

PREDIKSI KANDUNGAN NITROGEN DAUN PADI DENGAN ANALISIS PERGESERAN TEPI KANAL MERAH (RED EDGE SHIFT) DATA HIPERSPEKTRAL

Nadirah*, Bangun Muljosukojo**, Teguh Hariyanto**, M. Sadly*, M. Evri*, Sidik Mulyono*

* Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jl. MH. Thamrin No. 8, Jakarta

** Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus Sukolilo, Surabaya
dirafudi@yahoo.com

Abstract

Canopy hyperspectral with various growth stages measured by using field spectroradiometer (350 - 1000 nm) corresponded to leaf Nitrogen content of three rice cultivars (Ciherang, Cilamaya and IR64) during growth season in Java Island, Indonesia. Coinciding with hyperspectral measurement, biochemical parameter such as leaf Nitrogen content (g/100 gr) was analyzed from destructive biomass sample through laboratory analysis. The potential narrow band in the red edge region was investigated to predict leaf nitrogen content (N content) with applying modified polynomial interpolation (MPI) and modified four points linear interpolation (MFLI) methods. First derivative reflectance derived from reflectance data and subsequently used in analysis of Red Edge Position (REP). The correlation REP-MFLI was generally stronger than REP-MPI attributed to leaf N content for several level of N application that indicated by value of R^2 . The response of REP-MFLI toward N level 69 kg/ha exhibited the most significant correlation ($R^2 = 0.754$) than other correlations. Meanwhile, the response of REP-MPI toward N level 161 kg/ha denoted the most significant correlation ($R^2 = 0.8$) than other correlations. The highest correlation using REP-MPI ($R^2 = 0.8$) to predict leaf N content demonstrated slightly higher than that of REP-MFLI ($R^2 = 0.754$). In general both REP-MFLI and REP-MPI represented somewhat similar response toward N levels, such as 103.5 kg/h, 115 kg/ha. The exploration of characteristics of red edge shift is a fundamental point in developing rapid and precise prediction for biochemical parameter. In addition, its prediction capability was promising to support crop farming management.

Kata kunci: hyperspectral, modified four points linear interpolation, modified polynomial interpolation, red edge position, biochemical parameter.

1. PENDAHULUAN

Status nitrogen pada tanaman adalah indikator kunci untuk mengevaluasi pertumbuhan tanaman, peningkatan hasil panen, dan perbaikan kualitas bulir atau biji-bijian, tingkat stress, dan nutrisi dari tanaman tersebut (Erward B Knippling, 1970; Patrick J Curran, 1991; Ramesh K Gautam and Suranjan Panigrahi, 2007; Feng Wei et al., 2008). Pemupukan akan meningkatkan kandungan nitrogen di tanaman yang terkait dengan peningkatan kandungan protein (Dennis L Wright et al., 2004). Kandungan nitrogen pada tanaman padi dapat diketahui dengan melihat tingkat kehijauan daun tanaman tersebut, yang merupakan indikasi kandungan nutrisi pada bulir padi, yang terkait dengan kualitas dan produksi padi (Tang Yan-Lin et al., 2007). Penentuan parameter biofisik dan biokimia yang berulang-

ulang dengan cara destruktif pada area persawahan yang luas sulit dilakukan, karena membutuhkan biaya besar (Xia Yao et al., 2007). Kandungan nitrogen maupun *crude protein* dapat diestimasi dari data *hyperspectral* dari kanopi tanaman (Jingfeng Huang et al., 2003, Daniela Stroppiana et al., 2006).

Penginderaan jauh *hyperspectral* mempunyai pita panjang gelombang (wavelength) yang berdekatan dalam jumlah besar, yang dapat digunakan untuk mengetahui berbagai informasi biofisik (klorofil) dan biokimia (nitrogen) pada tanaman (Onesimo Mutanga and Andrew K Skidmore, 2004; Prasad S Thenkabail et al., 2004).

