

APLIKASI PENGINDERAAN JAUH UNTUK Mendukung SISTEM MANAJEMEN LAHAN PERKEBUNAN YANG BERKELANJUTAN DI PERKEBUNAN KARET

The Application of Remote Sensing for Supporting Sustainable Land Management System in Rubber Plantation

Imam Susetyo dan Setiono

Balai Penelitian Getas, Jl. Patimura Km 6, Kotak Pos 804 Salatiga 50702, email: baligetas@yahoo.com

Diterima tgl 20 Februari 2013 / Disetujui tgl 31 Juli 2013

Abstrak

Karet merupakan salah satu komoditi perkebunan yang cukup menjajikan hingga 20-30 tahun mendatang. Permasalahan perkebunan karet di Indonesia terkait sumberdaya lahan memerlukan input teknologi yang efektif dan efisien. Hal itu harus terus diupayakan untuk menjaga keberlanjutan produksi. Teknologi penginderaan jauh merupakan salah satu input yang dapat digunakan sebagai pengambil keputusan untuk memutuskan masalah secara spasial dan bersifat cepat, akurat, dan dinamis. Pemanfaatan teknologi penginderaan sebagai salah satu *decision support system* (DSS) belum banyak diaplikasikan di perkebunan karet di Indonesia. Beberapa penelitian menunjukkan aplikasi penginderaan jauh dengan menggunakan citra satelit dan foto udara di bidang agronomi, tanah, dan penyakit tanaman pertanian dan perkebunan menunjukkan hasil yang cukup baik. Pembuatan sistem informasi perkebunan yang mengintegrasikan data penginderaan jauh, data survei lapangan secara temporal dengan sistem informasi geografis (SIG) merupakan suatu cara untuk mengelola lahan perkebunan secara utuh.

Kata kunci: karet, penginderaan jauh, manajemen lahan

Abstract

Rubber plantation is one commodity that is quite promising up to 20-30 years. One of rubber plantations problems in Indonesia is related to land

resources management. Land resources requires input technology effectively and efficiently. It should continue to be able to sustain rubber production. Remote sensing technology is one input that can be used as a decision-maker to decide the problem is spatially and are fast, accurate, and dynamic. Utilization of remote sensing technology as a decision support system (DSS) has not been widely applied in rubber plantations in Indonesia. Several studies have shown the application of remote sensing using satellite imagery and aerial photographs in the field of agronomy, soils, and diseases of agricultural crops and plantations showed good results. Making integration information systems that integrate the plantation of remote sensing data, field survey data temporally with geographic information systems (GIS) is a way for plantations management intact.

Key word: rubber, remote sensing, land management

Pendahuluan

Secara ekonomis perkebunan karet menghasilkan lateks dan kayu karet, sedangkan secara ekologis diperoleh konservasi melalui perbaikan keseimbangan hidrologis, perbaikan struktur tanah, kelestarian lapisan tanah atasan, pengurangan pencemaran udara dengan penambatan CO₂ bebas dan pengurangan laju eksploitasi kayu hutan.

Dari sisi perolehan lateks, agrobisnis karet dalam kurun waktu 20 – 30 tahun mendatang memiliki prospek cukup cerah karena sumber bahan baku karet sintetis yaitu minyak bumi semakin langka dan semakin mahal. *International Rubber Study Group* (IRSG) telah memperkirakan bahwa dalam dekade kedua abad ini akan terjadi kekurangan pasokan

karet alam. Perihal ini menimbulkan kekhawatiran pihak konsumen, khususnya industri ban terkemuka di dunia. Pada tahun 2004, IRSG membentuk satuan tugas yaitu *Rubber Eco Project* (REP) untuk merumuskan skema yang sesuai dalam mengusahakan perluasan optimal produksi karet alam secara jangka panjang, dengan maksud agar: a) menjamin pendapatan layak dan berkesinambungan bagi pekebun karet supaya tetap berminat menghasilkan karet alam, dan b) menjamin pasokan karet alam yang cukup dengan harga terjangkau supaya tetap digunakan untuk bahan unggulan industri ban otomotif sebagai konsumen karet alam terbesar.

Hasil kajian REP menunjukkan bahwa kebutuhan karet alam pada tahun 2035 sekitar 15 juta ton, tetapi produksi tahun 2005 baru 8,5 juta ton. Untuk memperoleh keseimbangan antara kebutuhan dan produksi karet alam, telah disusun proyeksi produksi atas dasar kemampuan produksi masa lalu dan potensi produksi dari tiap negara produsen. Untuk Indonesia diperkirakan terjadi peningkatan produksi 3 % per tahun, sehingga produksi tahun 2010, 2020 dan 2035 diproyeksikan berturut-turut sebanyak 2,25 juta ton, 3,50 juta ton dan 5,11 juta ton. Produksi karet tahun 2010 mencapai 1,9 juta ton, sehingga Departemen Pertanian mencanangkan produksi karet alam Indonesia pada tahun 2015 harus mencapai 3 juta ton.

