



LIDAR : PENGINDERAAN JAUH SENSOR AKTIF DAN APLIKASINYA DI BIDANG KEHUTANAN

Oleh :

Irvan Sunandar ¹, Deden Syarifudin ²

¹ Magister Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan,
Institut Teknologi Bandung, email : irvan_san@yahoo.com

² Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota Fakultas Teknik,
Universitas Pasundan, Bandung, email : dden.syar@gmail.com

ABSTRAK

Lidar adalah salah satu teknik penginderaan jauh dengan menggunakan sensor aktif. Kelebihan dari sensor lidar yang dapat mencari celah terkecil diantara kanopi dan memantul dari mulai pucuk pohon, mahkota, sampai permukaan tanah merupakan terobosan bermanfaat untuk pemetaan struktur vertikal hutan, estimasi stok karbon dan merupakan kemampuan yang diperlukan di dalam manajemen kehutanan.

Kata Kunci : Lidar, Manajemen kehutanan, Stok karbon, Struktur vertikal.

I. PENDAHULUAN

Mengelola hutan itu sangat sulit, terlebih menjaga kelestarian hutan membutuhkan energi lebih banyak. Sementara bukti-bukti terjadinya kerusakan hutan sudah sedemikian banyak, namun gambaran tentang kerusakannya masih tetap kabur karena data yang ada saling bertentangan, informasi yang tidak tepat, dan klaim serta bantahan yang saling bertentangan [FWI/GFW, 2001]. Oleh karena itu ada kebutuhan yang sangat mendesak untuk melakukan penilaian yang obyektif terhadap situasi hutan Indonesia, dan digunakan sebagai basis informasi yang benar bagi setiap individu atau organisasi dalam upaya melakukan perubahan positif.

Ragam metode telah dipakai untuk menghasilkan angka-angka terkait kondisi hutan kita, dari metode pengukuran langsung (*ground measurement*) sampai dengan metode penginderaan jauh / inderaja (*remote sensing*). Perbedaan informasi kehutanan terjadi karena tingkat akurasi yang berbeda diantara metode dan alat yang digunakan. Kita membutuhkan alat yang lebih akurat untuk mendapat data yang handal. Makalah ini membahas Lidar sebagai salah satu teknologi lama yang diutilisasi sehingga memiliki akurasi tinggi untuk inventarisasi hutan sebagai salah satu aplikasinya¹. Lidar (*Light Detection And Ranging*) adalah bagian sistem inderaja yang

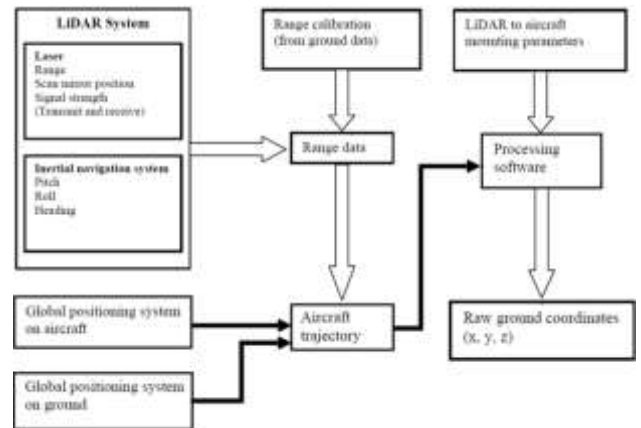
¹ GPS dan INS memungkinkan geometri Lidar terukur dengan teliti.

menggunakan sensor aktif (menggunakan sumber energi-nya sendiri, bukan dari pantulan sinar matahari), dan bekerja dengan membandingkan karakteristik sinyal transmisi dan pantulannya (selisih waktu rambat pulsa, panjang gelombang, dan sudut pantulan) [Wehr, 1999].