Pergeseran posisi kanal tepi merah (red-edge) yang berkisar antara panjang gelombang 670-780 nanometer (nm) berkaitan erat dengan perubahan kandungan klorofil, nitrogen, status fenologi, dan

tingkat stress tanaman. (Gladimir V G Baranoski, Jon G Rokne, 2005; Ryan Munden et al., 1994) Peningkatan kandungan klorofil menyebabkan pergeseran REP disekitar 680 nm (Moses A Cho, 2007). Telah dibuktikan pula bahwa hubungan antara kandungan nitrogen di daun dengan REP adalah cukup kuat (Muhammad Evri et al., 2008).

Tujuan studi ini adalah untuk mengetahui kandungan nitrogen pada berbagai level pemupukan dengan adanya pergeseran REP pada daun padi dengan menggunakan metoda *modified polynomial interpolation* dan *modified four point linear interpolation*.

2. BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan di areal persawahan Balai Besar Penelitian Padi Sukamandi, Jawa Barat. Areal persawahan dirancang dengan sejumlah petakan kecil (*farmland*) berukuran 4x4 m², dengan tingkat pemberian pupuk yang berbeda (tabel 1). Adapun varietas padi yang digunakan yaitu Ciherang (Cg), Cilamaya (Cl), dan IR-64 (Is).

Tabel 1. Dosis pupuk yang diberikan pada tanaman

Kode Level	Dosis pupuk [kg Urea/ha]	Kadar N [kg/ha]	Simbol
N0	Tanpa pupuk	0	N 0
N1	150	69	N 69
N2	175	80.5	N 80.5
N3	200	92	N 92
N4	225	103.5	N 103.5
N5	250	115	N 115
N6	350	161	N 161

2.1. Pengambilan data

Pengukuran data dilakukan mulai awal tanam sampai mendekati panen (Mei-Agustus 2009). Data reflektansi diukur menggunakan alat Spektro-radiometer USB4000 pada ketinggian sensor 30 cm dari tajuk tanaman dengan sudut FOV (*field of view*) 20°. Panjang gelombang yang digunakan berkisar antara 350 – 1000 nm. Sampel daun tanaman diambil secara destruktif untuk mengetahui kandungan N daun melalui proses analisis di laboratorium, dengan metode Kjeldahl (Johan B Jones, 1991).

2.2 Teknik proses data

Data reflektansi dari *farmland* yang telah berbentuk *ASCII file* terlebih dahulu dikumpulkan ke dalam direktori berdasarkan tanggal pengukuran. Setelah dilakukan penyaringan data error, seluruh data reflektansi direratakan

berdasarkan petakan, sehingga didapat hanya satu set data spektral untuk setiap petakan. Kemudian data tersebut di-*resampling* ke dalam panjang gelombang dengan interval 5 nm, dan diambil hanya wilayah kanal merah saja (680 – 765 nm). Selanjutnya dari masing-masing interval panjang gelombang tersebut dihitung nilai reflektansinya menggunakan metode interpolasi Savitzki-golay (Abraham Savitzky and Marcel J E Golay, 1964). Selanjutnya untuk analisis posisi kanal merah (REP) digunakan teknik (1) *Modified polynomial interpolation* (MPI) dan (2) *Modified four point linear interpolation* (MFLI). Kedua metode tersebut digunakan untuk memperoleh nilai pergeseran REP.

2.3 Modified polynomial interpolation

REP didefinisikan sebagai posisi panjang gelombang (band) maksimum pada nilai reflektansi spektral turunan pertama. Nilai reflektansi yang berada di sekitar panjang gelombang REP (650-780 nm) ditampilkan dalam grafik, kemudian dicari persamaan kurva yang melalui titik-titik tersebut dengan menggunakan persamaan *polynomial* orde 25.

$$R_i = \sum_{n=1}^{26} a_{n-1} \lambda_i^{n-1} \quad (1)$$

Simbol λ_i menunjukkan jumlah 27 panjang gelombang dengan interval 5 nm, dan a_n merupakan koefisien polinomial. Nilai *first derivative reflectance* (FDR) atau reflektansi turunan pertama (TPM) kemudian dihitung dengan cara menurunkan persamaan (1) tersebut terhadap λ_i menjadi

$$FDR_i = \sum_{n=2}^{26} (n-1) a_{n-1} \lambda_i^{n-2} \quad (2)$$

Apabila sebaran data ditampilkan dalam grafik maka TPM akan membentuk kurva seperti gunung, dimana nilai tertinggi dari kurva ini merupakan nilai REP. Dengan menurunkan kembali persamaan (2) terhadap λ_i , maka akan didapat persamaan turunan keduanya yang dikenal dengan *second derivative reflectance* (SDR) seperti yang ditunjukkan pada persamaan (3).