Seiring dengan perkembangan harga yang terus membaik perlu dilakukan suatu sistem yang sifatnya berkelanjutan agar produksi karet tetap tinggi dan stabil di Indonesia. Penginderaan jauh adalah ilmu, seni, dan teknik untuk memperoleh informasi suatu objek, daerah, dan atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh dengan suatu alat tanpa harus kontak langsung dengan objek, daerah, atau fenomena yang dikaji (Lilesand dan Kiefer, 1994). Pemanfaatan teknologi penginderaan sebagai salah satu *decision support system* (DSS) belum banyak diaplikasikan di perkebunan karet di Indonesia. Padahal dengan mencakup luasan yang cukup luas, informasi yang cepat dan

akurat sangat diperlukan untuk mengelola secara spasial. Makalah ini akan memaparkan beberapa keunggulan sistem penginderaan jauh yang dapat diaplikasikan serta jenis citra satelit ataupun foto udara di perkebunan karet pada bidang agronomi, tanah, dan penyakit tanaman untuk mendukung manajemen lahan diperkebunan karet yang dinamis dan terintegrasi.

Aplikasi Penginderaan Jauh di Bidang Agronomi

Pada 40 tahun terakhir penginderaan jauh telah menyediakan data dan informasi yang cukup baik di bidang manajemen agronomi. Kontribusi data yang sifatnya individual yang berubah secara spasial dengan metode *remote sensing* telah mengubah pandangan bahwa pantulan dan pancaran daun berbeda pada ketebalan, species, bentuk kanopi, umur daun, kandungan hara daun, dan status lengas daun.

Pengetahuan tentang pantulan daun dapat digunakan sebagai salah satu indikasi untuk mengukur secara kuantitatif parameter agronomi seperti luas daun, penutup tanah, biomassa, jenis tanaman, kandungan hara dan tingkat produksi. Pancaran daun (*emittance*) dapat digunakan untuk mengukur temperatur (Hatfield *et al.*, 2008). Ulasan singkat tentang penginderaan jauh diatas menunjukkan bahwa aplikasi penginderaan jauh dapat dilakukan pada semua jenis tanaman tak terkecuali tanaman karet.

Menurut Righi dan Bernades (2008) potensi produksi karet dapat ditingkatkan dengan menyesuaikan norma sadap dengan tingkat indeks area daun *leaf area index* (LAI). Penelitian tentang LAI telah banyak dilakukan sebelumnya dibidang penginderaan jauh dengan hasil yang cukup baik. Estimasi LAI dapat dilakukan dengan menggabungkan pantulan yang berasal dari gelombang tampak (*visible*) dan panjang gelombang infra merah dekat (*near infra red*) (Price dan Bausch, 1995). Saudani *et al.*, (2006) melaporkan bahwa perbandingan berbagai citra satelit yaitu IKONOS, SPOT, dan ETM untuk mengestimasi indeks area daun menunjukkan

bahwa radiometrik data citra IKONOS, SPOT, dan ETM ketiganya dapat digunakan pada daerah dengan kondisi tutupan vegetasi tidak begitu rapat sedangkan pada kondisi yang tutupan rapat pada citra IKONOS perlu dipertimbangkan pengganti efek negatif yang berasal dari NDVI sebesar 10 %. Selain hal tersebut estimasi LAI juga dapat dilakukan dengan menggunakan panjang gelombang tertentu yaitu 1.050 nm dan 250 nm.

Kedua panjang gelombang ini menunjukkan sensitivitas pada kondisi fisiologi dan variasi tingkatan kanopi tanaman (Delieux *et al.*, 2008). Indeks vegetasi telah banyak dikembangkan untuk mengetahui

variasi pantulan dari suatu daun atau kanopi suatu tanaman. Hatfield *et al.* (2004) telah mengembangkan panjang gelombang tampak (*visible wavelength*) terutama yang berkaitan dengan kanopi tanaman. Perubahan nilai pantulan pada kanopi tanaman akan terlihat dengan menggunakan panjang gelombang infra merah dekat pada waktu pertumbuhan tanaman. Sedangkan pada panjang gelombang tampak nilainya akan kecil tetapi bersifat signifikan. Hal ini berkaitan erat dengan pola absorpsi cahaya tanaman yang berkaitan dengan fotosintesis. Hasil beberapa penelitian mengenai indeks vegetasi disajikan pada Tabell.

