

# EKSTRAKSI KANDUNGAN AIR KANOPI DAUN TANAMAN PADI DENGAN DATA HYPERSPECTRAL

**Agus Wibowo<sup>1,2</sup>, Dian Ratnasari<sup>1</sup>, Bangun Muljo Sukojo<sup>1</sup>, Teguh Harianto<sup>1</sup>,  
Yusuf S. Djajadihardja<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Teknik Geomatika Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya

<sup>2</sup> Pusat Teknologi Inventarisasi Sumberdaya Alam, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi  
Gedung II BPPT It 19, Jl. MH. Thamrin No 8 Jakarta 10340, Fax: 021-3169720

## ABSTRACT

The spectral reflectance of leaves from several paddy stumps in irrigated rice area of Indramayu - West Java Province was measured with field spectrometer which has wavelength range 350-2500 nm and spectral resolution of 1 nm. The measurement was performed from a distance of 10 cm (FS10) and 50 cm (FS50) of rice leaf canopy surface. Measurement point is selected such that represent different stages of rice growth i.e. vegetative, reproductive and ripening. Meanwhile, a airborne survey with hyperpectral mapper (HYMAP) sensor is done over the same area. The HYMAP sensor has wavelength length from 400-2500nm, 128 channels, 10-20 nm spectral resolution, and 4.5 m spatial resolution. Clumps of rice that has been measured withdrawn and separated into the leaf, stem and panicle. Those sample are weighed as fresh weight and then dried in the laboratory until the temperature of 60 ° C. The canopy water content is the difference between fresh weight and dry weight.

Linear regression modeling is performed to find the relationship between canopy water content (CWC) with water index ( $R_{900}/R_{970}$ ) and the normalised difference water index ( $(R_{860}-R_{1240})/(R_{860}+R_{1240})$ ). To obtain a good model of cross-validation process is carried out by separating 30% of data randomly for validation and the remaining 70% is used to build the regression model. Furthermore, the resulting model is validated with 30% of data, good model selected by the criteria of a maximum of  $R^2$  model and the RMSE of cross validation ( $RMSE_{VC}$ ) minimum. Selected regression model was applied to the data HYMAP to create distribution maps of canopy water content.

Results show that both spectral indices shows a positive correlation and also sensitive to changes in water content that make the detection of canopy water content is possible. Selected model that can be used are (1)  $CWC = 13078.0 * WI - 13183.00$  ( $R^2 = 0.58$ ,  $RMSE_{CV} = 499.13$ ) and (2)  $CWC = 7157.4 * NDWI + 396.26$  ( $R^2 = 0.51$ ,  $RMSE_{CV} = 640.84$ ). Selected model is implemented with HYMAP data to produce a canopy water content distribution map. The result shows that both spectra indices has a negative value that represent a dry land. High spectral indices value also identified in a vegetative growth stage which is sparse rice canopy and mixed with water or soil background. Wider implementation should be done cautiously and need improvements to accommodate the level of the leaf canopy cover.

**Keywords:** Remote Sensing, Hyperspectral, Paddy/Rice, Canopy Water Content, HYMAP, Field Spectrometer.

## ABSTRAK

Pengukuran reflektan kanopi daun padi dengan field spectrometer dilakukan pada beberapa titik pengukuran di lahan padi di Indramayu, Provinsi Jawa Barat. Pengukuran menggunakan panjang gelombang 350-2500 nm dengan resolusi spektral 1 nm dan dilakukan pada jarak 10 cm (FS10) dan 50 cm (FS50) dari permukaan kanopi daun padi. Titik pengukuran dipilih sedemikian sehingga mewakili berbagai tahapan pertumbuhan padi yaitu tahap vegetatif, reproduktif dan *ripening*. Pada saat yang bersamaan dilakukan juga pengambilan data dari pesawat udara menggunakan sensor Hyperpsectral Mapper (HYMAP) dengan jumlah kanal 128, resolusi spektral 10-20 nm, jangkauan panjang gelombang 350-2500 nm, dan resolusi spasial 4.5 m. Rumpun padi yang sudah diukur dicabut, dipisahkan menjadi bagian daun, batang dan bulir padi. Selanjutnya ditimbang berat basahanya dan kemudian dikeringkan di laboratorium sampai suhu 60° C untuk ditimbang berat keringnya.