$$SDR_i = \sum_{n=3}^{26} (n-1)(n-2) a_{n-1} \lambda_i^{n-3} = 0 \quad (3)$$

Dengan menggunakan persamaan (3), akan didapat posisi TPM yang merupakan proyeksi dari nilai REP pada kurva spektral.

2.4 Modifikasi interpolasi empat titik (Four Points)

Kurva reflektansi pada *red edge* dapat disederhanakan menjadi suatu garis lurus yang berpusat di sekitar titik tengah antara reflektansi pada panjang gelombang NIR sekitar 780 nm dan reflektansi minimum untuk penyerapan klorofil yakni sekitar 670 nm (Gerard Guyot and Frederic Baret, 1988). Ada empat panjang gelombang yang digunakan, yaitu 670, 700, 740, dan 780 nm. Kemudian, REP ditentukan dengan menggunakan prosedur perhitungan dua tahap (Moses A Cho, and AK Skidmore, 2006).

Akan tetapi untuk kasus spektral tanaman padi yang diukur menggunakan spektrometer USB 4000, hal ini sulit dilakukan, karena ke empat titik tersebut mengalami pergeseran pada setiap fase tumbuhnya. Oleh karena itu perlu mencari titik 1 dan 4 (R_1 dan R_4) yang masing-masing didefinisikan sebagai titik terendah dan tertinggi kurva spektral pada daerah *red edge* (650 - 780 nm). Sedangkan titik 2 dan 3 (R_2 dan R_3) adalah titik-titik yang mewakili dan melalui garis singgung pada lereng kurva spektral. Dengan mereratakan nilai reflektansi pada titik 1 dan 4 tersebut, maka dapat diketahui nilai reflektansi pada REP. Kemudian dengan menggunakan persamaan linier yang terbentuk dari kedua titik 1 dan 4, maka akan diketahui nilai panjang gelombang yang menjadi REP (λ_{REP}), seperti yang ditunjukkan pada persamaan (4).

$$R_{REP} = \frac{R_1 + R_4}{2}$$

$$\lambda_{REP} = \frac{R_{REP} - R_2}{R_3 - R_2} (\lambda_3 - \lambda_2) + \lambda_2 \quad (4)$$

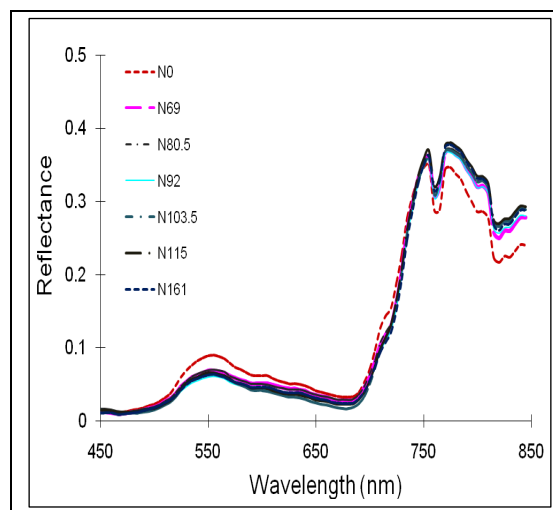
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Jumlah sample (n= 223) selama fase pertumbuhan untuk semua jenis varietas dipakai dalam analisis kandungan N daun. Dari analisis statistik menunjukkan nilai minimum dan maksimum kandungan N daun adalah masing-masing 0.32g/100gr dan 2.39g/100gr. Sementara itu, nilai rata-rata dan standard deviasi kandungan N daun adalah masing-masing 1.23g/100gr dan 0.45g/100gr. Nilai standar deviasi berdekatan nilainya dengan nilai minimum kandungan N daun, yang berarti bahwa deviasi dari kandungan N daun sangat kecil, dan mendekati nilai minimumnya.