Tabel 1. Beberapa jenis indeks vegetasi dan aplikasinya pada tanaman

Indeks vegetasi	Panjang gelombang	Jenis aplikasi	Referensi
Simple ratio	$R = R_{NIR}/R_{red}$	Biomasa, LAI, dan penutupan lahan	Birth and McVey, 1968; Jordan, 1969
Photochemical Reflectance Index	$PRI = (R_{550} - R_{531})/(R_{550} + R_{531})$	Efisiensi penggunaan cahaya	Gamon <i>et al.</i> , 1992
Pigment-specific normalized difference	$(R_{800} - R_{470})/(R_{800} + R_{470})$	LAI	Blackburn, 1998
Normalized Difference Vegetation Index	$NDVI = (R_{NIR} - R_{red})/(R_{NIR} + R_{red})$	PAR intersepsi, tutupan vegetasi	Deering, 1978
Perpendicular Vegetative Index	$PVI = (R_{NIR} - aR_{red} - b)/(1 + a_2)^{1/2}$	LAI	Richardson and Wiegand, 1977
Wide Dynamic Range Vegetation Index	$WDRVI = (0.1R_{NIR} - R_{red})/(0.1R_{NIR} + R_{red})$	LAI, tutupan vegetasi, biomasa	Gitelson, 2004
Soil Adjusted Vegetation Index	$SAVI = (R_{NIR} - R_{red})(1 + L)/(R_{NIR} + R_{red} + L)$	LAI	Huete, 1988
Transformed Soil Adjusted Vegetative Index	$TSAVI = a(R_{NIR} - aR_{red} - b)/(R_{red} + aR_{NIR} - ab)$	LAI, Biomasa	Baret <i>et al.</i> , 1989
Enhanced Vegetation Index	$EVI = 2.5(R_{NIR} - R_{red})/(R_{NIR} + 6R_{red} - 7.5R_{blue} + 1)$	LAI, Biomasa	Huete <i>et al.</i> , 2002
Green NDVI	$(R_{NIR} - R_{green})/(R_{NIR} + R_{green})$	PAR intersepsi, tutupan vegetasi	Buschmann and Nagel, 1993; Gitelson and Merzlyak, 1994; Gitelson <i>et al.</i> , 1996
Red Edge NDVI	$(R_{NIR} - R_{rededge})/(R_{NIR} + R_{rededge})$	PAR intersepsi, tutupan vegetasi	Gitelson and Merzlyak, 1994
Visible Atmospherically Resistant Indices	$VARI_{green} = (R_{green} - R_{red})/(R_{green} + R_{red})$	Fraksi hijauan tanaman	Gitelson <i>et al.</i> , 2002b
	$VARI_{rededge} = (R_{rededge} - R_{red})/(R_{rededge} + R_{red})$	Fraksi hijauan tanaman	Gitelson <i>et al.</i> , 2002b
Chlorophyll Indices	$CI_{green} = (R_{NIR}/R_{green}) - 1$	LAI, GPP, Klorofil	Gitelson <i>et al.</i> , 2003b, 2005
	$CI_{red edge} = (R_{NIR}/R_{rededge}) - 1$	LAI, GPP, Klorofil	Gitelson <i>et al.</i> , 2003b, 2005
-	$R_{800} - R_{550}$	Biomassa tanaman	Buschmann and Nagel, 1993
-	R_{550}	Klorofil	Carter, 1994
-	R_{700}^{-1}	Klorofil	Gitelson <i>et al.</i> , 1994
-	$\log(1/R_{737})$	Klorofil	Yoder and Pettigrew-Crosby, 1995

Keterangan: LAI = leaf area index, GPP = gross primary productivity, PAR = photosynthetically active radiation
 Sumber: Hatfield J. L. *et al.*, (2008)

Beberapa ulasan tentang hubungan LAI dan penginderaan jauh ternyata cukup erat dan juga terkait dengan potensi produksi tanaman karet.

Aplikasi Penginderaan Jauh di Bidang Tanah dan Iklim

Tanah merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman karet. Implikasi adaptasi secara genetik akan membentuk populasi dengan spesifik species yang mampu merespon lingkungan. Dua komponen lahan secara abiotik adalah iklim dan tanah. Kedua faktor ini merupakan faktor utama yang membentuk adaptabilitas suatu tanaman. Distribusi tanaman secara geografis dan ekologi dengan karakteristik fisiologi yang berbeda akan membentuk pola adaptabilitas tanaman terhadap tanah dan iklim (Vega, 1996).

