

Penggunaan Citra Landsat 8 untuk Estimasi Kadar Khlorofil dan Hasil Tanaman Padi

I WAYAN NUARSA

Jurusan Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Udayana
Jalan P.B. Sudirman, Denpasar
Telp: 62-361-222-450
E-mail: nuarsa@ymail.com

ABSTRACTS

The Use of Landsat 8 Imagery to Estimate Chlorophyll Content and Yield of Rice Plant.

Predicting rice yield before harvest time is important to supporting planners and decision makers to predict the amount of rice that should be imported or exported and to enable governments to put in place strategic contingency plans for the redistribution of food during times of famine. This study used Landsat 8 that has better both spectral and radiometric resolution compared with the Landsat 7. The result of this study shows that using several Landsat 8 band as vegetation index provided better relationship with rice chlorophyll compared using single band. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) has the best relationship with the chlorophyll content of rice plant compared with other vegetation index and single band of Landsat 8 with the R^2 of 0.936. The form of relationship is linear with equation of $y = 7.1043x + 0.0661$, where y and x are chlorophyll content of rice plant and NDVI, respectively. Rice yield can be estimated in rice age approximately of 2 months with the equation of $y = 30.495x^2 - 36.884x + 19.334$, where y and x are rice yield in ton/ha and NDVI, respectively. The R^2 of this estimation is 0.893 with the standard error of 0.372.

Keyword: *rice plant, chlorophyll content, rice yield, Landsat 8, NDVI*

PENDAHULUAN

Di Indonesia, padi merupakan salah satu tanaman pertanian penting karena beras adalah makanan utama yang dikonsumsi oleh sebagian besar masyarakat Indonesia. Ketahanan pangan telah lama menjadi kebijakan penting di Indonesia. Kebijakan ini umumnya berhubungan dengan swasembada beras. Pada pertengahan tahun 1980-an, Indonesia sempat mencapai 100% swasembada beras, namun pertumbuhan produksi padi melambat pada tahun 1990-an, yang menyebabkan peningkatan impor dan penurunan rasio swasembada. Rasio swasembada beras pada tahun tersebut sekitar 95% selama dua tahun

terakhir, akan tetapi turun di bawah 90% selama kekeringan El Niño tahun 1998 (Bappenas 2002).

Untuk menentukan potensi swasembada beras, produksi padi perlu dihitung. Secara konvensional, perhitungan produksi padi biasanya dilakukan setelah panen dengan mengumpulkan informasi panen dari petani. Cara lain adalah dengan menggunakan teknik ubinan, yang selanjutnya dikonversi dengan luasan sawah yang dipanen. Kedua metode estimasi produksi padi di atas dilakukan pada masa panen. Metode tersebut akan memakan waktu yang lama sehingga pengambilan keputusan tentang tingkat kecukupan beras di dalam negeri menjadi lambat. Hal ini sering

kali menyebabkan kesalahan dalam pengambilan keputusan import sehingga import beras dilakukan saat kecukupan beras dalam negeri tercapai. Hal ini tentu akan merugikan petani karena harga beras di dalam negeri menjadi murah. Oleh sebab itu, informasi tentang produksi tanaman padi sebelum panen sangatlah diperlukan. Disamping itu pemetaan lahan sawah dan monitoring tanaman padi juga penting dalam manajemen sumberdaya air dan estimasi emisi gas (Xiao *et al.* 2005).

Tanaman padi mempunyai properti penutup lahan yang spesifik. Karakteristik penutup lahan sawah berubah-ubah selama musim tanam padi. Pada sawah irigasi, penutup lahan didominasi oleh air saat awal musim tanam. Seiring dengan bertambahnya umur tanaman padi, persentase tutupan vegetasi juga meningkat sampai umur padi mencapai 2 bulan dan perlahan-lahan berkurang sampai saat panen. (Shao *et al.* 2001, Nuarsa *et al.* 2005, Nuarsa *et al.*, 2012).