3.1 Overview reflektansi data spektral

Gambar 1 menunjukkan pola reflektansi spektral dari kanopi tanaman padi rata-rata berbasis nilai 3 varietas dan berbasis pada variasi tingkat pemberian pupuk (N).

Respon reflektansi REP pada tingkat N115 menunjukkan nilai tertinggi di wilayah 755nm dan 770nm, yang kemudian diikuti secara gradual oleh tingkat N161, N80.5, N103.5, N92 dan N0. Secara umum untuk wilayah REP tingkat N yang lebih tinggi berpengaruh dalam meningkatkan nilai reflektansi pada wilayah panjang gelombang inframerah yang lebih tinggi nilai reflektansinya dari tingkat N yang lebih rendah.



Gambar 1. Profil reflektansi di atas tajuk tanaman padi pada beberapa tingkat pemberian pupuk

Pada Panjang gelombang dekat 800 nm, perbedaan tingkat N tampak lebih jelas sekali, terutama bila dibandingkan dengan tingkat N0. Secara umum reflektansi setiap dosis N menunjukkan *trend* yang mirip, dimana mereka menurun pada panjang gelombang merah dan meningkat pada panjang gelombang inframerah.

3.2 Perubahan REP berbasis waktu

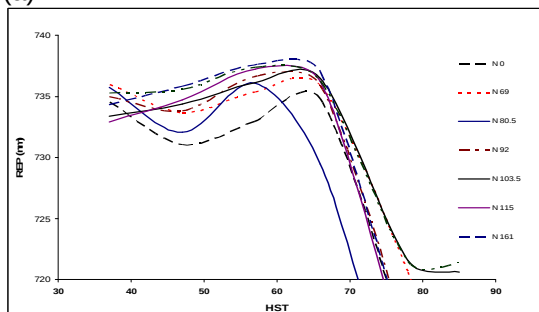
Gambar 2 menunjukkan kedua metode REP-MPI dan REP-MFLI berubah terhadap berubahnya tingkat aplikasi N selama pertumbuhan. Gambar 2(a) menunjukkan bahwa selama fase *booting* (HST 47) sampai *anthesis* (66 HST) REP-MFLI untuk semua dosis N berada dalam wilayah 720 nm dan 740 nm.

Kondisi di lapangan menunjukkan bahwa parameter biofisik mencapai kondisi maksimum saat mendekati fase *heading* (57 HST). Setelah itu menurun mulai dari fase *heading* ke fase *maturity*

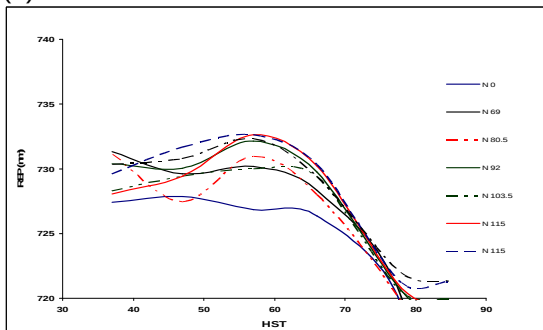
karena tanaman mengalami proses pematangan dan pemasakan (penuaan), yang terkait sekali dengan perubahan *red edge*. Perubahan REP-MFLI sebagian besar dipengaruhi oleh pertumbuhan daun tanaman, dimana konsentrasi klorofil meningkat dan mencapai puncaknya pada fase vegetatif (Dockray N H Horlel et al, 1983).

Perkembangan maksimum vegetatif (sekitar fase booting sampai fase heading) sangat dimungkinkan dideteksi dengan memanfaatkan panjang gelombang *red edge* di sekitar panjang gelombang 738 nm, atau lebih spesifik lagi berada di wilayah panjang gelombang 736 nm dan 739 nm. Setelah melewati fase *heading* (57 HST) REP-MFLI bergeser melintasi fase *anthesis* (66 HST) sehingga mencapai fase pemasakan (*maturity*) sekitar 86 HST yang berkisar dari panjang gelombang 720 nm sampai 738 nm.