Produksi tanaman karet dipengaruhi oleh beberapa faktor. Azwar *et al.* (2000) menyebutkan bahwa produksi tanaman karet pada suatu wilayah tertentu dipengaruhi oleh 3 faktor utama yaitu faktor potensial genetik bahan tanam (*genetic potential of planting material*), lingkungan (*environment*), dan interaksi antara faktor genetik dan lingkungan (*interaction between planting material and location*). Aplikasi penginderaan jauh di bidang tanah secara umum sudah banyak dilakukan tetapi khusus di bidang perkebunan karet belum banyak dilakukan. Sudah banyak penelitian yang mengupas tentang nilai pantulan karakteristik tanah seperti tekstur, bahan organik, kandungan besi oksida, dan kandungan hara tanah (Iron *et al.*, 1989, Ben-Dor *et al.*, 1999, Barnes and Backer, 2000). Karakteristik tanah tersebut merupakan salah satu variabel yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman.

Boettinger *et al.*, 2008 menyebutkan bahwa kombinasi data citra Landsat yang digabungkan dengan data kondisi muka lahan dapat dimanfaatkan untuk memetakan tanah secara cepat terutama di daerah arid dan semi arid. Selain itu pemanfaatan citra satelit

ASTER dan data ketinggian untuk membuat model hubungan antara jenis tanah dan bentuk muka lahan (*landscape model*). Model ini digunakan dapat dilakukan untuk memperbaharui atau mendampingi survei tanah secara konvensional (Howel *et al.*, 2008).

Selain pada bidang pemetaan tanah, penginderaan jauh dapat digunakan untuk mengetahui dengan cepat kondisi hara tanaman secara kualitatif. Porder *et al.* (2005) melaporkan bahwa perbandingan analisa keadaan hara menggunakan data langsung dan data foto udara AVIRIS menunjukkan hasil yang cukup baik. Selain tanah pengembangan penginderaan jauh di bidang klimatologi juga sudah cukup berkembang.

McVicarn dan Jupp (1998) menyebutkan bahwa penginderaan jauh dapat digunakan untuk memonitor kekeringan. Mereka membagi 4 metode dengan melihat kondisi agronomi yaitu kondisi vegetasi dengan memanfaatkan nilai pantulan spektral, monitoring kondisi lingkungan dengan memanfaatkan nilai pantulan termal, kondisi kelengasan tanah dengan menggunakan panjang gelombang pendek (*microwave*) dan kondisi penurunan kualitas lingkungan (*environmetal stress*) dengan mengkombinasi nilai pantulan dan termal. Beberapa hasil penelitian yang diuraikan di atas menunjukkan bahwa pemanfaatan penginderaan jauh khususnya di bidang tanah cukup besar sehingga kemungkinan aplikasi juga dapat dilakukan.

Aplikasi Penginderaan Jauh di Bidang Penyakit Tanaman

Penyakit tanaman karet di Indonesia dan di berbagai negara penghasil karet alam di dunia, merupakan salah satu kendala utama dan sering menimbulkan kerugian ekonomi yang sangat berarti, dan bahkan kadang-kadang dapat menggagalkan usaha perkebunan karet. Jenis tanah yang kompleks dan iklim tropis yang basah yang ada di Indonesia memungkinkan timbul dan berkembangnya berbagai penyakit tanaman karet baik yang ada

di akar, batang, bidang sadap, cabang, rating, dan daun (Soekirman dan Setiawan, 2005).

Pemanfaatan penginderaan jauh untuk memonitor kondisi suatu penyakit tanaman kehutanan sudah banyak diteliti. Kerusakan pada hutan merupakan sisi negatif dari pengelolaan hutan. Hal tersebut muncul jika pertumbuhan tanaman terhambat dan meningkatnya tanaman yang mati. Penyebab kerusakan disebabkan oleh berbagai macam faktor yaitu faktor biologi, hidrologi, dan kondisi iklim. Secara biologi disebabkan oleh serangan serangga, jamur, dan berbagai macam penyakit yang melebihi ambang batas. Sedangkan secara hidrologi atau kondisi atmosfer misalnya banjir dan angin (Ramsey *et. al.*, 1998; Mukai and Hasegawa, 2000).

Teknik monitoring kesehatan hutan menurut Dendron Resources Inc (1997) dapat dilakukan dengan 2 hal yaitu deteksi perubahan pola fisiologi tanaman karena *stress* yang disebabkan lingkungan. Indikasi ini didapatkan dari pola pantulan daun, sifat kimia tajuk, dan indikator biologi lainnya. Serta monitoring perubahan tingkat kesehatan tanaman dengan mengevaluasi data secara berkelanjutan sehingga didapatkan data yang berurutan dari tahun ke tahun (*time series*) perubahan kondisi tanaman. Perubahan nilai spectral pantulan daun yang sehat dan tidak akan tampak terlihat pada citra satelit. Berdasarkan hasil nilai pantulan tersebut, penginderaan jauh dapat digunakan untuk deteksi dini tanaman yang tidak sehat, pemetaan dampak kerusakan, dan prakiraan secara kuantitatif kondisi hutan tersebut.