II. TEORI (Prinsip Kerja LiDAR)

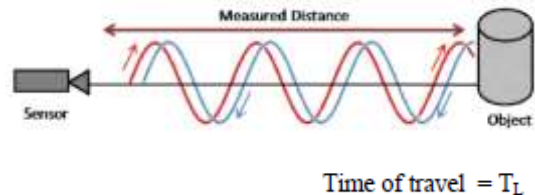
Lidar menggunakan laser (*light amplification by stimulated emission of radiation*) yaitu instrumen yang mengaplikasikan arus listrik kuat pada material *lasable*² yang menghasilkan energi radiasi berupa emisi cahaya yang kuat. Emisi cahaya yang dihasilkan membentuk gelombang koheren sehingga beda fasa tetap konstan walaupun terjadi interferensi. Dibantu dengan perkembangan teknologi INS (*Inertial Navigation System*) yang akurat di akhir tahun '90-an (0,008° presisi), membuat lidar memiliki akurasi yang memadai untuk digunakan di bidang pemetaan. INS dapat menghitung kontrol presisi dan merekam perubahan posisi wahana pesawat (*roll, pitch, yaw*). Untuk posisi horisontalnya ditambahkan GPS (*Global Positioning Systems*) yang memberikan posisi geografis dari pesawat dengan ketelitian tinggi (10 – 50 cm, *on the fly*) [GIM International, 2007].

Gambar 1. beberapa instrumen terkait Lidar dan alur pengolahan data-nya [Lohan, 2010].



Untuk mengukur jarak dari sebuah pancaran radiasi gelombang elektromagnetik dipergunakan ukuran beda fasa antara gelombang transmisi dan pantul. Beda fasa dipergunakan terlebih dahulu untuk mengukur waktu tempuh T_L (*time of travel*) dengan rumusan berikut [Lohan, 2010] :

$$T_L = nT + \frac{\phi}{2\pi}T$$



² Material penghasil cahaya karena tumbukan proton, umumnya material ini berupa gas atau kristal (*carbon dioxide, helium-neon, argon, rubies, dsb*).

Dimana n adalah jumlah gelombang penuh, T adalah waktu ditempuh cahaya yang diperlukan untuk menempuh satu panjang gelombang dan ϕ adalah beda fasa. Nilai n yang tidak diketahui dihitung oleh alat modulasi. Maka R atau jarak dapat dihitung dengan rumus :

$$R = \frac{T_L}{2} c \quad \text{For } n = 0$$

$$\text{Range } R = \frac{\phi}{4\pi} Tc = \frac{\phi}{4\pi} \frac{c}{f}$$

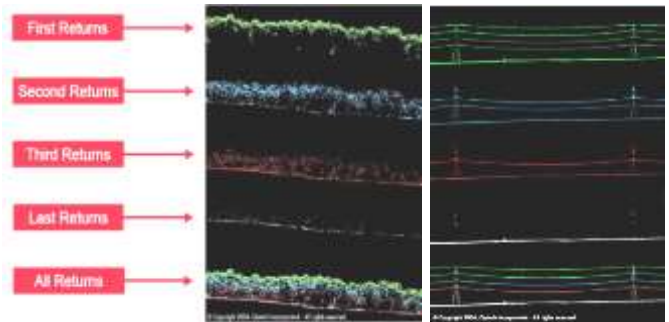
$$\text{so } \Delta R = \frac{c}{4\pi} \frac{\Delta\phi}{f}$$

Tabel 1. Salah satu spesifikasi Lidar komersil tinggi terbang, panjang gelombang, akurasi hor. & ver., repetisi laser, orientasi posisi, lebar scan, dsb [Optech, 2011].

Parameter	H 200	C 200
Operational envelope ¹	200-250 m AGL, nominal	50-1000 m AGL, nominal
Laser wavelength ²	1540 nm	1540 nm
Horizontal accuracy ³	1/1,500 x altitude	1/1,300 x altitude
Elevation accuracy ³	<5-15 cm, 1σ	<5-10 cm, 1σ
Effective laser repetition rate	50-280 kHz	100-200 kHz
Position and orientation system	POS AV™ 510 (3DM) GPS/GNSS 1-band receiver	POS AV™ 430 (3DM) GPS/GNSS 6-band receiver
Scan width (FOV)	Programmable: 50° max.	
Scan frequency	Programmable: 70 Hz max.	
Beam divergence	0.25 mrad (1.4°)	
Roll compensation	Programmable: 97 mm.	
Minimum vertical target separation distance	<0.7 m	
Range capture	Up to 4 range measurements for each pulse, including last	
Intensity capture	Up to 4 intensity returns for each pulse, including last	
Intensity measurement	12-bit dynamic measurement and data range	
Data storage	Internal SSD, External SSD (optional)	
Image capture	60 MP medium format camera (optional)	
Power requirements	28V, 300W, 12 A.	
Dimensions and weight	340 x 146 x 250 mm, 27 kg.	

