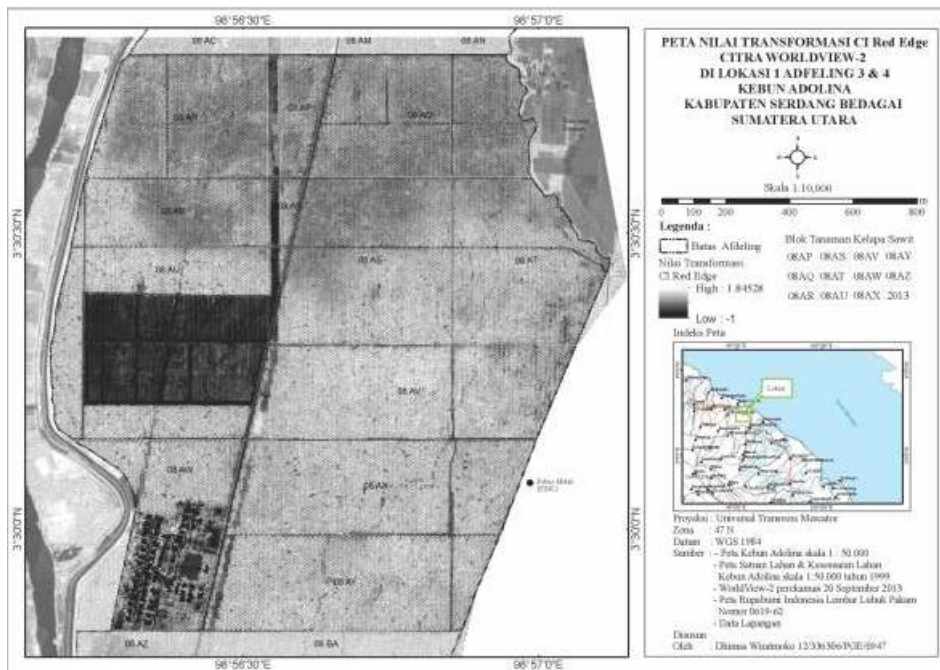
Gambar 6. Hubungan RENDVI dengan Produktivitas Kelapa Sawit.

Figure 6. RENDVI dan Oil Palm Yield Corellation.



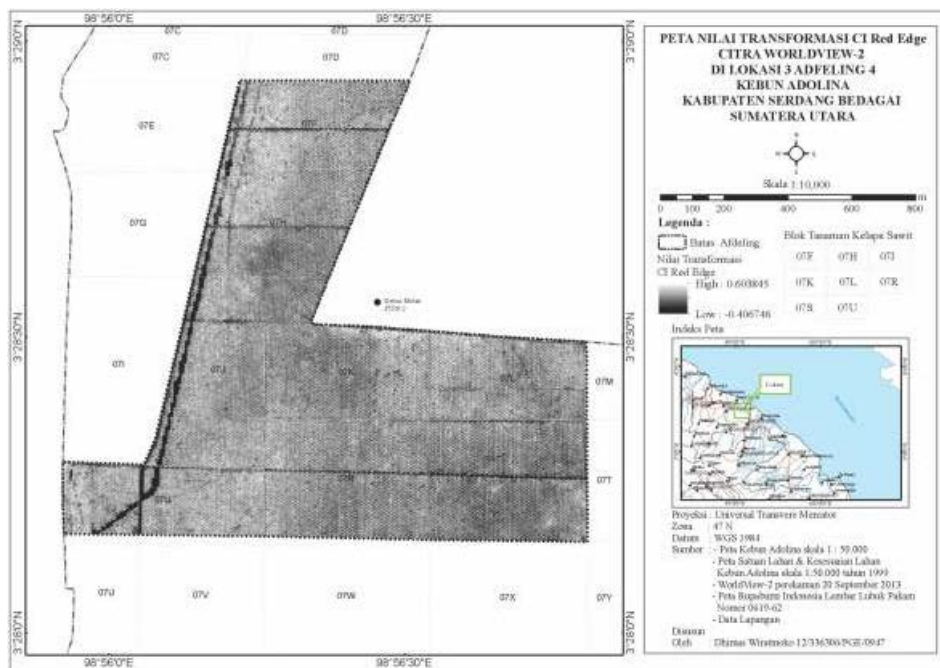
Gambar 7. Sebaran CI_{RE} di Lokasi 1 Afdeling 3 Kebun Adolina.