Studi penggunaan citra satelit untuk memonitor pertumbuhan tanaman padi telah banyak dilakukan (Shao *et al.* 2001, David *et al.* 2004). Beberapa dari penelitian tersebut menggunakan citra satelit dengan resolusi spasial rendah dan menengah seperti *National Oceanic and Atmospheric Administration Advanced Very High Resolution Radiometer* (NOAA AVHRR) dan *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), diantaranya untuk estimasi hasil padi (Xiao *et al.* 2005; Nuarsa *et al.*, 2011). Akan tetapi, penggunaan citra satelit dengan resolusi rendah dan menengah mempunyai beberapa kelemahan terutama pada daerah yang sempit karena beberapa jenis penutup lahan berada dalam satu piksel. Hal ini akan menurunkan akurasi estimasi (Strahler *et al.* 2006). Sebaliknya, penggunaan citra satelit resolusi tinggi untuk monitoring dan estimasi hasil tanaman padi dibatasi oleh ketersediaan jumlah citra selama 120 hari masa pertumbuhan tanaman padi. (Currey *et al.* 1987).

Citra Landsat mempunyai resolusi spasial, temporal, dan spectral yang baik untuk monitoring

tanaman padi. Perekaman ulang citra Landsat adalah 16 hari dengan resolusi spasial 30 m. Landsat mempunyai banyak saluran dengan ukuran piksel yang sama. Ini memberikan kelebihan dalam pengembangan algoritma dalam pemodelan pertumbuhan dan produksi tanaman padi (Christopher 2004). Landsat 8 adalah seri Landsat generasi baru, yang mempunyai resolusi spektral dan radiometrik yang lebih baik dibandingkan dengan Landsat 7. Penelitian ini bertujuan untuk (1) mencari hubungan antara kandungan khlorofil tanaman padi dengan nilai spectral Landsat 8 dan (2) Mengestimasi hasil tanaman padi dari nilai spektral Landsat 8.

BAHAN DAN METODE

Daerah Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Tabanan, Provinsi Bali dengan koordinat tengah 8°31'50" LS dan 115°02'30" BT (Gambar 1). Kabupaten Tabanan dipilih sebagai tempat penelitian karena Tabanan merupakan centra produksi tanaman padi di Bali. Penanaman padi di daerah penelitian dikoordinasikan oleh Subak yang merupakan organisasi sosial petani yang mengatur irigasi. Setiap Subak menangani air irigasi sawah sekitar 150 – 300 ha (Dinas Pertanian Tanaman Pangan, 2006). Penanaman padi di setiap subak umumnya dilakukan secara bersamaan. Dengan demikian, pengamatan tanaman padi dengan citra penginderaan jauh



Gambar 1. Peta daerah penelitian

menjadi lebih mudah karena berada dalam hampan yang luas.

Observasi Lapang

Pengamatan lapang telah dilakukan di beberapa subak di Kabupaten Tabanan mulai pertengahan bulan Mei sampai akhir Oktober 2013. Observasi dilakukan secara *real time*, artinya observasi dan pengambilan sampel di lapangan dilakukan pada saat satelit Landsat 8 melewati dan merekam daerah penelitian. Parameter-parameter yang diukur di lapangan terdiri dari tanggal penanaman, varietas padi yang ditanam, jarak tanam, pupuk dan pestisida yang digunakan, tinggi tanaman, tingkat kehijauan daun

tanaman padi, dan hasil panen. Tinggi tanaman dan tingkat kehijauan tanaman masing-masing diukur dengan penggaris dan Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. Sampel hasil panen diambil pada luasan 2,5 m x 2,5 m, kemudian dikonversi menjadi satuan ton/ha. Pengukuran tinggi tanaman dan tingkat kehijauan daun tanaman padi dilakukan mulai minggu ketiga setelah penanaman sampai panen. Pengamatan lapangan dilakukan setiap minggu dan pada saat satelit Landsat melewati daerah penelitian. Sementara itu, kandungan klorofil tanaman padi hasil pengamatan tiap minggu dianalisis di Laboratorium Analitik Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran.

