



CADANGAN KARBON DI KABUPATEN NUNUKAN, KALIMANTAN TIMUR: MONITORING SECARA SPASIAL DAN PEMODELAN

**Laporan tim proyek pengelolaan sumber daya alam
untuk penyimpanan karbon (formacs)**

**Diedit oleh:
Betha Lusiana
Meine van Noordwijk
Subekti Rahayu**

WORLD AGROFORESTRY CENTRE



CADANGAN KARBON DI KABUPATEN NUNUKAN, KALIMANTAN TIMUR: MONITORING SECARA SPASIAL DAN PEMODELAN

Laporan Tim Proyek Pengelolaan Sumber Daya Alam untuk
Penyimpanan Karbon (FORMACS)

Diedit oleh:

Betha Lusiana, Meine van Noordwijk dan Subekti Rahayu



WORLD AGROFORESTRY CENTRE (ICRAF)

Untuk informasi lebih lanjut harap hubungi:

World Agroforestry Centre

Transforming Lives and Landscapes
ICRAF Southeast Asia Regional Office

Jl. CIFOR, Situ Gede, Sindang Barang, Bogor 16680
PO Box 161, Bogor 16001, Indonesia
Tel: +62 251 625415; fax: +62 251 625416;
Email: icraf-indonesia@cgiar.org
ICRAF Southeast Asia website: <http://www.icraf.cgiar.org/sea> or
<http://www.worldagroforestrycentre.org/sea>

Ketentuan dan hak cipta

ICRAF memegang hak cipta atas publikasi dan *web page* laporan ini, namun memperbanyak untuk tujuan non-komersial dengan tanpa merubah isi yang terkandung di dalamnya diperbolehkan. Pencantuman referensi diharuskan untuk semua pengutipan dan perbanyak tulisan dari buku ini. Pengutipan informasi yang menjadi hak cipta pihak lain tersebut harus dicantumkan sesuai ketentuan. *Website link* yang disediakan oleh website kami menganut kebijakan tertentu yang perlu dihormati. Informasi yang diberikan oleh ICRAF, sepengetahuan kami akurat, namun kami tidak memberikan jaminan dan tidak bertanggungjawab apabila timbul kerugian akibat penggunaan informasi tersebut. ICRAF menyimpan basis data yang digunakan dalam penulisan informasi kami. Namun data tersebut tidak disebarluaskan. Bagi yang berkepentingan dipersilahkan menambahkan link dari website atau publikasinya ke website kami www.worldagroforestrycentre.org.

ISBN 979-3198-24-9

Foto cover:

Sampul Muka: Latar Belakang: Hutan di Nunukan (*CARE International Indonesia*); Kiri: Petani Nunukan conducting membantu survei pengambilan contoh cadangan karbon (*CARE International Indonesia*); Tengah: Kebun merica di desa Lubok Buat, Sembakung (*Kusuma Wijaya*); Kanan: Sistem jakaw pada masa bera, di dekat sungai Sembakung (*Kusuma Wijaya*)

Sampul Belakang: Kiri: Kayu tebang siap ditransportasikan melalui sungai Sebuku (*Kusuma Wijaya*); Tengah: Sistem jakaw sesaat setelah tebas bakar, desa Tanjung Harapan Village, Sembakung (*Kusuma Wijaya*); Kanan: Sistem padi gogo (*CARE International Indonesia*)

Sampul dalam: Sepasang anak kecil bermain dengan kano di sungai Sembakung sambil menunggu orang-tuanya bekerja di lahan pertanian mereka. Di latar belakang adalah sistem agrofrestri (*Kusuma Wijaya*)

Tata letak naskah & rancang sampul: Dwiati Novita Rini

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
KATA PENGANTAR	iii
1. PENDAHULUAN: MENGAPA MEMONITOR CADANGAN KARBON NUNUKAN?	
<i>Betha Lusiana, Garry A. Shea dan Meine van Noordwijk</i>	1
Perubahan Lahan sebagai sumber emisi CO ₂	1
Proyek Pengelolaan Sumber Daya Alam untuk Penyimpanan Karbon (FORMACS)	2
Kegiatan monitoring karbon di Nunukan	6
2. STUDI SOSIAL EKONOMI DI KECAMATAN SEBUKU DAN SEMBAKUNG, KABUPATEN NUNUKAN, KALIMANTAN TIMUR	
<i>Kusuma Wijaya, Nessy Rosdiana dan Betha Lusiana</i>	9
Pendahuluan	9
Metode	10
Kondisi Umum Kabupaten Nunukan	10
Hasil Survei Rumah Tangga	12
Diskusi	20
Kesimpulan	21
3. PENDUGAAN CADANGAN KARBON DI ATAS PERMUKAAN TANAH PADA BERBAGAI SISTEM PENGGUNAAN LAHAN DI KABUPATEN NUNUKAN, KALIMANTAN TIMUR	
<i>Subekti Rahayu, Betha Lusiana dan Meine van Noordwijk</i>	23
Pendahuluan	23
Metode	24
Hasil dan Pembahasan	27
Kesimpulan	35
4. ALIH GUNA LAHAN DI KABUPATEN NUNUKAN: PENDUGAAN CADANGAN KARBON BERDASARKAN TIPE TUTUPAN LAHAN DAN KERAPATAN VEGETASI PADA SKALA LANSEKAP	
<i>Atiek Widayati, Andree Ekadinata dan Ronny Syam</i>	37
Pendahuluan	37
Lokasi Studi	38
Data	38
Metode	40

Hasil dan Pembahasan	47
Kesimpulan	56
5. EKSPLORASI POLA IMBAL-BALIK ANTARA MANFAAT LOKAL DAN RESIKO GLOBAL MENGGUNAKAN MODEL SIMULASI: PENGHIDUPAN MASYARAKAT VERSUS CADANGAN KARBON DI NUNUKAN, KALIMANTAN TIMUR	
<i>Desi Ariyadhi Suyamto dan Meine van Noordwijk</i>	57
Pendahuluan	57
Tujuan	59
Inti Model FALLOW	60
Metodologi	63
Hasil	63
Diskusi	76
Kesimpulan	81
DAFTAR PUSTAKA	83
LAMPIRAN	87

KATA PENGANTAR

Laporan ini merupakan rangkuman dari beberapa studi yang dilakukan oleh Proyek FORMACS (Pengelolaan Sumber Daya Alam untuk Penyimpanan Karbon). Proyek tersebut terselenggara atas dana dari CIDA dan diimplementasikan oleh CARE Internasional Indonesia di Kabupaten Nunukan, Kalimantan Timur.

Ada empat kegiatan utama yang dilakukan pada program ini yaitu:

- Survei sosial ekonomi rumah tangga
- Pengukuran cadangan karbon
- Remote Sensing/analisis spasial untuk perubahan penggunaan lahan/penutupan lahan
- Model untuk simulasi dinamika cadangan karbon pada skala lansekap (bentang lahan)
- Kegiatan tersebut di atas dilakukan oleh tiga lembaga yaitu: Hatfindo, World Agroforestry Centre (ICRAF) and CARE Internasional Indonesia. Hatfindo dengan bantuan ICRAF bertanggung jawab atas kegiatan analisis spasial. ICRAF bertanggung jawab dalam merancang survei sosial ekonomi, menyediakan protokol untuk pengukuran cadangan karbon and melakukan analisis dengan model. CARE Internasional Indonesia sebagai pelaksana pengukuran cadangan karbon di lapang dan survei sosial ekonomi rumah tangga.

Kegiatan tersebut di atas dilakukan oleh tiga lembaga yaitu: Hatfindo, World Agroforestry Centre (ICRAF) and CARE Internasional Indonesia. Hatfindo dengan bantuan ICRAF bertanggung jawab atas kegiatan analisis spasial. ICRAF bertanggung jawab dalam merancang survei sosial ekonomi, menyediakan protokol untuk pengukuran cadangan karbon and melakukan analisis dengan model. CARE Internasional Indonesia sebagai pelaksana pengukuran cadangan karbon di lapang dan survei sosial ekonomi rumah tangga.

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada staff lapang CARE Internasional Indonesia (Abdul Azis, Ansori, Basuki Budi Santoso, Darmawan Setia Budi, Debit Losong, Dewi Maharani, Eko Sugiharto, Iwantoro, Joned, Jimmy Sukaputra, Nurhayati, Pery, Rico Sukaswanto dan Welly Brodus) yang telah mengumpulkan data di lapangan untuk keperluan pembuatan laporan ini. Masukan dari Susilo Adi Kuncoro pada Bab 1 dan Iwan Kurniawan pada Bab 5, telah banyak membantu penyelesaian laporan ini. Kepada mereka kami mengucapkan terima kasih. Ucapan terima kasih kami sampaikan pula kepada Dwiati Novita Rini yang telah membantu mengatur tata letak laporan ini dan kepada Tikah Atikah yang memberikan bantuan demi kelancaran proses pembuatan laporan ini.

Editor

Kontributor

CARE International Indonesia

Jl. Patimura No. 33
Kebayoran Baru
Jakarta 12110
Telephone: 021 7279 6661
Fax: 021 7222552

Garry A. Shea, PhD [garryshea@palu.wasantara.net.id]
Nessy Rosdiana [nessy@careind.or.id]

Hatfindo Prima

Jl. Bango 2-4
Tanah Sareal Bogor
Indonesia

Ronny Syam [rsyam@hatfieldgroup.com]

World Agroforestry Centre (ICRAF)

Jl. Cifor, Situ Gede
Sindang Barang
Bogor 16608
Telephone: 0251 625415
Fax: 021 625416

Andree Ekadinata [a.ekadinata@cgiar.org]
Atiek Widayati [a.widayati@cgiar.or]
Betha Lusiana [b.lusiana@cgiar.org]
Desi Ariyadhi Suyamto [d.suyamto@cgiar.org]
Kusuma Wijaya [k.wijaya@cgiar.org]
Meine van Noordwijk [M.van-Noordwijk@cgiar.org]
Subekti Rahayu [s.rahayu@cgiar.org]

1. PENDAHULUAN: MENGAPA MEMONITOR CADANGAN KARBON NUNUKAN?

Betha Lusiana, Garry A. Shea dan Meine van Noordwijk

Perubahan Lahan sebagai sumber emisi CO₂

Dalam dua dekade terakhir ini perubahan iklim global akibat meningkatnya suhu bumi menjadi isu yang ramai dibicarakan di kalangan masyarakat dunia. Selama akhir abad ini suhu bumi meningkat 0.6 °C. Faktor utama yang dianggap sebagai penyebab pemanasan global adalah peningkatan konsentrasi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer, yaitu karbon dioksida (CO₂), metan (CH₄) and N₂O. Selama dekade terakhir ini emisi CO₂ meningkat dua kali lipat dari 1400 juta ton tahun⁻¹ menjadi 2900 ton tahun⁻¹. Sementara itu, konsentrasi CO₂ di atmosfer pada tahun 1998 adalah 360 ppmv dengan laju peningkatan per tahun 1.5 ppmv (Houghton *et al.*, 2001).

Tingginya peningkatan konsentrasi CO₂ disebabkan oleh aktivitas manusia terutama perubahan lahan dan penggunaan bahan bakar fosil untuk transportasi, pembangkit tenaga listrik dan aktivitas industri. Secara akumulatif, penggunaan bahan bakar fosil dan perubahan penggunaan lahan dari hutan ke sistem lainnya memberikan sumbangan sekitar setengah dari emisi CO₂ ke atmosfer yang disebabkan oleh manusia, tetapi dampak yang terjadi saat ini mempunyai rasio 3:1. Pada aktivitas pembakaran bahan bakar fosil berarti karbon yang telah diikat oleh tanaman beberapa waktu yang lalu dikembalikan ke atmosfer. Dalam kegiatan konversi hutan dan perubahan penggunaan lahan berarti karbon yang telah disimpan dalam bentuk biomasa atau dalam

tanah gambut dilepaskan ke atmosfer melalui pembakaran ('tebas dan bakar') atau dekomposisi bahan organik di atas maupun di bawah permukaan tanah. Cadangan karbon dari suatu bentang lahan juga dapat dipindahkan melalui penebangan kayu, hanya saja kecepatannya dalam melepaskan C ke atmosfer tergantung pada penggunaan kayu tersebut. Diperkirakan bahwa antara tahun 1990 - 1999, perubahan penggunaan lahan memberikan sumbangan sekitar 1.7 Gt tahun⁻¹ dari total emis CO₂ (Watson *et al.*, 2000).

Menyadari akan adanya permasalahan perubahan iklim akibat kegiatan manusia ('antropogenik'), maka Konferensi Rio de Janeiro tahun 1992 mengidentifikasi bahwa emisi CO₂ ke atmosfer merupakan salah satu isu lingkungan global yang perlu diperhatikan. Oleh karena itu, maka dibentuklah The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) yang menangani kerangka kerja sama antar pemerintah dalam kaitannya dengan perkembangan perubahan iklim. Protokol Kyoto yang telah berlaku sejak 17 Februari 2005 lalu, disusun sebagai langkah awal dalam menerapkan usaha-usaha untuk menghentikan peningkatan emisi dan mengembalikan emisi bersih di negara-negara industri seperti sebelum tahun 1990. Karena perubahan lahan dapat menjadi sumber dan rosot ('sink') bagi CO₂ maka laju deforestasi dan pertumbuhan vegetasi berkayu menjadi bahan perdebatan secara global.

Kegiatan dan proyek yang meningkatkan upaya afforestasi dan reforestasi (AR) atau

menghindari deforestasi ('avert deforestation = ADEF) dapat mengurangi emisi bersih CO₂, tetapi mempunyai kebijakan yang berbeda dari sisi perubahan penggunaan bahan bakar fosil (minyak, gas dan batubara). Aktivitas AR didefinisikan sebagai konversi yang melibatkan manusia pada sistem penggunaan lahan non hutan menjadi hutan, melalui penanaman, penyebaran biji dan/atau memanfaatkan sumber biji alami. Proyek ADEF didefinisikan sebagai aktivitas untuk mencegah emisi karbon dengan melindungi hutan dari upaya 'deforestasi' dan 'degradasi'. Smith and Scherr (2003), melakukan studi secara mendalam mengenai resiko dan keuntungan dari kedua proyek tersebut.

Proyek Pengelolaan Sumber Daya Alam untuk Penyimpanan Karbon (FORMACS)

Proyek Pengelolaan Sumber Daya Alam untuk Penyimpanan Karbon (FORMACS)¹, yang didanai oleh CIDA dan diimplementasikan oleh CARE International Indonesia merupakan salah satu contoh proyek ADEF. Proyek FORMACS memfokuskan pada pengelolaan sumber daya hutan yang telah ada sebagai penyerap dan penyimpan karbon dengan mengadopsi program pengelolaan berbasis masyarakat. Secara khusus proyek ini mempromosikan kehidupan yang berkelanjutan melalui pertanian, agroforestri dan praktek pengelolaan hutan untuk mempertahankan cadangan karbon yang telah ada dan menyerap karbon dari atmosfer. Proyek berbasis masyarakat, seperti agroforestri, perkebunan skala kecil dan hutan sekunder yang diberakan berpotensi tinggi dalam memberikan keuntungan bagi kelangsungan hidup masyarakat lokal dan memberikan resiko paling sedikit (Smith and Scherr, 2003).

¹ lihat <http://www.dfait-maeci.gc.ca/jakarta/bilateral-eng-en.asp#Formacs> dan <http://www.rcfa-cfan.org/english/profile.19.htm> untuk informasi lebih lengkap mengenai proyek ini.

