

# Parameterisasi Sifat Biofisik Lahan Sawah Menggunakan Citra Radar Resolusi Tinggi: Studi Kasus di Kabupaten Indramayu, Provinsi Jawa Barat, Indonesia

## *Parameterization Of Biophysical Properties Of Paddy Field Using High Resolution Radar Image: A Case Study In Indramayu District, West Jawa Province, Indonesia*

Muhammad Hikmat<sup>1\*</sup>, Baba Barus<sup>2</sup>, M. Ardiansyah<sup>2</sup>, Budi Mulyanto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Jl. Tentara Pelajar No. 12 Bogor 16114

<sup>2</sup>Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga Jl. Raya Dramaga, Bogor 16680

### INFORMASI ARTIKEL

#### Riwayat artikel:

Diterima: 13 November 2018

Direview: 27 Desember 2018

Disetujui: 03 Januari 2019

#### Kata kunci:

Sifat biofisik  
Lahan sawah  
Hamburan balik  
Kelembaban tanah  
Polarisasi

#### Keywords:

*Biophysical properties*  
*Paddy field*  
*Backscatter coefficient*  
*Soil moisture*  
*Polarization*

#### Direview oleh:

Sukarman, Erna Suryani

**Abstrak.** Sifat biofisik lahan berperan penting dalam perencanaan penggunaan lahan maupun perencanaan teknis pengelolaan lahan. Oleh sebab itu identifikasi secara cepat dan akurat sifat biofisik lahan menjadi penting. Citra radar resolusi tinggi sudah banyak digunakan untuk berbagai tujuan, antara lain untuk identifikasi tutupan lahan, analisis geologi dan analisis cuaca. Penelitian bertujuan untuk mengevaluasi penggunaan citra RADAR resolusi tinggi untuk mengevaluasi sifat-sifat biofisik lahan sawah. Penelitian dilakukan pada areal pesawahan di Kabupaten Indramayu menggunakan citra Radarsat 2 resolusi tinggi (*quad polarization*) dengan empat polarisasi (HH, HV, VH, VV). Sifat-sifat biofisik lahan yang dianalisis meliputi: salinitas tanah, bobot aktual tanaman, bobot kering tanaman, tinggi tanaman, kekasaran permukaan tanah, dan kelembaban tanah. Data yang dikumpulkan dibedakan atas kelompok lahan sawah yang ditanami padi dan lahan sawah bera. Data yang digunakan terdiri dari 27 set data biofisik lahan sawah yang ditanami padi, dan 49 set data lahan sawah bera. Hasil menunjukkan bahwa dari keenam sifat biofisik lahan yang dianalisis, kelembaban tanah merupakan sifat biofisik lahan yang dideteksi lebih baik dibandingkan sifat-sifat biofisik lahan lainnya, baik dalam kondisi lahan ditanami padi maupun lahan bera. Tetapi model-model persamaan antara sifat-sifat biofisik lahan dan koefisien hamburan balik dari citra Radar resolusi tinggi ini memiliki nilai  $R^2$  yang rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa pendugaan sifat biofisik lahan dengan nilai koefisien hamburan balik secara langsung tidak dapat digunakan pada lahan sawah.

**Abstract.** The land biophysical properties are important in land use and technical planning in the field. Therefore, rapid and accurate identification of the land biophysical properties is an important step. In the past, the high resolution RADAR images have been used for land cover identification, weather analysis, and geological analysis. This study aims to evaluate the use RADAR images to detect biophysical properties of paddy fields. This research was carried out on paddy fields in Indramayu Regency using high resolution (*quad polarization*) Radarsat 2 imagery with four polarizations (HH, HV, VH, VV). The analyzed land biophysical properties included soil salinity, actual plant biomass, plant biomass (dry weight), plant height, soil surface roughness and soil moisture. The data were collected from 27 data sets of land planted with rice and 49 data sets from bare lands. The result show that of the six biophysical properties, soil moisture was the biophysical property which was detected better than the others, both on land planted with rice and bare land. But the equation models between biophysical properties and backscattering coefficient had low  $R^2$  values. This indicated the method to estimate biophysical properties directly by using backscatter coefficient can not be applied for paddy soil.

## Pendahuluan

Indonesia merupakan negara agraris yang sebagian besar penduduknya bermatapencaharian di bidang pertanian. Keberadaan lahan sawah di Indonesia sangat penting dan strategis sebagai sumber pemasok bahan makanan pokok. Luas lahan sawah di Indonesia tahun 2016 sekitar 8.186.470 ha (Kementan 2017). Sebagian besar lahan sawah tersebut terdapat di Jawa, yaitu sekitar 3.222.347 juta hektar atau 39% dari luas lahan sawah Indonesia.

Upaya pemenuhan kebutuhan padi secara nasional

harus dilakukan secara terencana dengan memperhitungkan berbagai aspek, dan kondisi sifat biofisik sumberdaya lahan merupakan salah satu aspek yang sangat penting. Informasi sumberdaya lahan, termasuk sifat-sifat biofisik lahan perlu menjadi bahan pertimbangan dalam perencanaan penggunaan lahan maupun pengambilan kebijakan teknis yang akan diterapkan dalam mengelola lahan di suatu wilayah.

Identifikasi karakteristik lahan secara konvensional dilakukan melalui kegiatan survei dengan mengamati secara langsung di lapangan, mengambil sampel dan menganalisisnya di laboratorium. Namun untuk

\* Corresponding author: muhammad\_hikmat@gmail.com

mendapatkan hasil yang akurat pada areal yang luas, cara seperti ini membutuhkan biaya operasional yang tinggi dan waktu yang lama. Pemanfaatan citra satelit dengan teknik penginderaan jauh (inderaja) sangat potensial untuk menghemat waktu dan biaya operasional, meskipun biaya pengadaan citra saat ini masih tergolong mahal. Beberapa kelebihan penggunaan metode ini adalah: (1) mampu memberikan data unik yang tidak diperoleh dari sarana lain, (2) mempermudah pekerjaan lapangan, dan (3) mampu memberikan data yang lengkap dalam waktu yang relatif singkat dan dengan biaya yang relatif murah. Selain itu, banyak informasi lain yang dapat diperoleh dengan mengeksplorasi citra yang sama (Lillesand and Kiefer 1979).

Sistem RADAR merupakan salah satu sistem indera yang sangat potensial diaplikasikan untuk pemantauan dan identifikasi obyek-obyek di permukaan bumi, termasuk untuk memonitor lahan-lahan pertanian. Sistem RADAR sudah banyak digunakan untuk berbagai tujuan di berbagai bidang, seperti geologi, cuaca, transportasi, kehutanan, dan pertanian. Citra RADAR dihasilkan melalui sistem indera aktif menggunakan gelombang *microwave* yang dipancarkan sensor untuk mengirim dan menerima sinyal. Dalam sistem ini, polarisasi sinyal SAR berfungsi sebagai bahan analisis. Polarisasi sinyal SAR adalah parameter data SAR yang berinteraksi secara bervariasi karena adanya perbedaan orientasi dan struktur. Polarisasi dari gelombang elektromagnetik mengacu pada arah medan listrik dan tergantung pada interaksi antara sinyal dan reflektor. Sensor *microwave* memancarkan sinyal dalam polarisasi horizontal (H) atau vertikal (V). Empat kombinasi polarisasi data SAR tersebut adalah: (1) HH: sinyal yang dipancarkan dan dipantulkan (*backscatter*) memiliki polarisasi horizontal. (2) HV: Sinyal yang dipancarkan memiliki polarisasi horizontal, dan sinyal *backscatter* memiliki polarisasi vertikal. (3) VH: sinyal yang dipancarkan memiliki polarisasi vertikal, dan sinyal *backscatter* memiliki polarisasi horizontal. (4) VV: Sinyal yang dipancarkan dan yang dipantulkan memiliki polarisasi vertikal (Ghasemi *et al.* 2011). Selanjutnya Citra RADAR diolah untuk menghasilkan data-data yang bermanfaat dalam kondisi obyektif di lapangan. Data-data tersebut dapat dianalisis sehingga bermanfaat bagi perencanaan dan pengelolaan lahan untuk mendapatkan hasil yang optimal.