Tabel 1. Spesifikasi Citra Landsat 8

Parameter	Nilai
Resolusi spasial	15m, 30m, and 100m
Resolusi temporal	16 hari
Sensor	Operational Land Imager (OLI)
Orbit	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Worldwide Reference System-2</i> (WRS-2) sistem path/row - Orbit sinkrun matahari pada ketinggian 705 km (438 mi) - 233 siklus orbit; meliputi seluruh dunia setiap 16 hari (kecuali untuk lintang kutub tertinggi) - Sudut inklinasi 98,2° - Mengitari bumi setiap 98,9 menit - Waktu melewati equator: 10:00 a.m. +/- 15 minutes
Saluran	<p>9 Saluran tampak mata dan perluasnya, termasuk pankromatik:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Band 1 Visible (0,43 - 0,45 μm) 30 m - Band 2 Visible (0,450 - 0,51 μm) 30 m - Band 3 Visible (0,53 - 0,59 μm) 30 m - Band 4 Red (0,64 - 0,67 μm) 30 m - Band 5 Near-Infrared (0,85 - 0,88 μm) 30 m - Band 6 SWIR 1 (1,57 - 1,65 μm) 30 m - Band 7 SWIR 2 (2,11 - 2,29 μm) 30 m - Band 8 Panchromatic (PAN) (0,50 - 0,68 μm) 15 m - Band 9 Cirrus (1,36 - 1,38 μm) 30 m <p>2 saluran inframerah thermal:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Band 10 TIRS 1 (10,6 - 11,19 μm) 100 m - Band 11 TIRS 2 (11,5 - 12,51 μm) 100 m
Ukuran <i>Scene</i>	170 km x 185 km (106 mi x 115 mi)

Citra Landsat 8 dan Pengolahannya

Citra satelit Landsat 8 yang digunakan pada penelitian ini diunduh dari situs NASA (<http://glovis.usgs.gov>). Jumlah citra yang dipakai sebanyak 5 *scene* yang direkam pada tanggal 12 Juni 2013, 5 Juli 2013, 30 Juli 2013, 15 Agustus 2013, dan 22 Agustus 2013 dengan *path* 116 dan 117 serta *row* 66. Secara detail spesifikasi Citra Landsat 8 disajikan pada Tabel 1 (USSG, 2014).

Analisis citra Landsat 8 menggunakan nilai reflektan TOA *planetary*. Nilai tersebut diperoleh dari konversi nilai digital (DN) dengan menggunakan persamaan 1 dan 2 (USSG, 2014)

$$\rho\lambda' = M_p Q_{cal} + A_p \quad (1)$$

dimana:

$\rho\lambda'$ = Reflektan TOA *planetary*, tanpa dikoreksi sudut matahari.

M_p = Perkalian saluran spesifik dengan faktor *rescaling* dari metadata (*REFLECTANCE_MULT_BAND_x*, dimana x adalah nomor saluran)

A_p = Penambahan saluran spesifik dengan faktor *rescaling* dari metadata. (*REFLECTANCE_ADD_BAND_x*, dimana x adalah nomor saluran)

Q_{cal} = Kuantisasi dan kalibrasi produk standar nilai piksel (DN)

TOA *reflectance* dengan koreksi sudut matahari adalah :

$$\rho\lambda = \frac{\rho\lambda'}{\cos(\theta_{SZ})} = \frac{\rho\lambda'}{\sin(\theta_{SE})} \quad (2)$$

dimana:

$\rho\lambda$: = Reflektan TOA *planetary*

θ_{SE} : = Sudut elevasi matahari lokal. Sudut elevasi matahari pada pusat citra dalam derajat, nilai ini terdapat pada metadata (*SUN_ELEVATION*).

θ_{SZ} = Sudut solar zenith lokal; $\theta_{SZ} = 90^\circ - \theta_{SE}$

Nilai reflektan citra Landsat 8 diperoleh dari lokasi pengambilan contoh sebanyak 12 titik sampel di lapangan. Sebanyak 5 indeks vegetasi dihitung dan dievaluasi pada penelitian ini, diantaranya *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Difference Vegetation Index* (DVI), *Ration Vegetation Index* (RVI), *Transform Vegetation Index* (TVI), and *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI). Persamaan dari masing-masing indeks vegetasi tersebut disajikan pada persamaan 3 sampai 7.

$$(NIR + R) \quad (3)$$

$$DVI = NIR - R \quad (4)$$

$$R \quad (5)$$

$$(NIR + R) + 0.5 \quad (6)$$

$$NIR + R + L \quad (7)$$

Dimana NIR, R, and L masing-masing adalah saluran inframerah dekat, saluran merah, dan faktor koreksi *background brightness*.