Lokasi studi Proyek FORMACS adalah di Kabupaten Nunukan, Provinsi Kalimantan Timur, Indonesia, khususnya di Kecamatan Sebuku dan Sembakung. Daerah Nunukan dianggap sebagai daerah yang sesuai dan berpotensi untuk implementasi proyek tersebut berdasarkan faktor-faktor berikut:

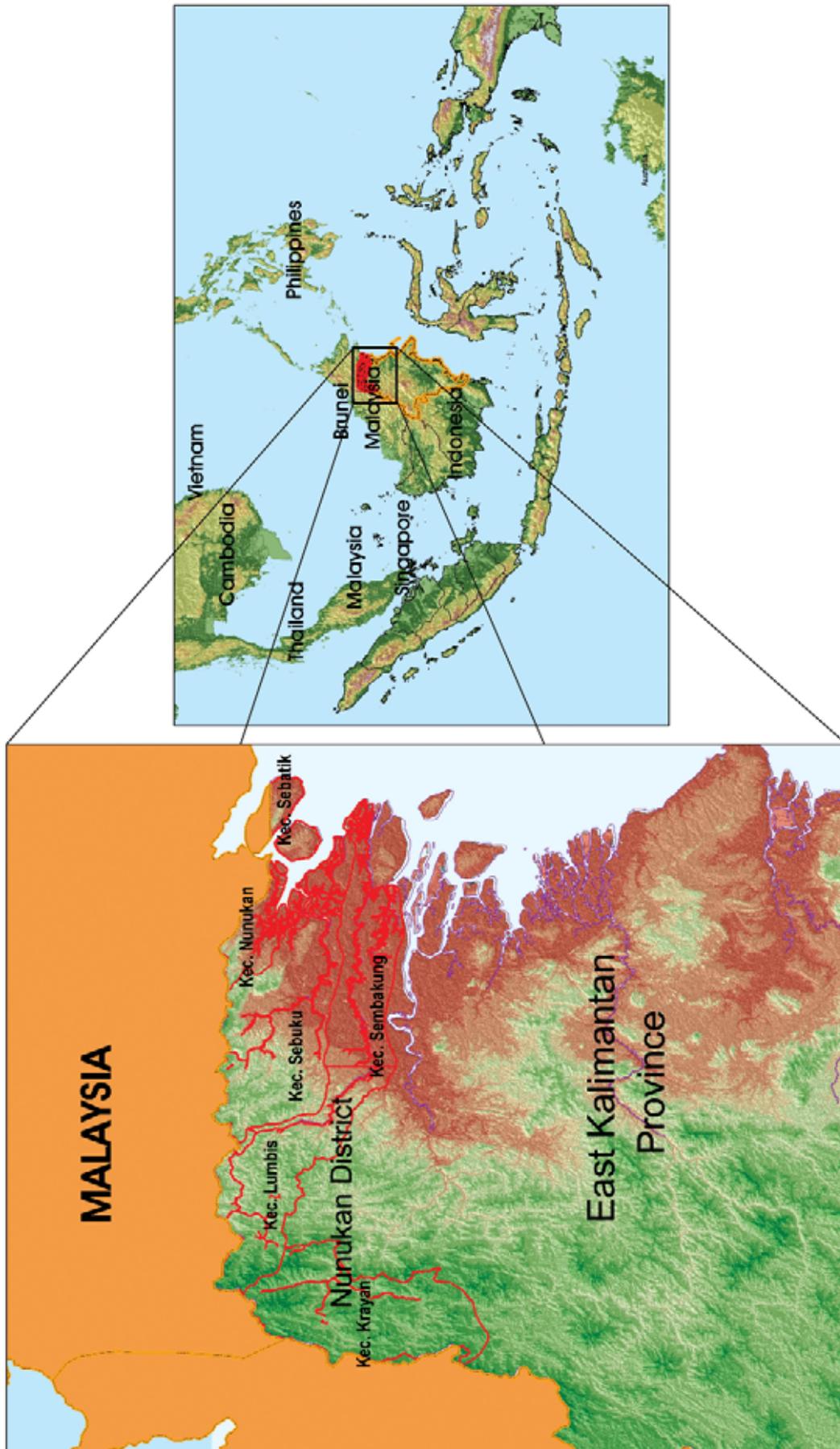
1. Hutan Konversi

Indonesia menduduki urutan kesembilan dari negara-negara di seluruh dunia dalam hal emisi GRK (Brookfield, Potter and Byron, 1995) dan lebih dari setengah emisinya berasal dari konversi hutan menjadi lahan pertanian, perkebunan, dan produksi kayu yang terkendali. Hampir 2 juta ha hutan saat ini ditebang atau dikonversi tiap tahunnya, yang melepaskan sejumlah karbon ke atmosfer dan menurunkan kapasitas penyerapannya. Meskipun konversi hutan di Kabupaten Nunukan belum meluas (di daerah proyek ini hanya terbatas pada daerah transmigrasi), namun ada usulan untuk mengkonversi hutan menjadi perkebunan (diawali dengan kelapa sawit), pertanian, tambak udang (di daerah sekitar mangrove) dan penambangan. Usulan untuk mengkonversi hutan menjadi penggunaan lahan lainnya beresiko bagi penyerapan karbon yang mungkin berdampak negatif bagi lingkungan.

Pengelolaan Hutan Berbasis Masyarakat (CBNRM) berpotensi untuk membatasi konversi hutan dan mempertahankan hutan sebagai lahan multifungsi, mempertahankan keragaman hayati, sebagai koridor antara daerah yang dilindungi, mempertahankan fungsi daerah aliran sungai dan mempertahankan cadangan karbon.

2. Penebangan liar

Diperkirakan 70% dari kayu yang beredar di Indonesia berasal dari penebangan liar, dan penebangan liar ini merusak 700,000 ha hutan per tahun. Kayu dari penebangan liar ini diselundupkan ke Malaysia, kemudian diolah



Gambar 1.1. Peta Nunukan, Kalimantan Timur. Lokasi studi proyek FORMACS

dan diekspor ke Amerika Serikat, Jepang, Eropa dan China. Hampir lima juta meter kubik kayu mengalir ke Malaysia tiap tahunnya (EIA and Telapak Indonesia, 2001). Selain menyebabkan hilangnya keanekaragaman hayati dan kerusakan ekologi pada ekosistem, penebangan liar juga menimbulkan biaya ekonomi dan kesehatan akibat asap pembakaran lahan yang umumnya terjadi setelah penebangan liar. Perkiraan nilai royalti, dana reboisasi dan pembayaran pajak ekspor yang tidak masuk ke kas Pemerintah Indonesia akibat pencurian kayu berjumlah sekitar US\$600 juta per tahun². Situasi seperti ini dapat dijumpai di Kabupaten Nunukan, yang dipicu oleh dekatnya jarak kabupaten ini dengan negara bagian Sabah, Malaysia Timur. Kayu gergajian terus mengalir melewati perbatasan meskipun adanya larangan ekspor kayu.

Masalah penebangan liar merupakan masalah nasional dan global. Meskipun demikian Proyek FORMACS berusaha mengatasi masalah penebangan liar ini dengan melakukan kegiatan di tingkat desa, kecamatan dan kabupaten, dimana hasil kegiatan akan terlihat dampaknya. Sementara ini, konsesi hutan diberikan kepada perusahaan-perusahaan besar dan hutan dianggap sebagai sumberdaya yang dapat diakses oleh siapapun, sehingga masyarakat berlomba-lomba untuk mendapatkan bagian sumberdaya tersebut sebelum diambil oleh orang lain. Konsep seperti ini perlu diubah menjadi konsep pengelolaan hutan berbasis masyarakat yang mengedepankan masyarakat sebagai pelindung sumberdaya di sekitar mereka. Dalam konsep ini kerjasama antara masyarakat dengan badan hukum lokal dan badan pemerintahan merupakan prasyarat utama.

Sebagian besar lahan hutan yang berbatasan dengan desa telah ditebang oleh perusahaan kehutanan sehingga keberadaan

kayu menjadi berkurang. Apabila suatu area telah ditebang semua dan kayu-kayu yang bernilai ekonomi telah habis, penebangan illegal tidak menjadi isu hangat lagi. Masyarakat lokal mengetahui bahwa mereka tidak dapat lagi tergantung pada penebangan illegal untuk kelangsungan hidupnya, oleh karena itu pertanian berkelanjutan dan kegiatan pengelolaan hutan berbasis masyarakat menjadi alternatif yang mungkin untuk dilakukan. Pengelolaan Sumberdaya Alam Berbasis Masyarakat akan mampu memberikan keuntungan bagi masyarakat sebagai alternatif penebangan illegal dan pengelolaan hutan (dari pengelolaan hutan industri skala besar ke pengelolaan multiguna skala kecil) yang menggabungkan antara produksi kayu dengan konservasi keanekaragaman hayati, mempertahankan fungsi ekosistem dan penyerap karbon.

3. Kebakaran

Kebakaran dan kekeringan skala besar telah menjadi bagian dari Kalimantan Timur pada dua dekade terakhir ini. Meskipun kebakaran terjadi setiap tahun, namun kebakaran skala besar selalu berkaitan dengan ENSO (El Nino Southern Oscillation) yang saat ini memiliki siklus tiga-lima tahunan. Selama kejadian kebakaran tahun 1997/1998, jumlah karbon yang dilepaskan ke atmosfer melalui pembakaran gambut dan vegetasi di Indonesia diperkirakan antara 0.81 and 2.57 Gt. Jumlah ini setara dengan 13-40% dari rata-rata emisi karbon global dari bahan bakar fosil per tahun (Page, *et al.*, 2002). Kebakaran umumnya terjadi di lahan-lahan yang terdegradasi (hutan bekas tebangan, semak belukar, and padang alang-alang). Sekitar 80% kebakaran umumnya terjadi di daerah perkebunan (GTZ, 2000) dan hampir semua kebakaran diawali oleh pembukaan lahan, baik secara intensif untuk perkebunan besar maupun dengan tebas bakar untuk pertanian rakyat. Api juga sering digunakan masyarakat lokal sebagai alat mempertahankan diri dalam menyelesaikan konflik (Tomich *et al.*, 1998).

² Press release dari World Bank on Decalaration of Forest Law Enforcement and Governance <http://siteresources.worldbank.org/INTINDONESIA/FLEG/20172547/FLEG+Conference+Press+Release.pdf>
Diakses pada 21 March 2005

Umumnya kebakaran sangat jarang terjadi di hutan tropis basah yang masih berkualitas baik, karena kelembabannya yang tinggi dan tidak adanya tumbuhan bawah yang kering yang dapat memicu api. Tetapi pada kebakaran tahun 1997/1998, hutan tropis basah di Kalimantan ternyata juga terkena kebakaran.

Saat ini sangat perlu adanya pemahaman yang lebih menyeluruh mengenai hubungan antara konversi hutan, degradasi hutan akibat penebangan legal maupun liar, dan hutan alam sebagai koridor api, sebagai upaya memper-tahankan cadangan karbon dan meningkatkan penyerapan karbon di hutan bekas tebangan.

4. Kepemilikan Lahan dan Kapasitas Institusi Lokal

Status kepemilikan lahan, khususnya pada lahan hutan di Kabupaten Nunukan, belumlah jelas. Hal ini tentunya mempengaruhi keberlangsungan hutan sebagai sumber penyimpan karbon. Situasi seperti ini terjadi hampir di seluruh wilayah Kalimantan Timur. Status kepemilikan lahan yang jelas merupakan prasyarat bagi suksesnya kegiatan CBNRM, karena status kepemilikan lahan yang jelas dapat menjadi insentif bagi pengelolaan sumberdaya dan reforestasi. Rencana tata-ruang daerah serta aturan-aturan kepemilikan lahan yang disusun bersama oleh masyarakat dan lembaga pemerintah dapat dijadikan dasar pemanfaatan lahan untuk kegiatan pertanian, agroforestri, reforestasi, tanaman industri dan pengelolaan hutan alam. Proyek FORMACS berusaha memecahkan masalah status kepemilikan lahan ini dengan meningkatkan kemampuan pemerintah daerah dan masyarakat dalam menyusun rencana tata ruang secara bersama-sama serta memfasilitasi dialog di antara mereka. Adanya sistem pemerintahan yang berlandaskan otonomi daerah akan memberikan suasana yang kondusif dan terbuka sehingga dapat tercipta kerjasama yang saling menguntungkan.

5. Tradisi/praktek pertanian yang dilakukan sekarang

Sistem pertanian yang dikelola petani di daerah Nunukan umumnya adalah pertanian tebas bakar di lahan berlereng dan di daerah pinggiran sungai. Dahulu, ketika hutan alam masih luas dan belum banyak dimanfaatkan, perladangan berpindah merupakan sistem yang lestari. Kondisi ini berubah sejak sekitar tahun 1960-an ketika sebagian besar hutan dataran rendah di Kalimantan (juga di bagian lain di Indonesia) dinyatakan sebagai 'hutan negara' dan diberikan hak pengusahaannya ke perusahaan swasta. Dalam sistem ini, pemerintah mengakui bahwa lahan yang berbentuk lahan pertanian permanen (tanaman pangan dan pohon penghasil pangan) sebagai lahan milik masyarakat adat, tetapi tidak mengakui lahan pertanian yang dibiarkan dalam waktu lama sebagai lahan milik masyarakat adat. Sehingga cara yang paling baik bagi masyarakat adat untuk mendapatkan pengakuan atas kepemilikan lahan adalah dengan menanam lahan pohon diantara tanaman pangan (sistem campuran) dan membiarkan pepohonan tumbuh di lahan. Hal ini perlu segera dilakukan karena desa-desa lokasi proyek FORMACS merupakan daerah yang potensial bagi pengembangan pertanian. Jalan raya Trans-Kalimantan sedang diusulkan untuk melintasi daerah tersebut, sehingga membuka kesempatan untuk pengembangan yang lebih jauh. Apabila masyarakat lokal gagal mengambil kesempatan dari potensi ekonomi yang ada di daerah ini serta tidak memanfaatkan haknya melalui penanaman pohon, maka masyarakat dari luarlah yang akan melakukan.

Proyek FORMACS bertujuan membantu masyarakat dalam memanfaatkan haknya akan lahan adat, dan mengembangkan potensi ekonomi lahan tersebut sambil tetap mempertahankan cadangan karbon yang ada. Untuk mencapai tujuan ini, FORMACS bekerjasama dengan masyarakat lokal, mengembangkan teknologi agroforestri dan

pertanian yang memadukan pohon dengan tanaman pangan. Selain itu juga mengembangkan teknologi pertanian berkelanjutan dengan input rendah (LEISA) serta sistem pengelolaan hutan berbasis masyarakat. Teknologi ini juga akan mengurangi penggunaan api sehingga dapat mengurangi resiko kebakaran.

6. Kurangnya alternatif ekonomi

Menurut Biro Pusat Statistik (BPS) Indonesia (1998), penambangan dan pabrik merupakan sumber yang paling penting (74%) bagi Gross Domestic Regional Product dari Kalimantan Timur. Sebagian besar pabrik skala menengah dan skala besar, berbasis produksi kayu dan pulp ada di provinsi ini. Meskipun propinsi ini sangat makmur dari segi sumberdaya alamnya, namun sebagian besar penduduk lokalnya terbelakang dan mengalami kesulitan dalam memperoleh pelayanan kesehatan, pendidikan serta penyuluhan pertanian. Bagi masyarakat dan pemerintah daerah penebangan kayu merupakan sumber keuangan yang melimpah. Di Kecamatan Sebuku and Sembakung, pendapatan rumah tangga sebagian besar tergantung pada penebangan kayu liar dan hanya sebagian kecil dari hasil menjual produk pertanian. Saat ini ketersediaan kayu komersial yang bisa ditebang semakin berkurang, sehingga masyarakat desa sulit memperoleh pendapatan dari kayu untuk memenuhi kebutuhan pokok mereka. Masyarakat dan pemerintah daerah menyadari bahwa kayu

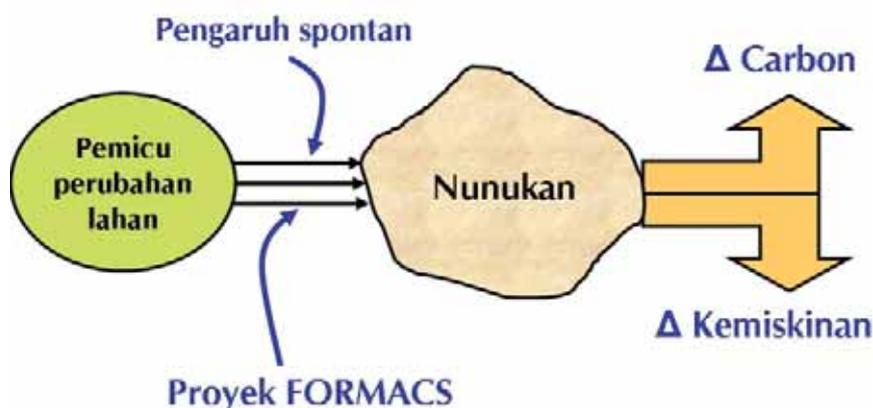
tidak bisa lagi dianggap sebagai satu-satunya sumber pendapatan keluarga. Oleh karena itu pertanian merupakan alternatif yang menarik yang masih mempunyai potensi untuk dikembangkan. Meskipun pemasaran merupakan kendala mengingat jarak yang jauh ke pasar dan tingginya biaya transportasi.