Penelitian Lawrence dan Labus (2003) tentang pemetaan dan deteksi serangan kumbang (*beetle*) pada tanaman *Douglas fir* menggunakan *Hyperspectral satellite* menunjukkan hasil bahwa nilai pantulan (*spectral value*) berbeda antara tanaman yang sehat (*health*), tanaman yang terserang (*attacked*), dan tanaman yang mati (*dead*). Nandris *et. al.* (1985) melakukan monitoring penyakit jamur akar putih (*Rigodoporus lignosus*) (JAP) dengan menggunakan foto udara inframerah di Pantai Gading. Penelitian belum menunjukkan hasil yang

menggembirakan tetapi menjadi bukti bahwa penelitian penyakit dapat didekati secara kualitatif menggunakan penginderaan jauh. Hasil rekomendasi terbaru *workshop* JAP di Indonesia tahun 2007 yang dihadiri Peneliti Penyakit Karet lingkup ASEAN menghasilkan bahwa penelitian dan monitoring JAP dapat dikembangkan dengan penginderaan jauh.

Sistem Manajemen Lahan Menggunakan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis di Perkebunan Karet

Sistem perkebunan berkelanjutan akan terwujud hanya apabila lahan untuk sistem perkebunan digunakan secara tepat dengan cara pengelolaan lahan yang sesuai. Apabila lahan tidak digunakan dengan tepat, produktivitas akan cepat menurun dan ekosistem menjadi terancam kerusakan. Penggunaan lahan yang tepat selain menjamin bahwa lahan dan alam memberikan manfaat untuk pemakai pada masa kini, juga menjamin bahwa sumberdaya alam ini bermanfaat untuk generasi penerus di masa-masa mendatang (Amien, 2001).

Pada tanaman karet, lateks yang dihasilkan bukan berupa bentukan sel-sel baru seperti pada pembentukan buah atau biji, tetapi merupakan sitoplasma yang unik yang disintesis dalam sel khusus yang disebut pembuluh lateks. Pembuluh lateks ini dibentuk dari kambium vaskuler. Regenerasi lateks berlangsung di dalam sistem sel khusus tersebut. Berbeda dengan tanaman perkebunan yang lain seperti kopi, kakao, kelapa, atau kelapa sawit, pada tanaman karet hasil panennya diperoleh dengan melukai kulit, karena pembuluh lateks berada di dalam kulit. Semakin besar lilit batang dan semakin tebal kulitnya, maka akan semakin banyak produktivitas lateksnya. Untuk itu pertumbuhan vegetatif lebih utama dibanding pertumbuhan generatif (Sudiharto, 2005). Telah diuraikan pada bab sebelumnya bahwa penginderaan jauh merupakan suatu cara untuk mendapatkan informasi secara cepat sehingga permasalahan yang terkait dengan

cara tersebut dapat diatasi dengan cepat dibandingkan dengan cara konvensional.

Penanganan manajemen lahan diperkebunan karet umumnya dilakukan secara sepotong-sepotong, tidak menyeluruh atau secara spasial sehingga pada akhirnya hasil yang didapatkan tidak maksimal dan tidak berkelanjutan. Luas lahan yang lebih dari 1.000 ha dengan topografi umumnya adalah berombak sampai dengan berbukit memerlukan teknologi yang cepat, akurat, dan dapat dipertanggungjawabkan untuk mengintegrasikan masalah dengan cakupan wilayah tersebut. Permasalahan utama jika diurutkan dari yang terberat sampai dengan teringan secara umum adalah pengelolaan produksi karet, pengelolaan penyakit, pengelolaan hara (pemeliharaan tanaman).

Pengelolaan produksi berdasarkan pendekatan spasial ekologis yang memperhatikan kondisi lahan (tanah, iklim, dan tanaman) belum diaplikasikan dengan baik di perkebunan karet sehingga taksasi produksi yang dijadikan acuan untuk mendapatkan produksi pada tahun berjalan berikutnya tidak sesuai dengan potensi tanaman, iklim, ataupun tanah. Taksasi yang tidak sesuai ini menyebabkan eksploitasi kulit menjadi berlebihan sehingga pemakaiannya tidak sesuai dengan norma yang pada akhirnya, pola produksi yang diset selama 25 tahun menjadi menurun kurang dari 15 tahun. Susetyo *et al.*, 2008 telah membuat model estimasi produksi tanaman karet menggunakan pendekatan ekologis yaitu potensi karet (klon tertentu), tanah (drainase), dan iklim (ketinggian, curah hujan, bulan kering, dan hari hujan). Hasil prediksi ini telah diverifikasi pada sampel-sampel kebun di propinsi Jawa Barat, Jawa Timur, dan Jawa Tengah dengan tingkat akurasi mencapai 89,90 %. Model ini belum dikembangkan secara spasial ekologis sehingga potensi produksi dari tingkat hancur, afdeling, dan kebun belum dapat dibuat secara baik.