Saluran R dan NIR dari persamaan indeks vegetasi adalah saluran merah (saluran 4) dan saluran inframerah (saluran 5) dari Landsat 8 yang telah dikonversi menjadi nilai reflektan. Langkah berikutnya adalah menentukan hubungan antara nilai spektral dan indeks vegetasi tanaman padi dengan kandungan khlorofil dan hasil tanaman padi dengan persamaan berikut :

$$y = f(x) \quad (8)$$

Dimana y merupakan fungsi dari x. Parameter y adalah kandungan khlorofil atau hasil tanaman padi dan x adalah nilai spektral atau indeks vegetasi. Bentuk hubungan antara parameter x dan y akan dikembangkan pada penelitian ini melalui analisis regresi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hubungan antara Kandungan Klorofil Tanaman Padi dengan Data Penginderaan Jauh

Langkah pertama dalam analisis data adalah mencari hubungan antara kandungan klorofil khususnya daun tanaman padi dengan data penginderaan jauh. Daun tanaman padi digunakan sebagai indikator kesehatan dan produktivitas tanaman padi, karena daun merupakan tempat utama proses fotosintesis. Kandungan klorofil pada tanaman padi dalam persen dan nilai reflektannya pada Landsat 8 disajikan pada Tabel 2.

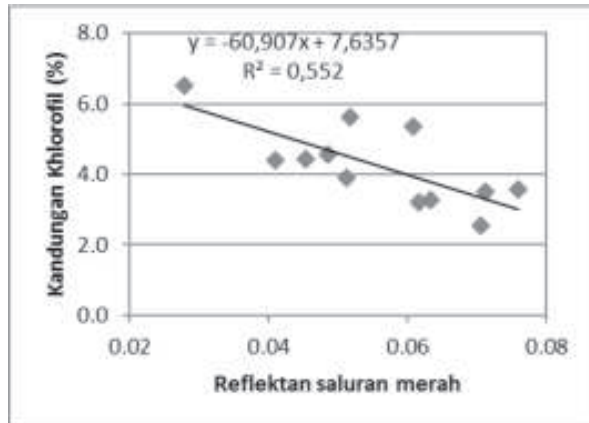
Berdasarkan kurva karakteristik spektral objek (Lillesand and Kiefer, 2000), objek vegetasi seperti tanaman padi memiliki sensitivitas yang tinggi pada saluran merah (R) dan inframerah dekat (NIR). Pigmen klorofil yang terdapat pada daun menyerap sinar pada saluran merah. Sementara itu pada saluran inframerah dekat, radiasi sinar matahari dihamburkan oleh mesofil sponsi internal pada struktur daun, yang menyebabkan nilai reflektan tinggi pada saluran inframerah dekat. Interaksi antara daun tanaman dengan sinar yang

mengenaiknya memberikan respon yang terbalik antara saluran merah dan inframerah dekat (Niel & McVicar 2001). Hampir semua indeks vegetasi yang ada menggunakan saluran merah dan inframerah dekat. Oleh sebab itu, analisis pada penelitian ini fokus untuk mencari hubungan antara saluran merah, inframerah dekat, dan indeks vegetasi dengan kandungan klorofil tanaman padi. Pengukuran kandungan klorofil tanaman padi dilakukan pada saat seluruh lahan telah tertutup oleh tanaman. Hal ini penting dilakukan karena pada saat Satelit Landsat melewati daerah penelitian, sensor Landsat hanya merekam tanaman padi tanpa ada objek lain disekitarnya seperti objek tanah dan air.

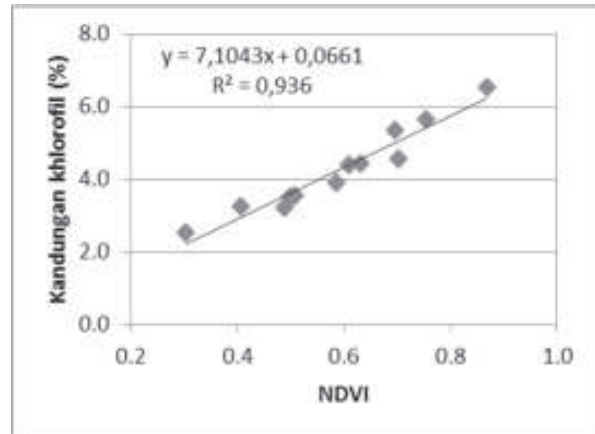
Gambar 2 dan 3 masing-masing menyajikan hubungan antara nilai reflektan saluran merah dan inframerah dekat dengan kandungan klorofil tanaman padi. Berdasarkan grafik tersebut, saluran inframerah dekat menunjukkan hubungan yang lebih baik dengan kandungan klorofil tanaman padi dibandingkan dengan saluran merah. Ini dapat dilihat dari nilai koefisien determinasi (R^2), dimana nilai R^2 saluran merah dan inframerah masing-masing 0.552 and 0.827.