Pemodelan regresi linear dilakukan untuk mencari hubungan antara canopy water content (CWC) / kandungan air kanopi daun dengan water index  $R_{900}/R_{970}$  dan normalised difference water index  $(R_{860}-R_{1240})/(R_{860}+R_{1240})$ . Untuk mendapatkan model yang baik dilakukan proses validasi silang dengan cara memisahkan 30% data secara acak untuk validasi dan sisanya 70% digunakan untuk membangun model regresi. Selanjutnya model yang dihasilkan divalidasi dengan 30% data, model yang baik dipilih dengan kriteria  $R^2$  model maksimum dan RMSE validasi silang ( $RMSE_{CV}$ ) minimum. Model regresi yang terpilih diaplikasikan ke data HYMAP untuk membuat peta distribusi kandungan air kanopi daun. Hasil menunjukkan bahwa kedua indeks WI dan NDWI mempunyai korelasi yang positif dan sensitif terhadap perubahan kandungan air sehingga digunakan untuk deteksi kandungan air kanopi daun. Model terpilih yang dapat digunakan adalah (1)  $CWC = 13078.0*WI - 13183.00$  ( $R^2 = 0.58$ ,  $RMSE_{CV} = 499.13$ ) dan (2)  $CWC = 7157.4*NDWI + 396.26$  ( $R^2 = 0.51$ ,  $RMSE_{CV} = 640.84$ ). Model terpilih diimplementasikan dengan data HYMAP untuk membuat peta distribusi CWC. Hasil perhitungan menunjukkan ada nilai yang negatif yaitu di lokasi yang tanaman padi tidak ada dan tanah kering. Hasil CWC pada fase vegetatif juga terlalu tinggi nilai CWCnya hal ini disebabkan karena reflektan kanopi daun bercampur dengan reflektan air di sawah. Implementasi lebih luas perlu dilakukan hati-hati dan perlu penyempurnaan untuk mengakomodasi tingkat tutupan kanopi daun.

**Keywords:** Penginderaan Jauh, Hyperspektral, Padi, Kandungan air kanopi, HYMAP, Spektrometer Lapangan.

## PENDAHULUAN

### Latar belakang

Biomasa merupakan salah satu variabel kunci yang menjadi perhatian dalam studi tentang tanaman, baik tanaman yang dibudidayakan maupun yang tidak dibudidayakan. Istilah biomasa dapat mengacu pada berat basah maupun berat kering tanaman. Kandungan air kanopi daun atau *canopy water content* (CWC) merupakan selisih berat basah dan berat kering tanaman dan menjadi perhatian banyak aplikasi. Karena komponen utama tanaman hijau adalah air maka berat basah, berat kering dan kandungan air akan mempunyai asosiasi yang kuat. Banyak faktor yang mempengaruhi asosiasi tersebut seperti jenis spesies, umur, dan kondisi pertumbuhan tanaman. Dengan demikian kandungan air dalam kanopi daun merupakan faktor penting dalam pemetaan dan pemantauan kondisi ekosistem tanaman seperti deteksi *stress* pada tanaman (Ustin et al, 2004), deteksi potensi kebakaran hutan (Chuvienco et al, 2002), atau peningkatan kandungan air tanah (Yilmaz et al, 2008). Pengaruh kekurangan air pada tanaman padi akan menyebabkan pertumbuhan tanaman menjadi lebih pendek, jumlah anakan berkurang, luas daun lebih kecil, pengisian bulir padi berkurang, dan akhirnya akan mengurangi produksi padi (Shouichi Yoshida, 1981). Deteksi kandungan air kanopi daun dengan menggunakan data penginderaan jauh menggunakan prinsip bahwa kandungan air mengabsorpsi energi radiasi matahari pada panjang gelombang di zona mid-infrared / MIR (1300-2500 nm), absorpsi paling terkuat terjadi pada titik tengah pada panjang gelombang 1450, 1940 dan 2500 nm; absorpsi yang lemah juga terjadi di zona near-infrared / NIR (750-1300 nm) yaitu pada zona dekat panjang gelombang 970 dan 1200 nm (Gates et al. 1965; Knipling 1970; Woolley 1971). Jika radiasi matahari mengenai permukaan daun maka sebagian akan diabsorpsi, reflektan yang dipantulkan akan berkurang tergantung jumlah kandungan air yang ada di daun. Dengan demikian pengukuran reflektan daun dan kanopi daun merupakan dasar perhitungan kandungan air daun atau kanopi daun. Peñuelas (1993) mengusulkan penggunaan *water index* (WI) untuk deteksi status kandungan air pada tanaman. WI ( $R_{970}/R_{900}$ ) merupakan rasio antara reflektan pada kanal 970 nm yang merupakan kanal yang diabsorpsi oleh adanya air, dan reflektan pada kanal 900 nm yang tidak (minimum) diabsorpsi oleh air. Peneliti lain Gao (1996) mengusulkan *normalised difference water index* (NDWI), indeks ini merupakan modifikasi dari *normalised difference vegetation index* (NDVI) yang banyak digunakan untuk keperluan identifikasi tanaman. NDWI menggunakan kombinasi kanal 860 nm dan 1240 nm, keduanya terletak pada puncak reflektansi kanopi daun. Absorpsi reflektan karena adanya air pada vegetasi pada panjang gelombang 860 nm dianggap tidak ada, dan terjadi sedikit absorpsi karena adanya air pada daun pada panjang gelombang 1240 nm. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kedua indeks WI dan NDWI sensitif terhadap adanya kandungan air kanopi daun dan dapat digunakan untuk deteksi kandungan air pada daun (Rollin et al, 1998; Serrano et al, 2000; Yen-Ben Cheng et al, 2006, Clevers et al, 2008). Penelitian tersebut dilakukan di daerah sub-tropis dan bukan pada tanaman padi sehingga riset ini dilakukan untuk uji-coba kinerja indeks spektral dan kemungkinan penggunaannya untuk deteksi kandungan air pada tanaman padi.

### Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah melakukan perhitungan kandungan air kanopi daun tanaman padi menggunakan pendekatan regresi liner antara kandungan air kanopi daun dengan

Water Index (WI) dan Normalised Differenced Water Index (NDWI) yang dihitung dari data Field Spectrometer dan airborne hyperspectral mapper (HYMAP).

## **Manfaat Penelitian**

Pemetaan kandungan air kanopi daun dan status kandungan air di lahan padi dengan data satelit hyperspectral dapat dilakukan dengan cepat, menjangkau wilayah yang luas dan dapat dilakukan secara rutin sehingga bermanfaat untuk pemantauan kekeringan lahan padi, penjadwalan pemberian air irigasi dan akhirnya dapat untuk mendukung program swasembada beras. Model yang diperoleh dapat diaplikasikan dengan menggunakan data satelit hyperspectral yang sudah ada dan akan diluncurkan di masa datang. Model juga dapat diaplikasi pada data satelit yang mempunyai kanal yang sesuai dengan model yang dibangun seperti data MODIS.

## **BAHAN DAN METODE**

### **Deksripsi Lokasi**

Penelitian dilakukan di lahan padi di Kabupaten Indramayu, Provinsi Jawa Barat. *Sampling area* (SA) merupakan lahan padi dengan luasan 500m x 500m, lokasi SA ditentukan dengan metode *stratified random sampling*, sehingga seluruh Kabupaten Indramayu terdapat 52 *sample area*. Selanjutnya ditentukan *region of interest* (ROI) yang meliputi SA yang 1) mewakili tiga golongan pengairan, 2) tahap pertumbuhan padi seragam, 3) *overlap* dengan lokasi survey ubinan, dan 4) lokasi mudah diakses. Di dalam SA ditentukan 10 *quadrat area* (QA) dengan ukuran 10 m x 10 m, lokasi QA dipilih yang mempunyai varietas padi dan tahap pertumbuhan yang seragam dan mewakili masing-masing tahap pertumbuhan (Gambar 2). Tahap pertumbuhan padi diklasifikasikan menurut standar IRRI Philipina dan secara garis besar dibagi menjadi 3 yaitu (1) vegetasi - tahap sejak penanaman bibit sampai daun mulai tumbuh dan kanopi menutup, (2) reproduktif – tahap padi mulai bunting, sampai berbunga, dan (3) *ripening* – tahap pengisian bulir, pemasakan sampai panen.

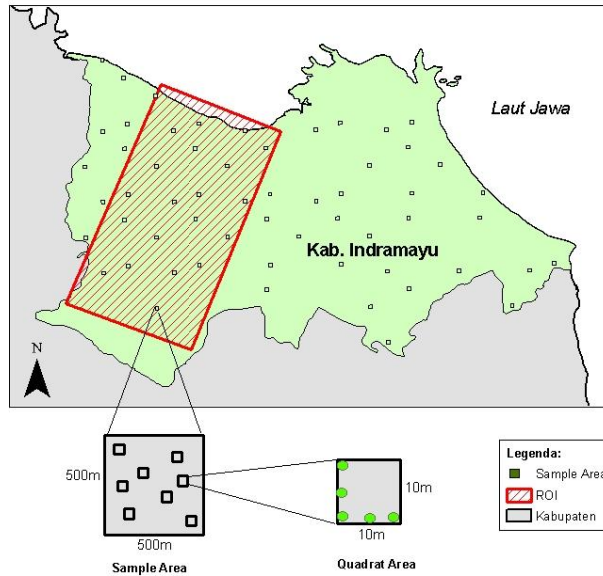
Lokasi pojok-pojok QA ditandai dengan patok bambu dan bendera. Lokasi patok bambu ditentukan dengan pengukuran Differential Global Positioning System (DGPS). Selanjutnya di dalam QA dipilih 5 rumpun padi / *hill* untuk dilakukan pengukuran, lihat Gambar 1. Pada *hill* dilakukan pengukuran reflektan dengan field spektrometer, pengukuran variabel tanaman (ketinggian, lebar kanopi, jumlah daun, jumlah batang, jumlah *panicle*, kedalaman air di pematang), pengukuran leaf area index (LAI), dan beberapa rumpun padi dicabut untuk ditimbang berat basah dan berat keringnya dengan terlebih dahulu dipisahkan menjadi bagian daun, batang dan *panicle* (bulir padi). Pengukuran berat kering dilakukan di laboratorium dengan pemanasan di oven sampai suhu 60° C. Pada saat yang bersamaan dilakukan juga survey airborne-hyperspectral. Kedua survey di lakukan dari tanggal 27 Juni s/d 1 Juli 2008.