Figure 7. CI_{RE} value distribution on Location 1 at Division 3 Adolina Plantation.



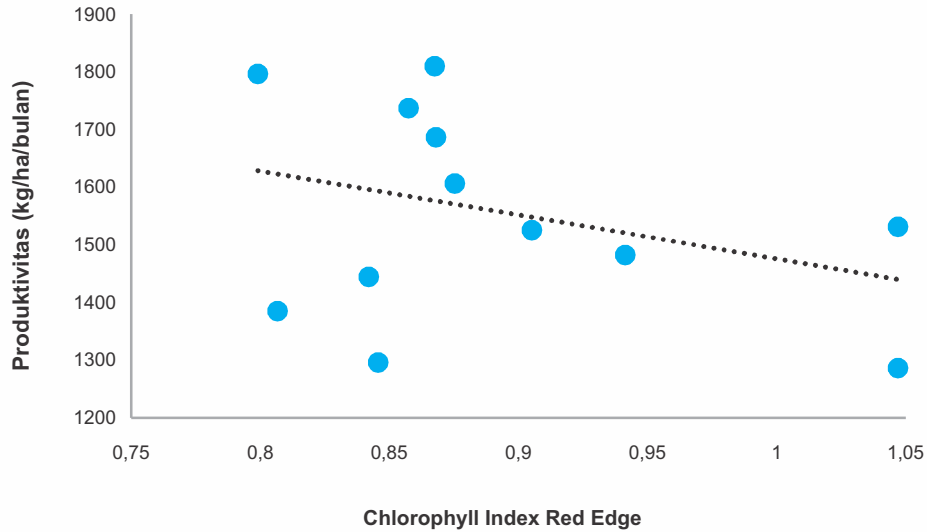
Gambar 8. Sebaran CI_{RE} di Lokasi 2 Afdeling 3 dan 4 Kebun Adolina.

Figure 8. CI_{RE} value distribution on Location 2 at Division 3 and 4 Adolina Plantation.



Gambar 9. Sebaran CI_{RE} di Lokasi 3 Afdeling 4 Kebun Adolina.

Figure 9. CI_{RE} value distribution on Location 3 at Division 4 Adolina Plantation.



Gambar 10. Hubungan CI_{RE} dengan produktivitas kelapa sawit.

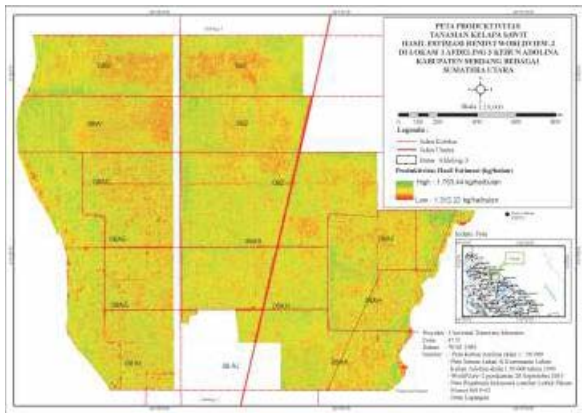
Figure 10. CI_{RE} and oil palm yield correlation.

Hubungan antara indeks CI_{RE} dengan produktivitas kelapa sawit bulanan diperoleh nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,354. Nilai koefisien korelasi tersebut menurut Sugiyono (2014) tergolong rendah. Hubungan regresi linier CI_{RE} terhadap produktivitas tanaman kelapa sawit disajikan dalam Gambar 910.