Gelombang *microwave* yang digunakan dalam RADAR merupakan gelombang yang sensitif terhadap sifat konstanta dielektrik dan kekasaran permukaan. Dalam sistem RADAR, *Radar backscattering* (hamburan balik) yang diterima sensor RADAR dipengaruhi oleh sifat-sifat obyek di permukaan bumi. Pada permukaan tanah yang gundul, nilai hamburan balik ditentukan oleh geometri permukaan tanah yang umumnya dikenal sebagai

kekasaran permukaan, dan sifat dielektrik tanah yang tergantung pada karakteristik tanah seperti kelembaban, distribusi ukuran partikel dan mineralogi (Sahebi *et al.* 2002). Baghdadi *et al.* (2012) dalam penelitiannya melaporkan bahwa sensor Synthetic Aperture Radar (SAR) memiliki potensi tinggi untuk mengukur kelembaban tanah permukaan. Dalam banyak metode estimasi kelembaban tanah, sifat permukaan tanah juga digunakan sebagai penduga di dalam pemodelannya (Nutryawan 2016).

Citra RADAR banyak digunakan untuk menduga biomasa tanaman di permukaan tanah. Beberapa peneliti melaporkan bahwa pada lahan yang ditanami, nilai hamburan balik juga dipengaruhi oleh tanaman/vegetasi yang tumbuh di atasnya. Avtar *et al.* (2013, 2014) melaporkan terdapat hubungan yang erat antara nilai hamburan balik dengan sifat-sifat fisik tanaman seperti biomasa, tinggi tanaman dan diameter batang dengan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) >0,8. Penelitian-penelitian tersebut ini dilakukan pada tanaman tahunan yang bertajuk tinggi (jambu mete) dan tanaman kedelai.

Pemanfaatan Citra RADAR untuk identifikasi sifat biofisik lahan tergantung kepada tujuan penelitiannya. Berdasarkan panjang gelombangnya, gelombang RADAR dapat dipilah-pilah menjadi beberapa saluran (*band*) yang masing-masing mempunyai kemampuan yang berbeda-beda dalam mendeteksi obyek. Band yang banyak digunakan adalah *band C* dengan kisaran panjang gelombang 3,8 – 7,5 cm, *band S* dengan panjang gelombang 7,5-15,0 cm, *band L* dengan panjang gelombang 15,0-30,0 cm, dan *band P* dengan panjang gelombang 10,0-100,0 cm. Semakin besar panjang gelombang, maka kemampuan melakukan penetrasi terhadap kanopi tanaman semakin besar. Gelombang *microwave* L-band yang lebih panjang memiliki kemungkinan lebih besar menembus dedaunan atau cabang-cabang kecil kanopi bagian atas, berinteraksi dengan batang kayu, komponen cabang yang lebih besar dan permukaan yang mendasarinya (Tsolmon *et al.* 2002; Lucas *et al.* 2004). Band L juga dilaporkan menghasilkan koefisien determinasi yang lebih tinggi dalam hubungannya dengan kekasaran permukaan tanah dibandingkan dengan band lain yang mempunyai panjang gelombang lebih pendek (Mazloumi dan Sahebi 2016). Meskipun memiliki panjang gelombang yang lebih pendek, band C masih dimungkinkan untuk digunakan pada lahan pertanian tanaman pangan dengan vegetasi rendah, sebagaimana telah dilakukan oleh Srivastava *et al.* (2011) pada tanaman gandum.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan RADARSAT 2 resolusi tinggi mendeteksi sifat-sifat biofisik lahan sawah dalam kondisi lahan ditanami padi maupun pada lahan bera.

## Bahan dan Metode

### Waktu dan Tempat

Kegiatan observasi sifat biofisik lahan dan pengambilan contoh tanah di lapangan dilakukan pada bulan Agustus sampai Oktober 2014. Waktu pengambilan data lapangan disesuaikan dengan jadwal akuisisi citra yang digunakan dalam penelitian. Penelitian ini dilakukan di areal pesawahan Indramayu, Provinsi Jawa Barat. Secara geografis lokasi penelitian ini terletak antara  $6^{\circ}15'$  –  $6^{\circ}40'$  LS dan  $107^{\circ}52'$  –  $108^{\circ}36'$  BT. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Selain Citra Radarsat 2, data lain yang digunakan untuk mendukung penelitian adalah Citra Landsat 8 dan Peta Lahan Sawah Baku. Citra Landsat 8 digunakan untuk membedakan lahan yang ditanami padi dengan lahan bera secara spasial. Sedangkan Peta Lahan Sawah Baku digunakan untuk membatasi areal studi. Semua citra yang digunakan diakuisisi di bulan Agustus – Oktober 2014 (Tabel 1). Pengolahan data citra dan data spasial menggunakan software Nest 2014, ArcGIS 10.3. Sedangkan analisis statistik menggunakan program Minitab 14.



Gambar 1. Lokasi Penelitian di Kabupaten Indramayu  
*Figure 1. The Study Area in Indramayu District*

Pada saat survei lapangan, kondisi cuaca berada dalam musim kemarau dan belum turun hujan. Sebagian besar sawah berada dalam kondisi bera (tidak ditanami padi) dan sebagian lainnya ditanami padi dengan kondisi beragam. Penanaman padi tidak bisa dilakukan serempak karena sumber air yang tidak mencukupi usahatani padi di seluruh areal pesawahan.

## Bahan dan Metode

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra RADARSAT 2 *quad polarization* resolusi tinggi (4 meter) yang mempunyai 4 polarisasi (HH, HV, VH, VV). Citra Radarsat 2 ini menggunakan gelombang microwave band C dengan frekwensi 4.405 GHz.

## Metode Analisis

### Observasi Lapangan

Kegiatan observasi sifat biofisik lahan di lapangan dilakukan pada bulan Agustus sampai Oktober 2014. Waktu pengambilan data lapangan disesuaikan dengan jadwal akuisisi citra yang digunakan dalam penelitian. Penentuan lokasi observasi dan pengambilan contoh tanah mempertimbangkan beberapa faktor, yaitu : 1) kondisiutupan lahan (sawah bera, ditanami padi), 2) kondisi kelembaban tanah, 3) pertumbuhan tanaman padi, dan 4) tingkat salinitas yang diduga dari Peta Salinitas Tanah di Kabupaten Indramayu (Erpandi and Rachman 2011).

Tgabel 1. Waktu survei observasi lapangan dan akuisisi citra  
 Table 1. Time of field observation and image acquisition

No	Waktu observasi lapangan	Akuisisi Citra	
		Radarsat 2	Landsat 8
1	15-17 Agustus 2014	16 Agustus 2014	22 Agustus 2014
2	22-25 September 2014	22 September 2014	15 September 2014
3	2-3 Oktober 2014	2 Oktober 2014	8 Oktober 2014
4	15-17 Oktober 2014	18 Oktober 2014	24 Oktober 2014

Observasi dilakukan terhadap enam sifat biofisik lahan yang diduga sensitif terhadap sinyal gelombang *microwave* pada RADAR dan dapat mempengaruhi atau menjadi indikator pertumbuhan tanaman padi di lahan sawah. Keenam sifat biofisik lahan tersebut meliputi kelembaban tanah, salinitas tanah, kekasaran permukaan tanah, tinggi tanaman, bobot kering tanaman, dan bobot aktual tanaman, sebagaimana disajikan dalam Tabel 2.