Proyek FORMACS bersama mitra kerja bersama-sama melakukan kegiatan untuk mengidentifikasi komoditi yang sesuai dan berpotensi untuk dipasarkan. Peluang ekowisata berbasis sumberdaya, termasuk keragaman hayati, juga digali melalui berbagai pertemuan antara pemerintah daerah dan masyarakat, sehingga semua pihak sadar akan potensi keuntungan dari konservasi ekosistem alam.

Gambar 1.2 mendeskripsikan kerangka kerja aktivitas FORMACS secara skematik. Secara sederhana, aktivitas FORMACS didasarkan pada pilihan untuk meningkatkan kehidupan menjadi lebih baik sehingga dapat menekan keinginan untuk mengkonversi hutan dan akan berupaya menurunkan kemiskinan serta meningkatkan cadangan karbon.

Kegiatan monitoring karbon di Nunukan

FORMACS merekomendasikan teknologi yang menggabungkan antara tanaman pangan dengan pohon serta teknologi pertanian



Gambar 1.2. Skema kerangka kerja Proyek FORMACS

berkelanjutan dengan input rendah, sebagai pilihan petani dalam mengelola lahannya. Rekomendasi ini diberikan karena penggunaan lahan dengan teknologi tersebut akan memberikan sumber penghidupan yang berkelanjutan bagi petani serta meningkatkan atau mempertahankan penyerapan karbon.

Seberapa besar keberhasilan sistem penggunaan lahan yang direkomendasikan dapat berfungsi sebagai penyimpan karbon perlu selalu dinilai dan dipantau. Proses penilaian dan pemantauan ini dilakukan dalam kegiatan monitoring karbon.

Ponce-Hernandez (2004) mengembangkan metode, model dan perangkat lunak untuk memonitor cadangan karbon dan menyusun skenario penggunaan lahan yang pada berbagai proyek karbon di Meksiko dan Kuba. Metode untuk memonitor karbon yang dikembangkannya ini mengintegrasikan metode pengumpulan data secara biofisik dan pemodelan penggunaan lahan dengan memanfaatkan pengideraan jarak jauh.

Proyek FORMACS telah mengimplementasikan pendekatan Rapid Carbon Stocks Assessment (RaCSA)³ untuk memonitor cadangan karbon di Nunukan. Aktivitas monitoring karbon dengan pendekatan ini mempunyai tiga tujuan utama yaitu:

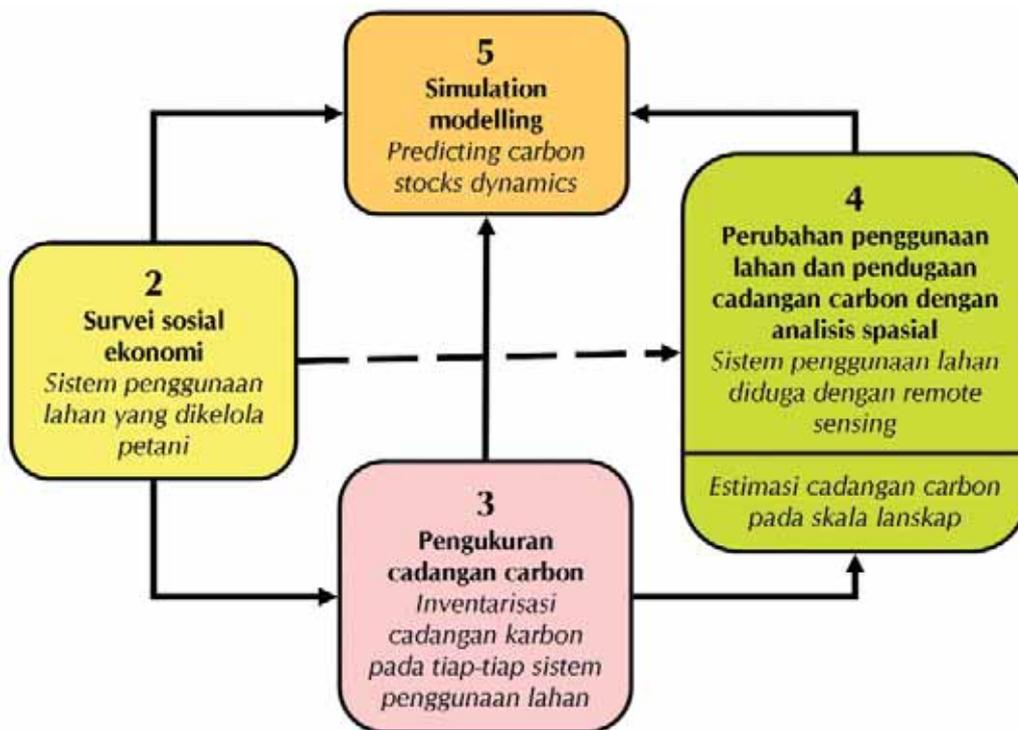
1. Untuk mengestimasi cadangan karbon di Nunukan pada skala plot maupun lanskap (bentang lahan).
2. Untuk menduga sistem penggunaan lahan yang dikelola petani di Nunukan yang berpotensi sebagai sumber penyimpan karbon.
3. Untuk memprediksi dinamika cadangan karbon di Nunukan.

³ Rapid Carbon Stocks Assessment (RaCSA) dikembangkan oleh ICRAF untuk menduga cadangan karbon pada skala lanskap. ICRAF juga mengembangkan Rapid Hydrological Assessment (RHA) untuk menduga fungsi hidrologi pada Daerah Aliran Sungai (DAS). Saat ini sedang diuji dan dikembangkan Rapid Biodiversity Assessment (RaBA) untuk menduga keanekaragaman hayati pada skala lanskap. Dengan demikian, ada tiga alat yang menjadi dasar untuk menduga jasa lingkungan yang diberikan oleh suatu daerah.

Untuk mencapai tujuan tersebut di atas, ada empat kegiatan yang dilakukan yaitu:

1. Survei sosial ekonomi untuk skala rumah tangga.
Survei ini dilakukan di Kecamatan Sebuku and Sembakung untuk mengetahui sistem penggunaan lahan yang dikelola petani berikut data produktivitas dan profitabilitasnya. Produktivitas dan profitabilitas dari suatu sistem penggunaan lahan merupakan faktor penentu bagi petani dalam memutuskan sistem yang akan diterapkan di lahannya. Secara tak langsung, faktor-faktor ini juga menentukan jumlah cadangan karbon yang terserap antar waktu.
2. Pengukuran cadangan karbon pada skala plot.
Cadangan karbon diukur pada berbagai plot contoh yang dibuat pada setiap penggunaan lahan. Jumlah cadangan karbon yang terukur pada masing-masing penggunaan lahan akan menjadi nilai kemampuan sistem penggunaan lahan tersebut dalam menyerap karbon.
3. Analisis perubahan penutupan lahan dengan menggunakan pengideraan jarak jauh.
Citra satelit dianalisa untuk mendapatkan peta penutupan lahan dalam dua periode yang berbeda, yang selanjutnya digunakan untuk menduga perubahan penutupan lahan. Dengan menggunakan hasil dari studi cadangan karbon pada skala plot (kegiatan 2), maka cadangan karbon pada skala lanskap (bentang lahan) dan perubahannya antar waktu dapat diduga.
4. Simulasi model lanskap.
Untuk memprediksi dinamika cadangan karbon pada skala lanskap dilakukan simulasi dengan menggunakan model FALLOW⁴. Model ini mensimulasikan dampak pengambilan keputusan oleh petani dalam mengelola lahannya terhadap dinamika cadangan karbon pada skala

⁴ FALLOW (Forest, Agroforest, Low-value Land Or Waste-land?) adalah model dinamika lanskap yang dikembangkan oleh ICRAF. Informasi lebih jauh dapat dilihat pada <http://www.worldagroforestrycentre.org/sea/products/models>



Gambar 1.3. Keterkaitan antara bab-bab pada laporan ini (nomor pada gambar ini menunjukkan nomor bab dalam laporan ini).

lanskap. Berbagai skenario yang mungkin diambil oleh petani untuk menanggapi peluang yang telah ada juga dievaluasi.

Keempat kegiatan dalam RaCSA dirangkum dalam laporan ini. Gambar 1.3. menunjukkan keterkaitan berbagai aktivitas dan bab-bab dalam laporan ini.

Bab 2 dari laporan ini memberikan informasi mengenai latar belakang mengapa Kabupaten Nunukan dijadikan sebagai lokasi studi proyek ini dan mendeskripsikan sistem penggunaan lahan yang umum dikelola oleh petani. Pengukuran cadangan karbon pada berbagai sistem penggunaan lahan dilaporkan pada bab 3. Bab ini juga menganalisis kemampuan masing-masing lahan dalam menyerap karbon dari waktu ke waktu. Sebagai tambahan, di dalam bab ini didokumentasikan spesies-spesies pohon yang ditemukan pada tiap-tiap sistem penggunaan lahan.

Bab 4 mendeskripsikan pendugaan cadangan karbon pada skala lanskap dengan

menggunakan analisis penginderaan jarak jauh. Model simulasi yang mengintegrasikan semua hasil yang ada dari bab 2, 3 dan 4 dilaporkan dalam bab 5. Kegiatan ini mensimulasikan dinamika cadangan karbon akibat perubahan lanskap dari waktu ke waktu karena perubahan perilaku petani dalam mengelola lahannya.

Studi yang dilaporkan di sini merupakan salah satu contoh pendekatan yang terintegrasi dalam memonitor cadangan karbon yang dapat diaplikasikan di lapangan. Hasil dari kegiatan ini dapat dimanfaatkan untuk menduga dinamika cadangan karbon pada berbagai skenario yang mungkin terjadi dan dapat dimanfaatkan untuk memulai suatu dialog dengan petani tentang berbagai pilihan yang ada yang dapat memberikan manfaat bagi kehidupan mereka dan lingkungan. Hasil ini juga dapat dijadikan langkah awal untuk berdialog dengan pengambil kebijakan di tingkat lokal maupun nasional, sehingga dengan kebijakan ini masyarakat lokal mampu untuk mengelola lahannya dengan cara yang berkelanjutan.

2. STUDI SOSIAL EKONOMI DI KECAMATAN SEBUKU DAN SEMBAKUNG, KABUPATEN NUNUKAN, KALIMANTAN TIMUR

Kusuma Wijaya, Nessy Rosdiana dan Betha Lusiana

Pendahuluan

Hubungan antara kesejahteraan masyarakat dengan sistem pengelolaan sumberdaya alam di suatu daerah, merupakan kajian utama bagi berbagai organisasi non pemerintah yang bergerak di bidang konservasi dan pemanfaatan sumberdaya alam berkelanjutan. Pertanian dan kehutanan merupakan sumber penting bagi ketahanan pangan masyarakat di sekitar hutan. Berbagai hasil hutan dapat dijadikan sumber pangan yang dapat dimanfaatkan langsung dan dijual. Dahulu, pengambilan sumberdaya alam dilakukan hanya untuk memenuhi kebutuhan pokok atau bersifat subsisten. Meskipun pada umumnya sistem barter dan pasar telah lama dikenal masyarakat, jauh lebih lama dari yang kita duga (Levang *et al.*, 2005). Tekanan jumlah penduduk, proses komersialisasi sebagai konsekuensi dari pertumbuhan ekonomi dan kondisi politik ekonomi mendorong terjadinya perubahan dalam mengelola sumberdaya alam di kalangan masyarakat (Bilsborrow dan Okoth-Ogendo, 1992).

Levang *et al.* (2005) membahas tentang fungsi hutan bagi masyarakat lokal dengan menggunakan suku Dayak Punan sebagai contoh. Masyarakat Punan merupakan suku pemburu dan pengumpul yang tinggal di Kalimantan Timur. Artikel tersebut secara kritis mempertanyakan kebenaran konsep yang masih dimiliki peneliti dan pengambil

kebijakan saat ini, bahwa masyarakat hutan sangat tergantung pada hutan bagi kelangsungan kehidupannya dan hilangnya hutan akibat laju deforestasi yang tinggi akan memicu kemiskinan mereka.

Melindungi hutan dan lingkungan merupakan hal yang sangat penting, terutama dalam menghadapi masalah dunia yang kita hadapi bersama, yakni pemanasan global. Secara regional dan nasional, permasalahan yang sama pentingnya adalah meningkatkan dan memperbaiki kesejahteraan masyarakat di sekitar hutan serta meminimalkan dampak buruk yang mungkin muncul akibat konversi hutan. Kegiatan proyek FORMACS (Pengelolaan Sumberdaya Alam untuk Penyerapan Karbon) di Kabupaten Nunukan bertujuan untuk menjembatani kedua permasalahan ini. Proyek ini memusatkan kegiatannya untuk membantu masyarakat lokal mencapai kehidupan berkelanjutan sambil melestarikan fungsi ekosistem hutan dalam mempertahankan cadangan karbon untuk membantu mengurangi masalah pemanasan global. Dengan sendirinya, pemahaman mengenai proses pemanfaatan hutan dan perubahan penggunaan lahan di sekitar hutan oleh masyarakat di sekitar hutan merupakan bagian penting dari kegiatan proyek ini.

Tulisan ini menguraikan hasil dari survei sosial ekonomi rumah tangga pada desa-desa sekitar hutan di Kabupaten Nunukan. Tujuan dari survei ini adalah untuk mendapatkan

informasi mengenai latar belakang sosial-ekonomi petani dan sistem pertanian yang mereka kelola. Dengan mengkombinasikan hasil survei dan data sekunder, maka akan diperoleh informasi mengenai:

1. Profil petani
2. Aktivitas yang dilakukan petani untuk kelangsungan hidupnya
3. Sistem pengelolaan lahan yang dilakukan oleh petani, produk yang dihasilkan serta pendapatan yang diperoleh dari sistem tersebut.

Informasi yang diperoleh akan digunakan untuk mensimulasikan dinamika lanskap antar waktu sebagai akibat dari perubahan yang dilakukan oleh masyarakat dalam mengelola sumberdaya alam, serta bagaimana proses ini akan berpengaruh terhadap kehidupan dan kesejahteraan petani. Studi ini dipaparkan pada Bab 5 laporan ini.

Metode

Survei sosial-ekonomi rumah tangga dilakukan di daerah kegiatan proyek FORMACS yaitu Kecamatan Sebuku dan Sembakung, Kabupaten Nunukan. Responden yang disurvei terdiri dari rumah tangga yang tersebar di 10 desa yaitu: Desa Kalun Sayan, Sekikilan, Sujau dan Tau Baru di Kecamatan Sebuku dan Desa Atap, Katul, Lubok Buat, Manuk Bungkul, Tanjung Harapan dan Tujung di Kecamatan Sembakung. Survei dilakukan dengan metode pengambilan contoh 'purposive' dengan tujuan mendapatkan informasi dari petani yang mengelola sistem pertanian yang umum dijumpai di lokasi ini.

Kondisi Umum Kabupaten Nunukan

Posisi geografis dan kondisi wilayah

Kabupaten Nunukan terletak di Kalimantan Timur, berbatasan dengan Malaysia, di sebelah

utara dengan Sabah dan di sebelah barat dengan Sarawak (Tabel 2.1).