Lidar dapat merekam beragam sinyal pantulan dari beberapa layer permukaan, sinyal primer dipantulkan oleh permukaan paling atas, sedangkan sinyal kedua dan seterusnya dipantulkan dari beberapa lapis permukaan (tanaman rendah atau semak, pagar dan sebagainya) dan sinyal akhir adalah pantulan dari permukaan tanah. Karakteristik ini membuat lidar menjadi satu-satunya sensor yang dapat membedakan citra ke dalam multi layer [Campbell, 2007].

Gambar 2. *full waveform model*, seluruh sinyal pantulan direkam sesuai urutan kedatangan, *multi return* [Optech, 2011].



Kelebihan teknologi Lidar dibandingkan teknologi indera lainnya pada saat ini adalah:

1. Ketelitian tinggi (higher accuracy), vertikal 5-15 cm & Horizontal accuracy 30-50 cm;
2. Akuisisi & Pengolahan data lebih cepat, akuisisi 1000 km² dalam 12 jam & pembuatan DEM 1000 km² dalam 24 jam;
3. Mengurangi *human error*, sebagian besar proses berlangsung otomatis;
4. Tidak tergantung cuaca dan matahari, akuisisi dapat dilakukan siang dan malam;
5. Tembus kanopi, pulsa Lidar dapat mencari celah-celah kecil diantara kanopi sehingga permukaan tanah dapat diukur juga;
6. Densitas data sangat tinggi, Lidar dapat memancarkan 167,000 pulsa per detik, lebih dari 24 titik per m²;
7. Data 3D & *multiple returns*, dapat mengetahui struktur vertikal;
8. Tidak memerlukan GCP, hanya diperlukan *base station* untuk titik referensi, bermanfaat untuk dipakai di area yang sulit didatangi;
9. Informasi tambahan, energi pantul memiliki nilai amplitudo yang berbeda tergantung reflektan-nya dan

informasi ini berguna untuk proses klasifikasi;

10. Biaya, biaya satuan Lidar lebih mahal namun produk dengan yang dihasilkan berakurasi tinggi sehingga *cost benefit*-nya tinggi.

III. APLIKASI LIDAR DI BIDANG KEHUTANAN

a. Manajemen Kehutanan

Intisari dari manajemen hutan adalah menjaga keseimbangan antara proteksi hutan dan produksi hutan [Ibrahim, 2010]. Proteksi hutan adalah upaya kita untuk menjaga kondisi iklim dan kondisi fisik suatu negara pada level kenyamanan yang tinggi, terjaganya cadangan air tanah dan kesuburan tanah, konservasi keberagaman biologi hutan, serta kelestarian lingkungan. Sedangkan produksi hutan adalah upaya pemenuhan kebutuhan bahan baku industri (kayu olahan, tambang, perkebunan) yang diambil dari hutan agar tetap berada di level yang masih bisa ditolerir (*reasonable*) dan tidak merusak hutan.