Estimasi Produksi Berdasarkan Analisis Citra Worldview-2

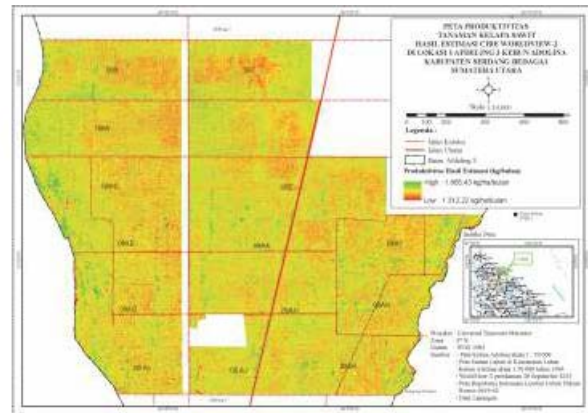
Hasil analisis regresi linier berganda terhadap faktor vegetatif, faktor lingkungan dan transformasi indeks vegetasi ($RENDVI$ dan CI_{RE}) yang mempengaruhi produksi diperoleh nilai korelasi (r) antara 0,763. Nilai yang menunjukkan $r > 0,7$ tersebut tergolong kuat (Sugiyono, 2014). Kuatnya hubungan tersebut dikarenakan karakter *Red Edge Band* yang cenderung meningkat pada objek vegetasi, khususnya tanaman kelapa sawit. Perbandingan nilai reflektan yang meningkat pada band tersebut dengan nilai reflektan infra merah yang cenderung datar memberikan nilai variabilitas $RENDVI$ dan CI_{RE} yang rendah.

Rendahnya nilai tersebut memberikan dukungan yang positif terhadap produksi apabila diintegrasikan dengan faktor-faktor lain yang mempengaruhi produksi. Nilai koefisien determinasi (r^2) sebesar 0,58 memberikan informasi bahwa faktor vegetasi, faktor lingkungan dan transformasi indeks vegetasi hanya mempengaruhi produksi sebesar 58%, sehingga di luar faktor tersebut masih terdapat 0,42% faktor lain yang mempengaruhi yaitu berupa integrasi kedua faktor tersebut dalam sistem manajemen, varietas bahan tanaman yang digunakan, dan gangguan produksi berupa serangan hama penyakit tanaman. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Sawasawa (2003) yang menyatakan penggunaan integrasi indeks vegetasi dengan faktor lingkungan mampu meningkatkan kekuatan hubungan model dari 25% (hanya menggunakan indeks vegetasi) menjadi 45,8%. Dalam penelitian ini faktor tersebut tidak dimasukkan dalam faktor yang mempengaruhi produksi dikarenakan telah diasumsikan bahwa tingkat manajemen, bahan tanaman yang digunakan, dan serangan hama penyakit dianggap sama.



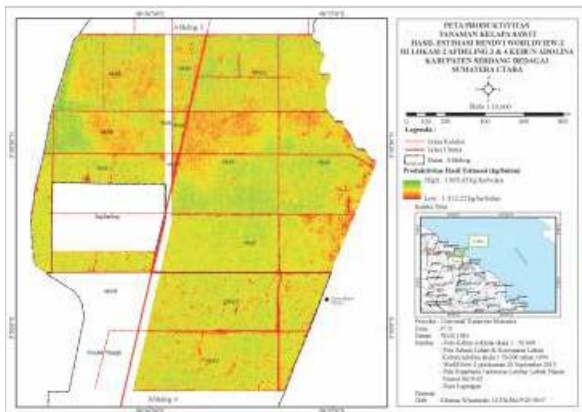
Gambar 11. Peta produksi kelapa sawit hasil estimasi RENDVI, faktor vegetatif dan lingkungan di lokasi 1 Afdeling 3 Kebun Adolina.

Figure 11. Oil palm yield map of the estimation results using RENDVI, vegetative and environmental factors integrated on location 1 (Division 3 Adolina Plantation).



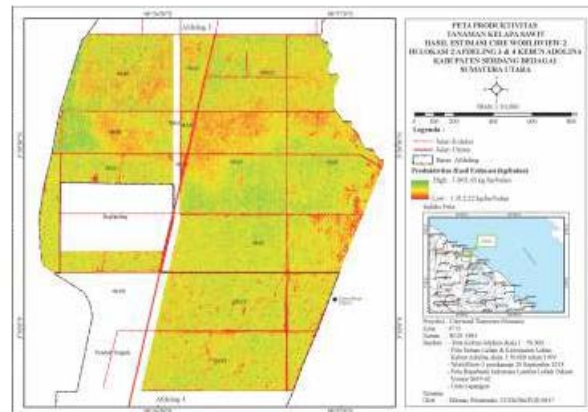
Gambar 12. Peta Produksi Kelapa Sawit Hasil Estimasi CI_{RE} , faktor Vegetatif dan Lingkungan di Lokasi 1 Afdeling 3 Kebun Adolina.