### **Data yang Digunakan**

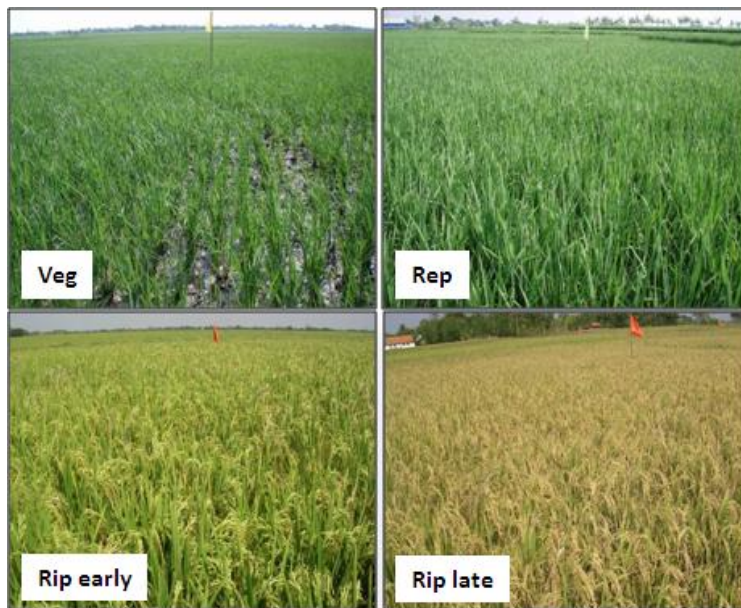
#### Spektral Tanaman

Data reflektan tanaman diukur dengan ASD field spectrometer dari ketinggian 10 cm

(FS10) dan 50 cm (FS50) dari ujung kanopi daun. Setiap titik dilakukan pengukuran dengan ulangan minimal 5 kali. Panjang gelombang yang digunakan dari 350-2500 nm dengan resolusi spektral 1 nm.



**Gambar 1: Lokasi ROI, sample srea, dan quadrat area.**



**Gambar 2: Foto tahapan pertumbuhan padi yang ditemukan di lapangan.**

### HYMAP

Data HYMAP diambil dengan sensor Hyperspectral Mapper (HYMAP) yang dipasang pada pesawat Cessna 402 pada tanggal 30 Juni 2008. Sensor HYMAP mempunyai panjang gelombang dari 350-2500 nm, jumlah kanal 128, resolusi spektral 10-20 nm, dan resolusi spasial 4.5 m. Data yang tersedia sebanyak 4 jalur terbang melintang dari selatan ke utara.

### Canopy Water Content

Data biomasa terdiri dari berat basah dan berat kering per bagian tanaman padi yaitu daun, batang dan *panicle*. Kandungan kanopi daun merupakan selisih antara berat basah dan berat kering. Pada umumnya jarak tanam padi adalah 25 cm, sehingga dalam 1 m<sup>2</sup> terdapat 16 rumpun padi. Sehingga kandungan air kanopi daun adalah 16\*(berat basah daun – berat kering daun) dalam satuan g/m<sup>2</sup>.

### **Teknik Pengolahan Data**

#### Ekstraksi Reflektan

Reflektan pada panjang gelombang 860, 900, 970 dan 1240 diekstraksi dari seluruh reflektan yang ada. Selanjutnya dihitung Water Index (WI) dan Normalised Difference Water Index (NDWI) dengan rumus berikut.

$$WI = \frac{R_{900}}{R_{970}} \dots\dots\dots (1)$$

$$NDWI = \frac{(R_{860} - R_{1240})}{(R_{860} + R_{1240})} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana  $R_{860}$ ,  $R_{900}$ ,  $R_{970}$ , dan  $R_{1240}$  adalah reflektan tanaman pada panjang gelombang 860, 900, 970, dan 1240 nm.