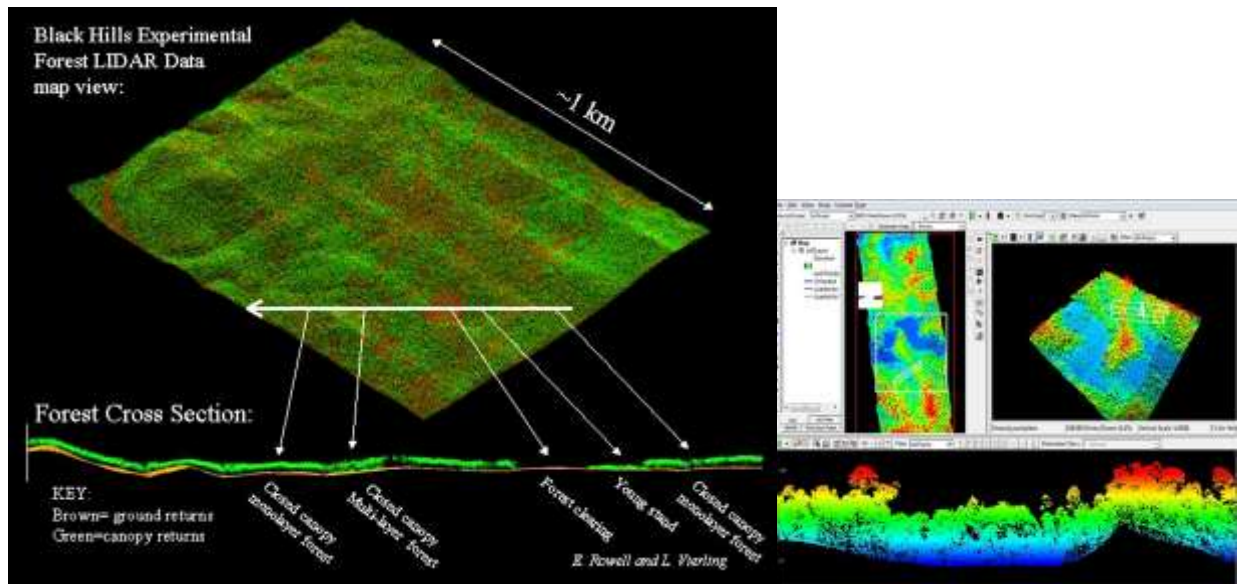
Kegiatan *logging* adalah usaha produksi hutan yang paling banyak membawa dampak negatif, seperti kerusakan cagar alam, erosi dan hilangnya serapan air, dan regenerasi pohon yang sangat lama. Karena itu diperlukan perencanaan matang dalam proses penebangan pohon secara selektif yang dapat mengurangi dampak dari metode *logging* konvensional di hutan tropis tertuang dalam *Standard for Reduced Impact Logging* [TFF, 2007].

TFF (Tropical Forest Foundation) merupakan organisasi nirlaba yang mendorong pengelola hutan untuk melakukan proses *logging* yang memperhatikan kelangsungan hutan (*sustainable*), dengan benefit dari TFF berupa sertifikasi RIL (*Reduced Impact Logging*) untuk tiap kayu yang diproduksi serta jasa penghubung dengan pasar internasional FML (*Forest Market Linking Program*). Syarat partisipan program di atas adalah melakukan :

1. Pemetaan pada skala operasional,
 - Peta topografi yang memuat kontur (1 m);
2. Inventarisasi sebelum penebangan,
 - Peta permukaan kanopi;
 - Peta tinggi pohon, disertai identifikasi lokasi pohon dan ukuran tiap-tiap pohon;
3. Perencanaan penebangan,
 - Peta aliran hidrologi, untuk desain aliran sungai atau cadangan air;
 - Peta jalan *logging*, untuk mengestimasi kerusakan akibat pembukaan koridor jalan;
4. Penebangan selektif, labelisasi kayu tebangan;
5. Penutupan area *logging* setelah penebangan.

Oleh karena itu manajemen hutan memerlukan peta 3 dimensi yang akurat, dan tentunya dapat dipenuhi dengan menggunakan teknologi Lidar.

Gambar 3. potongan melintang hutan dari data Lidar (dapat mengetahui usia hutan, seleksi pohon siap tebang dan area terdegradasi)



b. Struktur Vertikal Pohon

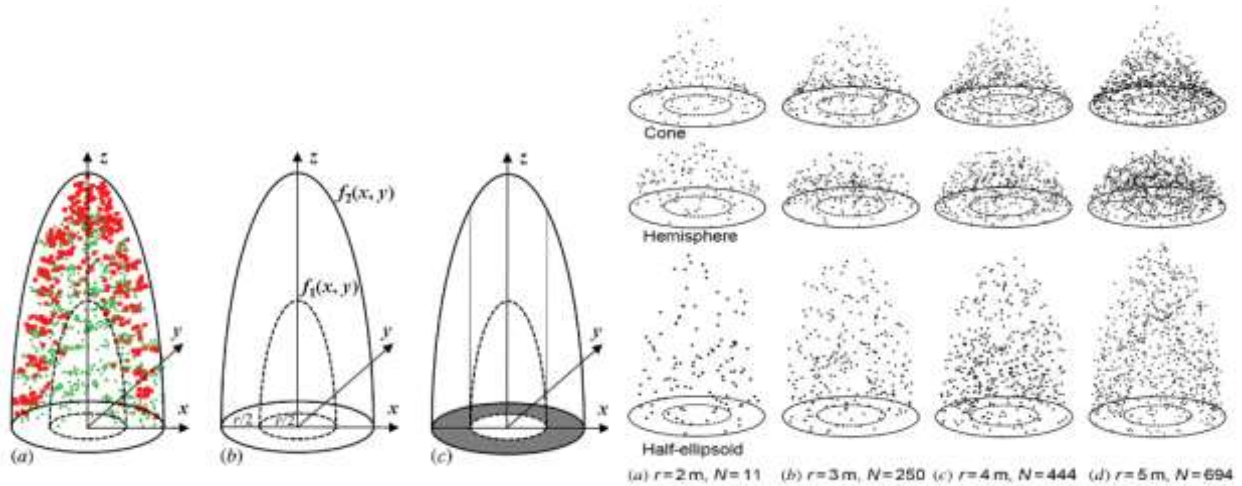
Lidar dapat dipakai untuk mengumpulkan data yang menggambarkan karakteristik struktur vegetasi. Sebagai contoh adalah sistem SLICER (*Scanning Lidar Imager of Canopies by Echo Recovery*), merupakan aplikasi lidar altimetri untuk mendapatkan detail informasi struktur vertikal dari kanopi vegetasi (merupakan informasi esensial untuk memahami fungsi dari ekosistem) karena kondisi lapangan yang sulit maka tidak mudah melakukan inspeksi lapangan secara langsung [Blair, 1994 dan Mallet, 2008].