Table 2. Nilai reflektan, indeks vegetasi and kandungan klorofil tanaman padi

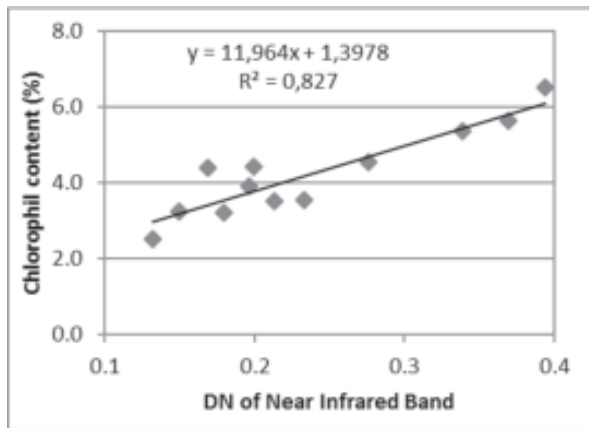
No	Reflektan		NDVI	RVI	DVI	TVI	SAVI	Klorofil (%)
	IR	R						
1	0,150	0,063	0,406	2,366	0,086	105	0,182	3,26
2	0,233	0,076	0,509	3,072	0,157	100	0,292	3,56
3	0,196	0,051	0,586	3,832	0,145	96	0,291	3,91
4	0,276	0,048	0,702	5,702	0,228	91	0,414	4,55
5	0,339	0,061	0,696	5,577	0,278	91	0,464	5,36
6	0,179	0,062	0,488	2,909	0,118	101	0,238	3,22
7	0,132	0,071	0,303	1,871	0,061	112	0,131	2,53
8	0,213	0,071	0,499	2,994	0,142	100	0,271	3,51
9	0,200	0,045	0,630	4,408	0,154	94	0,311	4,43
10	0,169	0,041	0,609	4,114	0,128	95	0,270	4,39
11	0,394	0,028	0,868	14,124	0,366	86	0,596	6,53
12	0,370	0,052	0,754	7,141	0,318	89	0,518	5,63



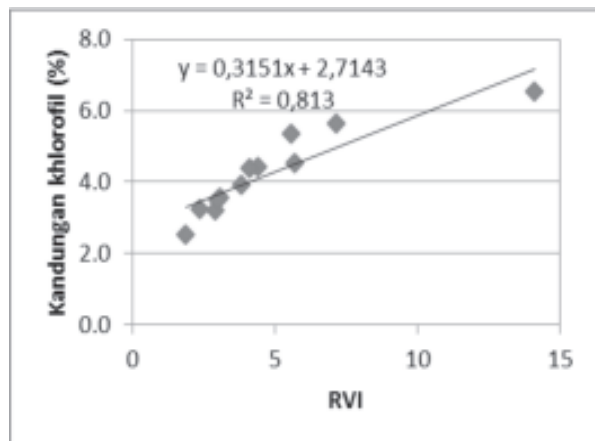
Gambar 2. Hubungan antara nilai reflektan saluran merah dengan kandungan khlorofil tanaman padi