#### Analisis

Analisis hubungan antara kandungan air kanopi daun (CWC) dengan WI dan NDWI menggunakan model regresi linear. Model regresi linear dirumuskan sebagai berikut:

$$y_i = b_0 + b_1 * x_i \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

$y_i$  = kandungan air kanopi daun (*CWC*)

$x_i$  = nilai WI atau NDWI

$b_0, b_1$  = koefisien regresi

Pemilihan model menggunakan teknik validasi silang yaitu membagi data menjadi 2 bagian, yaitu *training-set* dan *test-set*. Secara acak dipilih 30% data sebagai *test-set* dan sisanya 70% menjadi *training-set*. Analisis regresi dilakukan dengan *training-set*, selanjutnya model regresi yang didapat diuji kinerjanya dengan *test-set* dan dihitung nilai *root mean square error* cross-validationnya ( $RMSE_{cv}$ ). Proses tersebut dilakukan berulang-ulang dan ditentukan model terbaik dengan kriteria  $R^2$  model maksimum dan  $RMSE_{cv}$  minimum.

#### Data HYMAP

Data HYMAP digunakan untuk membuat peta distribusi CWC. Data HYMAP tidak

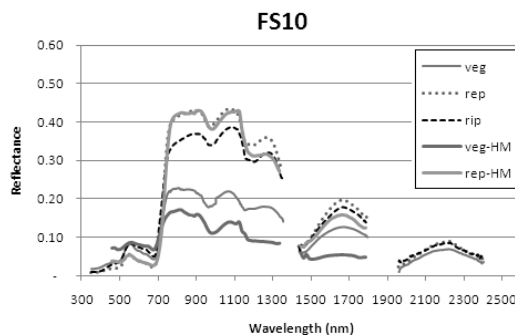
mempunyai kanal pada panjang gelombang 860, 900, 970 dan 1240 nm maka panjang gelombang yang dipakai untuk perhitungan adalah panjang gelombang yang dekat dengan panjang gelombang tersebut, yaitu: kanal 29 (863.2 nm), kanal 33 (911.3 nm), kanal 39 (973.1 nm) dan kanal 55 (1237.7 nm).

Perhitungan WI, NDWI, dan CWC dilakukan per strip data dan kemudian digabung menjadi satu citra. Selanjutnya dilakukan *cropping* hanya menampilkan wilayah lahan padi saja.

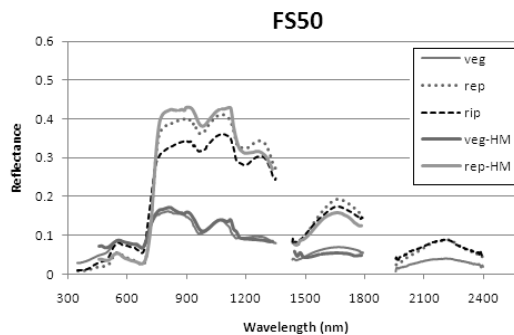
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pola Reflektansi

Pola reflektansi rata-rata hasil pengukuran FS10, FS50 dan HyMap per tahapan pertumbuhan mempunyai pola yang sama (Gambar ). Pada tahap vegetatif nilai reflektan cenderung rendah, hal ini disebabkan kanopi daun pada tahap vegetatif belum menutup sehingga reflektan yang ditangkap sensor merupakan pantulan dari reflektan kanopi daun padi dan kondisi sekitarnya seperti air atau tanah yang ada di bawahnya. Genangan air dan tanah yang basah akan mengabsorpsi sebagian besar radiasi matahari. Sedangkan reflektansi pada tahap reproduktif dan *ripening*, mempunyai nilai reflektan yang relatif sama karena pada tahap ini kanopi daun sudah menutup sehingga tidak ada reflektan pantulan dari background tanah atau air.



**Gambar 3: Reflektansi data FS10 dan HYMAP per tahap pertumbuhan.**



**Gambar 4: Reflektansi data FS50 dan HYMAP per tahap pertumbuhan.**

Karena kondisi tersebut data yang digunakan untuk menyusun model regresi adalah data tahap reproduktif dan ripening saja dengan anggapan bahwa reflektan sensor FS10, FS50 dan HYMAP adalah sama. Selanjutnya model diaplikasikan pada data HYMAP untuk membuat peta distribusi kandungan air kanopi daun.

### Model Regresi CWC dengan WI dan NDWI

Plotting grafik hubungan antara CWC dengan WI dan NDWI menunjukkan mengikuti pola linear dan mempunyai korelasi positif yang berarti makin tinggi nilai WI atau NDWI makin tinggi juga kandungan airnya (CWC). Untuk menentukan model regresi terbaik untuk estimasi CWC dilakukan percobaan 10 kali dan hasilnya disajikan pada Tabel 1 dan 2.