Instrumen SLICER menggunakan radiasi near infrared ($1.06 \mu\text{m}$) sampai 10 – 15 m. Sebagian radiasi direfleksikan oleh kanopi, dan sebagian lagi dapat mencapai tanah (*ground*) melewati gap antar pohon. Keseluruhan sinyal laser dipelajari untuk memperoleh gambaran distribusi vertikal dari pantulan laser bagian-bagian kanopi (*foliar* dan *woody*) dan refleksi dari tanah. *Footprint* yang lebih besar (5 – 15 m) didesain untuk mencakup secara simultan keseluruhan pantulan dari kanopi dan

permukaan tanah, termasuk rekaman detail dari struktur mahkota pohon per individunya. Selisih perbedaan waktu antara sinyal inisial dan akhir menjadi basis hitungan untuk mengestimasi rata-rata tinggi pohon [Nelson, 1988].

Karena data lidar merekam karakteristik struktur dari hutan (tinggi pohon, kerapatan mahkota, ukuran mahkota, dan lain-lain) [Munakata, 2010 dan Peterson, 2005], maka lidar berpotensi untuk mengamati struktur 3 dimensi dari formasi vegetasi yang sangat sulit diperoleh menggunakan sensor lainnya. Sebagai contoh [Means, 2000 dan Lim, 2003] meneliti kemampuan lidar dengan percobaan *airborne* lidar dengan ukuran footprint 0.2 m sampai 0.9 m di daerah barat Oregon. Ia mendapatkan bukti bahwa Lidar efektif untuk mengestimasi area basal, tinggi, volume dan kerapatan kanopi. Berikut ini studi yang dilakukan Dong untuk memodelkan pohon dan bentuk mahkotanya menggunakan data Lidar, dari model dapat diklasifikasikan struktur knopi menjadi cone, half ellipsoid, dan hemisphere [Dong, 2010].

Gambar 4. (a) data Lidar dari profil melintang (b) geometri permukaan luar $f_2(x, y)$ & permukaan dalam $f_1(x, y)$ (c) zona luar & dalam (arsir); kelas model kanopi [Dong, 2010]



Titik acak dibuat di dalam lingkaran (dengan radius r di dalam bidang xy , dan ketinggian z) menggunakan rumusan berikut :

$$z(x, y) = f_2(x, y) + t \left(\left(\frac{r}{3}\right)^2 \leq x^2 + y^2 \leq r^2 \right) \quad (1)$$

$$z(x, y) = f_1(x, y) + (f_2(x, y) - f_1(x, y))t \left(x^2 + y^2 < \left(\frac{r}{3}\right)^2 \right) \quad (2)$$

Dimana t adalah angka acak antara 0 dan 1, rumus ke-1 di atas digunakan untuk ring dengan arsir (gambar). Rumus ke-2 untuk area di atas $f_1(x, y)$ dan di bawah $f_2(x, y)$.