Untuk mendapatkan data kelembaban tanah, contoh tanah diambil pada kedalaman 0 – 5 cm melalui ring tanah. Pada kondisi lapangan, tanah dalam ring tersebut ditimbang bobotnya. Di laboratorium contoh tanah tersebut kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu 105° C selama 3 jam, kemudian ditimbang untuk mendapatkan nilai bobot kering mutlak (BKM) tanah. Bobot Isi (BI) tanah ditetapkan dengan membandingkan BKM tanah dengan volume ring contoh tanah. Selisih antara bobot tanah di lapangan dengan BKM merupakan bobot air. Kelembaban air gravimetrik dihitung dengan membandingkan antara bobot air dengan BKM dalam satuan % berat. Kelembaban tanah volumetrik dalam satuan persen volume diperoleh dengan cara mengalikan kelembaban tanah gravimetrik dengan BI tanah. Sedangkan untuk memperoleh data salinitas tanah, contoh tanah terganggu diambil secara komposit dari bagian permukaan, pada kedalaman 0 – 5 cm. Salinitas tanah diukur terhadap contoh tanah ini di laboratorium dengan menggunakan konduktometer.

Pengukuran kekasaran tanah di lapangan menggunakan pin meter berukuran 30 x 30 cm. Nilai kekasaran permukaan tanah dihitung berdasarkan nilai *root mean squared height* ( $h_{rms}$ ) dari data yang diperoleh melalui pengukuran di lapangan (Byant *et al.* 2007). Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$h_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2}$$

Dimana: n adalah jumlah pengukuran dan z adalah nilai pengukuran ketinggian.



Gambar 2. Pin meter untuk mengukur kekasaran permukaan di lapangan

Figure 2. Pin meter for measuring surface roughness in the field

Data tinggi dan bobot aktual tanaman didapatkan dengan cara mengukur langsung di lapangan. Pengukuran tinggi tanaman menggunakan meteran, dilakukan terhadap 3 rumpun tanaman dan dirata-ratakan. Data bobot aktual tanaman juga diperoleh dengan menimbang langsung biomassa dari tanaman di atas permukaan tanah. Penimbangan dilakukan terhadap biomassa bagian atas permukaan tanah sebanyak 3 rumpun padi dan hasilnya dirata-ratakan. Sedangkan bobot kering tanaman diperoleh dengan melakukan penimbangan terhadap biomassa tajuk tanaman yang sudah dikeringkan.

Dari hasil observasi dan analisis contoh tanah, diperoleh enam sifat biofisik lahan yang dianalisis dan dikorelasikan dengan nilai koefisien hamburan balik ( $\sigma^0$ ) dari masing-masing polarisasi. Sebelum dianalisis, data-data tersebut dipilah ke dalam kelompok data yang diambil pada kondisi lahan sawah bera dan lahan sawah ditanami padi. Secara keseluruhan diperoleh 49 set data pada lahan

sawah bera dan 27 set data pada lahan sawah ditanami padi. Selanjutnya data-data dalam kelompok yang sama diolah dan dianalisis hubungannya dengan nilai hamburan balik. Keenam jenis parameter biofisik lahan tersebut disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Parameter-parameter biofisik lahan sawah yang diamati

Table 2. Observed biophysical parameters of paddy field

Parameter Utama	Simbol
- Tinggi tanaman (cm)	KA
- Kelembaban tanah (% volume)	SAL
- Salinitas tanah (mg L <sup>-1</sup> )	KPT
- Kekasaran permukaan tanah (cm)	TG
- Bobot aktual tanaman padi (g)	BA
- Bobot kering tanaman padi (g)	BK

## Analisis Data

### Pengolahan Awal Data Citra

Pada tahap awal, koreksi geometri dari citra RADAR dilakukan dengan melakukan orthorektifikasi dengan referensi geografis, yaitu memberikan koordinat peta pada citra yang sudah bersifat planimetris. Sedangkan konversi angka digital (DN) dilakukan menjadi nilai yang terkalibrasi dalam bentuk koefisien hamburan balik ( $\sigma^0$ ) dengan satuan dB. Rumus konversi nilai digital tersebut adalah sebagai berikut:

$$\sigma^0 = 10 \times \log((DN2+B)/A)$$

Dimana B adalah *offset*, dan A adalah “*range dependent gain*”. Kedua data ini tersedia pada *Look up Table* (LUT) dari filenya (MDA, 2008).

Proses-proses pengolahan data RADAR ini menggunakan program Next ESA SAR Toolbox (NEST).

### Analisis Statistik

Metode analisis yang digunakan dalam mengolah data adalah analisis stepwise dan analisis regresi linier sederhana. Kedua metode analisis ini menggunakan sifat-sifat biofisik lahan sebagai peubah bebasnya (*predictor*) dan nilai-nilai hamburan balik sebagai peubah tidak bebasnya. Sebelum dianalisis, terlebih dahulu dilakukan uji korelasi antar sifat-sifat biofisik lahannya untuk mengetahui kemungkinan adanya sifat multikolinieritas.

Analisis regresi stepwise dilakukan untuk mencari faktor-faktor biofisik lahan yang paling berpengaruh terhadap hamburan balik ( $\sigma^0$ ). Analisis dilakukan pada tingkat kepercayaan 85% ( $\alpha = 0,15$ ). Sedangkan analisis

regresi linier dilakukan dengan menggunakan parameter-parameter sifat biofisik lahan yang berpengaruh terhadap  $\sigma^0$ . Keandalan data pada persamaan regresi linier yang dihasilkan dinilai berdasarkan koefisien determinasinya ( $R^2$ ).

### Spasialisasi Sifat Biofisik Lahan

Spasialisasi dilakukan pada sifat biofisik lahan yang menjadi model terbaik. Spasialisasi penyebaran sifat-sifat biofisik lahan tersebut dilakukan khusus di areal pesawahan yang terliput Citra Radarsat 2, baik dalam kondisi bera maupun sedang ditanami padi. Pemilahan lahan yang ditanami padi dan lahan bera secara spasial mengikuti pada metode yang dilakukan oleh Dubois *et al.* (1995) dengan menggunakan nilai NDVI dari citra optik. Dalam hal ini, citra optik yang digunakan adalah Citra Landsat 8. Nilai NDVI < 0,4 lahan dianggap bera, sedangkan nilai NDVI > 0,4 dianggap ditumbuhi tanaman. Nilai dari sifat-sifat biofisik lahan diperoleh melalui inversi terhadap model-model persamaannya. Hasil inversi tersebut kemudian dispasialisasi dengan menggunakan menu *raster calculator* dalam program ArcGIS 10.3.

## Hasil dan Pembahasan

### Hasil Uji Korelasi

Hasil deskripsi sifat biofisik lahan sawah dalam kondisi ditanami padi dan lahan sawah bera disajikan dalam Tabel 3. Rentang data sifat-sifat biofisik lahan tersebut cukup beragam. Nilai rata-rata salinitas tanah dan kekasaran permukaan tanah pada kondisi lahan bera lebih besar dibanding saat lahan ditanami padi dengan rentang nilai yang lebih lebar. Sebaliknya nilai rata-rata kelembaban dalam kondisi lahan ditanami padi lebih besar. Nilai salinitas yang tinggi pada lahan bera disebabkan penguapan yang tinggi sehingga menghasilkan konsentrasi garam-garam yang tinggi di permukaan tanah, khususnya di sekitar pantai. Nilai yang tinggi pada kadar air dan yang rendah pada kekasaran permukaan tanah mewakili tanah-tanah yang tergenang.

Sifat-sifat biofisik yang terkait dengan tinggi dan biomasa tanaman secara langsung diukur di lapangan. Pada kondisi lahan ditanami padi pengukuran dilakukan terhadap tanaman padi, sedangkan pada lahan bera pengukuran dilakukan terhadap sisa-sisa tunggul tanaman. Secara umum nilai sifat-sifat biofisik lahan ini pada kondisi lahan padi lebih besar dibandingkan lahan bera.