Figure 12. Oil Palm Yield Map of the Estimation Results Using CI_{RE} Vegetative and Environmental Factors Integrated on Location 1 (Division 3 Adolina Plantation).



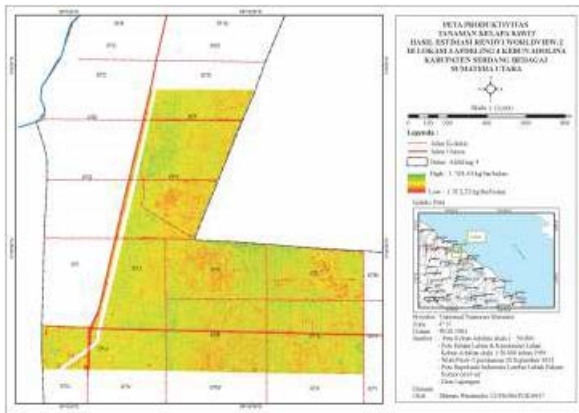
Gambar 13. Peta produksi kelapa sawit hasil estimasi RENDVI, faktor vegetatif dan lingkungan di lokasi 2 Afdeling 3 dan 4 Kebun Adolina.

Figure 13. Oil palm yield map of the estimation results using RENDVI, vegetative and environmental factors integrated on Location 2 (Division 3 and 4 Adolina Plantation).



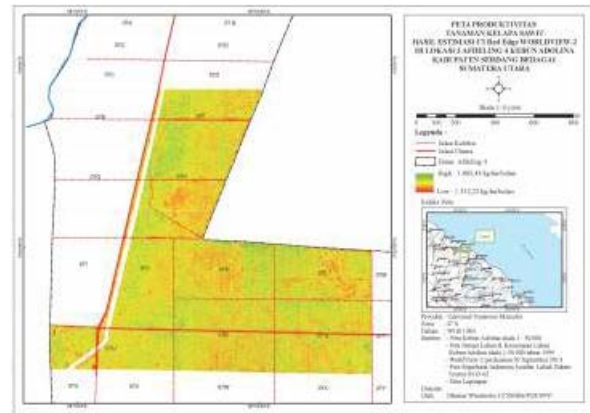
Gambar 14. Peta produksi kelapa sawit hasil estimasi CI_{RE} , faktor vegetatif dan lingkungan di lokasi 2 Afdeling 3 dan 4 Kebun Adolina.

Figure 14. Oil palm yield map of the estimation results using CI_{RE} vegetative and environmental factors integrated on location 2 (Division 3 and 4 Adolina Plantation).



Gambar 14. Peta produksi kelapa sawit hasil estimasi RENDVI, faktor vegetatif dan lingkungan di lokasi 3 Afdeling 4 Kebun Adolina.

Figure 14. Oil palm yield map of the estimation results using RENDVI, vegetative and environmental factors integrated on location 3 (Division 4 Adolina Plantation).



Gambar 15. Peta produksi kelapa sawit hasil estimasi CI_{RE}, faktor vegetatif dan lingkungan di lokasi 3 Afdeling 4 Kebun Adolina.

Figure 15. Oil palm yield map of the estimation results using CI_{RE}, vegetative and environmental factors integrated on location 3 (Division 4 Adolina Plantation).

Hubungan linier positif dibuktikan dengan nilai koefisien korelasi (*r*) yang positif, sedangkan nilai korelasi yang kuat dibuktikan dengan nilai koefisien korelasi perhitungan estimasi produksi sebesar 0,763. Hasil estimasi produksi menggunakan formula estimasi berdasar faktor lingkungan yang diintegrasikan dengan citra *Worldview-2* diperoleh

estimasi produksi antara 1361,34-1749,57 kg/ha/bulan dengan selisih terhadap produksi riil sebesar 0,7-175,64 kg. Hasil estimasi produksi dengan perhitungan estimasi produksi tanaman kelapa sawit (kg/ha) menggunakan formula estimasi berdasar faktor lingkungan yang diintegrasikan dengan citra *Worldview-2* disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisis regresi linier berganda terhadap kedelapan variabel yang mempengaruhi produksi kelapa sawit.