c. Pengukuran Stok Karbon

Secara umum peningkatan konsentrasi gas rumah kaca termasuk diantaranya karbon dioksida (CO_2) akibat aktifitas manusia selalu dikaitkan sebagai faktor penyebab perubahan iklim dan dampak yang berasosiasi pada kesehatan, ketersediaan pangan, dan degradasi lingkungan hidup [Mendelsohn, 1999]. Kepedulian terhadap masalah global yang di induksi oleh peningkatan level CO_2 di atmosfer, telah mengalihkan pusat perhatian kita pada peranan hutan sebagai media penyimpanan karbon dunia. Hutan memainkan peranan penting di dalam rantai hidup karbon (*global carbon cycle*) karena hutan menyimpan sebagian besar karbon yang dihasilkan aktifitas manusia di dalam biomasa tanaman

dan juga dalam tanah [Falkowski, 2000]. Hutan Indonesia merupakan 40% luas areal hutan diseluruh Asia Tenggara, dan Sekitar 40 persen dari luas hutan pada tahun 1950 ini telah ditebang dalam waktu 50 tahun berikutnya. Jika dibulatkan, tutupan hutan di Indonesia turun dari 162 juta ha menjadi 98 juta ha [FWI/GFW, 2001].

Kebijakan di dalam mengurangi emisi karbon akibat deforestasi di hutan-hutan tropis membuka jalur insentif ekonomi dari negara-negara industri bagi negara-negara berkembang, salah satu-nya adalah program REDD (*Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation in Developing Countries*). Konsep REDD adalah mendorong negara berkembang untuk memelihara hutan tropis-nya dari deforestasi atau upaya reduksi emisi karbon dibawah batas ambang (peningkatan stok karbon berdasarkan referensi lampau dan proyeksi ke depan) [CIFOR, 2008]. Negara yang telah berhasil menunjukkan penurunan emisi karbon dapat menjual stok karbon yang mereka miliki di *carbon market* kepada negara industri yang berminat membeli untuk mengurangi kewajiban mereka meringankan akibat polusi industri. Walaupun polusi industri adalah dosa yang tidak dapat dihapuskan melalui model barter

stok karbon, namun setidaknya solusi bersama ini dapat meringankan beban bumi kita dalam menyangga siklus karbon.

REDD Indonesia telah mencatat keberhasilan di dalam menurunkan tingkat deforestasi dari 1.7% per tahun menjadi 0.7%, hal ini akan berlangsung lama dengan catatan dipakai teknik monitoring hutan yang akurat, transparan, realistis, dan objektif [Behrendt, 2011]. Hanya sedikit saja diantara teknologi yang mampu mengumpulkan parameter hutan dengan akurat dan waktu yang singkat. Langkah kebijakan mengurangi emisi karbon selanjutnya membutuhkan dukungan sains dalam implementasinya. Tantangan sains diantaranya adalah menentukan angka emisi, diperlukan pengetahuan berapa luas area hutan yang dibuka dan berapa cadangan karbon yang tersimpan di pohon-pohon tersebut. Teknologi yang ada berkisar dari pengukuran biomasa langsung melalui survei lingkaran dada pohon, inventarisasi dengan sensor optik (fotogrametri), citra satelit, radar sensor, dan laser sensor. Masing-masing pendekatan memiliki kelebihan dan kekurangannya tersendiri [Gibbs, 2007].

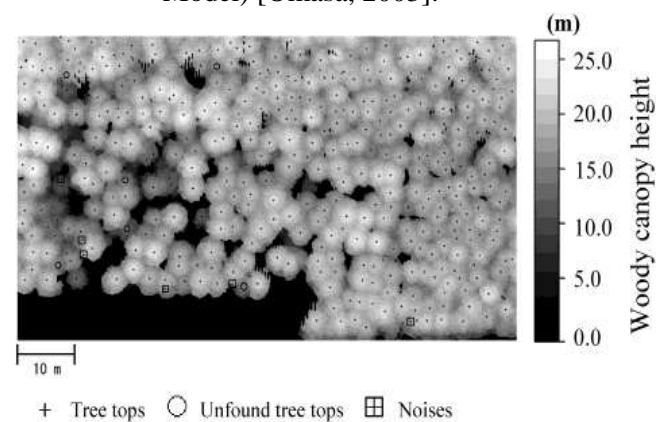
Cara langsung menghitung jumlah karbon yang tersimpan di hutan adalah dengan menebang pohon sebagai sampel, kemudian dikeringkan dan ditimbang biomasa-nya. Nilai karbon yang tersimpan adalah setengah dari bobot biomasa kering [Hese, 2005]. Walaupun metode ini sangat akurat namun pelaksanaannya membutuhkan ratusan pohon sampel, sangat destruktif, memakan waktu banyak dan tidak efisien untuk area yang luas (level nasional).