Penginderaan jauh dan sistem informasi geografis sangat berperan untuk menentukan taksasi produksi ini secara spasial. Ketinggian tempat dapat diturunkan dengan memanfaatkan citra radar SRTM, pola

drainase tanah dapat diturunkan dengan menggunakan citra SRTM dan ASTER menggunakan metode *Campling et al.*, 2002. Hasil peta ketinggian dan drainase kemudian *dioverlay* dengan peta tanah (tekstur) dan digabungkan dengan data iklim menggunakan *software* sistem informasi geografis. Setelah didapatkan nilai potensi produksi tersebut maka hal lain yang perlu diperhatikan adalah penyakit. Pola serangan penyakit tidak sama untuk masing-masing kebun. Aktifnya penyakit ini juga dapat didekati secara spasial ekologis sehingga penanaman tanaman karet yang secara genetik tahan terhadap serangan penyakit tertentu pada blok tertentu dapat dilakukan. Penelitian pendekatan secara spasial ekologis potensi penyakit tanaman karet belum banyak dilakukan di Indonesia. Oleh karena itu dengan majunya teknologi pemetaan terutama penginderaan jauh dan SIG, integrasi pengelolaan perkebunan dengan memperhatikan ekologi secara spasial akan meningkatkan produktivitas lahan dan tingkat produksi yang bersifat stabil tinggi.

Pemupukan merupakan bagian dari pemeliharaan tanaman pada suatu sistem perkebunan. Selama ini proses analisa kebutuhan pupuk tiap tahun masih dilakukan secara konvensional dengan pendekatan kuantitatif. Penginderaan jauh sebagai salah satu ilmu untuk mengamati pola keruangan kekurangan hara suatu tanaman mungkin dapat dilakukan. Calvo-Alvarado *et al.* (2008) mengemukakan bahwa pengetahuan tentang bagaimana nilai spektral daun berubah karena pengaruh karakteristik tanah merupakan kunci interpretasi antar spesies pada tumbuhan. Sebab penampakan daun dipengaruhi oleh umur, posisi kanopi, dan kesuburan tanah. Model komprehensif tentang nilai spektral daun suatu tanaman harus memperhatikan hubungan tanah, hara, dan tanaman. Hasil penelitiannya menyebutkan bahwa konsentrasi hara tanah dan tingkat keracunan mempengaruhi nilai spektral yang dipantulkan.

Penelitian Porder *et al.* (2005) telah membandingkan ketersediaan hara (tanaman tropik di daerah Hawaii) antara perhitungan konvensional dan dengan metode

penginderaan jauh (Citra AVIRIS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan data penginderaan jauh memberikan kontribusi yang cukup baik terutama untuk kandungan hara fosfor dalam daun. Hasil ini menunjukkan bahwa penginderaan jauh dapat berperan untuk memonitor efisiensi pemupukan pada suatu perkebunan karet.

Pembuatan sistem informasi perkebunan yang mengintegrasikan data penginderaan jauh, data survei lapangan secara temporal dengan sistem informasi geografis (SIG) merupakan suatu cara untuk mengelola lahan perkebunan secara utuh. Teknik ini belum banyak diterapkan oleh perkebunan besar di Indonesia baik perkebunan negara, swasta, ataupun rakyat.

Kesimpulan

Aplikasi penginderaan jauh di bidang perkebunan khususnya untuk tanaman karet dapat dilakukan. Beberapa penelitian di bidang penyakit, tanah dan iklim, dan agronomi telah banyak dilakukan sebelumnya untuk jenis tanaman lainnya. Integrasi dengan SIG merupakan salah satu cara untuk memonitor keadaan tanaman secara spasial. Integrasi keduanya yaitu penginderaan jauh dan SIG dapat diaplikasikan dan sangat membantu untuk mengelola lahan di perkebunan karet.