Tabel 2.1. Posisi geografi Kabupaten Nunukan

Posisi geografis:	
Lintang Utara	: 3° 30' 00" – 4 °24'55"
Bujur Timur	: 115° 22' 30" – 118° 44' 54"
Batas Wilayah:	
- Sebelah utara	: Negara Malaysia Bagian Sabah
- Sebelah Timur	: Selat Makasar/Laut Sulawesi
- Sebelah Selatan	: Kabupaten Bulungan dan Kabupaten Malinau
- Sebelah Barat	: Negara Malaysia Bagian Sarawak

Sumber : <http://www.nunukankaltim.go.id/>

Total area Kabupaten Nunukan adalah sekitar 14.245 km² terdiri atas 6 Kecamatan (Tabel 2.2.). Daerah studi FORMACS di Kecamatan Sebuku dan Sembakung mempunyai luas wilayah sebesar 3.778 km² dan 2.263 km², yang mencakup 42% dari total area Kabupaten Nunukan.

Tabel 2.2. Luas Wilayah kecamatan di Kabupaten Nunukan (nilai di dalam kurung menunjukkan persentase luasan dibandingkan dengan luasan Kabupaten Nunukan)

No.	Kecamatan	Luas Wilayah (ha)	
1.	Nunukan	144 265	(10.1)
2.	Sebatik	24 341	(1.7)
3.	Sebuku	377 774	(26.5)
4.	Sembakung	226 294	(15.9)
5.	Lumbis	291 615	(20.5)
6.	Krayan	360 044	(25.3)
TOTAL		1 424 334	

Sumber: Hatfindo Prima (2004)

Kependudukan

Jumlah penduduk Kabupaten Nunukan tahun 2002¹ mencapai 84.786 jiwa dengan laju pertumbuhan per tahun 3,24%. Berdasarkan data ini, kepadatan populasi Kabupaten

¹ Hasil survei sosial-ekonomi yang dilakukan oleh Badan Perencanaan Pembangunan Daerah dan Biro Pusat Statistik Kabupaten Nunukan Bulan Agustus 2002.

Nunukan adalah 5,9 ~ 6 orang per km². Kecamatan Sebatiik dan Nunukan merupakan daerah padat penduduk, sekitar 72% penduduk Kabupaten Nunukan tinggal di kecamatan ini (BPS Kabupaten Nunukan, 2002) dengan kepadatan penduduk 6,81 dan 26,87 orang per km² untuk Kecamatan Sebatiik dan Nunukan (Kabupaten Nunukan Dalam Angka, 2001).

Berdasarkan survei terbaru yang dilakukan CARE Internasional Indonesia tahun 2005, Kecamatan Sebuku mencakup 21 desa dengan jumlah penduduk 4.064 orang yang terdiri dari 54% laki-laki dan 46% wanita. Kecamatan Sembakung mencakup 18 desa dengan jumlah penduduk 6.010 orang dengan perbandingan laki-laki dan perempuan hampir sama seperti di Kecamatan Sebuku.

Iklim dan topografi

Suhu udara yang diukur di Nunukan (ibukota Kabupaten Nunukan) rata-rata 27,4°C. Suhu terendah terjadi pada bulan Juni dengan rata-rata 23°C dan suhu tertinggi pada bulan April dan September dengan rata-rata 32,2°C.

Rata-rata curah hujan tahunan adalah 2.326,7 mm per tahun dan rata-rata curah hujan bulanan 194 mm per bulan. Curah hujan tertinggi terjadi pada Bulan Mei dengan rata-rata 367 mm dan terendah pada Bulan Juli yaitu 88 mm. Kelembaban udara berkisar antara 82% sampai dengan 87%. Kecepatan angin rata-rata 5 knots.

Wilayah Kabupaten Nunukan didominasi oleh satuan fisiografi gunung (mountain) dan dataran (plain). Satuan fisiografi gunung sebagian besar berada di bagian barat Kabupaten Nunukan memanjang ke arah Kabupaten Malinau hingga perbatasan Malaysia. Perbukitan sebagian besar berada di bagian barat Kabupaten Nunukan yang merupakan wilayah pegunungan memanjang dengan ketinggian 1.500-3.000 meter di atas permukaan laut. Pada bagian tengah sedikit berbukit dan bagian timur bergelombang

hingga landai. Perbukitan di sebelah selatan bagian tengah mempunyai ketinggian antara 500-1.500 meter di atas permukaan laut. Topografi perbukitan bersudut kemiringan lebih dari 30%. Pada daerah dataran tinggi kemiringan berkisar antara 8-15%.

Kondisi tanah

Jenis tanah di bagian barat Kabupaten Nunukan dan sebagian Pulau Nunukan serta Pulau Sebatiik adalah Podsolik Merah Kuning dengan tingkat kesuburan relatif rendah dan memiliki lapisan 'top soil' yang tipis. Jenis tanah pada dataran rendah di sepanjang sungai dan laut berupa sedimen tanah Gleysol yang berwarna abu-abu.

Struktur tanah di Kabupaten Nunukan didominasi oleh struktur gumpal bersudut, yang mempunyai konsistensi dari teguh sampai sangat teguh dan mempunyai pori-pori sedikit yang tersebar pada lapisan atas. Kedalaman tanah efektif dari dangkal sampai sangat dangkal dengan derajat keasaman (pH) berkisar antara 3,5-4,5. Air tanah banyak terdapat di permukaan, maka drainase tanah menjadi buruk, terutama pada daerah-daerah dengan topografi datar di sepanjang sungai.

Kondisi tanah pada daerah dataran tinggi relatif mudah mengalami erosi khususnya daerah-daerah yang gundul. Tanah-tanah rawa umumnya hampir sepanjang tahun digenangi air.

Daerah aliran sungai (DAS)

Di Kabupaten Nunukan daratan terdapat dua DAS utama yaitu DAS Sebuku yang menjangkau Kecamatan Sebuku dan DAS Sembakung yang menjangkau wilayah Kecamatan Sembakung dan Kecamatan Lumbis. Kedua sungai tersebut memiliki debit air yang besar sepanjang tahun. Sungai-sungai yang ada di Kabupaten Nunukan ditampilkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Sungai-sungai di Kabupaten Nunukan

No.	Nama	Panjang (km)
1	Sembakung	278
2	Sulanan	52
3	Sumalungun	42
4	Sepadaan	32
5	Itay	146
6	Sebuku	115
7	Agisan	62
8	Tikung	50
9	Tabut	30
10	Simenggaris	36

Sumber: BAPPEDA Propinsi Kalimantan Timur

Tata guna lahan

Tata guna lahan di Kabupaten Nunukan dibagi menjadi beberapa kriteria yaitu:

1. Daerah perkampungan/pemukiman

Penduduk umumnya menempati daerah-daerah yang datar di atas ketinggian 2 - 10 meter dari permukaan laut (dpl), hanya sebagian kecil dari mereka yang menempati daerah-daerah bukit.. Pemukiman penduduk sebagian besar berada di sepanjang pantai, sungai atau di tepi jalan yang ada.

2. Daerah persawahan

Daerah persawahan umumnya berada di belakang pemukiman, sekitar 100 - 500

meter masuk ke daerah daratan atau berada pada 50 - 150 meter dari garis pantai atau sungai. Lahan persawahan yang tersedia di Kabupaten Nunukan masih cukup luas, namun belum dimanfaatkan dengan baik oleh penduduk.

3. Daerah perladangan

Daerah perladangan umumnya berada di bagian atas daerah persawahan.

4. Daerah perkebunan

Daerah perkebunan berada di Sungai Pancang, Kecamatan Sebatik dan sekitarnya. Daerah ini cukup baik untuk dikembangkan sebagai perkebunan kakao, kopi, cengkeh, kelapa dan pisang. Daerah-daerah lain yang juga dapat dikembangkan sebagai perkebunan kopi dan cengkeh adalah daerah di sekitar Sungai Sebuku.

Hasil Survei Rumah Tangga

Demografi

Responden dalam survei ini sebageian besar adalah kepala keluarga (ayah/suami), kecuali ada dua keluarga di Sembakung yang diwakili oleh anggota keluarganya (ibu/istri). Tabel 2.4 dan 2.5 menampilkan profil kependudukan

Tabel 2.4. Profil kependudukan responden dan keluarga tambahannya di Kecamatan Sebuku dan Sembakung

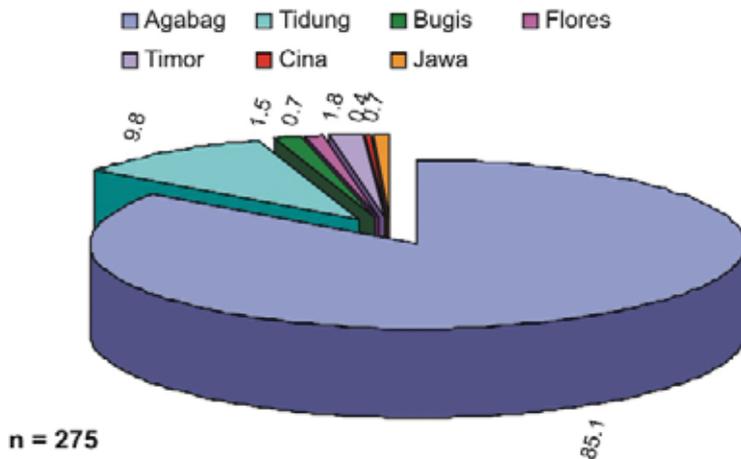
		Sebuku	Sembakung	Total	
1	Jumlah kepala keluarga (orang)	26	25	51	
	Jumlah anggota keluarga (orang)	134	141	275	
2	Sebaran respon-den berdasarkan ukuran keluarga	1 – 4 orang	0.50	0.36	0.43
		5 – 8 orang	0.39	0.56	0.47
		> 9 orang	0.11	0.8	0.10
	Rata-rata ukuran jumlah keluarga	5	6	5	
3	Sebaran responden berdasarkan umur	< 15 tahun	0.43	0.45	0.44
		15 – 64 tahun	0.57	0.55	0.56
		> 64 tahun	0	0	0
4	Rasio ketergantungan ³	0.63	0.83	0.80	

Sumber: BAPPEDA Propinsi Kalimantan Timur

Tabel 2.5. Sebaran suku di Kecamatan Sebuku and Sembakung

Suku	Kepala keluarga		Anggota keluarga	
	Sebuku	Sembakung	Sebuku	Sembakung
Dayak agabag	25(0.49)*	20(0.39)	101(0.45)	88 (0.39)
Tidung	1(0.02)	5(0.09)		21 (0.09)
China			1(0.004)	3 (0.01)
Flores			1(0.004)	1 (0.004)
Bugis			5(0.02)	
Timor				1 (0.04)
Jawa				2 (0.09)
Total	26	25	108	116

* Pada kolom kepala keluarga, nilai yang ada di dalam kurung menunjukkan proporsi terhadap jumlah keluarga. Sedangkan pada kolom anggota keluarga, angka dalam kurung menunjukkan proporsi terhadap jumlah anggota keluarga.



Gambar 2.1. Sebaran suku-suku di lokasi studi FORMACS

responden. Jumlah responden dan keluarganya di kedua kecamatan adalah 275, semuanya berumur kurang dari 64 tahun dengan rasio antara laki-laki dan perempuan sekitar 1:1. Dari 51 rumah tangga yang disurvei, 42 diantaranya merupakan keluarga inti² dan lainnya merupakan keluarga tambahan. Rata-rata ukuran keluarga adalah 5 orang per keluarga. Lima puluh enam persen dari masyarakat yang disurvei masih dalam usia produktif (15-64 tahun). Rasio ketergantungan³ di Sebuku adalah 0,63; nilai ini lebih

rendah bila dibandingkan dengan di Sembakung yaitu 0,87.

Sebaran suku di Kecamatan Sebuku dan Sembakung sangat tidak merata. Suku Dayak Agabag memempati 85% dari jumlah orang yang disurvei, Suku Tidung 10% dan sisanya merupakan Suku Flores, Bugis, Timor, Jawa dan China (Tabel 2.5). Sekitar 50% dari kepala keluarga telah tinggal di daerah tersebut lebih dari 20 tahun dan hanya 10% yang tinggal di daerah tersebut kurang dari atau selama 10 tahun. Kelompok etnis China, lahir di daerah tersebut (masyarakat lokal), sementara orang Flores, Bugis dan Timor adalah migran yang tinggal di daerah tersebut untuk mendapatkan penghidupan yang lebih baik dan beberapa diantaranya bekerja di Malaysia.

² Keluarga inti mengacu pada keluarga yang terdiri dari orang tua (ibu dan ayah) dengan anak-anaknya. Keluarga tambahan adalah keluarga inti ditambah dengan anggota keluarga lainnya atau pembantu rumah tangga.

³ Rasio ketergantungan menunjukkan jumlah individu yang ada pada usia kerja dibandingkan dengan individu pada usia tidak bekerja (anak-anak dan orang lanjut usia).

Table 2.6. Tingkat pendidikan responden (lama sekolah)

Lama sekolah	Proporsi responden		
	Sebuku	Sembakung	Total
≤ 6 tahun	0.85	0.64	0.75
> 6 tahun	0.15	0.12	0.37

Tingkat pendidikan formal responden relatif rendah. Sekitar 35% responden tidak pernah sekolah, hanya 40% yang mengenyam pendidikan Sekolah Menengah Atas dan tidak ada yang mencapai Perguruan Tinggi.

Mata pencaharian

Aktivitas pertanian merupakan sumber pendapatan utama bagi masyarakat yang tinggal di daerah pedesaan Nunukan, terutama yang tinggal di sekitar sungai yang tanahnya subur. Aktivitas yang meliputi pemanenan hasil hutan non kayu merupakan sumber pendapatan kedua (Tabel 2.7).

Tabel 2.7. Aktivitas Usaha Perekonomian Masyarakat Desa Studi

No.	Usaha	Komoditi Usaha	Sifat Usaha
1.	Pertanian: tanaman pangan	Ubi kayu, pisang dan sayuran	Subsisten
2.	Perikanan	Ikan (lampan, jelawat, pait, gedawang dan saluang), udang dan kepiting sungai	Subsisten
3.	Peternakan	Ayam kampung dan babi	Subsisten
4.	Meramu (mengumpulkan)	Durian (<i>Durio zibethinus</i>), rambutan (<i>Nephelium lappaceum</i>), cempedak (<i>Artocarpus integer</i>), madu, gaharu ⁴ (<i>Aquilaria</i> sp.) dan menebang kayu hutan	Subsisten dan Komersil
5.	Berburu	Rusa dan aneka burung	Subsisten

Sumber: Monografi Desa-desa Kabupaten Nunukan (2001)

⁴ Gaharu adalah resin yang berbau harum yang dihasilkan oleh pohon *Aquilaria* spp. (Thymelaeaceae) akibat serangan cendawan.

Tabel 2.8. Pekerjaan yang dilakukan oleh responden dan anggota keluarga lainnya

Jenis pekerjaan	Aktivitas
Petani	Menanam tanaman pangan, menanam tanaman pangan dan pohon-pohonan atau berternak
Guru	-
Wiraswasta	Membuka warung, menjual kayu
Pegawai kantor	Pegawai kesehatan, pegawai kantor desa
Jasa	Tukang kayu, pemelihara sarang burung walet
Penebangan kayu	Menebang kayu di hutan

Hasil survei rumah tangga menunjukkan bahwa hanya seorang responden yang mempunyai aktivitas non pertanian sebagai mata pencaharian utama (Tabel 2.9). Sekitar 27% responden mempunyai aktivitas selain berkebun sebagai sumber pendapatan tambahan, misalnya membuat perahu, menebang kayu di hutan, membuka warung atau sebagai pegawai di kantor desa. Pertanian masih merupakan sumber penghasilan utama masyarakat di lokasi studi.

Tabel 2.9. Sebaran Kepala Keluarga Responden Berdasarkan Pekerjaan

Jenis pekerjaan	Jumlah responden		
	Sebuku	Sembakung	Total
Pekerjaan utama			
Petani	25 (98)	25 (100)	50 (99)
Guru	1 (2)		1 (1)
Pekerjaan tambahan			
Berdagang	1 (2)	1 (2)	2 (4)
Pegawai kantor desa	2 (4)	1 (2)	3 (6)
Jasa	1 (2)	4 (8)	5 (10)
Aktivitas penebangan	2 (4)	2 (4)	6 (12)

* Nilai yang ada dalam kurung menunjukkan persentase responden pada masing-masing daerah

Hanya beberapa responden (4%) yang menganggap menebang kayu sebagai pekerjaan tambahan. Namun demikian, sekitar 55% dari responden mengakui bahwa mereka kadang-kadang melakukan aktivitas penebangan kayu dan menerima upah.