Studi lainnya mencoba menggunakan sensor optik untuk menghitung stok karbon. Pendekatannya dengan mengukur konversi lahan hutan tropis menjadi jenis lahan terbuka misalnya pertanian, permukiman (deforestasi) yang memicu pelepasan CO₂ ke atmosfer karena hilangnya biomasa tanaman, respirasi tanah atau terjadi pengurangan

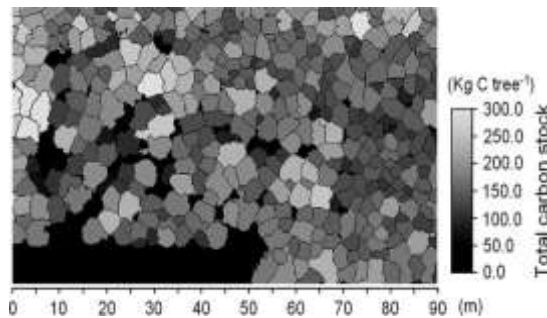
uptake CO₂ oleh tanaman. Hubungan antara perubahan lahan dan penurunan stok karbon disebutkan di dalam studi kasus pengamatan hutan di gunung Papandayan, Indonesia antara tahun 1994 sampai dengan 2001 oleh Pusat Penelitian Ekologi dan Biosistemik, ITB. Telah terjadi perubahan lahan hutan gunung Papandayan sebesar 2.702 ha menjadi lahan pertanian yang mengakibatkan penurunan stok karbon sebesar 828.432 mg atau sebesar 30% dari kondisi tahun 1994 = 2.772.575 mg [Sulistyawati, 2006]. Studi ini masih menyisakan ketidakpastian karena seiring dengan waktu terjadi peningkatan stok karbon di atas permukaan tanah yang tidak terdeteksi sensor optik pasif yang hanya menerima pantulan kanopi serta kapasitasnya hanya citra 2 dimensi.

Teknik lain dengan menggunakan Lidar, sensor aktif mengirimkan pulsa cahaya laser dan mengukur selisih waktu sinyal pantul untuk menghitung langsung tinggi pohon dan struktur vertikal-nya. Cahaya mencapai kanopi dan permukaan tanah, kemudian direfleksikan kembali menuju sensor. Kemudian stok karbon diestimasi dengan menerapkan hubungan alometrik antara tinggi dari Lidar dan data cadangan karbon dari sampel lapangan [Omasa, 2003 dan Hirata, 2009].

Gambar 4. puncak tertinggi tiap pohon dari DCHM (Digital Canopy Height Model) [Omasa, 2003].



Gambar 5. Total Stok Karbon Dari Setiap Pohon, Area Poligon Menunjukkan Cakupan Kanopi Setiap Pohon [Omasa, 2003].



IV. SIMPULAN DAN TREND KE DEPAN

Lidar berpotensi untuk mendukung beberapa kegiatan kehutanan, mulai dari inventarisasi pohon, mengukur struktur vertikal pohon dan mengestimasi stok karbon yang ada di hutan. Kemampuan pencitraan 3 dimensi merupakan kelebihan tersendiri dari Lidar, beragam model dengan mudah dapat dibuat untuk memahami ekosistem hutan berdasarkan data x, y, z dari Lidar.

Untuk pengumpulan data dengan cakupan area hutan yang lebih luas serta teknik yang lebih ekonomis diperlukan sistem lidar yang menggunakan wahana satelit. Trend ke depan ini sudah dirintis oleh beberapa negara (terutama Amerika melalui program DESDynI oleh NASA), hanya saja sangat disayangkan rencana ini dibatalkan oleh Presiden Obama [The Intel Hub, 2011], kita berharap di masa mendatang program tersebut bisa diwujudkan.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Behrendt, R., Jain, A. (2011). *Airborne Laser Technology (LiDAR) Lights Up Forestry Mapping in Indonesia*. V1 Magazine.
- Blair, J. B, Coyle, J. L, (1994). *Optimization of an Airborne Laser Altimeter for*

Remote Sensing of Vegetation and Tree Canopies.