(a) REP-MFLI



(b) REP-MPI



Gambar 2. Perubahan REP terhadap HST dengan (a) REP-MFLI dan (b) REP-MPI

Gambar 2(b) menunjukkan bahwa setelah melewati fase *panicle initiation* (40 HST) REP-MPI bergeser secara signifikan ketika memasuki fase *heading* (57 HST). Selama puncak perkembangan vegetatif (sekitar fase heading), REP-MPI sedikit bergeser dari panjang gelombang 732 nm ke 734 nm untuk aplikasi dosis N 92, 115 dan 161 kg/ha. Kemudian REP-MPI bergeser secara bertahap dari fase *anthesis* ke fase *maturity*.

Respon REP-MPI terhadap aplikasi N dengan dosis 0 kg/ha secara signifikan cukup berbeda bila dibandingkan dengan aplikasi N lainnya, baik

sebelum atau sesudah puncak vegetasi. Hasil penelitian ini menunjukkan kesamaan kondisi seperti yang dilaporkan oleh Huang et al (2003), dimana REP berpindah ke arah panjang gelombang yang lebih panjang hingga fase *booting*. Sebelum memasuki fase *heading*, puncak panjang gelombang *red edge* berpindah ke arah panjang gelombang yang lebih panjang karena kandungan N meningkat (kandungan klorofil meningkat).

3.3. Korelasi REP dengan kandungan Nitrogen

Tabel 2 menunjukkan bahwa kedua metode REP-MFLI dan REP-MPI mempunyai korelasi yang signifikan dengan kandungan N daun. Korelasi kedua metode REP-MFLI dan REP-MPI dengan kandungan N menggunakan data dari fase *heading* sampai *maturity*. Pemilihan jumlah data didasarkan pada signifikansi korelasi antara kedua metode tersebut dengan parameter biokimia terhadap fase pertumbuhan. Nilai REP diperoleh dari rata-rata nilai tiga varietas untuk N0, N69, N80.5, N92, N103.5, N115 dan N161. Dosis tersebut merupakan dosis yang digunakan dalam penelitian ini.

Korelasi antara REP- MFLI dengan berbagai tingkat dosis N menunjukkan nilai bervariasi. Secara umum nilai korelasi REP-MFLI masih menunjukkan nilai yang lebih tinggi dari nilai korelasi REP-MPI dengan N, seperti yang ditunjukkan dengan nilai R^2 . Respon REP-MFLI terhadap tingkat N 69 kg/ha menunjukkan korelasi yang sangat signifikan ($R^2 = 0.754$) bila dibandingkan dengan korelasi lainnya. Sementara itu, respon REP-MPI terhadap tingkat N level 161 kg/ha menunjukkan korelasi yang sangat signifikan ($R^2=0.8$) bila dibandingkan dengan korelasi lainnya.

Korelasi tertinggi antara REP-MPI ($R^2 = 0.8$) dengan tingkat N menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibanding dengan korelasi REP- MFLI ($R^2 = 0.754$). Secara umum kedua metode REP-MFLI dan REP-MPI menunjukkan respon yang agak mirip terhadap kandungan N daun untuk tingkat N 103.5 kg/ha dan 115 kg/ha. Eksplorasi karakteristik pergeseran *red edge* adalah hal yang fundamental sekali dalam membangun prediksi yang cepat dan akurat terhadap parameter biokimia tanaman. Lebih lanjut, kemampuan sistem prediksi yang terbangun sangat menjanjikan untuk mendukung manajemen pertanian (crop farming management).