Hasil uji korelasi sifat biofisik lahan sawah menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang erat antar sifat biofisik yang terkait dengan sifat tanaman (Tabel 4). Koefisien korelasi tertinggi terdapat antara sifat bobot

Tabel 3. Nilai maksimum, minimum dan rata-rata sifat-sifat biofisik lahan sawah

Table 3. Maximum, minimum, and mean values of biophysical properties of rice field

Nilai	SAL	KA	KPT	BA	BK	TG
	mg liter <sup>-1</sup>	% vol	cm	g	g	cm
Lahan Padi						
Maksimum	399,00	100,00	4,93	1037,00	445,00	108,00
Minimum	7,50	27,33	0,00	7,00	4,00	13,00
Rata-rata	100,17	61,11	2,65	320,67	137,26	65,71
Lahan Bera						
Maksimum	1057,00	72,05	7,62	730,00	357,00	97,67
Minimum	10,40	6,31	1,82	0,00	0,00	0,00
Rata-rata	144,85	32,61	4,17	104,55	73,34	34,45

Keterangan: KA = kelembaban tanah; SAL = salinitas tanah; KPT= Kekasaran permukaan tanah; TG = tinggi tanaman; BA = bobot aktual tanaman; BK = bobot kering tanaman

Tabel 4 . Korelasi antar sifat-sifat biofisik lahan

Table 4 . Correlation analysis between biophysical properties of paddy field

	SAL	TG	KPT	BA	BK	KA
SAL	1,00 0,00	-0,12 0,31	-0,02 0,85	-0,09 0,43	-0,11 0,34	-0,21 0,07
TG	-0,12 0,31	1,00 0,00	-0,20 0,09	0,77 0,00	0,78 0,00	0,35 0,00
KPT	-0,02 0,85	-0,20 0,09	1,00 0,00	-0,11 0,35	-0,01 0,93	-0,67 0,00
BA	-0,09 0,43	0,77 0,00	-0,11 0,35	1,00 0,00	0,94 0,00	0,12 0,29
BK	-0,11 0,34	0,78 0,00	-0,01 0,93	0,94 0,00	1,00 0,00	0,05 0,65
KA	-0,21 0,07	0,35 0,00	-0,67 0,00	0,12 0,29	0,05 0,65	1,00 0,00

Keterangan: KA = kelembaban tanah; SAL = salinitas tanah; KPT= Kekasaran permukaan tanah; TG = tinggi tanaman ; BA = bobot aktual tanaman; BK = bobot kering tanaman

aktual tanaman dan bobot kering tanaman, dengan nilai koefisien korelasi (R) > 0,94. Sedangkan hubungan antara tinggi tajuk tanaman dengan bobot kering dan bobot aktual tanaman masing-masing mempunyai nilai R adalah 0,77 dan 0,78.

**Model hubungan antara sifat biofisik lahan dengan nilai hamburan balik**

Hasil analisis stepwise antara parameter-parameter sifat biofisik lahan dan nilai-nilai  $\sigma^\circ$  polarisasi pada citra Radarsat 2 disajikan pada Tabel 5. Pada kondisi lahan sawah ditanami padi, hasil analisis regresi stepwise menunjukkan bahwa kelembaban tanah, kekasaran permukaan tanah, salinitas lahan, dan tinggi tanaman adalah sifat-sifat biofisik lahan yang paling berpengaruh terhadap nilai-nilai  $\sigma^\circ$  nya. Sifat kelembaban tanah paling berpengaruh terhadap  $\sigma^\circ$  polarisasi HH dan HV, sifat kekasaran permukaan tanah paling berpengaruh terhadap

$\sigma^\circ$  polarisasi VH, sifat salinitas tanah paling berpengaruh terhadap  $\sigma^\circ$  polarisasi VV dan HV, sedangkan sifat tinggi tanaman paling berpengaruh terhadap  $\sigma^\circ$  polarisasi VH dan HV.

Dalam kondisi lahan bera, sifat kelembaban tanah, tinggi tanaman, dan salinitas tanah merupakan sifat-sifat biofisik lahan yang paling penting. Sifat kelembaban tanah paling berpengaruh terhadap nilai-nilai  $\sigma^\circ$  dari polarisasi VH, HV, dan HH. Sifat tinggi tanaman berpengaruh terhadap nilai  $\sigma^\circ$  polarisasi VV, sedangkan sifat salinitas lahan berpengaruh terhadap  $\sigma^\circ$  polarisasi HV.

Secara umum, sistem RADAR lebih sensitif terhadap bentuk geometris dan sifat dielektrik suatu obyek di permukaan. Bentuk dan ukuran obyek merupakan bagian dari karakteristik geometriknnya, sedangkan sifat dielektrik berkorelasi sangat erat dengan kadar air (Brisco dan

Tabel 5. Persamaan hasil analisis stepwise antara parameter sifat-sifat biofisik lahan dan nilai  $\sigma^\circ$  polarisasi Radarsat 2  
 Table 5. The equations produced by stepwise analysis between the biophysical properties on paddy field and  $\sigma^\circ$  coefficient of the polarization of the Radarsat 2

No	Lahan ditanami padi	R <sup>2</sup>	p	No	Lahan bera	R <sup>2</sup>	p
	Radarsat 2 resolusi tinggi				Radarsat 2 resolusi tinggi		
1	$\sigma^\circ$ VV = -15,47 + 0,0167 SAL	0,17	0,03	1	$\sigma^\circ$ VV = -14,08 + 0,048 TG	0,07	0,06
2	$\sigma^\circ$ VH = -28,06 + 1,21 KPT + 0,078 TG	0,38	0,02	2	$\sigma^\circ$ VH = -24,13 + 0,076KA	0,09	0,03
3	$\sigma^\circ$ HV = -18,9 - 0,113 KA + 0,068 TG + 0,0123SAL	0,53	0,13	3	$\sigma^\circ$ HV = -23,81 + 0,095KA - 0,0047SAL	0,15	0,15
4	$\sigma^\circ$ HH = -5,726 - 0,131 KA	0,32	0,02	4	$\sigma^\circ$ HH = -16,13 + 0,123 KA	0,17	0,03

Keterangan: KA = kelembaban tanah; SAL = salinitas tanah; KPT= Kekasaran permukaan tanah; TG = tinggi tanaman ; BA = bobot aktual tanaman; BK = bobot kering tanaman

Brown 1998). Kedua sifat tersebut akan berinteraksi dan berpengaruh terhadap nilai hamburan balik dari sebuah obyek permukaan.

Berdasarkan Tabel 5 di atas secara umum tampak kadar air merupakan faktor yang paling banyak berpengaruh terhadap nilai-nilai hamburan balik. Pada kondisi lahan ditanami padi kelembaban tanah berpengaruh terhadap  $\sigma^\circ$  polarisasi HH dan HV, sedangkan pada lahan bera kelembaban tanah berpengaruh terhadap  $\sigma^\circ$  polarisasi VH, HV dan HH.

Pada kondisi lahan padi, sifat tinggi tanaman berpengaruh terhadap polarisasi HV, dan bersama-sama dengan sifat kekasaran permukaan tanah berpengaruh terhadap polarisasi VH. Sedangkan dalam kondisi lahan bera, tinggi tanaman merupakan sifat biofisik lahan yang paling berpengaruh terhadap nilai  $\sigma^\circ$  polarisasi VV. Tinggi merupakan sifat biofisik lahan yang berkaitan erat dengan sifat geometrik. Walaupun lahan dalam keadaan bera, namun di lapangan masih terdapat tunggul-tunggul tanaman yang tersisa sehingga berdampak terhadap nilai hamburan baliknya. Keberadaan tunggul yang berstruktur bersifat vertical diduga menjadikan kedua sifat ini berpengaruh terhadap nilai hamburan balik pada  $\sigma^\circ$  polarisasi VV ini.