Gambar 4. Hubungan antara NDVI dengan kandungan khlorofil tanaman padi

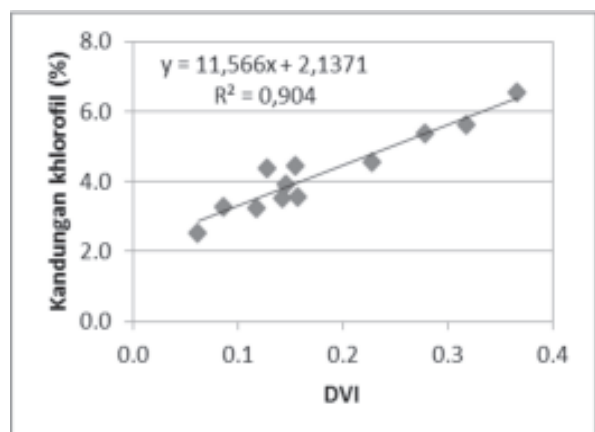


Gambar 3. Hubungan antara nilai reflektan saluran inframerah dekat dengan kandungan khlorofil tanaman padi

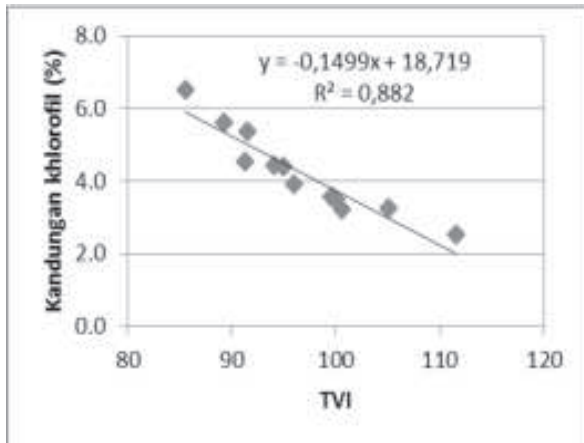


Gambar 5. Hubungan antara RVI dengan kandungan khlorofil tanaman padi

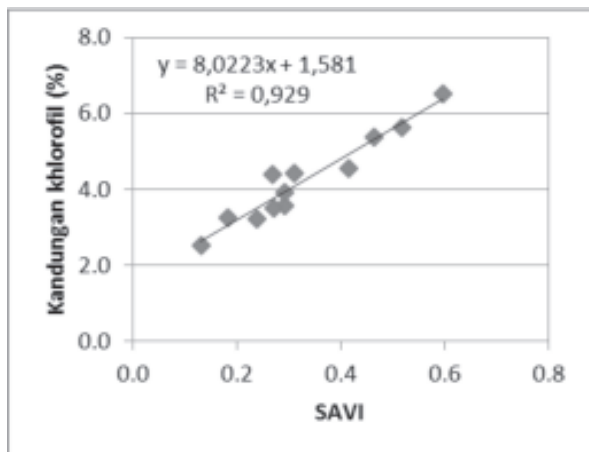
Penggunaan beberapa saluran Landsat 8 dalam bentuk indeks vegetasi umumnya memberikan hasil yang lebih baik dalam menilai hubungan antara parameter tanaman padi dengan data penginderaan jauh (Huete and Warrick 1990; Nuarsa et al, 2011). Gambar 4 sampai Gambar 8 menampilkan hubungan antara beberapa indeks vegetasi dengan kandungan khlorofil tanaman padi. Lima indeks vegetasi dievaluasi dalam penelitian ini, yaitu NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), RVI (*Ratio Vegetation Index*), DVI (*Difference Vegetation Index*), TVI (*Transform Vegetation Index*), and *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI).



Gambar 6. Hubungan antara DVI dengan kandungan khlorofil tanaman padi



Gambar 7. Hubungan antara TVI dengan kandungan khlorofil tanaman padi



Gambar 8. Hubungan antara SAVI dengan kandungan khlorofil tanaman padi

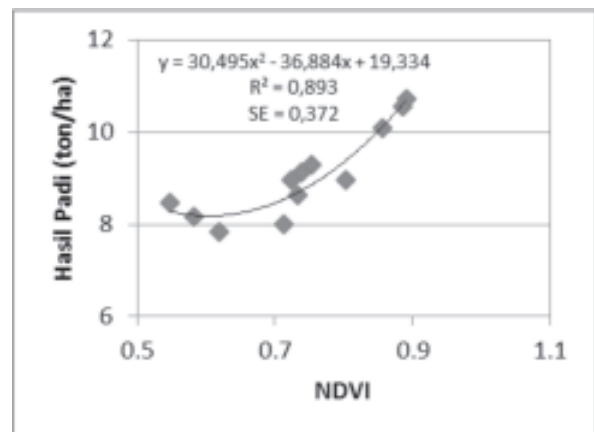
Dari kelima indeks vegetasi yang dievaluasi dalam penelitian ini, NDVI menunjukkan hubungan yang terbaik dengan kandungan khlorofil tanaman padi dengan nilai R^2 0,936, diikuti oleh SAVI, DVI, TVI, and RVI dengan nilai R^2 masing-masing 0,929, 0,904, 0,882, and 0,813.