Informasi ini diperoleh ketika responden ditanya tentang berapa banyak pendapatan yang mereka terima dari menjual kayu hutan (lihat bagian Pendapatan).

Kamelarczyk (2004) melakukan penelitian di Kabupater Malinau⁵, Kalimantan Timur mengenai dampak pemberian ijin pengusahaan hutan (IPPK = Ijin Pemungutan dan Pemanfaatan Kayu), terhadap kehidupan masyarakat di tiga desa. Hasil dari studi tersebut menunjukkan bahwa rata-rata rumah tangga yang mempunyai aktivitas berhubungan dengan pemanenan hasil hutan adalah 46% pada pemanenan kayu, 70% berburu, mencari ikan 85%, mengumpulkan gaharu 20%, mengumpulkan rotan 35% dan mengumpulkan buah-buahan 47%.

Penggunaan lahan dan kepemilikan lahan

Di Nunukan, lahan dimiliki secara individu maupun kelompok (sebagai lahan komunal). Tabel 2.10 menampilkan sistem kepemilikan

lahan pada masyarakat Dayak Agabag yang meliputi 85% dari masyarakat yang disurvei. Studi rumah tangga ini hanya memfokuskan pada kepemilikan lahan secara individu oleh petani.

Tiap-tiap rumah tangga yang disurvei memiliki paling tidak satu plot. Jumlah plot terbanyak yang dimiliki oleh rumah tangga adalah 4 plot (Tabel 2.11). Enam puluh tiga persen dari responden hanya memiliki satu plot. Total plot yang disurvei adalah 75 plot.

Sebagian besar plot diperoleh dari warisan (Tabel 2.12), hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar responden bukanlah penduduk baru di daerah tersebut (minimal generasi kedua). Pembukaan lahan hutan adalah cara kedua yang dilakukan untuk memperoleh lahan.

Sistem Usaha Tani

Secara keseluruhan ada empat sistem usaha tani yang ditemukan di lokasi survei yaitu: padi tadah hujan, perkebunan rakyat, *jakaw*

Tabel 2.10. Sistem kepemilikan dan alokasi lahan pada masyarakat Dayak Agabag

	Kepemilikan Lahan	
	Individu	Kelompok
Jenis penggunaan lahan	Pemukiman, Kebun dan Ladang	Gua walet (<i>Collocalia</i> sp.), sungai dan hutan
Cara memperoleh lahan	Membuka hutan, warisan	Adat, kesepakatan kelompok
Ukuran lahan	0.5 – 1.5 ha per rumah tangga	10 – 10 000 ha
Tanda batas	Pohon-pohonan/Tanam-tanaman	Batas alam (sungai, bukit, gunung)

Sumber: Dokumen Amdal Kabupaten Nunukan, 2002

Tabel 2.11. Sebaran plot yang dimiliki oleh rumah tangga

Jumlah plot	Jumlah Rumah tangga		
	Sebuku	Sembakung	Total
1	19 (37)	13 (25)	32 (63)
2	6 (12)	10 (20)	16 (31)
3		1 (2)	1 (2)
4	1 (2)	1 (2)	2 (4)
Total Plot	35 (51)	40 (49)	75 (100)

* Nilai di dalam kurung menunjukkan persentase dari plot.

Tabel 2.12. Cara untuk mendapatkan lahan

	Persentase plot dalam tiap-tiap lokasi		
	Sebuku	Sembakung	Total
Warisan	49	45	47
Membuka lahan	25	42	35
Membeli	3	-	1
Hibah	23	10	16
Bagi hasil	-	3	1

⁵ Sebelum tahun 1999, Malinau dan Nunukan masuk dalam wilayah Kabupaten Bulungan.

dan agroforestri. Sawah tadah hujan adalah satu-satunya sistem berbasis tanaman pangan yang ditemukan di lokasi survei, sedangkan lainnya berupa sistem berbasis pohon. Tabel 2.13 memberikan deskripsi umum mengenai masing-masing sistem berbasis pohon yang ditemukan.

Ada dua tipe perkebunan rakyat yaitu lada monokultur dan kelapa sawit. Kelapa sawit sepertinya baru ditanam di daerah ini, terlihat dari stadia pertumbuhannya yang masih muda. Kelapa sawit ini ditanam bersama-sama dengan padi lahan kering.

Sekitar 35% dari plot-plot yang ada berasal dari hutan, sebagian besar dibuka menjadi sistem agroforestri berbasis pohon buah-buahan. Sistem tersebut paling banyak dijumpai di daerah studi saat ini, yaitu sekitar 83% dari total plot (Tabel 2.14), yang dikelola

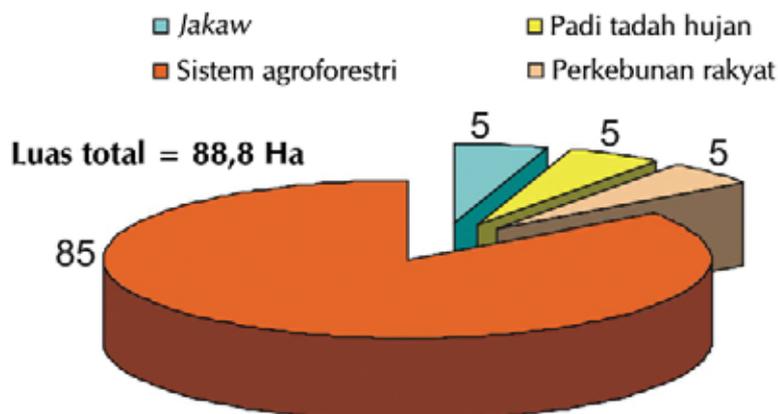
oleh 98% rumah tangga. Pada sistem agroforestri dikombinasikan antara pohon kopi atau pohon buah-buahan seperti rambutan, langsung dan lay dengan tanaman pangan setahun seperti kacang panjang, jagung dan kacang tanah. Sistem agroforestri mencakup 63,1 ha atau 71% dari total areal sistem pertanian yang dimiliki oleh responden (Gambar 2.2).

Sebagian besar plot (69%) mempunyai tujuan semi-komersial, memenuhi kebutuhan rumah tangga untuk konsumsi sendiri maupun sebagai penyedia pendapatan. Hanya kurang dari 3% sistem usaha tani yang mempunyai tujuan komersial.

Rata-rata ukuran plot di Kecamatan Sebuku adalah satu hektar, sementara di Kecamatan Sembakung lebih luas yaitu 1,4 hektar. Ukuran lahan yang dimiliki petani di

Tabel 2.13. Karakteristik sistem berbasis pohon

Sistem usaha tani	Deskripsi
Perkebunan rakyat	Perkebunan kelapa sawit, perkebunan lada (<i>Piper nigrum</i>) monokultur
Jakaw	Suatu sistem rotasi dimana petani melakukan tebas bakar pada areal bekas tebanan kemudian menanam tanaman padi untuk beberapa musim. Apabila hasil panen padi menurun, petani akan meninggalkan lahan tersebut dan membiarkannya sebagai lahan 'bera'
Sistem agroforestri	Sistem berbasis pohon buah-buahan, dimana petani menanam pohon buah-buahan di antara kayu-kayuan kualitas rendah pada hutan bekas tebanan. Pada periode awal, petani menanam singkong atau sayur-sayuran seperti kacang panjang (<i>Vigna unguiculata</i>), cabai (<i>Capsicum frutescens</i> dan <i>Capsicum annum</i>), kacang tanah (<i>Arachis hypogaea</i>), melon (<i>Cucumis melo</i>), semangka (<i>Citrullus lanatus</i>), caisin (<i>Brassica rapa</i>) dan terong (<i>Solanum melongena</i>).



Gambar 2.2. Sebaran sistem pertanian berdasarkan luasan (dalam persen)

Tabel 2.14. Jumlah plot dan rata-rata ukuran plot pada sistem pertanian di Kecamatan Sebuku dan Sembakung.

Sistem pertanian	Jumlah plot			Rata-rata ukuran plot (ha)		
	Sebuku	Sembakung	Total	Sebuku	Sembakung	Total
Sawah tadah hujan	-	3 (4)	3 (4)	-	1.3	1.3
Perkebunan rakyat	1 (1)	2 (3)	3 (4)	2	1.5	1.7
<i>Jakaw</i>	1 (1)	6 (8)	7 (9)	1	0.6	0.6
Sistem Agroforestri	33 (44)	29 (39)	62 (83)	1	1.4	1.2
Total plots	35 (46)	40 (54)	75 (100)	1	1.4	1.2

* Nilai di dalam kurung menunjukkan persentase dari plot

Tabel 2.15. Input tenaga kerja pada masing-masing sistem usaha (dalam HOK tahun⁻¹ hektar⁻¹)

Sistem usaha tani	Persiapan plot	Pemeliharaan plot	Aktivitas pemanenan dan pasca panen	Total
Padi tadah hujan	33	24	56	113
<i>Jakaw</i> (fase tanaman semusim)	36	77	24	136
Perkebunan rakyat				
Lada momokultur	50	87	5	142
Kelapa sawit	55	70	24	149
Sistem agroforestri	27	70	17	114

Kecamatan Sebuku adalah 1,3 ha dan di Sembakung 2,16 hektar.

Input

Input pada sistem usaha tani dikelompokkan menjadi dua komponen yaitu: tenaga kerja dan non tenaga kerja. Non tenaga kerja meliputi pupuk, pestisida dan herbisida. Pada area studi ini, input non tenaga kerja tidak digunakan oleh petani, kecuali pada perkebunan rakyat dan beberapa plot sistem agroforestri.

Total input tenaga kerja untuk sistem usaha tani di daerah studi berkisar antara 113 sampai 149 hari orang kerja (HOK) tahun⁻¹ hektar⁻¹. Untuk sistem berbasis pohon, aktivitas persiapan lahan diperlukan hanya pada permulaan tanam. Sehingga setelah tahun pertama, kebutuhan tenaga kerja pada sistem ini akan berkurang antara 23-36%. Pada sistem berbasis pohon, pemeliharaan plot merupakan komponen utama dari input tenaga kerja yaitu berkisar antara 47-61% dari total input tenaga kerja.

Tenaga kerja yang diperlukan untuk aktivitas pemanenan dan pasca panen pada sistem lada monokultur terlihat sangat sedikit. Kemungkinan karena lada merupakan tanaman yang pematangan buahnya terjadi secara beruntun sehingga aktivitas pemanenan seperti ini dimasukkan sebagai bagian dari pemeliharaan.

Sistem kelapa sawit di daerah ini masih pada tahap awal pertumbuhan, sehingga masih ditanami padi tadah hujan. Jumlah tenaga kerja yang diperlukan untuk aktivitas pemanenan pada sistem ini (Tabel 2.15) berkaitan dengan pemanenan padi lahan kering (lihat penerimaan yang diperoleh dari masing-masing sistem dalam Tabel 2.16).

Tabel 2.16 menunjukkan suatu perkiraan kasar mengenai penerimaan yang diperoleh dari masing-masing sistem. Penerimaan dihitung dari rata-rata hasil panen komoditi pada masing-masing sistem, dikalikan dengan harga. Seperti telah disebutkan bahwa hanya 3% dari plot di area studi yang mempunyai

tujuan komersial dan sekitar 46% mempunyai tujuan semi komersial, sehingga tidak semua produk dari sistem usaha tani akan dijual dan menjadi sumber uang keluarga. Produk seperti singkong dan padi sebagian besar akan dikonsumsi sendiri.

Pendapatan dan pengeluaran rumah tangga

Sumber utama pendapatan rumah tangga di daerah Sembakung berasal dari aktivitas pertanian (Tabel 2.17). Pada aktivitas pertanian tersebut pendapatan diperoleh dari produk yang dipasarkan, sedangkan produk yang dikonsumsi sendiri oleh masing-masing rumah tangga tidak dimasukkan dalam pendapatan.

Untuk responden di daerah Sebuku, sumber pendapatan berasal dari aktivitas pertanian maupun dari kehutanan. Di Sebuku, pendapatan dari sektor kehutanan berjumlah 56% dari total pendapatan rumah tangga, sedangkan di Sembakung pendapatan dari sektor kehutanan hanya berjumlah sekitar 7%. Perbedaan tersebut terjadi karena kualitas hutan yang ada di Sembakung sudah sangat rendah. Sebagian besar hutan di Sembakung telah dieksploitasi oleh perusahaan perusahaan hutan atau dikonversi menjadi perkebunan kelapa sawit maupun tanaman industri yang menanam *Acacia mangium* (CARE, 2005).

Di sisi lain, aktivitas non-pertanian di Sembakung memberikan sumbangan

Tabel 2.16. Penerimaan yang diperoleh dari masing-masing sistem

Sistem usaha tani	Komoditi	Penerimaan*) (Rupiah ⁶ tahun ⁻¹ ha ⁻¹)	Fraksi dari output yang dapat diperdagangkan
Padi lahan kering	Padi lahan kering	2.640.000	0
<i>Jakaw</i> (fase tanaman semusim)	Padi lahan kering, kayu untuk kebutuhan sendiri	1.091.000	0
Perkebunan rakyat			
Lada monokultur	Lada	750.000	1
Kelapa sawit	Padi lahan kering, pisang	505.000	0.88
Sistem agroforestri	Padi lahan kering, singkong, kopi, buah-buahan, sayur-sayuran	1.964.000	0.75

* Penerimaan diperhitungkan dari rata-rata hasil panen yang diperoleh pada tiap-tiap sistem usaha tani dikalikan dengan perkiraan harga. Produk yang dikonsumsi sendiri dimasukkan dalam perhitungan ini.

Tabel 2.17. Pendapatan rumah tangga berdasarkan sumbernya

Sumber	Sebuku		Sembakung		All	
	Jumlah responden	Pendapatan rata-rata *) (Rp/bulan)	Jumlah responden	Pendapatan rata-rata (Rp/bulan)	Jumlah responden	Pendapatan rata-rata (Rp/bulan)
Aktivitas pertanian	25	722.000	24	468.000	49	598.000
Hutan	92	1.466.000	4	580.000	27	1.334.000
<i>Kayu</i>	19	1.018.000	3	700.000	22	975.000
<i>Upah menebang Kayu (IPKK)</i>	2	1.250.000	-	-	2	1.250.000
<i>Hasil hutan non kayu</i>	15	791.000	2	110.000	17	711.000
Mencari ikan dan berburu	1	150.000	5	103.000	6	111.000
Aktivitas non pertanian lainnya	8	681.000	14	1.282.000	22	1.064.000

* Rata-rata pendapatan dibulatkan ke nilai ribuan rupiah terdekat.

⁶ Nilai tukar pada Bulan Desember 2003 - April 2004 adalah sekitar Rp. 8.900 per US\$.

pendapatan 88% lebih tinggi bila dibandingkan dengan di Sebuku. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan strategi antara kedua desa tersebut dalam upaya untuk memenuhi kebutuhannya, karena dipengaruhi oleh sumberdaya yang ada.

Perbedaan pilihan hidup yang ditemukan di masing-masing kecamatan, mempengaruhi pendapatan per kapita dan pendapatan per rumah tangga (Tabel 2.17). Sebuku mempunyai pendapatan rumah tangga dan pendapatan perkapita lebih tinggi bila dibandingkan dengan responden di Sembakung.