Pada kondisi lahan padi, sifat salinitas tanah merupakan sifat biofisik lahan yang paling berpengaruh terhadap nilai  $\sigma^\circ$  polarisasi VV. Sedangkan pada polarisasi VH, sifat salinitas ini bersama-sama dengan kelembaban tanah dan tinggi tanaman berpengaruh terhadap nilai hamburan baliknya. Pengaruh dari salinitas tanah ini tergantung pada kondisi kelembaban tanah. Lasne *et al.* (2008) dalam laporannya menunjukkan bahwa sensitivitas dari koefisien hamburan balik terhadap salinitas tergantung pada kelembabannya. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa sensitivitas ini lebih terasa pada polarisasi (VV) dibanding

polarisasi HH, dan lebih terasa lagi pada kondisi kelembaban rendah.

### Hasil Analisis Regresi linier

Hasil analisis regresi stepwise dengan sifat-sifat biofisik lahan sebagai prediktornya dan nilai-nilai hamburan balik sebagai peubah tidak bebasnya menghasilkan beberapa sifat biofisik lahan yang berpengaruh terhadap nilai-nilai  $\sigma^\circ$  dari polarisasi tersebut. Pada Citra Radarsat 2 resolusi tinggi diperoleh 6 persamaan regresi linier pada kondisi lahan ditanami padi dan 5 persamaan pada lahan bera (Tabel 6).

#### Kondisi lahan padi

Pada kondisi lahan ditanami padi, sifat kelembaban tanah ini merupakan satu-satunya sifat yang berpengaruh terhadap nilai  $\sigma^\circ$  polarisasi HV dan model persamaan dengan nilai  $\sigma^\circ$  polarisasi HV mempunyai nilai koefisien determinan tertinggi (R<sup>2</sup> 0,39) dibandingkan dengan model-model lainnya. Hasil analisis regresi linier sederhana menunjukkan bahwa model-model persamaan antara kelembaban tanah dengan nilai-nilai  $\sigma^\circ$  (polarisasi HH dan HV) memberikan nilai gradien negatif. Hal ini menggambarkan kecenderungan dengan semakin tingginya kelembaban maka nilai-nilai hamburan baliknya semakin menurun. Kondisi lahan sawah di lapangan yang mempunyai kadar air yang beragam, dengan kisaran dari tanah kering sampai kondisi tergenang, menjadi penyebab terjadinya kecenderungan menurun (gradien negatif) dari model-model persamaan ini.

Air dalam tanah merupakan unsur yang berpengaruh terhadap sifat dielektrik kadar tertentu akan meningkatkan sifat dielektrik tanah. Karena itu peningkatan kadar air tanah cenderung akan meningkatkan nilai-nilai hamburan baliknya. Hubungan kelembaban tanah dengan sifat

dielektrik tersebut telah banyak diteliti oleh para peneliti terdahulu (Balitvala dan Ulaby 1975; Dobson *et al.* 1985). Namun genangan air memberikan dampak yang berbeda nilai hamburan baliknya. Badan air bersifat seperti cermin yang mempunyai permukaan halus sehingga bersifat meneruskan gelombang yang datang ke permukaannya. Karena itu air yang tergenang selalu memberikan nilai hamburan balik yang rendah. Hal inilah yang menyebabkan gradien persamaan antara kelembaban tanah dan nilai hamburan baliknya bersifat negatif.

Salinitas tanah merupakan sifat biofisik lahan yang berpengaruh terhadap nilai hamburan balik polarisasi VV dan HV. Model-model persamaan regresi linier antara salinitas tanah dengan nilai-nilai  $\sigma^{\circ}$  polarisasi VV dan HV memberikan nilai gradien positif, artinya semakin tinggi salinitas tanah semakin tinggi nilai hamburan baliknya. Hal ini sesuai dengan penelitian Lasne *et al.* (2008) yang melaporkan bahwa meningkatnya salinitas cenderung meningkatkan nilai hamburan balik. Namun sampai nilai tertentu, peningkatan salinitas akan menurunkan nilai hamburan balik.

Kekasaran permukaan tanah dan tinggi tanaman merupakan sifat biofisik lahan yang berkaitan dengan sifat geometris obyek. Pada kondisi lahan padi, kekasaran permukaan tanah berpengaruh positif terhadap nilai-nilai  $\sigma^{\circ}$  polarisasi VH dan HV. Sedangkan tinggi tanaman berpengaruh positif terhadap nilai  $\sigma^{\circ}$  polarisasi HV. Tingginya kekasaran obyek, baik kekasaran permukaan tanah maupun tinggi tajuk tanaman memungkinkan semakin tingginya gelombang yang datang dipantulkan kembali dan diterima oleh sensor, sehingga nilai  $\sigma^{\circ}$  nya semakin tinggi.

#### *Kondisi Lahan Bera*

Pada lahan bera, dari lima model persamaan regresi liniernya, model persamaan antara KA dan nilai  $\sigma^{\circ}$  polarisasi HV mempunyai koefisien determinan tertinggi ( $R^2$  0,17). Selain berpengaruh terhadap nilai  $\sigma^{\circ}$  polarisasi HH, sifat kelembaban ini juga berpengaruh terhadap  $\sigma^{\circ}$  polarisasi HV dan VV. Berbeda model-model persamaan dalam kondisi lahan ditanami padi, dalam lahan bera model persamaan antara kelembaban tanah dengan nilai-nilai  $\sigma^{\circ}$  bersifat positif. Artinya setiap peningkatan kelembaban tanah akan meningkatkan nilai-nilai hamburan baliknya. Pada kondisi bera lahan sawah umumnya tidak ditanami padi karena masalah ketersediaan air (musim kering) atau sudah melewati masa panen. Karena itu dalam kondisi lahan bera tidak dijumpai kondisi tanah yang tergenang (badan air) sehingga rentang tingkat

kelembaban tanahnya lebih sempit dibandingkan lahan sawah yang ditanami padi. Dalam kondisi tanah yang relatif kering, peningkatan kadar air akan meningkatkan sifat dielektrik tanah sehingga respon nilai hamburan balik pada RADAR menjadi semakin tinggi.

Salinitas merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap nilai dielektrik tanah. Dalam kondisi lahan bera, hasil penelitian menunjukkan bahwa, model persamaan regresi linier antara salinitas tanah dengan nilai  $\sigma^{\circ}$  polarisasi HV memberikan gradien yang bersifat negatif. Hal ini berarti bahwa peningkatan salinitas tanah cenderung akan menurunkan nilai hamburan baliknya. Hal ini diakibatkan oleh kondisi tanah yang umumnya kering.

Dalam kondisi yang panas, terjadi proses penguapan air dalam tanah yang cukup tinggi. Dalam proses penguapan itu, air dari dalam tanah akan bergerak ke atas sebelum menguap ke udara. Garam-garam yang terlarut di dalam tanah akan turut bergerak ke bagian permukaan terbawa oleh air melalui saluran-saluran kapiler. Garam-garam tersebut akan tertinggal dan menumpuk di permukaan tanah sehingga meningkatkan konsentrasinya. Hal ini menjadikan salinitas tanah pada bagian permukaan tersebut menjadi tinggi. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa rentang salinitas tanah yang diperoleh bekisar dari 10,4-1.057,0 mg L<sup>-1</sup>.

Lasne *et al.* (2008) melaporkan bahwa dalam penelitiannya pengaruh salinitas tanah terhadap nilai dielektrik tanah bersifat polinomial. Peningkatan salinitas tanah berpengaruh meningkatkan sifat dielektrik tanah sampai nilai tertentu dan selanjutnya penambahan salinitas tanah akan menurunkan sifat dielektriknya. Adanya tanah-tanah dengan salinitas tinggi memberikan respon nilai koefisien  $\sigma^{\circ}$  yang rendah. Hal yang menyebabkan gradien persamaan antara salinitas tanah dan nilai hamburan baliknya bersifat negatif.