**Tabel 1: Hasil regresi dan validasi silang hubungan CWC-WI**

No	FS10		FS50	
	R <sup>2</sup>	RMSE <sub>CV</sub>	R <sup>2</sup>	RMSE <sub>CV</sub>
1	0.46	520.54	0.49	418.79
2	0.54	486.13	0.51	616.06
3	0.55	450.84	0.39	460.93
<b>4</b>	<b>0.58</b>	<b>499.13</b>	<b>0.55</b>	<b>549.78</b>
5	0.50	598.55	0.60	686.52
6	0.52	480.62	0.40	501.85
7	0.47	424.70	0.45	657.27
8	0.56	518.77	0.53	547.21
9	0.63	4356.38	0.55	733.10
10	0.58	582.69	0.53	687.84

**Tabel 2: Hasil regresi dan validasi silang hubungan CWC-NDWI**

No	FS10		FS50	
	R <sup>2</sup>	RMSE <sub>CV</sub>	R <sup>2</sup>	RMSE <sub>CV</sub>
1	0.45	605.63	<b>0.51</b>	<b>492.19</b>
2	0.45	53.21	0.38	652.70
3	0.47	425.88	0.33	571.83
4	0.49	484.38	0.45	1089.30
<b>5</b>	<b>0.51</b>	<b>640.84</b>	0.51	781.23
6	0.48	519.22	0.36	652.59
7	0.43	480.02	0.38	726.50
8	0.47	480.89	0.50	681.88
9	0.61	1547.44	0.04	794.49
10	0.50	583.88	0.42	751.46



Dari tabel tersebut terlihat bahwa model dengan nilai korelasi  $R^2$  tinggi tidak selalu mempunyai nilai  $RMSE_{CV}$  yang kecil. Dari seluruh model regresi tersebut dipilih 4 model dengan kriteria  $R^2$  cukup tinggi dan  $RMSE_{CV}$  relatif kecil. Model untuk CWC-WI dipilih model nomor 4 baik untuk data FS10 maupun FS50. Model FS10:CWC-WI mempunyai  $R^2=0.55$  dan  $RMSE_{CV}=499.13$  dan model FS50:CWC-WI mempunyai  $R^2=0.55$  dan  $RMSE_{CV}=549.78$ . Sedangkan model untuk CWC-NDWI dipilih model nomor 5 untuk data FS10 dan model nomor 1 untuk data FS50. Model FS10:CWC-NDWI mempunyai  $R^2=0.51$  dan  $RMSE_{CV}=640.84$  sedangkan model FS50: CWC-NDWI mempunyai  $R^2=0.51$  dan  $RMSE_{CV}=492.19$ . Plotting grafik model dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.

### **Implementasi pada Data HYMAP**

Untuk implementasi pada data HYMAP akan dipilih 2 model saja yang masing-masing mewakili indeks WI dan NDWI, yaitu model yang dibangun dengan data FS10. Pertimbangan pemilihan model adalah data yang diambil dari jarak 10 cm karena dianggap lebih mewakili spectral kanopi. Model yang akan digunakan adalah:

$$CWC = 13078.0 * WI - 13183.00 \dots (4)$$

$$CWC = 7157.4 * NDWI + 396.26 \dots (5)$$

Selanjutnya model tersebut diaplikasikan pada data HYMAP. Gambar 7 menunjukkan hasil implementasi model persamaan (5). Dari gambar tersebut terlihat bawah dari selatan ke utara distribusi kandungan air dari kering ke basah. Nilai NDWI negatif yang ditunjukkan dengan warna merah dan oranye adalah wilayah yang kering danutupan padi tahap ripening. Warna hijau dan kuning merupakan padi tahap reproduktif mempunyai nilai CWC yang cukup masuk akal. Sedangkan pada bagian utara dalam gambar warna magenta dan biru mempunyai nilai CWC yang tinggi padahal pada wilayah tersebut merupakan tanaman padi tahap vegetatif. Hal ini menunjukkan bahwa nilai CWC tersebut bukan nilai sebenarnya dan lebih menggambarkan genangan air di sawah. Ini menunjukkan bahwa model tidak berlaku untuk wilayahutupan padi tahap vegetatif karena adanya background air dan tanah.