Di Sebuku, dua orang responden menerima pendapatan dari upah IPPK kayu masing-masing Rp. 1.250.000 per bulan atau

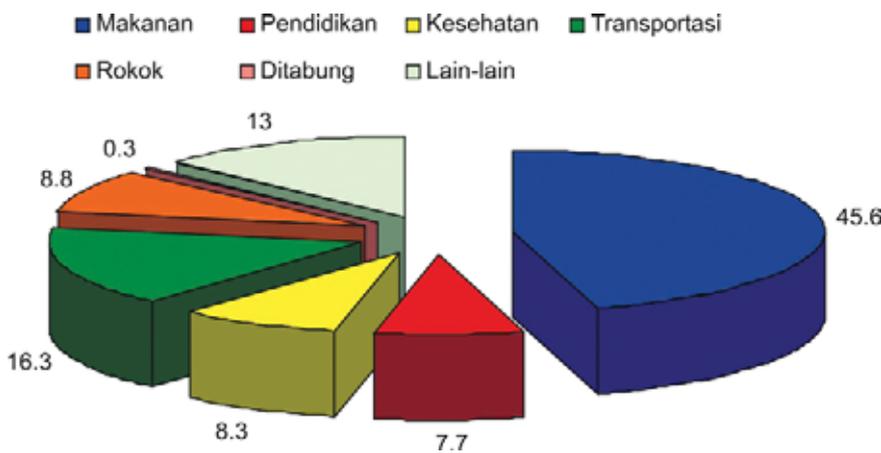
Rp. 15.000.000 per tahun. Di Malinau (Kamelarczyk, 2004), masyarakat yang tinggal di hutan Tanjung Naga pada tahun 2001 menerima kompensasi sebesar Rp. 100 juta untuk kayu yang telah diambil hingga tahun 2000. Uang yang diterima oleh masing-masing rumah tangga berkisar antara Rp. 1.950.000 hingga Rp. 6.282.000 per periode IPPK.

Indikator kemiskinan nasional untuk daerah pedesaan di Indonesia adalah Rp. Rp. 105.888 per orang per bulan. (BPS, 2003). Sementara itu, indikator regional untuk Kalimantan Timur adalah Rp. 145.460 per orang per bulan. Secara rata-rata, pendapatan per kapita untuk Sebuku dan Sembakung ada di atas rata-rata untuk indikator nasional maupun regional. Tetapi, apabila dilihat pada individu rumah tangga, 4% dari rumah tangga

Tabel 2.18. Pendapatan rumah tangga menurut responden.

	Sebuku	Sembakung	Total
Rata-rata pendapatan rumah tangga (Rp/bulan)	2.299.000	1.288.000	1.804.000
Pendapatan per kapita (Rp/orang/bulan)	446.000	228.000	334.000

* Pendapatan dibulatkan ke nilai ribuan rupiah terdekat.



Gambar 2.3. Proorsi pengeluaran oleh semua responden (dalam Ribuan Rupiah per bulan).

Tabel 2.19. Persentase pengeluaran terhadap pendapatan keluarga.

	Sebuku %	Sembakung %	Total %
Persentase pengeluaran untuk makanan terhadap pendapatan	14	17	15
Persentase pengeluaran non makanan terhadap pendapatan	19	16	18
Persentase total pengeluaran terhadap pendapatan	33	33	33

di Sebuku berada di bawah indikator kemiskinan regional dan 1% berada di bawah indikator kemiskinan nasional. Untuk responden di Sembakung, persentase rumah tangga yang berada di bawah indikator kemiskinan lebih tinggi, 44% dibawah indikator kemiskinan regional dan 28% di bawah indikator kemiskinan nasional.

Sekitar 46% pengeluaran rumah tangga dialokasikan untuk makanan. Transportasi kelihatannya merupakan komponen penting dari pengeluaran yang mencapai 16% dari seluruh pengeluaran. Proporsi pengeluaran yang dialokasikan untuk kesehatan sekitar 8%, sama dengan alokasi untuk rokok. Dalam hal rasio pengeluaran dan pendapatan, 33% dari pendapatan digunakan untuk pengeluaran rumah tangga.

Diskusi

Survei rumah tangga dilakukan untuk mengetahui mata pencaharian (pilihan hidup) masyarakat yang ada di sekitar hutan Kabupaten Nunukan. Memahami pilihan hidup masyarakat merupakan hal yang sangat diperlukan untuk mengetahui dan membandingkan keputusan yang dibuat oleh petani dalam mengelola lahannya berdasarkan pilihan yang ada.

Hasil survei dari dua kecamatan di Kabupaten Nunukan secara jelas menunjukkan perbedaan pilihan hidup karena perbedaan sumber daya yang ada, dalam kasus ini adalah kualitas hutan. Pendapatan petani di Sebuku berasal dari aktivitas pertanian dan produk-produk hutan, sedangkan sebagian besar pendapatan petani di Sembakung berasal dari aktivitas pertanian. Dari hasil studi pada dua kecamatan di Kabupaten Nunukan didapatkan bahwa bila masih tersedia banyak hutan dengan kualitas baik, maka pendapatan yang diperoleh dari hutan dapat memberikan sumbangan hingga 56% terhadap pendapatan rumah tangga.

Kayu adalah produk hutan yang paling menarik di daerah ini, oleh karena itu pennebangan hutan merupakan aktivitas non pertanian yang paling menarik. Aktivitas pennebangan hutan juga menghasilkan penerimaan yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan aktivitas pertanian. Literatur yang ada belum banyak memberikan informasi mengenai aspek sosial ekonomi pada tingkat keluarga, meskipun sebagian besar literatur mengakui aktivitas pennebangan kayu (illegal atau legal) sebagai bagian dari pilihan hidup masyarakat yang tinggal di sekitar hutan Kalimantan (Levang, 2002). Sulit untuk mendapatkan perkiraan berapa besar sumbangan dari aktivitas pennebangan kayu terhadap tingkat pendapatan rumah tangga. Sebagian besar literatur yang ada mendiskusikan mengenai ekonomi dari pennebangan kayu, illegal atau legal, oleh pengusaha hutan pada skala regional dan nasional (Casson dan Obidzinsky, 2002; Resosudarmo dan Dermawan, 2002 dan Smith *et al.*, 2003). Bahasan utama pada pennebangan legal adalah mengenai hal-hal yang berkaitan dengan pengelolaan hutan yang menyoroti pentingnya cara yang berkelanjutan dalam pemanenan kayu hutan (Barr, 2002 dan Sist *et al.*, 2003). Diskusi mengenai pennebangan illegal sebagian besar menyangkut kebijakan dan aspek pemerintahan, menekankan pada perlunya pemantauan pennebangan illegal yang lebih baik untuk menyelamatkan kehilangan pendapatan lokal dan nasional dari pajak pemungutan kayu (Taconi, 2004). Suatu studi tentang perspektif rumah tangga terhadap pennebangan kayu dan sumbangan ekonominya terhadap ekonomi rumah tangga sangat diperlukan. Dengan tujuan untuk memperoleh gambaran mengenai alternatif kegiatan yang dapat dilakukan petani untuk memperoleh pendapatan yang memadai, sebagai bagian dalam menemukan penyelesaian untuk mempertahankan hutan yang ada dan mengurangi deforestasi.

Kesimpulan

- Sistem usaha tani utama yang ada di Kecamatan Sebuku dan Sembakung di Nunukan adalah agroforestri berbasis pohon buah-buahan, dengan perbandingan 83% dari plot petani mencakup 71% lahan pertanian dan 98% dikelola oleh responden
- Sistem usaha tani lain yang ditemukan di daerah ini adalah *jakaw* (sistem rotasi 'bera' dengan padi lahan kering sebagai tanaman pangan), sistem padi tadah hujan dan perkebunan rakyat (kelapa sawit dan lada monokultur), yang dikelola oleh 29% responden.
- Penerimaan dari lahan sistem agroforestri adalah Rp. 1.964.000/ha, lebih rendah dibandingkan dengan sistem padi tadah hujan. Namun demikian, sistem ini merupakan sumber utama pendapatan petani di daerah Sebuku dan Sembakung karena sistem ini dikelola oleh sebagian besar petani dan 75% komoditi yang dihasilkannya adalah untuk dijual.
- Pendapatan perkapita di Sebuku dan Sembakung adalah Rp. 334.000 per bulan dan rata-rata pendapatan per rumah tangga adalah Rp. 1.804.000
- Di Sebuku, produk hutan memberikan sumbangan hingga 56% dari pendapatan rumah tangga, hal ini berlawanan dengan yang terjadi di Sembakung hanya 7%. Pendapatan tambahan yang berasal dari produk-produk kehutanan meningkatkan pendapatan rumah tangga rata-rata mulai 78% dan meningkatkan pendapatan per kapita mulai 96%.

3. PENDUGAAN CADANGAN KARBON DI ATAS PERMUKAAN TANAH PADA BERBAGAI SISTEM PENGGUNAAN LAHAN DI KABUPATEN NUNUKAN, KALIMANTAN TIMUR

Subekti Rahayu, Betha Lusiana dan Meine van Noordwijk

Pendahuluan

Peran ekosistem daratan dalam siklus karbon global merupakan topik yang menarik bagi peneliti dan pembuat kebijakan lingkungan. Aliran karbon dari atmosfer ke vegetasi merupakan aliran yang bersifat dua arah, yaitu pengikatan CO₂ ke dalam biomasa melalui fotosintesis dan pelepasan CO₂ ke atmosfer melalui proses dekomposisi dan pembakaran. Diperkirakan sekitar 60 Pg¹ karbon mengalir antara ekosistem daratan dan atmosfer setiap tahunnya, dan sebesar 0,7 ± 1,0 Pg karbon diserap oleh ekosistem daratan (Lasco, 2004). Alih guna lahan dan konversi hutan merupakan sumber utama emisi CO₂ dengan jumlah sebesar 1,7 ± 0,6 Pg karbon per tahun (Watson *et al.*, 2000). Apabila laju konsumsi bahan bakar dan pertumbuhan ekonomi global terus berlanjut seperti yang terjadi pada saat ini, maka dalam jangka waktu 100 tahun yang akan datang suhu global rata-rata akan meningkat sekitar 1,7 - 4,5°C (Houghton *et al.*, 2001).

Kegiatan konversi hutan menjadi lahan pertanian melepaskan cadangan karbon ke atmosfer dalam jumlah yang cukup berarti. Namun jumlah tersebut tidak memberikan dampak yang berarti terhadap jumlah CO₂ yang mampu diserap oleh hutan dan daratan

secara keseluruhan. Dampak konversi hutan ini baru terasa apabila diikuti dengan degradasi tanah dan hilangnya vegetasi, serta berkurangnya proses fotosintesis akibat munculnya hutan beton serta lahan yang dipenuhi bangunan-bangunan dan aspal sebagai pengganti tanah atau rumput. Meskipun laju fotosintesis pada lahan pertanian dapat menyamai laju fotosintesis pada hutan, namun jumlah cadangan karbon yang terserap lahan pertanian jauh lebih kecil. Selain itu, karbon yang terikat oleh vegetasi hutan akan segera dilepaskan kembali ke atmosfer melalui pembakaran, dekomposisi sisa panen maupun pengangkutan hasil panen. Masalah utama yang terkait dengan alih guna lahan adalah perubahan jumlah cadangan karbon. Pelepasan karbon ke atmosfer akibat konversi hutan berjumlah sekitar 250 Mg ha⁻¹ C yang terjadi selama penebangan dan pembakaran, sedangkan penyerapan kembali karbon menjadi vegetasi pohon relatif lambat, hanya sekitar 5 Mg C ha⁻¹ year⁻¹.

Untuk mengurangi dampak perubahan iklim, upaya yang dapat dilakukan saat ini adalah meningkatkan penyerapan karbon (Sedjo and Salomon, 1988) dan/atau menurunkan emisi karbon (Lasco, 2004). Penurunan emisi karbon dapat dilakukan dengan: (a) mempertahankan cadangan karbon yang telah ada dengan: mengelola hutan lindung, mengendalikan deforestasi,

¹ 1 Pg = 10¹⁵ g = 10⁹ Mg = 1 Gt

menerapkan praktek silvikultur yang baik, mencegah degradasi lahan gambut dan memperbaiki pengelolaan cadangan bahan organik tanah, (b) meningkatkan cadangan karbon melalui penanaman tanaman ber kayu dan (c) mengganti bahan bakar fosil dengan bahan bakar yang dapat diperbarui secara langsung maupun tidak langsung (angin, biomasa, aliran air), radiasi matahari, atau aktivitas panas bumi (Lasco *et al.*, 2004).

Peningkatan penyerapan cadangan karbon dapat dilakukan dengan (a) meningkatkan pertumbuhan biomasa hutan secara alami, (b) menambah cadangan kayu pada hutan yang ada dengan penanaman pohon atau mengurangi pemanenan kayu, dan (c) mengembangkan hutan dengan jenis pohon yang cepat tumbuh (Sedjo and Salomon, 1988). Karbon yang diserap oleh tanaman disimpan dalam bentuk biomasa kayu, sehingga cara yang paling mudah untuk meningkatkan cadangan karbon adalah dengan menanam dan memelihara pohon (Lasco *et al.*, 2004).

Komponen cadangan karbon daratan terdiri dari cadangan karbon di atas permukaan tanah, cadangan karbon di bawah permukaan tanah dan cadangan karbon lainnya. Cadangan karbon di atas permukaan tanah terdiri dari tanaman hidup (batang, cabang, daun, tanaman menjalar, tanaman epifit dan tumbuhan bawah) dan tanaman mati (pohon mati tumbang, pohon mati berdiri, daun, cabang, ranting, bunga, buah yang gugur, arang sisa pembakaran). Cadangan karbon di bawah permukaan tanah meliputi akar tanaman hidup maupun mati, organisme tanah dan bahan organik tanah. Pemanenan hasil kayu (kayu bangunan, pulp, arang atau kayu bakar), resin, buah-buahan, daun untuk makanan ternak menyebabkan berkurangnya cadangan karbon dalam skala plot, tetapi belum tentu demikian jika kita perhitungkan dalam skala global. Demikian juga halnya dengan hilangnya bahan organik tanah melalui erosi. Beberapa sistem penilaian karbon global

memperhitungkan aliran karbon (khususnya yang berkaitan dengan pohon/kayu) dan dekomposisi yang terjadi. Tetapi memperoleh hasil penilaian yang konsisten cukup sulit apabila metode penilaian tidak memperhitungkan keseluruhan cadangan karbon yang ada, khususnya di daerah perkotaan. Sebagai contoh, memperhitungkan lama hidup alat-alat rumah tangga yang terbuat dari kayu yang tetap tersimpan dalam bentuk kayu untuk jangka waktu yang lama dan tidak menjadi sumber emisi karbon. Canadell (2002), mengatakan bahwa untuk memperoleh potensial penyerapan karbon yang maksimum perlu ditekankan pada kegiatan peningkatan biomasa di atas permukaan tanah bukan karbon yang ada dalam tanah, karena jumlah bahan organik tanah yang relatif lebih kecil dan masa keberadaannya singkat. Hal ini tidak berlaku pada tanah gambut (van Noordwijk *et al.*, 1997; Paustian *et al.*, 1997)