Daftar Pustaka

- Amien, I. 2001. Pemanfaatan sumberdaya lahan dengan pendekatan agroekologi dalam menyongsong otonomi daerah. Dalam Seminar Nasional Ilmu Tanah: Peran Manajemen Sumberdaya Lahan terhadap Pengembangan Wilayah. Keluarga Mahasiswa Ilmu Tanah, Jurusan Tanah, Fak. Pertanian, UGM. Yogyakarta.
- Azwar, R., A. Daslin, I. Suhendry, dan S. Woelan. 2000. Quantifying genetical and environment factors in determining rubber crop productivity. Proceedings Indonesian Rubber Conference and IRRDB Symposium. Indonesian Rubber Research Institute, 1:143-149.
- Baret, F., G. Guyot, and D. J. Major. 1989. TSAVI: A vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation. Proc. IGARRS 0/12th Canadian Symposium on Remote Sensing, Vancouver, Canada. Vol. 3:1355-1358.
- Barnes, E. M. and M. G. Baker. 2001. Multispectral data for mapping soil texture: possibilities and limitations. Appl. Eng. Agn'c. 16: p 731-741.
- Ben-Dor, E., J. Irons, and G. Epema. 1991. Soil reflectance. In Rencz, A. (Ed). Manual of remote sensing. 3rd ed. Wiley.
- Birth, G. S. and G. Mc Vey. 1968. Measuring the color of growing turf with a reflectance spectrophotometer. Agron. J., 60:640-643.
- Blackburn, G. A. 1998. Quantifying chlorophylls and carotenoids at leaf and canopy scales: an evaluation of some hyperspectral approaches. Remote Sens. Environ., 66:273-285.
- Boettinger, J. L., R. D. Ramsey, J. M. Bodily, N. J. Cole, Kienast-Brown, S. Nield, S. J. Saunders, A. M. and Stum, A. K. 2008. Landsat spectral data for digital soil mapping in digital soil mapping with limited data in Hartemink A. E., A. McBratney, de Lourdes Mendonc, a-Santos (Eds). Springer Science+Business Media, New York.
- Buschmann, C. and E. Nagel. 1993. In vivo spectroscopy and internal optics of leaves as basis for remote sensing of vegetation. Int. J. Remote. Sens., 14:711-722.
- Calvo-Alvarado, J. C., M. Kalacska, G. A. Sanchez-Azofeifa, and L. S. Bell. 2008. Effect of soil type on plant growth, leaf nutrient/chlorophyll concentration, and leaf reflectance of tropical tree and grass species in hyperspectral remote sensing of tropical and subtropical forests in Kalacska, M. and G. A. Sanchez-Azofeifa (Eds). CRC Press Taylor and Francis Group. Boca Raton.
- Campling, P., A. Gobin, J. Feyen. 2002. Logistic modeling to spatially predict the probability of soil drainage classes. Soil Science Society of America Journal 66, 1390-1401.

- Carter, G. A. 1994. Ratios of leaf reflectances in narrow wavebands as indicators of plant stress. *Int. J. Remote Sens.*, 15:697–703.
- Deering, D. W. 1978. Rangeland reflectance characteristics measured by aircraft and spacecraft sensors. Ph.D. Diss. Texas A and M Univ., College Station.
- Delalieux, S., B. Somers, S. Hereijgers, W. W. Verstraeten, W. Keulemans, and P. Coppin. 2008. A near-infrared narrow-waveband ratio to determine leaf area index in orchards. *Remote Sensing of Environment*. 112(3762–3772)
- Dendron Resources Inc. 1997. Bioindicators of forest health and sustainability. *Forest Res. Inf. Pap. No. 138*. Ontario Forest Research Institute, Sault Ste. Marie, Ontario.
- Gamon, J. A., J. Penuelas, and C. B. Field. 1992. A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. *Remote Sens. Environ.*, 41:35–44.
- Gitelson, A., M. Merzlyak, and H. Lichtenthaler. 1996b. Detection of red edge position and chlorophyll content by reflectance measurements near 700 nm. *J. Plant Physiol.*, 148:501–508.
- Gitelson, A. A. 2004. Wide Dynamic Range Vegetation Index for remote quantification of crop biophysical characteristics. *J. Plant Physiol.* 161:165–173.
- Gitelson, A. A., A. Viña, D. C. Rundquist, V. Ciganda, and T. J. Arkebauer. 2005. Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops. *Geophys. Res. Lett.*, 32:108403.
- Gitelson, A. A., A. Viña, T. J. Arkebauer, D. C. Rundquist, G. Keydan, and B. Leavitt. 2003b. Remote estimation of leaf area index and green leaf biomass in maize canopies. *Geophys. Res. Lett.*, 30(5):1248.
- Gitelson, A. A., and M. N. Merzlyak. 1994. Quantitative estimation of chlorophyll-a using reflectance spectra: Experiments with autumn chestnut and maple leaves. *J. Photochem. Photobiol.*, 22:247–252.
- Gitelson, A. A., Y. J. Kaufman, and M. N. Merzlyak. 1996a. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sens. Environ.*, 58:289–298.
- Gitelson, A. A., Y. J. Kaufman, R. Stark, and D. Rundquist. 2002b. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sens. Environ.*, 80:76–87.
- Hatfield, J. L., A. A. Gitelson, J. S. Schepers, and C. L. Walthall. 2008. Application of Spectral Remote Sensing for Agronomic Decisions. *Agronomy Journal* S-117.
- Hatfield, J. L., A. A. Gitelson, J. S. Schepers, and C. L. Walthall. 2008. Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. *Agronomy Journal*. S-117.
- Howell, D., Y. G. Kim, and C. A. Haydu-Houdeshell. 2008. Development and application of digital soil mapping within traditional soil survey: What will it grow into? In *Digital Soil Mapping with Limited Data* Hartemink A. E., Alex McBratney, M. de Lourdes Mendonc, a-Santos (Eds). Springer Science+Business Media, New York.
- Huete, A., K. Didan, T. Miura, E. P. Rodriguez, X. Gao, and L. G. Ferreira. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sens. Environ.*, 83:195–213.
- Huete, A. R. 1988. A soil-adjusted vegetative index (SAVI). *Remote Sens. Environ.*, 25:295–309.
- Irons, J. I., R. A. Weismiller, and G. W. Petersen. 1989. Soil reflectance. In G. Asrar (Ed). *Theory and applications of optical remote sensing*. Wiley.
- Jordan, C. F. 1969. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. *Ecology*, 50:663–666.
- Lawrence, R. and M. Labus. 2003. Early detection of Douglas-fir beetle infestation with subcanopy resolution hyperspectral imagery, *Western Journal of Applied Forestry*, 18(3), 202–206.
- Lillesand, T. M. and R. W. Kiefer. 1994. *Remote sensing and image interpretation*. John Willey and Sons Co, New York.
- McVicar, T. R. and D. L. B. Jupp. 1981. The current and potential operational uses of remote sensing to aid decisions on drought exceptional circumstances in Australia: a review. *Agric. Syst.* 57: p 399-468.