Keuntungan penggunaan indeks vegetasi dibandingkan dengan saluran tunggal adalah kemampuannya dalam mereduksi spektral data ke dalam saluran tunggal yang berhubungan dengan karakteristik fisik vegetasi seperti luas daun, biomassa, produktivitas, aktivitas fotosintesis atau persentaseutupan (Baret and Guyot 1991). Pada saat yang bersamaan, penggunaan indeks vegetasi

dapat mengurangi efek internal seperti geometri kanopi dan properti daun dan tanah, dan faktor eksternal seperti sudut matahari-target-sensor dan kondisi atmosfer saat perekaman pada spektral data (Huete and Warrick 1990, Baret and Guyot 1991, Huete and Escadafal 1991).

Estimasi Hasil Tanaman Padi Menggunakan Citra Landsat 8

Parameter penginderaan jauh yang digunakan untuk mengestimasi hasil tanaman padi adalah NDVI, mengingat indeks vegetasi ini menunjukkan hubungan yang terbaik dengan kandungan khlorofil tanaman padi. Berdasarkan penelitian kami sebelumnya (Nuarsa *et al*, 2012), NDVI tanaman padi pada umur 63 hari setelah tanam memberikan hubungan terbaik dengan hasil padi menggunakan Landsat 7. Pada penelitian ini, umur padi sekitar 2 bulan dipilih sebagai sampel dalam mencari hubungan antara NDVI dengan hasil tanaman padi. Tabel 3 menampilkan nilai NDVI tanaman padi pada umur sekitar 2 bulan dan hasil tanaman padi kering panen pada beberapa sampel, sedangkan grafik hubungan antara NDVI dengan hasil tanaman padi disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Hubungan antara NDVI dengan hasil tanaman padi

Berdasarkan Gambar 8, terdapat hubungan yang erat antara NDVI dengan hasil panel tanaman padi dengan nilai R^2 0,893. Persamaan dari

hubungan tersebut adalah $y = 30,495x^2 - 36,884x + 19,334$, dimana y dan x masing-masing adalah hasil tanaman padi dalam ton/ha dan NDVI. Nilai standard error dari estimasi ini adalah 0.372 ton/ha.

Klorofil adalah komponen penting tanaman padi untuk aktivitas fotosintesis, yang menghasilkan karbohidrat untuk membentuk jaringan tanaman dan biji padi. Jumlah dan kualitas klorofil tanaman sangat menentukan hasil tanaman padi pada saat panen. Dengan demikian, kandungan klorofil pada biomassa yang direpresentasikan oleh NDVI mempunyai hubungan yang erat dengan hasil panen padi.

Tabel 3. Nilai saluran merah, inframerah dekat, NDVI dan hasil tanaman padi pada umur sekitar 2 bulan

Sampel Padi	Umur	NDVI (ton/ha)	Hasil Padi
1	60	0,856	10,08
2	60	0,890	10,72
3	60	0,582	8,16
4	67	0,885	10,56
5	67	0,802	8,96
6	60	0,738	9,12
7	60	0,548	8,48
8	60	0,619	7,84
9	67	0,732	8,64
10	67	0,724	8,96
11	67	0,754	9,28
12	60	0,712	8,00

SIMPULAN

Berdasarkan hasil survei lapang dan analisis citra Landsat 8, beberapa kesimpulan dapat ditarik pada penelitian ini, diantaranya :

1. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) mempunyai hubungan terbaik dengan kandungan klorofil tanaman padi dibandingkan dengan indeks vegetasi lain dan

saluran tunggal dari Landsat 8 dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,936 . Bentuk hubungan tersebut adalah linear dengan persamaan $y = 7,1043x + 0,0661$, dimana y dan x masing-masing adalah kandungan klorofil tanaman padi dan NDVI.