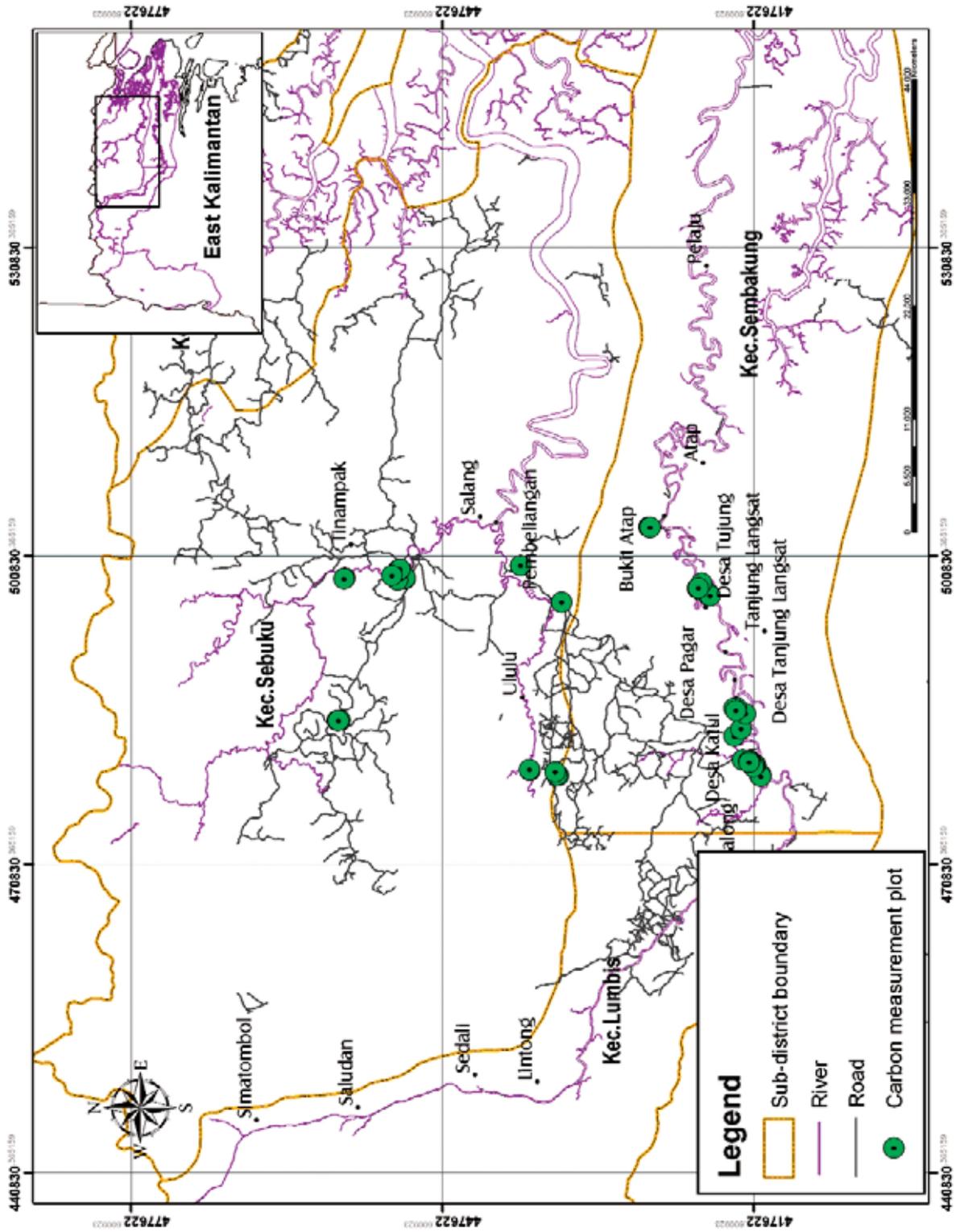
Tulisan ini memaparkan studi yang dilakukan di Kabupaten Nunukan, Kalimantan Timur untuk mengukur cadangan karbon pada berbagai sistem penggunaan lahan. Studi dilakukan oleh proyek FORMACS (Pengelolaan Sumber Daya Alam untuk Penyerapan Karbon) yang bertujuan untuk:

1. mengetahui cadangan karbon pada berbagai sistem penutupan lahan terutama pada sistem penggunaan lahan yang ada di lokasi studi.
2. mengetahui sistem penggunaan lahan yang dapat memberikan keuntungan bagi masyarakat di sekitar hutan tetapi tetap mempertahankan cadangan karbon di alam.

Metode

Skala plot

Sebelum melakukan pengukuran dilakukan survei terlebih dahulu di Kecamatan Sebuku dan Sembakung untuk mengidentifikasi sistem penggunaan lahan yang ada dan menentukan



Gambar 3.1. Peta plot-plot pengukuran karbon.

kelas-kelas penutupan lahan yang berkaitan dengan siklus dari masing-masing sistem penggunaan lahan. Pada survei ini ditentukan 'strata' yang dianggap sebagai 'skema stratified sampling'.

Pengukuran dilakukan pada 54 plot contoh (lihat Tabel Lampiran 8) selama periode Desember 2003 - Maret 2004, meliputi hutan primer, hutan bekas tebangan² (3, 10, 30, 50 tahun setelah tebang pertama), padi ladang, jakaw (1, 2, 3, 4, 5, 7, dan 15 tahun setelah pembukaan lahan), agroforestri (9, 11-20, 21-30 tahun) dan alang-alang. Pada tiap-tiap plot dilakukan pengukuran diameter dan tinggi tanaman hidup dan tanaman mati. Tanaman hidup maupun mati yang berdiameter 5-30 cm diukur pada plot berukuran 10 m x 30 m, dan yang berdiameter > 30 cm diukur pada plot 20 m x 100 m. Pengambilan contoh tumbuhan bawah dan seresah dilakukan dengan kuadran berukuran 2 x 0.5 m x 0.5 m yang ditempatkan di dalam plot 10 m x 30 m. Protokol pengambilan contoh cadangan

karbon secara lengkap dapat dilihat dalam Hairiah *et al.*, 2001. Pada survei ini pengukuran cadangan karbon hanya dilakukan di atas permukaan tanah.

Pohon

Cadangan karbon pada suatu sistem penggunaan lahan dipengaruhi oleh jenis vegetasinya. Suatu sistem penggunaan lahan yang terdiri dari pohon dengan spesies yang mempunyai nilai kerapatan kayu tinggi, biomasanya akan lebih tinggi bila dibandingkan dengan lahan yang mempunyai spesies dengan nilai kerapatan kayu rendah.

Biomasa pohon (dalam berat kering) dihitung menggunakan "*allometric equation*" berdasarkan pada diameter batang setinggi 1,3 m di atas permukaan tanah³ (dalam cm). Tabel 3.1 berisi daftar allometric equation yang digunakan dalam mengestimasi biomasa pada berbagai jenis vegetasi. Nilai kerapatan kayu diambil dari 'literature review' yang dikemas dalam database⁴.

Tabel 3.1. Allometric equation yang digunakan pada penghitungan biomass pohon.

Jenis pohon	Allometric equation	Sumber
Pohon-pohon bercabang	$B = 0.11\rho D^{2.62}$	Ketterings, 2001
Pohon tidak bercabang	$B = (\pi/40) \rho H D^2$	Hairiah, 2002
Nekromas (pohon mati)	$B = (\pi/40) \rho H D^2$	Hairiah, 2002
Kopi	$B = 0.281 D^{2.06}$	Arifin, 2001; Van Noordwijk, 2002
Pisang	$B = 0.030 D^{2.13}$	Arifin, 2001; Van Noordwijk, 2002
Sengon	$B = 0.0272 D^{2.831}$	Sugiarto, 2002; Van Noordwijk, 2002
Palm	$B = BA * H * \rho$	Hairiah, 2000

BK = berat kering (kg pohon⁻¹)
 H = tinggi tanaman (cm)
 ρ = kerapatan kayu (Mg m⁻³, kg dm⁻³ atau g cm⁻³)
 D = diameter (cm) setinggi dada (1.3 m)
 BA = Basal area (cm²)

³ Australian Greenhouse Office (2002) merekomendasikan tiga metode untuk model biomasa yaitu: (i) allometric equations antara diameter dan/atau tinggi untuk biomasa di atas permukaan tanah, (ii) model volume batang dan konversi ke biomasa di atas permukaan tanah menggunakan satu faktor (iii) hubungan basal area dengan biomasa http://www.greenhouse.gov.au/land/bush_workbook_a3/index.html

² Hutan bekas tebangan adalah sisa hutan yang ditebang oleh perusahaan pemegang Hak Pengusahaan Hutan (HPH). Perusahaan pemegang HPH hanya menebang pohon yang berdiameter > 50 cm dan kemudian meninggalkan hutan tersebut.

⁴ Nilai kerapatan kayu dipeloreh dari referensi yang telah dikemas dalam database. Sampai saat ini telah tersedia data kerapatan kayu dari 4000 species dari seluruh dunia di: <http://www.worldagroforestry.org/sea/Products/AFModels/treenwood/treenwood.htm>

Dari berat kering komponen penyimpan karbon dalam suatu luasan tertentu kemudian dikonversi ke nilai karbonnya dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Karbon biomasa} = \text{Total berat kering} * 0.45$$

'Time-averaged' cadangan karbon

Untuk membandingkan potensi penyerapan karbon pada berbagai sistem penggunaan lahan, perlu diketahui waktu siklus karbon, nilai minimum dan maksimum karbon yang diharapkan pada suatu lanskap. Jika tidak ada proses kegiatan intensifikasi atau adopsi cara baru, diasumsikan bahwa semua fase dari siklus karbon yang mewakili secara spasial sesuai dengan proporsinya secara total. "Time-averaged" cadangan karbon didefinisikan sebagai integral antar waktu dari cadangan karbon pada masing-masing fase dari suatu siklus, dibagi dengan lama siklus. Untuk sistem pertanian rotasional (bergilir), 'time-averaged' cadangan karbon dapat digunakan untuk menduga pada skala lanskap (Palm, 1995). Di Nunukan, sistem jakaw-padi adalah suatu sistem rotasi. Dengan mengasumsikan laju penyerapan karbon selama 'bera' dengan 'time-independent', maka 'time-averaged' cadangan karbonnya dapat dihitung dengan:

$$C \text{ [Mg ha}^{-1}] = f_{\text{crop}} C_{\text{crop}} + f_{\text{fallow}} C_{\text{fallow}} = f_{\text{crop}} C_{\text{crop}} + f_{\text{fallow}} (T_{\text{fallow}} C_{\text{incr,fallow}}) / 2 \quad (1)$$

Dimana f_{crop} dan f_{fallow} merupakan fraksi dari waktu ketika lahan ditanami tanaman pangan atau di'bera'kan, C_{crop} dan C_{fallow} adalah cadangan karbon [Mg ha⁻¹] pada fase tanaman pangan dan 'bera', T_{fallow} adalah waktu yang digunakan dalam satu kali siklus 'bera' (tahun) dan $C_{\text{incr,fallow}}$ adalah laju penyerapan karbon [Mg ha⁻¹ tahun⁻¹] selama fase 'bera'.

Hasil dan Pembahasan

Keragaman pohon

Keragaman kerapatan jenis kayu

Rangkuman dari nilai kerapatan kayu (berdasarkan database) untuk spesies yang ditemukan pada berbagai sistem penggunaan lahan di Kabupaten Nunukan dicantumkan dalam Tabel 3.2. Hutan primer mempunyai prosentase spesies dengan kerapatan kayu berat hingga sangat berat sekitar 42%, hutan bekas tebangan 32%, agroforestri 11% dan jakaw 19%. *Jakaw* dan agroforestri didominasi oleh pohon dengan kerapatan kayu rendah hingga sedang (sekitar 80%).

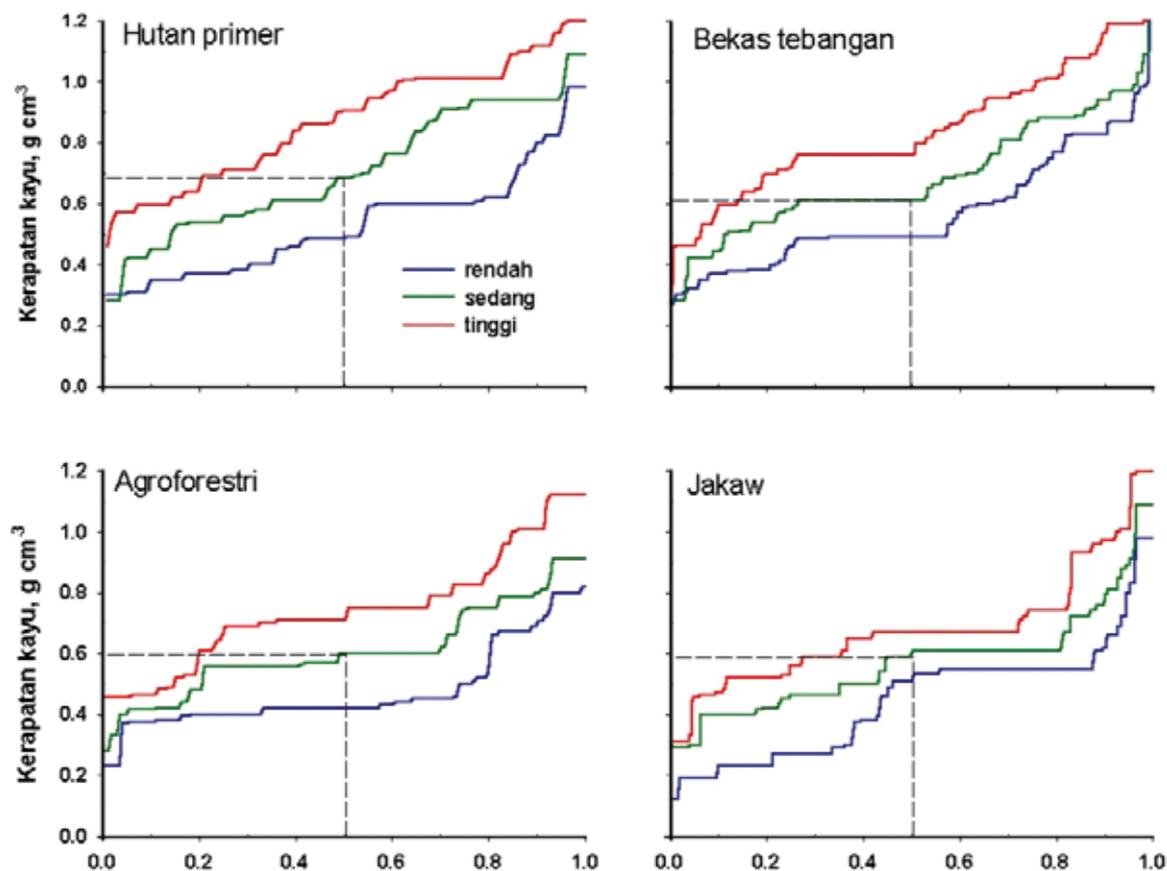
Tabel 3.2. Kerapatan kayu dan sebaran kualitasnya pada berbagai sistem penggunaan lahan.

Sistem penggunaan lahan	Nilai Tengah ⁵ Kerapatan kayu (Mg ⁶ .m ⁻³)	Sebaran spesies ⁷ (%)			
		Ringan	Sedang	Berat	Sangat berat
Hutan primer	0.68	34.2	23.4	11.7	30.6
Hutan bekas tebangan	0.61	25.9	41.3	17.6	15.2
Agroforestri	0.60	50.1	38.1	7.0	4.7
Jakaw	0.59	61.7	18.8	12.5	7.0

⁵ Nilai Kerapatan kayu diperoleh dari referensi berdasarkan penelitian. Sebagai contoh: Tengkawang (*Shorea stenoptera* Burck.) mempunyai nilai kerapatan kayu of 0,31 - 0,57 Mg.m³. Dengan demikian nilai tengah kerapatan kayu Tengkawang adalah 0.42 Mg.m³.

⁶ Mg = 10⁶ g = 1 ton. Dalam studi ini, kita menggunakan satuan Mg.m³ untuk menggantikan satuan kg.m³, dengan alasan satuan Internasional tersebut setara dengan gr.cm³ (sementara kg.m³ = 1000 x gr.cm³).

⁷ Kayu digolongkan ringan apabila kerapatannya < 0,6 gr.cm³, sedang 0,6 - 0,75 gr.cm³, berat 0,75 - 0,9 gr.cm³ dan sangat berat > 0,9 gr.cm³ (Pendidikan Industri Kayu Atas, 1979).



Gambar 3.2. Frekuensi kumulatif kerapatan kayu pada hutan primer, hutan bekas tebangan, agroforestri dan jakaw di Kabupaten Nunukan.