Walaupun dalam kondisi lahan bera, namun lahan-lahan sawah di lapangan masih berdiri sisa-sisa tajuk tanaman padi (tunggul-tunggul) yang ditinggalkan pada saat panen. Hasil analisis stepwise menunjukkan bahwa dalam kondisi bera, tinggi tanaman merupakan sifat biofisik tanaman yang paling berpengaruh terhadap nilai  $\sigma^{\circ}$  polarisasi VV. Berdasarkan model persamaan regresi liniernya antara tinggi tajuk (tunggul) dan nilai  $\sigma^{\circ}$  polarisasi VV dalam kondisi lahan bera, peningkatan tinggi tajuk (tinggi tunggul) cenderung meningkatkan nilai hamburan baliknya. Tunggul-tunggul padi ini merupakan objek yang bersifat geometris dan sehingga berpengaruh terhadap sifat kekasaran permukaan dari hamparan lahannya. Karena itu semakin tinggi tunggul-tunggul yang



tersisa, semakin tinggi tingkat kekasaran obyek dan memberikan respon semakin tinggi terhadap nilai-nilai hamburan baliknya.

*Pembahasan umum*

Dari seluruh persamaan regresi linier yang dibangun, sifat kelembaban tanah merupakan parameter biofisik lahan yang paling banyak mempengaruhi nilai-nilai hamburan balik, baik pada saat ditanami padi maupun dalam kondisi lahan bera. Diikuti oleh tinggi tanaman (berpengaruh terhadap polarisasi VH dan HV di lahan padi, VV di lahan bera), salinitas lahan (VV dan HV di lahan padi, HV di lahan bera) dan kekasaran permukaan tanah (VH di lahan padi).

Model persamaan, baik dalam kondisi tanah ditanami padi maupun antara sifat kelembaban tanah dan masing-masing nilai  $\sigma^\circ$  dari polarisasi citra Radarsat 2 resolusi tinggi memberikan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang lebih tinggi dibanding sifat-sifat biofisik lainnya. Mengingat bahwa nilai determinasi ( $R^2$ ) merupakan kelipatan dari koefisien korelasi (R), maka hal ini berarti bahwa korelasi antara parameter kelembaban tanah dan nilai-nilai  $\sigma^\circ$  secara umum ini lebih tinggi dibandingkan sifat-sifat biofisik lainnya pada lahan bera.

Secara umum nilai-nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) dari model-model persamaan yang terbangun relatif masih rendah. Koefisien hamburan balik dipengaruhi oleh berbagai sifat objek di permukaan bumi. Keragaman sifat-sifat objek berkontribusi terhadap rendahnya nilai  $R^2$ . Keragaman sifat-sifat obyek yang tinggi dapat disebabkan oleh penanaman yang tidak serempak, penggunaan jenis varietas padi yang berbeda-beda, manajemen budidaya yang tidak sama, dan kondisi hidrologis yang beragam. Selain itu banyak faktor-faktor lain dari obyek permukaan di luar sifat-sifat biofisik lahan yang digunakan dalam persamaan-persamaan turut berpengaruh terhadap rendahnya  $R^2$ .

Pengambilan contoh tanah yang dilakukan pada waktu yang berbeda juga diduga turut berkontribusi terhadap rendahnya nilai koefisien determinasi dari model yang dihasilkan, walaupun sudah diasumsikan bahwa pada saat itu kondisinya sama karena pengambilan data dilakukan pada kondisi cuaca yang relatif sama (di musim kemarau, tidak ada hujan). Penggunaan beberapa Citra RADAR yang diakuisisi di beberapa waktu pada penyusunan model yang sama diduga berkontribusi terhadap besarnya keragaman nilai hamburan balik. Citra-citra yang digunakan mempunyai sudut datang (*incident angle*) RADAR berbeda sehingga dapat berpengaruh terhadap nilai hamburan baliknya. Ulaby *et al.* (1981) dalam laporannya menunjukkan bahwa nilai hamburan balik dari gelombang *microwave* dipengaruhi oleh sudut datang.

Penggunaan keenam parameter sifat biofisik lahan secara serentak dalam sebuah penelitian menghasilkan rentang sifat yang lebar pada masing-masing sifat tersebut. Sifat-sifat tersebut berpengaruh terhadap koefisien hamburan balik. Hal ini akan berpengaruh terhadap koefisien determinasi dari persamaan regresi linier antara suatu sifat biofisik lahan dengan koefisien hamburan balik. Untuk itu disarankan pendekatan penelitian secara parsial terhadap suatu sifat biofisik lahan saja dengan meminimalkan keragaman sifat-sifat lain yang turut berpengaruh. Pengendalian terhadap keragaman sifat-sifat lain diharapkan dapat meningkatkan koefisien determinasi dari model yang dihasilkan dan meningkatkan peluang keberhasilan dengan metode ini.

*Sebaran kelembaban tanah*

Hasil-hasil model persamaan menunjukkan bahan berdasarkan nilai koefisien determinannya ( $R^2$ ), sifat kelembaban tanah secara umum merupakan sifat biofisik lahan sawah yang paling baik dimonitor oleh Radarsat 2 resolusi tinggi baik dalam kondisi lahan ditanami padi

Tabel 6. Persamaan regresi linier antara sifat-sifat biofisik lahan sawah dan nilai-nilai  $\sigma^\circ$  dari Citra Radarsat 2

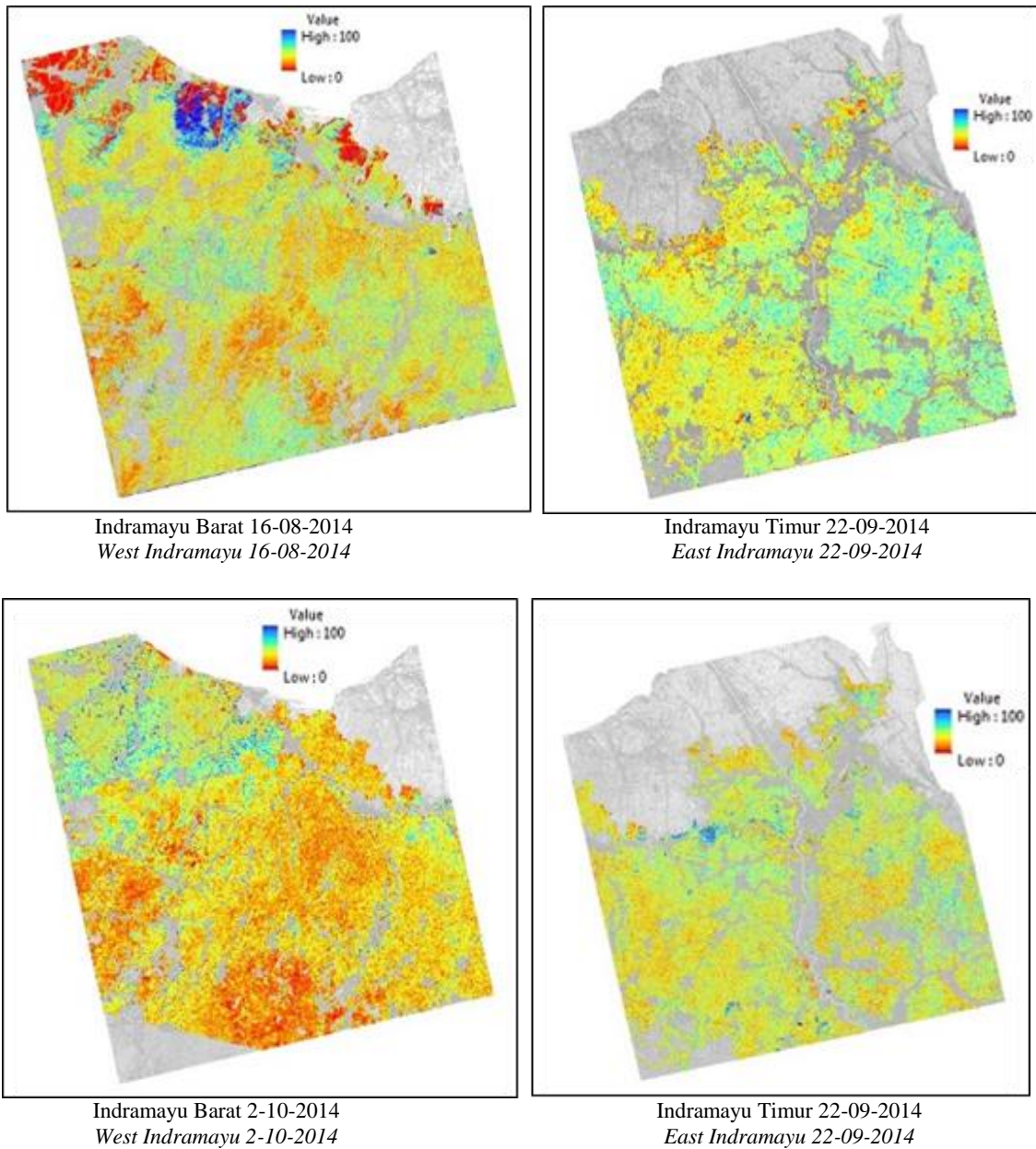
Table 6. *Linear regression equations between biophysical properties of paddy field and coefficients  $\sigma^\circ$  of Radarsat 2 imagery*