2. Hasil panel padi dapat diestimasi pada umur tanaman sekitar 2 bulan dengan persamaan $y = 30,495x^2 - 36,884x + 19,334$, dimana y dan x masing-masing adalah hasil kering panen tanaman padi dalam ton/ha and NDVI. Nilai R^2 dari persamaan tersebut adalah 0,893 dengan standard error sebesar 0.372 ton/ha.

DAFTAR PUSTAKA

- Bappenas. 2002. *Does Indonesia Face a Food Security Time Bomb?* Indonesian Food Policy Program. Available: <http://www.macrofoodpolicy.com>. Visited on November 15, 2013.
- Baret, F. and Guyot, G. 1991. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sensing of Environment*, 35, pp. 161–173.
- Christopher Small. (2004). The Landsat ETM+ spectral mixing space. *Remote Sensing of Environment*, 93, 1-17.
- Currey, B., Fraser, A. S. & Bardsley, K. L. (1987). How useful is Landsat monitoring. *Nature*, 328, 587-590.
- David, D., Froking, S. & Li, C. (2004). Trends in Rice-Wheat Area in China. *Field Crops Research*, 87, 89-05.
- Dinas Pertanian Tanaman Pangan. 2006. *Laporan Tahunan Tanaman Pangan*. Dinas Pertanian Tanaman Pangan, Provinsi Bali, 3, 125-130.
- Huete, A.R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25, pp. 295–309.

- Huete, A.R. and Escadafal, R., 1991. Assessment of biophysical soil properties through spectral decomposition techniques. *Remote Sensing of Environment*, 35, pp. 149–159.
- Huete, A.R. and Warrick, A.W., 1990. Assessment of vegetation and soil water regimes in partial canopies with optical remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 32, pp. 115–167.
- Lillesand, T. M. and Kiefer, R. W. 2000. *Remote sensing and image interpretation*, 715–735 (New York: Wiley & Son).
- Niel, T.G.V. and McVicar, T.R. (2001). Remote Sensing of Rice-Based Irrigated Agriculture: A Review; [Online] Available: <http://www.clw.csiro.au/publications/consultancy/2001/CRC-Rice-TRP11050101.pdf>, 18-19. Visited on December 15, 2013.
- Nuarsa I Wayan, Fumihiko Nishio, and Chiharu Hongo. 2011. Relationship between Rice Spectral and Rice Yield Using Modis Data. *Journal of Agricultural Science*. 3(2): 80-88.
- Nuarsa I Wayan, Fumihiko Nishio, and Chiharu Hongo. 2012. Rice Yield Estimation Using Landsat ETM+ Data and Field Observation. *Journal of Agricultural Science*, 4(3):45-56.
- Nuarsa I Wayan, Susumu Kanno, Yasuhiro Sugimori, and Fumihiko Nishio. 2005. Spectral Characterization of Rice Field Using Multi-Temporal Landsat ETM+ Data. *International Journal of Remote Sensing and Earth Science*, 2:65-71.
- Shao, Y., Fan, X., Liu, H., Xiao, J., Ross, S., Brisco, B., Brown, R. and Staples, G. (2001). Rice monitoring and production estimation using multitemporal RADARSAT. *Remote Sensing of Environment*, 76, 310–325.
- Strahler, A. H., Boschetti, L., Foody, G.M., Friedl, M.A., Hansen, M.C., Herold, M., Mayaux, P., Morisette, J.T., Stehman, S.V. & Woodcock, C.E. (2006). Global Land Cover Validation: Recommendations for Evaluation and Accuracy Assessment of Global Land Cover Maps. Office for Official Publications of the European Communities. Available: http://wgcv.ceos.org/docs/plenary/wgcv26/GlobalLandCoverValidation_JeffMorisette.pdf. Visited on July 25, 2013.
- USSG 2014. Using the USGS Landsat 8 Product. U.S. Geological Survey. http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php. Visited on October 30th 2014.
- Xiao, X., Boles, S., Liu, J., Zhuang, D., Froking, S., Li, C., Salas, W. and Moore, B. (2005). Mapping paddy rice agriculture in southern China using multi-temporal MODIS images. *Remote Sensing of Environment*, 95, 480–492.