Tabel 2. Korelasi antara REP-MPI dan REP-MFLI dengan kandungan N daun pada beberapa dosis

N (kg/ha)	REP-MFLI	REP-MPI
0	Y = 0.013x-8.75 R ² = 0.594	Y = 0.019x-13.11 R ² = 0.587
69	Y = 0.016x-10.87 R ² = 0.754	Y = 0.021x-14.71 R ² = 0.574
80.5	Y = 0.018x-8.75 R ² = 0.373	Y = 0.013x-8.75 R ² = 0.737
92	Y = 0.026x-18.5 R ² = 0.628	Y = 0.014x-9.231 R ² = 0.532
103.5	Y = 0.038x-27.16 R ² = 0.725	Y = 0.016x-11.33 R ² = 0.655
115	Y = 0.032x-22.33 R ² = 0.725	Y = 0.023x-16.03 R ² = 0.697
161	Y = 0.032x-22.81 R ² = 0.726	Y = 0.018x-12.49 R ² = 0.800

Korelasi seperti yang terdapat dalam Tabel 2 menunjukkan kesamaan hasil dengan hasil penelitian yang dilaporkan oleh Cho dan Skidmore (2006), dimana REP mempunyai hubungan yang signifikan dengan kandungan N pada tanaman jagung ($R^2=0.73$) dan tanaman *rye grass* ($R^2=0.73$).

Telah diketahui secara luas bahwa reflektansi panjang gelombang merah menurun sampai fase *anthesis* dan kemudian akan meningkat sampai fase *maturity* yang diakibatkan oleh hilangnya kehijauan daun karena proses penguningan (penuaan). Penurunan warna hijau daun dipengaruhi oleh turunnya konsentrasi klorofil dalam daun, khususnya setelah tanaman melewati fase *anthesis* menuju fase *maturity*.

Selama fase reproduktif panjang gelombang merah (bagian dari panjang gelombang tampak mata) dipantulkan oleh organ dalam lapisan daun, karena menurunnya konsentrasi klorofil. Klorofil ini mengabsorpsi panjang gelombang merah sebelum fase *heading*. Karena itu, panjang gelombang merah memiliki hubungan yang kuat dengan kondisi kekurangan klorofil selama fase reproduktif.

Pergeseran *red edge* terjadi pada semua wilayah panjang gelombang *red edge*, bergerak ke arah panjang gelombang yang lebih panjang (inframerah) selama fase vegetatif dan kemudian bergeser ke arah panjang gelombang yang lebih pendek (blue shift) selama fase reproduktif. Kedua panjang gelombang pendek (near) dan panjang gelombang panjang (far) bergeser ke wilayah NIR selama separuh dari fase pertumbuhan (first half growing season), dan setelah mencapai fase *heading* akan bergerak ke arah yang berlawanan (blue shift direction).

Setelah mencapai puncak pertumbuhan vegetatif (57 HST) material (produk) dari hasil fotosintesis biasanya dialokasikan untuk menjadi bulir, yang berarti jumlah klorofil didalam daun tanaman akan berkurang hingga fase *maturity*. Sebagai bagian dari spektrum tampak mata (visible spectrum), red edge sangat sensitif dengan

proses kehilangan klorofil, penuaan tanaman (Sherwood B Idso et al., 1980) variasi kandungan karotenoid (Compton J Tucker, 1977) dan efek dari pengaruh tanah dibawah tanaman.

Secara umum penurunan pada panjang gelombang yang lebih pendek (visible) dan peningkatan pada panjang gelombang yang lebih panjang (NIR) mencapai nilai tertinggi mereka pada pertumbuhan maksimum, saat densitas kanopi tanaman cukup padat dan menutup sempurna. Sementara itu, pada separuh dari fase pertumbuhan kedua, pergeseran panjang gelombang terhadap proses penuaan (pemasakan) mengarah ke panjang gelombang yang lebih panjang.

Penggunaan panjang gelombang pada slope maksimum REP pada level kanopi tanaman ditujukan untuk mengurangi efek atmosfer dan pengaruh air atau tanah (Frederic Baret et al., 1992; Tanvir H Demetriades-Shah et al., 1990; Dockray N H Horler et al 1983). Hal ini menunjukkan bahwa metode REP-MFLI dan REP-MPI adalah penting untuk penentuan data yang bebas kesalahan (free error data). Akan tetapi metode ini secara relatif sensitif dengan *noise* yang melekat dalam data spektral. REP-MFLI didasarkan pada fungsi yang disesuaikan dengan data spektral *red edge*, yang kurang sensitif terhadap variasi dari kondisi atmosfer dan pengaruh air atau tanah dibawah kanopi tanaman. Semua pengukuran REP kelihatannya relatif sensitif terhadap variasi kondisi atmosfer dan pengaruh air atau tanah, dan hal ini diperkuat oleh penemuan-penemuan dalam beberapa penelitian sebelumnya (Frederic Baret et al., 1992; Frederic Baret et al., 1990).