No	Lahan padi	$R^2$	No	Lahan Bera	$R^2$
1	$\sigma^\circ$ VV = -15,5 + 0,0167SAL	0,17	1	$\sigma^\circ$ VV = -14,079 + 0,048 TG	0,07
2	$\sigma^\circ$ VH = - 23,4 + 1,38 KPT	0,22		$\sigma^\circ$ VV = -10,60 - 0,435KPT	0,03
	$\sigma^\circ$ VH = - 25,6 + 0,089 TG	0,21	2	$\sigma^\circ$ VH = -23,00 + 0,052KA	0,03
3	$\sigma^\circ$ HV = - 10,7 - 0,154 KA	0,39	3	$\sigma^\circ$ HV = - 24,90 + 0,108 KA	0,11
	$\sigma^\circ$ HV = - 27,6 + 0,114TG	0,17		$\sigma^\circ$ HV = - 20,5 -0,006 SAL	0,07
	$\sigma^\circ$ HV = - 21,1 + 0,020SAL	0,14	4	$\sigma^\circ$ HH = - 16,1 + 0,123 KA	0,17
4	$\sigma^\circ$ HH = -5,28 - 0,131 KA	0,32		$\sigma^\circ$ HH = -12,4 + 0,002 SAL	0,01

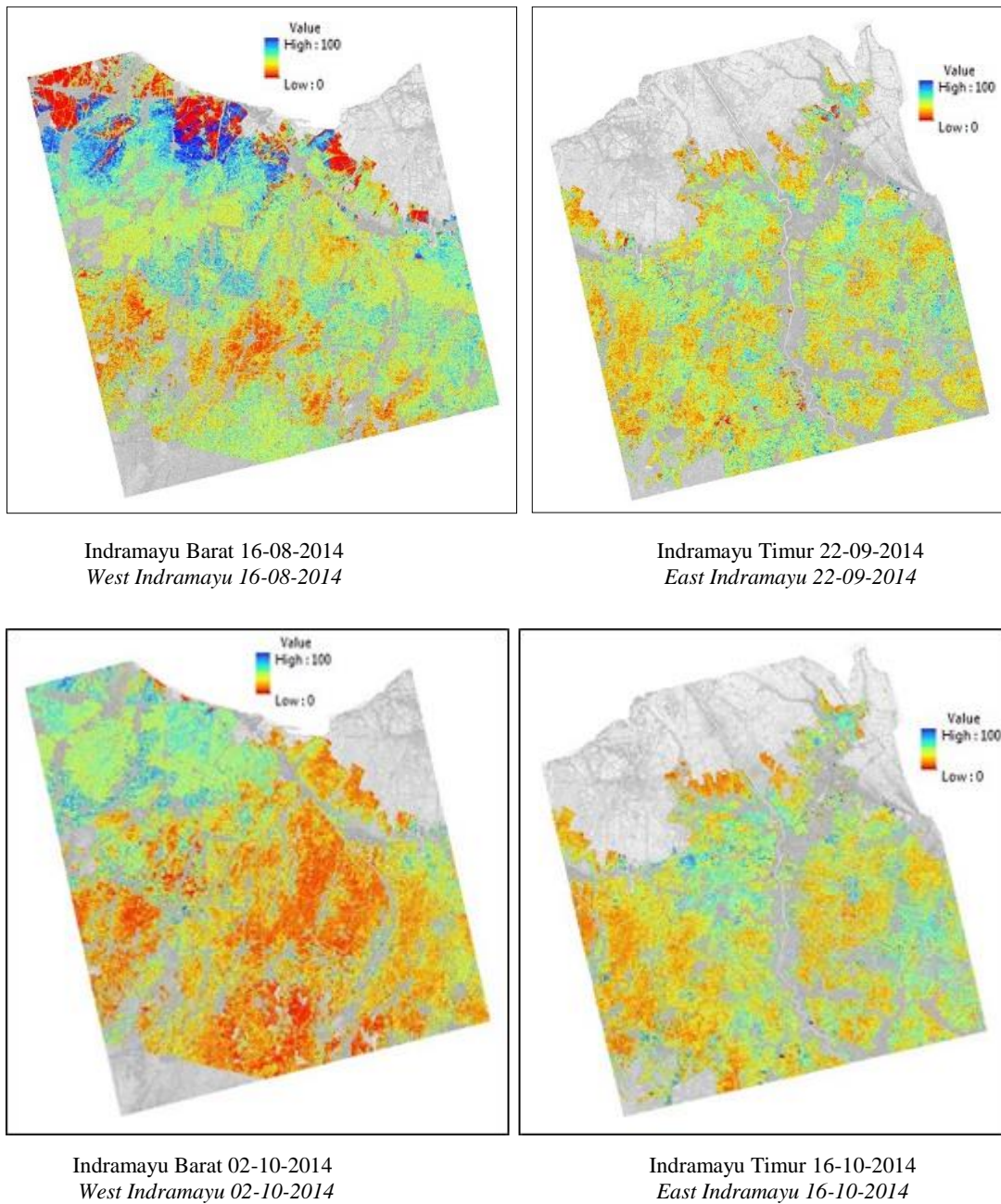
Keterangan: KA = kelembaban tanah; SAL = salinitas tanah; KPT= Kekasaran permukaan tanah; TG = tinggi tanaman

maupun lahan bera. Dalam kondisi lahan ditanami padi model persamaan antara kelembaban tanah dan nilai  $\sigma^\circ$  polarisasi HV memiliki nilai  $R^2$  tertinggi. Sedangkan dalam kondisi lahan bera persamaan dengan dengan nilai  $R^2$  adalah pada  $\sigma^\circ$  polarisasi HH. Secara keseluruhan, model persamaan antara kelembaban tanah

dan nilai  $\sigma^\circ$  polarisasi HV mempunyai nilai  $R^2$  yang lebih tinggi dibandingkan HH polarisasi. Sebaran kelembaban tanah di lahan-lahan sawah di Kabupaten Indramayu berdasarkan inversi model persamaan dengan menggunakan polarisasi HH dan HV disajikan pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Sebaran kelembaban tanah di lahan sawah yang ditanami padi dengan menggunakan polarisasi HH  
 Figure 3. Soil moisture distribution in planted paddy field by using HH polarization



Gambar 4. Sebaran kelembaban tanah di lahan sawah bera dengan menggunakan polarisasi HV  
*Figure 4. Soil moisture distribution in bare soil of paddy field by using polarization of HV*