- Campbell, J. B. (2007). *Introduction to Remote Sensing*. New York : The Guildford Press.
- CIFOR. 2008. *Monitoring forest emissions: A review of methods*. Bogor, Indonesia : Center for International Forestry Research.
- Dong, P. (2010). *Sensitivity of LiDAR-derived three-dimensional shape signatures for individual tree crowns: a simulation study*. International Journal of Remote Sensing.
- Falkowski, P., dkk. (2000). *The Global Carbon Cycle: A Test of Our Knowledge of Earth as a System*. Science Magazine.
- FWI/GFW. (2001). *Keadaan Hutan Indonesia*. Bogor, Indonesia : Forest Watch Indonesia dan Washington D.C. : Global Forest Watch
- Gibbs, H. K., Sandra, B., Niles, J. O., Foley, J. A. (2007). *Monitoring and Estimating Tropical Carbon Stocks: making REDD a Reality*. Environmental Research Letter: IOP Publishing.
- GIM International. (2007). *Product Survey : Airborne LiDAR Sensors*.
- Hese, S., dkk. (2005). *Global Biomass Mapping for An Improved Understanding of the CO₂ balance*. Remote Sensing Environment.
- Hirata, Y. (2004). *The effects of footprint size and sampling density of airborne laser scanning to extract individual trees in mountainous terrain*. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.
- Hirata, Y., Furuya, N., Suzuki, M., Yamamoto, H. (2008). *Estimation of stand attributes in Cryptomeria japonica and Chamaecyparis obtusa stands from single tree detection using small-footprint airborne LiDAR data*. Journal of Forest Planning.

- Hirata, Y., Furuya, N., Suzuki, M., Yamamoto, H. (2009). *Airborne laser scanning in forest management: individual tree identification and laser pulse penetration in a stand with different levels of thinning*. Forest Ecology and Management
- Ibrahim, S. (2009). *Forest Management and Fragmentation in Tropical Forest*. Selangor : Forest Research Institute Malaysia.
- Lim, K., dkk. (2003). *LiDAR Remote Sensing of Forest Structure*. Progress in Physical Geography.
- Lohan, B. (2010). *Airborne Altimetric LiDAR: Principle, Data collection, processing and Applications*. India : IIT Kanpur, Departemen of Civil Engineering.
- Mallet, C., Bretar, F. (2008). *Full-Waveform Topographic Lidar: State of The Art*. Journal of Photogrammetry & Remote Sensing.
- Means, J. E, dkk. (2000). *Predicting Forest Stand Characteristics with Airborne Scanning Lidar*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing.
- Measures, R. M. (1984). *Laser Remote Sensing : Fundamentals And Applications*. John Wiley & Sons.
- Mendelsohn, R., Ariel, D. (1999). *Climate Change, Agriculture, and Developing Countries: Does Adaption Matter?*. The World Bank Research.
- Munakata, K., dkk. (2010). *Practical Application For Estimating The Crown Density of Conifers Using Lidar Data*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science.
- Nelson, R. , (1988). *Using Airborne Lasers to Estimate Forest Canopy and Stand Characteristics*. Journal of Forestry.
- Omasa, K, dkk. (2003). *Accurate Estimation of Forest Carbon Stocks by 3-D Remote Sensing of Individual Trees*. Environmental Science Technology.
- Peterson, B., dkk. (2005). *Use of LiDAR for Forestry Inventory and Forest Management Application*. Proceedings of the Seventh Annual Forest Inventory and Analysis Symposium.
- Sulistiyawati, E., dkk. (2006). *Estimation of Carbon Stock at Landscape Level using Remote Sensing: a Case Study in Mount Papandayan*. Indonesia : Environmental Technology and Management Conference.
- TFF. (2007). *Standard for Reduced Impact Logging*. USA: Tropical Forest Foundation.
- Watershed Sciences, Inc. (2010). *LiDAR Classification and Vegetation Analysis*.
- Wehr, A., Lohr, U. (1999). *Airborne Laser Scanning – An Introduction And Overview*. Journal of Photogrammetry & Remote Sensing.
- Zimble, D, A., dkk. (2003). *Characterizing Vertical Forest Structure Using Small-footprint Airborne LiDAR*. Remote Sensing of Environment.
- <http://www.optech.ca/prodaltm.htm>.
- <http://www.theintelhub.com/2011/04/05/obama-scrapped-program-that-would-ve-provide-early-warning-for-earthquakes.htm>.