Table 1. Multi linier regression analysis result the eight variable that affect oil palm yield.

Formula Transformasi Indeks Vegetasi	R	R ²	A
RENDVI			
$Y_{RENDVI} = -220,963+719,448X1-571,889X2-8,878X3-1,277X4-77,448X5+0,170X6+2,901X7+1177,75X8$	0.763	0.58	0.05
CI Red Edge			
$Y_{CI_{RE}} = -2089,809+721,039X1-577,501X2-8,338X3-1,264X4-76,965X5+0,152X6+2,917X7+283,591X8$	0.763	0.58	0.05

Keterangan :

- | | |
|---|---|
| Y_{NDVI} = Produksi hasil estimasi integrasi faktor vegetasi dengan NDVI (kg) | X3 = leaf area index |
| Y_{RENDVI} = Produksi hasil estimasi integrasi faktor vegetasi dengan RENDVI (kg) | X4 = indeks kesuburan tanah |
| X1 = umur (tahun) | X5 = ketinggian tempat (mdpl) |
| X2 = persen kandungan liat | X6 = keseimbangan air (mm) |
| | X7 = jumlah pohon |
| | X8 = transformasi indeks vegetasi (RENDVI, CI Red Edge) |



Tabel 2. Hasil perhitungan estimasi produksi tanaman kelapa sawit (kg/ha) menggunakan formula estimasi berdasar faktor lingkungan yang diintegrasikan dengan citra *Worldview-2*.

Table 2. Oil palm yield estimation (kg ha⁻¹) using the equation that based on environmental factors that are integrated with *Worldview-2* imagery.

Blok	Produksi Riil (kg/ha)	Estimasi (kg/ha)			
		RENDVI	Akurasi (%)	CI _{RE}	Akurasi (%)
AA	1.605,91	1.609,82	99,76	1.609,48	99,78
AB	1.443,53	1.524,11	94,42	1.523,70	94,45
AG	1.481,35	1.592,56	92,49	1.594,01	92,40
AJ	1.524,41	1.494,71	98,05	1.495,07	98,08
X	1.795,60	1.626,08	90,56	1.625,12	90,51
W	1.685,83	1.683,19	99,84	1.683,05	99,83
AQ	1.384,37	1.366,04	98,68	1.365,61	98,64
AX	1.530,89	1.455,78	95,09	1.455,81	95,10
AY	1.285,81	1.362,76	94,02	1.362,29	94,05
H	1.809,09	1.749,57	96,71	1.749,16	96,69
K	1.736,56	1.620,27	93,30	1.620,81	93,33

Sumber : Hasil Estimasi Produksi
 Source : Production Estimation Results

Validasi Formula

Tingkat akurasi model perlu diverifikasi pada saat aplikasi di lapangan. Validasi model dilakukan dengan perhitungan simpangan antara data produksi hasil estimasi dengan data produksi di lapangan serta menghitung akurasinya.

Persamaan yang digunakan untuk validasi adalah sebagai berikut :

$$\text{Simpangan} = | \text{Produksi Estimasi} - \text{Produksi Riil} | \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Akurasi (\%)} = 100 - ((\text{Nilai simpangan}/\text{Produksi Riil}) \times 100) \dots\dots\dots(2)$$

Nilai simpangan yang mendekati nol akan memberikan kualitas model yang semakin baik, demikian juga akurasi yang mendekati 100% akan memberikan tingkat akurasi yang tinggi.

Berdasarkan perhitungan estimasi produksi diperoleh akurasi 90,51-99,78%, dengan rerata akurasi setiap faktor lingkungan yang diintegrasikan dengan citra WV-2 adalah berkisar 95,71-95,72%..

Secara keseluruhan mendapatkan akurasi yang sangat tinggi >90%. Berdasarkan hasil tersebut aplikasi penginderaan jauh dapat membantu optimalisasi pencapaian produksi kelapa sawit melalui analisis vegetasi.