- Mukai, Y., and I. Hasegawa. 2000. Extraction of damaged areas of windfall trees by typhoons using Landsat TM data. *Int. J. Rem. Sensing*, 21: 647–654.
- Nandris, D., Tran van Canh, J. P. Geiger, H. Omont, and M. Nicole. 1985. Remote sensing in plant diseases using infrared colour aerial photography: applications trials in the Ivory Coast to root diseases of *Hevea brasiliensis*. *European Journal of Forest Pathology*, Vol. 15 (11-21)
- Porder, S., G. P. Asner, and P. M. Vitousek. 2005. Ground-based and remotely sensed nutrient availability across a tropical landscape. *PNAS*, 102 (31).
- Price, J. C. and W. C. Bausch. 1995. Leaf area index estimation from visible and near infrared reflectance data. *Remote Sensing of Environment*, 52: p 55–65.
- Ramsay, E. W., D. K. Chappell, D. M. Jacobs, S. K. Sapkota, and D. G. Baldwin. 1998. Resource management of forest wetlands: hurricane impact and recovery mapped by combining Landsat TM and NOAA AVHRR data. *Photogramm. Eng. Rem. Sensing*, 64: 733–738.
- Richardson, A. J., and C. L. Wiegand. 1977. Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogram. Eng. Remote Sensing*, 43:1541–1552.
- Righi, C. A. and M. S. Bernardes. 2008. The potential for increasing rubber production by matching tapping intensity to leaf area index. *Agroforest. Syst*, 72: p 1–13.
- Soekirman dan B. Setiawan, 2005. Pengenalan dan pengendalian penyakit tanaman karet. Balai Penelitian Getas, Salatiga.
- Soudani, K., C. François, G. le Maire, V. le Dantec, and E. Dufrêne. 2006. Comparative analysis of IKONOS, SPOT, and ETM+ data for leaf area index estimation in temperate coniferous and deciduous forest stands. *Remote Sensing of Environment*, 102: p 161–175.
- Sudiharto. 2005. Penanaman dan pemeliharaan tanaman karet disampaikan dalam pertemuan teknis perkebunan karet di Pontianak. Balai Penelitian Getas., Salatiga.
- Susetyo, I., H. Hadi, Setiono, dan Sugiarto. 2008. Estimasi produksi tanaman karet berdasarkan potensi klon, tanah, dan iklim pada daerah spesifik. Balai Penelitian Getas, Salatiga.
- Vega, M. P. 1996. Plant genetic adaptedness to climatic and edaphic environment. *Euphytica*, 92. 27-38.
- Yoder, B. J., and R. E. Pettigrew-Crosby. 1995. Predicting nitrogen and chlorophyll concentrations from reflectance spectra (400–2500 nm) at leaf and canopy scales. *Remote Sens. Environ.*, 53:199–211.