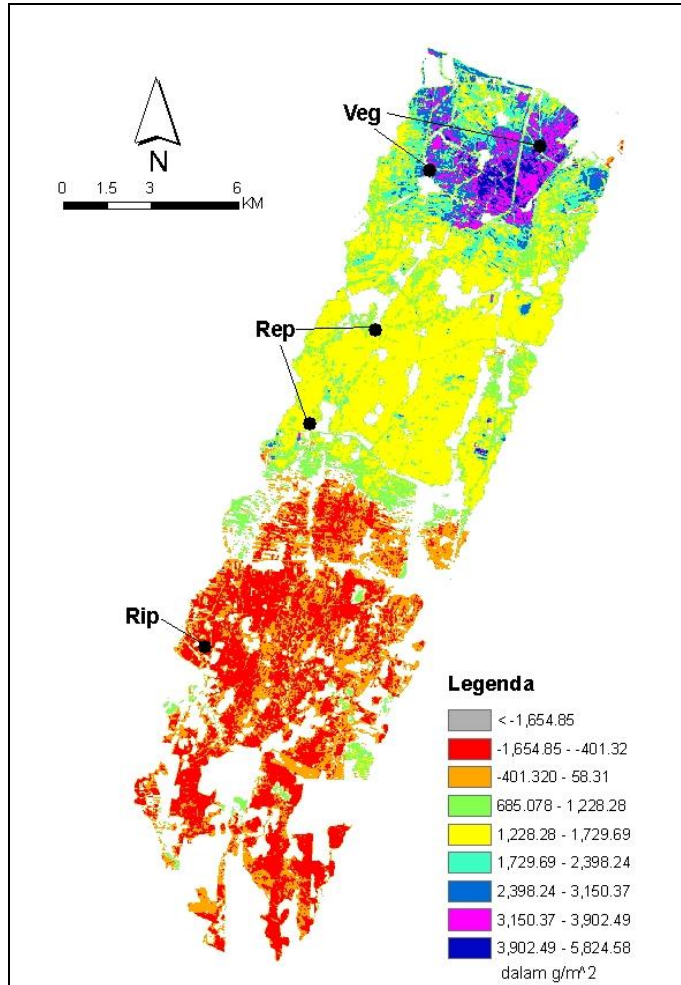
## **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil studi tersebut di atas dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

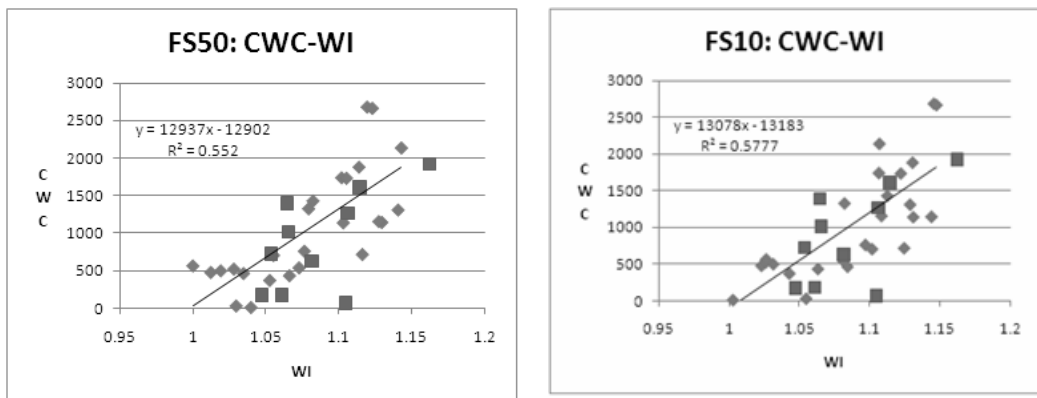
- Informasi spectral kanopi daun pada panjang gelombang 860, 900, 970 dan 1240 nm dapat digunakan untuk deteksi kandungan air kanopi daun di Indramayu.
- Water Index  $WI=R_{900}/R_{970}$  dan Normalised Difference Water Index  $NDWI = (R_{860}-R_{1240})/(R_{860}+R_{1240})$  mempunyai hubungan dengan kandungan air kanopi daun padi di Indramayu.
- WI dan NDWI tersebut dapat digunakan sebagai indikator tingkat kandungan air kanopi daun padi di Indramayu.

### **Ucapan Terima kasih**

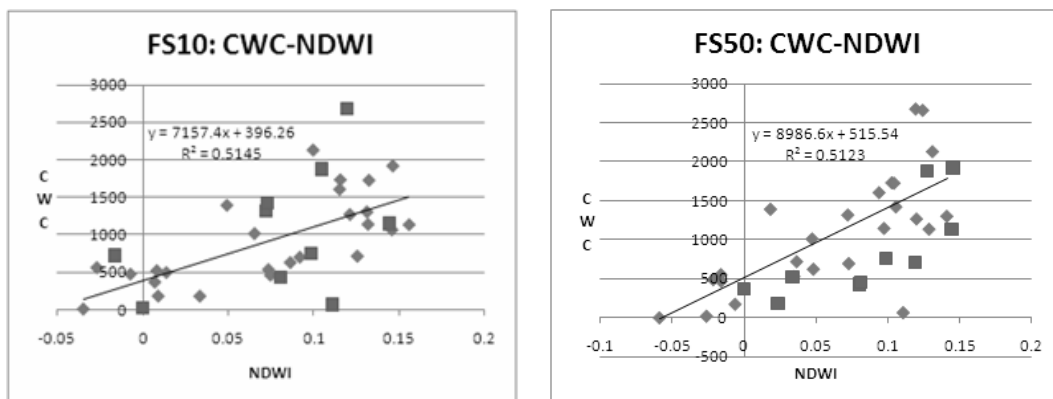
Penulis mengucapkan terima kasih kepada proyek HyperSRI kerjasama BPPT – ERSDAC Jepang yang menyediakan seluruh data untuk keperluan studi ini.