KESIMPULAN

1. Hasil transformasi Indeks vegetasi RENDVI diperoleh hasil berkisar antara -1 sampai dengan 0,493 dengan rerata 0,30; sedangkan Indeks vegetasi CI_{RE} -1 sampai dengan 1,845 dengan rerata 0,85.
2. Transformasi Indeks Vegetasi RENDVI dan CI_{RE} memiliki hubungan linier positif dengan produksi dengan nilai hubungan yang rendah ($r_{RENDVI} = 0,355$ dan $r_{CI_{RE}} = 0,354$). Penggunaan *Redge Edge Band* dalam transformasi indeks vegetasi pada RENDVI secara mandiri memberikan nilai hubungan yang lebih tinggi dibandingkan pada CI_{RE}.
3. Persamaan Estimasi Produksi yang terbentuk adalah sebagai berikut :

- a. $Y_{RENDVI} = -220,963 + 719,448X_1 - 571,889X_2 - 8,878X_3 - 1,277X_4 - 77,448X_5 + 0,170X_6 + 2,901X_7 + 1177,75X_8$.
- b. $Y_{CI_{RE}} = -2089,809 + 721,039X_1 - 577,501X_2 - 8,338X_3 - 1,264X_4 - 76,965X_5 + 0,152X_6 + 2,917X_7 + 283,591X_8$

Estimasi produksi yang diperoleh dari indeks vegetasi RENDVI dan CI_{RE} memiliki nilai korelasi yang sama yaitu $r=0,763$.

SARAN

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk memperkaya model dengan citra yang berbeda (multi resolusi), kondisi tanaman yang berbeda, wilayah yang berbeda, dan tindakan manajemen yang berbeda.
2. Penggunaan data citra *times series* akan lebih memudahkan penyusunan model.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada jajaran manajemen PT. Perkebunan Nusantara IV, khususnya Unit Kebun Adolina yang telah memberikan ijin pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Baso, B., D. Cammarano, and P. De Vita. 2004. Remotely sensed vegetation indices: Theory and application for crop management. *Rivista Italiana di Agrometeorologia* 36-53 (1) p : 37-49.
- Chemura, A. 2012. Determining oil palm age from high resolution satellite imagery. Thesis. Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation. University of Twente. Netherland.
- Danoedoro, P. 2012. Pengantar penginderaan jauh digital. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Hatfield, L., A.A. Gitelson, J.S. Schepers, and C.L. Walthall. 2008. Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. *Celebrate the Centennial (Supplement to Agronomy Journal)*.
- Harahap, I.Y., Winarna, dan E.S. Sutarta. 2000. Produktivitas tanaman kelapa sawit: Tinjauan dari aspek tanah dan iklim. *Pertemuan Teknis Kelapa Sawit I*. Pusat Penelitian Kelapa Sawit. Medan 25-26 April 2000.
- Hermantoro dan R.Y. Purnawan. 2009. Prediksi produksi kelapa sawit berdasarkan kualitas lahan menggunakan model Artificial Neural Network (ANN). *Jurnal Agroteknose Volume IV No. 2*. p : 1-6.
- Lubis, A.U. 2008. Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di Indonesia. Pusat Penelitian Kelapa Sawit. Medan.
- Pinter Jr., P.J., J.L. Hatfield, J.S. Schepers, E.M. Barnes, M.S. Moran, C.S.T. Daughtry, and D.R. Upchurch. 2003. Remote sensing for crop management. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 69 (6) p : 647-664.
- Poudyal, A. 2013. Spatial statistic and super resolution mapping for precision agriculture using vhr satellite imagery. Thesis of Master Science in Geo-information Science and Earth. Faculty of Geo-Information Science and Earth. University of Twente. Netherland.
- Qi, J., A.R. Huete, M.S. Moran, A. Chaehbouni, and R.D. Jackson. 1993. Interpretation of vegetation indices derived from multi-temporal SPOT images. *Remote Sensing of Environment* 44 p:89-101.
- Sawasawa, and L.A. Haig. 2003. Crop yield estimation: Integrating RS, GIS and management factors : A case study of Birkoor and Kortgiri, Mandals, Nizamabad, India. Thesis. Geo-information Science and Earth Observation, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), Netherland.
- Sugiyono. 2014. Statistik untuk penelitian. Alfabeta Bandung.
- Yang, C., J.H. Everite, and Q. Du. 2013. Using high-resolution airborne and satellite imagery to assess crop growth and yield variability for precision agriculture. *Proceeding of The IEEE*. 101(3) p : 582-592.