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menyoroti potensi *red edge* sebagai *predictor* untuk mengkaji parameter biokimia daun tanaman padi untuk mengkaitkannya dengan dinamika kandungan N dalam daun. Hubungan empiris antara kandungan N dengan *red edge* yang diperoleh dengan metode REP-MFLI menunjukkan hubungan yang lebih signifikan bila dibandingkan dengan metode REP-MPI.

Pergeseran *red edge* terjadi pada semua wilayah panjang gelombang *red edge*, yang bergerak ke arah panjang gelombang yang lebih panjang (inframerah) selama fase vegetatif dan kemudian bergeser ke arah panjang gelombang yang lebih pendek (blue shift) selama fase reproduktif.

Kedua panjang gelombang pendek (near) dan panjang gelombang panjang (far) bergeser ke wilayah NIR selama separuh dari fase pertumbuhan (first half growing season), setelah

mencapai fase *heading* akan bergerak ke arah yang berlawanan (*blue shift direction*). Umumnya pergeseran reflektansi spektral kanopi tanaman padi mengarah ke panjang gelombang yang lebih panjang dari fase *tillering* (26 HST) ke fase *heading* (57 HST). Hal ini menunjukkan korelasi yang positif antara kedua metode REP dengan kandungan N daun. Sebaliknya, bila fase *heading* telah terlewati maka hubungan antara REP dengan produk fotosintesis (bulir) menunjukkan arah korelasi negative. Hal ini ditunjukkan dengan bergesernya *red edge* ke arah *blue shift*.

Sebagai *predictor* (penduga) yang bersifat dinamik, pergeseran posisi *red edge* dapat berperan sebagai sistem prediksi yang cepat dan presisi terhadap parameter biokimia (kandungan N). Kemampuan prediksi ini memungkinkan untuk mendukung manajemen pertanian dengan menyajikan informasi yang akurat kondisi terkini tanaman melalui fenomena spektrum *red edge*.