**Gambar 7: Peta distribusi kandungan air kanopi daun.**



**Gambar 5: Model regresi dan validasi silang hubungan CWC-WI dengan data FS10 dan FS50**



**Gambar 6: Model regresi dan validasi silang hubungan CWC-NDWI dengan data FS10 dan FS50.**

## DAFTAR PUSTAKA

- Arief Darmawan, Nadirah, Agus Wibowo, M. Evri, S. Mulyono, A.S. Nugroho, M. Sadly, N. Hendiarti, O.Kashimura, C.Kobayashi, A.Uchida, A.Uraguchi, H.Sekine, 2009. "Quantitative analysis from unifying field and airborne hyperspectral in prediction biophysical parameters by using partial least square (PLSR) and Normalized Difference Spectral Index (NDSI)", *Proceeding of 30th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS)*, Beijing, TS10-02.
- Andrew W. Moore, ---. "Cross-validation for detecting and preventing overfitting", dalam <<http://www.autonlab.org/tutorials/overfit10.pdf>> diakses 1 Juni 2010.
- Clevers, J.G.P.W., Kooistra, L., Scaepman, M.E., 2008. "Using spectral information from NIR water absorption features for the retrieval of canopy water content". *Int. J. of Applied Obs. And Geoinformation* 10, 388-397.
- Chuvieco, E., Riaño, D., Aguado, I., Cocero, D., 2002. Estimation of fuel moisture content from multitemporal analysis of Landsat Thematic Mapper reflectance data: applications in fire danger assessment. *International Journal of Remote Sensing* 23 (11), 2145-2162.
- Gao, B.-C., 1996. "NDWI - a normalised difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space". *Remote Sensing of Environment* 58, 257-266.
- Gates, D. M., Keegan, H. J., Schleter, J. C., and Weidner, V. P., 1965. "Spectral properties of plants". *Applied Optics* 4, 11-20. In Bisun Datt, 1999. Remote sensing of water content in *Eucalyptus* leaves. *Australian J. Botani*, 1999, 47, 909-923.
- Knipling, E.B., 1970. "Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation". *Remote Sensing of Environment* 1, 155-159. In Bisun Datt, 1999. Remote sensing of water content in *Eucalyptus* leaves. *Australian J. Botani*, 1999, 47, 909-923.
- Marcus Borengasser, William S. Hungate, Russel Watkins, 2007. *Hyperspectral Remote Sensing: Principles and Applications*. Florida USA: CRC Press Taylor and Francis Group
- Ustin, S.L., Roberts, D.A., Gamon, J.A., Asner, G.P., Green, R.O., 2004. "Using imaging spectroscopy to study ecosystem processes and properties". *BioScience* 54 (6), 523-534. In Clevers, J.G.P.W., Kooistra, L., Scaepman, M.E., 2008. "Using spectral information from NIR water absorption features for the retrieval of canopy water

- content". *Int. J. of Applied Obs. And Geoinformation* 10, 388-397.
- Peñuelas, J., Filella, I., Biel, C., Serrano, L., and Savé, R., 1993. "The reflectance at the 950-970 nm region as an indicator of plant water status". *Internation Journal of Remote Sensing*, vol 14, no 10, 1887-1905.
- Shouichi Yoshida, 1981. "Fundamental of rice crop science". Philipina: *The International Rice Research Institute*.
- Yilmaz, M.T., Hunt Jr., E.R., Goins, L.D., Ustin, S.L., Vanderbilt, V.C., Jackson, T.J., 2008. "Vegetation water content during SMEX04 from ground data and Landsat 5 Thematic Mapper imagery". *Remote Sensing of Environment* 112 (2), 350-362.
- Woolley, J. T., 1971. "Reflectance ad transmittance of light by leaves". *Plant Physiology* 47, 656-662. *In* Bisun Datt, 1999. Remote sensing of water content in *Eucalyptus* leaves. *Australian J. Botani*, 1999, 47,909-923.