## Kesimpulan

Kelembaban tanah adalah sifat biofisik lahan yang paling banyak berpengaruh terhadap nilai-nilai  $\sigma^\circ$  polarisasi dari Radarsat 2 di lahan sawah. Pada lahan ditanami padi kelembaban tanah, salinitas tanah, kekasaran permukaan tanah dan tinggi tanaman adalah sifat-sifat biofisik lahan sawah yang paling berpengaruh terhadap nilai-nilai  $\sigma^\circ$  polarisasi Radarsat 2 pada lahan yang ditanami padi. Sedangkan pada lahan bera sifat-sifat biofisik lahan sawah yang paling berpengaruh terhadap

nilai-nilai  $\sigma^\circ$  adalah kelembaban tanah, tinggi tanaman dan salinitas tanah. Pada Citra Radarsat 2 resolusi tinggi, model persamaan antara kelembaban tanah dan  $\sigma^\circ$  polarisasi HV merupakan yang terbaik dalam kondisi lahan ditanami padi berdasarkan nilai  $R^2$ -nya. Sedangkan dalam kondisi lahan bera, model persamaan terbaik adalah antara kelembaban tanah dan nilai  $\sigma^\circ$  polarisasi HH. Secara keseluruhan tingkat determinasi dari model-model persamaan regresi antara sifat-sifat biofisik lahan dengan nilai-nilai  $\sigma^\circ$  dari polarisasinya adalah rendah ( $R < 0,4$ ). Penyebab utama sulitnya menghasilkan data dengan nilai

determinasi tinggi adalah keragaman sifat-sifat obyek permukaan lahan sawah yang sulit dikendalikan akibat perbedaan waktu tanam dan manajemen pengelolaan lahannya. Penggunaan beberapa citra yang diakuisisi pada saat yang berbeda dan adanya pengaruh faktor-faktor lain dari parameter citra dan obyek permukaan bumi turut berkontribusi terhadap rendahnya nilai koefisien determinasinya ( $R^2$ ).

Di antara keenam sifat biofisik lahan yang dianalisis, kelembaban tanah adalah sifat biofisik lahan yang paling baik dideteksi oleh citra Radarsat 2 resolusi tinggi. Meskipun demikian tingkat determinasi model persamaannya masih rendah. Rendahnya determinasi dari model-model yang dihasilkan mengindikasikan bahwa metode untuk menduga sifat-sifat biofisik lahan dengan menggunakan koefisien hamburan baliknya secara langsung tidak bisa diterapkan di lahan sawah yang mempunyai sifat-sifat biofisik lahan yang sangat beragam. Meskipun demikian, pengembangan metode pendugaan sifat-sifat biofisik lahan dengan citra RADAR sangat potensial dilakukan, terutama untuk kelembaban tanah. Hal tersebut dikarenakan kelebihan gelombang RADAR yang mampu mengatasi kendala tutupan awan dan faktor ketersediaan air yang sangat penting dalam pengelolaan lahan sawah, khususnya untuk tanaman padi. Pendekatan penelitian secara lebih parsial terhadap masing-masing sifat biofisik lahan perlu dilakukan untuk meminimalkan keragaman sifat-sifat lain yang turut berpengaruh terhadap koefisien hamburan baliknya, sehingga diharapkan dapat meningkatkan koefisien determinasi dan peluang keberhasilan dari metode ini.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Litbang Pertanian yang telah mendanai penelitian ini. Ucapan yang sama disampaikan kepada Sdr. Rian Nurtyawan yang telah membantu penyediaan Radarsat 2 untuk penelitian ini, serta kepada Sdr. Bambang Susanto yang telah membantu dalam observasi lapangan dan pengambilan contoh tanah di lapangan.

## Daftar Pustaka

Avtar R, Suzuki R, Sawada H. 2013. Monitoring of biophysical parameters of cashew plants in Cambodia using ALOS/PALSAR data. *Environmental Monitoring and Assessment*. 185 (2): 2023–2037

Avtar R, Suzuki R, Sawada H. 2014. Natural forest biomass estimation based on plantation information using PALSAR data. *PLOS ONE* 9. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0086121> (21 January 2014)

Baghdadi N, Cresson R, Pottier E, Aubert M, Mehrez Z, Jacome A, Benabdallah A. 2012. A potential use for the C-band polarimetric SAR parameters to characterise the soil surface over bare agriculture fields. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 50 (10): 3844-3858

Balitvala PP, Ullaby FT. 1975. Effects of Roughness on The Radar Response to Soil Moisture Of Bare Ground. *Remote Sensing Laboratory. RSL Technical Report 264-5*. 44 pp.

Brisco B, Brown RJ. 1988. Agricultural application with RADAR, In: *Principles and Application of Imaging RADARs* (manual of Remote Sensing Vol.2), Henderson, F.M. dan Lewis A.J (ed), page (381-403). John Wiley & Sons.

Bryant R, Moran M S, Thoma D P, Holifield Collins C D, Skirvin S, Rahman M, Slocum K, Starks K, Bosch D, González Dugo M P. 2007. Measuring Surface Roughness Height to Parameterize Radar Backscatter Models for Retrieval of Surface Soil Moisture. *IEEE Geoscience And Remote Sensing Letters*, Vol. 4 (1):137-141

Dubois P, Van Zyl JJ, and Engman T. 1995. Measuring soil moisture with imaging radars, *IEEE T. Geosci. Remote Se.*, 33: 915–926.

Dobson MC, Ulaby FT, Hallikainen MT, El-Rayes MA. 1985. Microwave Dielectric Behavior of Wet Soil-Part II: Dielectric Mixing Models. *Ieee Transactions On Geoscience And Remote Sensing*, Vol. Ge 23 (1): 35-46.

Erpandi D, Rachman A. 2011. Identification of soil salinity due to sea water intrusion on rice field in the Northern Coast of Indramayu, West Java. *Journal of Tropical Soils*, 16: 115-121.

Ghasemi N, Sahebi MR, Mohammadzadeh A. 2011. A review on biomass estimation methods using synthetic aperture radar data. *Int J Geomat Geosci* 1(4):776–788.

Kementan. 2017. *Statistik Lahan Pertanian Tahun 2012-2016*. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Kementerian Pertanian.

Lasne Y, Paillou PH, Ruffié G, C Serradilla, Demontoux F, Freeman A, Farr T, McDonald K, Chapman B. 2008. Effect of salinity on the dielectric properties of geological materials: implication for soil moisture detection by means of remote sensing. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on* 46 (6): 1674-1688.

Lillesand TM, Kiefer MW. 1979. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Son Inc. NewYork.

Lucas RM, Moghaddam M, Cronin N. 2004. Microwave scattering from mixed-species forests, Queensland, Australia. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on* 42 (10): 2142–2159.

Mazloumi SMM, Sahebi SR. 2016. Assessment of different backscattering models for bare soil surface parameters estimation from SAR data in band C, L and P. *European Journal of Remote Sensing*, 49: 261-278

Nurtyawan R, Saepuloh A, Budiharto A, Wikantika K. 2016. Modeling Surface Roughness to Estimate Surface Moisture Using Radarsat-2 Quad Polarimetric SAR Data. *Journal of Physics: Conference Series* 739 (2016) 012105

MDA - MacDonald, Dettwiler and Associates Ltd. 2008. *RADARSAT-2 Product Format Definition*. RN-RP-51-2713. Issue 1/7: March 14, 67 p.

Sahebi MR, Angles J, Bonn F. 2002. A comparison of multi-polarization and multi-angular approaches for estimating bare soil surface roughness from spaceborne radar data. *Can. J. Remote Sensing*, Vol. 28, No. 5, pp. 641–652

Srivastava H S, Patel P, Sharma KP, Krishnamurthy YVN, Dadhwal VK. 2011. A semi-empirical modelling approach to calculate two-way attenuation in RADAR backscatter from soil due to crop cover. *Current Science*, 100(12):1871-1875.

Tsolmon R, Tateishi R, Tetuko JSS. 2002. A method to estimate forest biomass and its application to monitor Mongolian Taiga using JERS-1 SAR. *International Journal of Remote Sensing*, 23(22): 4971–4978.

Ulaby FT, Dobson MC, Stiles JA, Moore RK, Holtzman JC. 1981. *Evaluation of The Moisture Prediction Accuracy of A Space RADAR Using Simulation Techniques*. Remote Sensing Laboratory. RSL Technical Report 429-1. 189 p.