DAFTAR PUSTAKA

- Baranoski, G.V.G., Rokne, J.G., 2005. A practical approach for estimating the red edge position of plant leaf reflectance. *International Journal Remote Sensing*, Vol. 26, No. 3, hal. 503-521.
- Baret, F., Jacquemoud, S., Guyot, G., G., and Leprieur, C., 1992. Modelled analysis of the biophysical nature of spectral shifts and comparison with information content of broad bands. *Remote Sensing of Environment*, vol. 41, pp. 133-142.
- Baret, F., Jacquemoud, S., G., Leprieur, C., and Guyot, G., 1990. Are spectral shifts an operational concept? Critical analysis of theoretical and experimental results. In: *Proc. Airborne Geoscience Workshop*, 4-5 June, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology Pasadena, CA, USA, pp. 58-71.
- Curran, P.J., Dungan, J.L., Macler, B.A., and Plummer, S.E., 1991. The effect of a read leaf pigment on the relationships between red edge and chlorophyll concentration. *Remote Sensing of Environment*, vol. 35, pp. 69-76.
- Cho, M.A., 2007. Hyperspectral remote sensing of biochemical and biophysical parameters: The derivative red-edge double-peak feature, a nuisance or an opportunity?, Thesis, International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation (ITC), Enschede and Wageningen University, The Netherlands.
- Cho, M.A., dan Skidmore, A.K., 2006. A new technique for extracting the red edge position from hyperspectral data: the linear extrapolation method. In: *Remote sensing of environment. Remote sensing of environment*, Vol. 101, hal. 181-193.
- Demetriades-Shah, T.H., Steven, M.D., and Clarck, J.A., 1990. High resolution derivative spectra in remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, vol. 33, pp. 55-64.
- Evri, M., Akiyama, T., Kawamura, K. 2008, Spectrum analysis of hyperspectral red edge position to predict rice biophysical parameters and grain weight. *Journal of the Japan Society of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 47, No. 2. hal. 1-15.
- Gautam, R.K., and Panigrahi, S. 2007, Leaf nitrogen determination of corn plant using aerial images and artificial neural networks. *Canadian Biosystems Engineering*, Vol. 49, hal. 7.1-7.9.
- Guyot, G. and Baret, F., 1988. Utilisation de la haute resolution spectrale pour suivre l'etat des courverts vegetaux. *Proceedings of the 4th International colloquium on spectrale signatures of objects in remote sensing*. ESA SP-287, Assois, France, pp. 279-286.
- Horlel, D.N.H., Dockray, M. And Barber, J., 1983. The red edge of plant leaf reflectance. *International Journal of Remote Sensing*, 4(2): 273-288.
- Huang, J., Wang, X., and Wang, R., 2003. The red edge parameters as indicators of rice nitrogen levels. *Proceedings of SPIE*, vol. 4890.
- Idso, S.B., Pinter, P. J., Jr., Jackson, R. D., and Reginato, R.J., 1980. Estimation of grain yields by remote sensing of crop senescence rate. *Remote Sensing of Environment*, vol. 9, pp. 87-91.
- Jones, J. Benton, 1991. *Kjeldahl Method for Nitrogen Determination*. Athens, GA: Micro-Macro Publishing.
- Knipling, E.B., 1970. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 1, hal. 155-159.
- Munden, R., Curran, P.J., Catt, J.A. 1994. The relationship between red edge and chlorophyll concentration in the broadbalk winter whet

- experiment at Rothamsted. *International journal of Remote Sensing*, Vol. 15, issue 3, hal. 705-709.
- Mutanga, O., Skidmore, A.K., 2004. Hyperspectral band depth analysis for a better estimation of pasture biomass, *International journal of applied earth observation and geoinformation*, Vol. 5, Issue 2, hal. 87-96.
- Savitzky, A., and Golay, M.J.E., 1964. Smoothing and difference of data by simplified least squares procedures. *Analytical Chemistry*, 36, pp. 1627-1639.
- Stroppiana, D., Boschetti, M., Brivio, P.A., Bocchi, S. 2006. Remotely Sensed Estimation of Rice Nitrogen Concentration for Forcing Crop Growth Models, *Italian Journal of Agrometeorology*, Vol. 3, hal. 50-57.
- Thenkabail, P.S., Enclona, E.A., Ashton, M.S., Meer, B.V.D. (2004), "Accuracy assessments of hyperspectral waveband performance for vegetation analysis applications", *Remote Sensing of Environment*, Vol. 91, Issues 3-4, hal. 354-376.
- Tucker, C.J., 1977. Spectral estimation of grass canopy variables. *Remote Sensing of Environment*, vol. 6, pp. 11-26.
- Wei, F., Yan, Z., Yongchao, T., Weixing, C., Xia, Y., and Yingxue, L., 2008. Monitoring leaf nitrogen accumulation in wheat with hyperspectral remote sensing. *Acta Ecologica Sinica*, vol.28, issue 1, hal. 23-32.
- Wright, D.L., Rasmussen, V.P., Ramsey, R.D., and Baker, D.J. 2004. Canopy Reflectance Estimation of Wheat Nitrogen Content for Grain Protein Management, *GIScience and Remote Sensing*, Vol. 41, No. 4, hal. 287-300.
- Yan-Lin,T., Jing-Feng, H., Shao-Hong, C., Ren-Chao, W., 2007. Nitrogen Contents of Rice Panicle and Paddy by Hyperspectral Remote Sensing. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, Vol.10, No. 24, hal. 4420-4425.
- Yao, X., Feng, W., Zhu, Y, Tian, Y.C., CAO, W.X. 2007. A non-destructive and real-time method of monitoring leaf nitrogen. *New Zealand Journal of Agriculture Research*, Vol. 50, hal. 935-942.