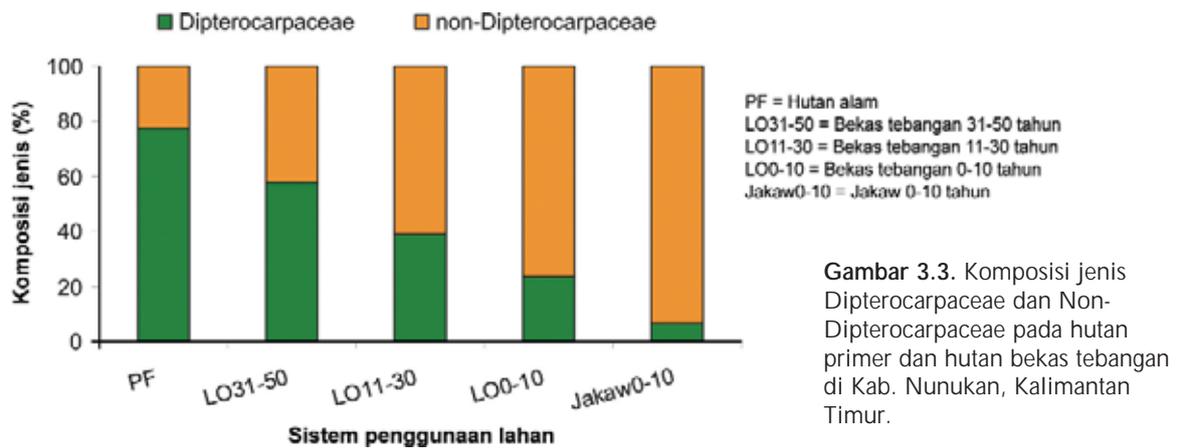
Spesies pohon di hutan primer mempunyai nilai tengah kerapatan kayu yang relatif tinggi yaitu $0,68 \text{ g cm}^{-3}$, sedangkan pada hutan bekas tebangan $0,61 \text{ g cm}^{-3}$, pada agroforestri $0,6 \text{ g cm}^{-3}$ dan jakaw hanya sekitar $0,59 \text{ g cm}^{-3}$ seperti terlihat pada Gambar 3.2.

Keragaman spesies

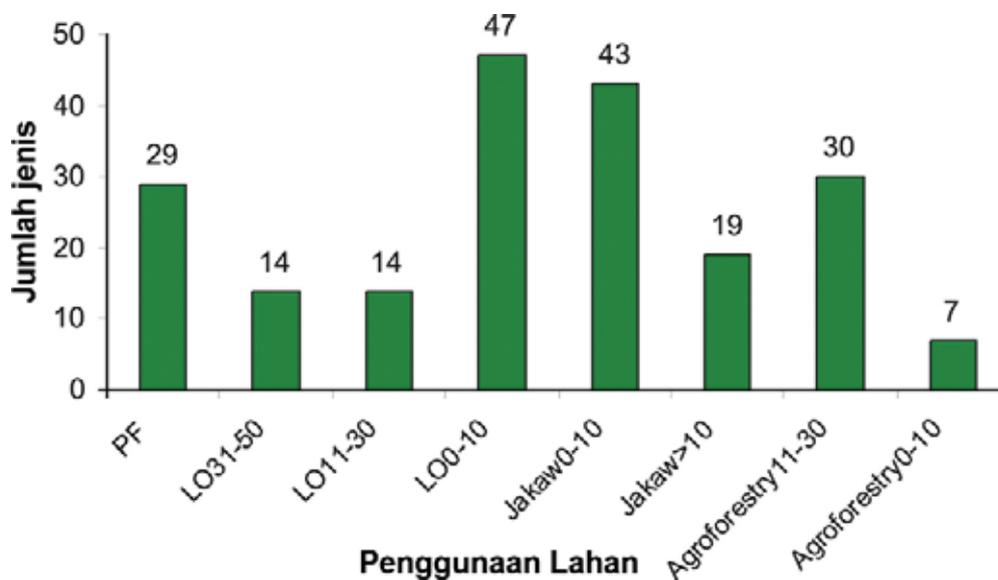
Pada hutan primer di lokasi studi, jenis-jenis vegetasi didominasi oleh kayu komersial dari famili Dipterocarpaceae seperti keruing (*Dipterocarpus* sp.), meranti (*Shorea* sp.) dan kayu kapur (*Dryobalanops* sp.) yang menempati 40%, sedangkan 60% diantaranya terdiri dari jenis-jenis dari famili Ebenaceae (*Diospyros* sp.), Meliaceae (*Aglaia* sp.), Lauraceae (*Beilschmiedia* sp., *Eusiderixylon* sp.), Rutaceae (*Muraya* sp.), Sterculiaceae (*Pterospermum* sp.)

yang memiliki kisaran kerapatan kayu dari berat hingga sangat berat dan Sapotaceae (*Palaquium* sp.), Anacardiaceae (*Buchanania* sp., *Gluta* sp.), Myriasticaceae (*Horsfieldia* sp.) yang memiliki kerapatan kayu sedang. Sedangkan pada hutan bekas tebangan umur 0-10 tahun dan 11-30 tahun, jenis-jenis pohon dari famili Dipterocarpaceae telah berkurang menjadi sekitar 30%, karena ditebang. Pada hutan bekas tebangan 31-50 tahun, pohon dari famili Dipterocarpaceae menempati 78% dari total pohon seperti ditampilkan pada Gambar 3.3.

Pada *jakaw* yang ditinggalkan selama 1 tahun, vegetasi yang ada hanyalah pisang hutan. Tumbuhan perintis seperti sedaman (*Macaranga* sp.) dari famili Euphorbiaceae mulai tumbuh pada *jakaw* yang ditinggalkan antara 2 sampai 6 tahun.



Gambar 3.3. Komposisi jenis Dipterocarpaceae dan Non-Dipterocarpaceae pada hutan primer dan hutan bekas tebangan di Kab. Nunukan, Kalimantan Timur.



Gambar 3.4. Jumlah jenis tanaman berkayu yang ditemukan pada berbagai sistem penggunaan lahan di Kab. Nunukan, Kalimantan Timur.

Apabila dilihat berdasarkan jumlah jenis tanaman berkayu yang ditemukan pada sistem agroforestri, jakaw, hutan bekas tebangan dan hutan primer, jumlah jenis tertinggi terdapat pada hutan bekas tebangan 0-10 tahun (47 jenis) dan jakaw 0-10 tahun (43 jenis) seperti terlihat pada Gambar 3.4.

Sistem agroforestri yang umum dikelola oleh petani-petani di Nunukan adalah sistem agroforestri berbasis pohon buah-buahan. Pada sistem agroforestri yang berumur 0-10 tahun, selain pohon buah-buahan, masih terdapat jenis-jenis kayu kualitas rendah yang merupakan sisa tebangan seperti terap

(*Artocarpus* sp.) dan sedaman (*Macaranga* sp.). Pada sistem agroforestri lebih dari 10 tahun, terdapat lebih banyak spesies buah-buahan. Pohon buah-buahan yang umum ditanam antara lain durian (*Durio zibethinus*), mangga (*Mangifera indica*), langsung (*Lansium domesticum*), cempedak (*Artocarpus integer*), rambutan (*Nephelium lappaceum*) dan kelapa (*Cocos nucifera*). Pada beberapa kebun ada juga tanaman kopi (*Coffea* sp.) dan cacao (*Theobroma cacao*) dalam komponen agroforestri. Dalam sistem agroforestri ini jumlah species yang ada hampir sama dengan di hutan, tetapi mempunyai komposisi yang berbeda (Gambar 3.4)

Keragaman ukuran

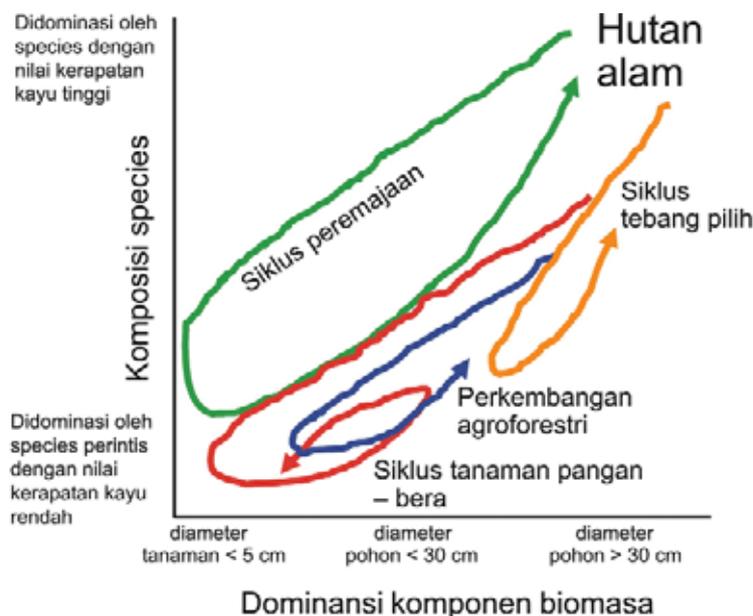
Keberadaan pohon yang berdiameter > 30 cm pada suatu sistem penggunaan lahan, memberikan sumbangan yang cukup berarti terhadap total cadangan karbon. Pada hutan primer 70% dari total biomasa berasal dari pohon yang berdiameter > 30 cm, sedangkan pohon yang berdiameter antara 5-30 cm hanya sekitar 30%. Hairiah dan Murdiyarso (*in press*), mengatakan bahwa pada hutan alam pohon yang berdiameter 5-30 cm (sapling) hanya ada apabila terjadi celah akibat pohon tumbang.

Pada hutan bekas tebangan, cadangan karbon pada pohon yang berdiameter >30 cm mengalami peningkatan seiring umur hutan bekas tebangan tersebut. Secara berturut turut persentase cadangan karbon dari pohon yang berdiameter > 30 cm adalah 75%, 78% dan 83% pada hutan bekas tebangan umur 0-10, 11-30 dan 31-50 tahun.

Pohon yang berdiameter >30 cm memberikan sumbangan cadangan karbon sebanyak 30% dari total karbon pada sistem agroforestri umur 0-10 tahun dan 15% pada umur 11-30 tahun. Perbedaan komposisi ukuran pada sistem agroforestri terjadi karena perbedaan jenis pohon yang ditanam. Pada

agroforestri umur 0-10 tahun, lahan yang diambil sebagai contoh didominasi oleh pohon buah-buahan, sedangkan pada agroforestri 11-30 tahun merupakan kebun kopi campuran, sehingga sumbangan cadangan karbon lebih banyak berasal dari pohon yang berdiameter 5-30 cm. Kopi (berdiamater 5-30 cm) yang ditanam secara multistrata di Lampung, pada umur kebun antara 20-30 tahun memberikan sumbangan cadangan karbon sebesar 41% dari total cadangan karbon yang ada (Rahayu *et al.*, *submitted*).

Pada jakaw umur 0-10 tahun cadangan karbon 100% berasal dari pohon yang berdiameter antara 5-30 cm karena belum terdapat pohon yang berdiameter > 30 cm. Pada sistem jakaw petani membabat habis semua vegetasi yang ada, sehingga pertumbuhan bermula dari awal. Pada jakaw umur > 10 tahun, pohon yang berdiameter > 30 tahun sudah memberikan sumbangan biomasa sebanyak 80% dari total biomasa. Jakaw umumnya didominasi oleh tanaman perintis yang cepat tumbuh sehingga dalam waktu 15 tahun sudah banyak pohon yang mencapai diameter > 30 cm.



Gambar 3.5. Skema hubungan antara komposisi spesies dengan komposisi biomasa pada berbagai bentuk penggunaan lahan yang merupakan perubahan dari hutan alam di Kab. Nunukan.

Biomasa karbon

Total biomasa karbon

Estimasi cadangan karbon di atas permukaan tanah pada berbagai sistem penggunaan lahan di Kab. Nunukan berkisar antara 4,2 - 230 Mg ha⁻¹, seperti tercantum dalam Tabel 3.3.

Cadangan karbon di atas permukaan tanah pada hutan primer di Kec. Sebuku dan Sembakung, Kab. Nunukan masih tergolong cukup baik, yaitu 230 Mg ha⁻¹. Studi dari proyek Alternatives to Slash-and-Burn (ASB) di Sumatra menemukan bahwa cadangan karbon pada hutan primer mencapai 300 Mg C ha⁻¹ (Hairiah and Murdiyarso, *in press*). Hutan di Indonesia diperkirakan mempunyai cadangan karbon berkisar antara 161-300 Mg C ha⁻¹ (Murdiyarso *et al.*, 1995). Lasco (2002) telah mereview berbagai studi mengenai cadangan karbon di Asia Tenggara. Cadangan karbon di hutan tropik Asia berkisar antara 40-250 Mg C ha⁻¹ untuk vegetasi dan 50-120 Mg C ha⁻¹ untuk tanah. Pada studi inventarisasi gas rumah kaca, IPCC merekomendasikan suatu nilai cadangan karbon 138 Mg C ha⁻¹ (atau 250 Mg ha⁻¹ dalam berat kering biomasa) untuk hutan-hutan basah di Asia (Lasco, 2002).

Cadangan karbon di hutan alam dijadikan sebagai acuan dalam studi ini. Pengukuran pada hutan bekas tebangan mendapatkan nilai

cadangan karbon berkisar antara 80-92%. Dari nilai tersebut, tidak diketahui polanya dengan jelas mengenai periode waktu setelah penebangan. Faktor yang mempengaruhi adalah:

- Komposisi asli dari hutan: hal yang menarik dari hutan adalah jumlah spesies yang dapat diambil maupun lokasi; hutan yang ditebang lebih awal mungkin berbeda dengan hutan yang ditebang belakangan.
- Perubahan dalam praktek penebangan dari waktu ke waktu, dalam kaitannya dengan pasar (dengan upah yang lebih besar per pohon, merupakan hal yang menarik secara ekonomi untuk melakukan penebangan), teknik pemanenan, peraturan pemerintah dan monitoring sesuai dengan hukum

Karena tidak ada analisis lebih lanjut mengenai faktor-faktor di atas, maka dari berbagai plot bekas tebangan diambil rata-rata dan digunakan sebagai indikasi untuk 'hutan bekas tebangan', tanpa melihat komponen waktu pemulihannya. Lasco (2002), mengatakan bahwa aktivitas penebangan hutan untuk pemanenan kayu berperan dalam menurunkan cadangan karbon di atas permukaan tanah minimal 50%. Di hutan tropis Asia, penurunan cadangan karbon akibat aktivitas tersebut berkisar antara 22%-67%, di Indonesia diperkirakan 38%-75%. Meskipun demikian, kerusakan akibat

Tabel 3.3. Rata-rata cadangan karbon di atas permukaan tanah pada berbagai sistem penggunaan lahan di Kabupaten Nunukan.

Jenis penggunaan lahan	Cadangan karbon (Mg ha ⁻¹)	Persentase (%)
Hutan primer	230,1	100
Hutan bekas tebangan 0-10 tahun	206,8	90
Hutan bekas tebangan 11-30 tahun	212,9	92
Hutan bekas tebangan 31-50 tahun	184,2	80
<i>Jakaw</i> 0-10 tahun	19,4	8
<i>Jakaw</i> > 10 tahun	58,0	25
Agroforestri 0-10 tahun	37,7	16
Agroforestri 11-30 tahun	72,6	31
<i>Imperata</i>	4,2	2
Padi	4,8	2

penebangan dapat diturunkan dengan praktek penebangan yang sesuai (menggunakan tektik pengarahannya rebahnya pohon dan perencanaan untuk pengangkutan).

Cadangan karbon di atas permukaan tanah pada agroforestri umur 0-10 tahun adalah 37.7 Mg ha⁻¹ dan pada umur 11-30 tahun mencapai 72,6 ton ha⁻¹ atau sekitar 16% dan 32% dari hutan primer. Sistem jakaw umur 0-10 tahun mempunyai cadangan karbon di atas permukaan tanah 19 ton ha⁻¹ dan pada umur 15 tahun 58 ton ha⁻¹ atau 8% dan 25% dari hutan primer. Pada sistem agroforestri cadangan karbonnya lebih tinggi bila dibandingkan dengan sistem jakaw, karena pada agroforestri masih terdapat sisa-sisa pohon bekas tebangan sedangkan pada jakaw petani melakukan menebang dan membakar semua vegetasi yang ada.

Pada lahan alang-alang dan padi di lokasi studi cadangan karbon di atas permukaan tanah hanya 4 Mg ha⁻¹ dan 4,8 Mg ha⁻¹. Cadangan karbon yang berupa biomasa pada tanaman padi, akan dilepaskan kembali ketika panen melalui hasil panen berupa padi maupun pembakaran jerami atau dekomposisi jerami. Selain itu, penurunan cadangan karbon juga terjadi akibat penyiangan gulma, pengolahan tanah dan pengairan (Hairiah dan Murdiyarto, *inpress*).

Komposisi komponen penyusun cadangan karbon

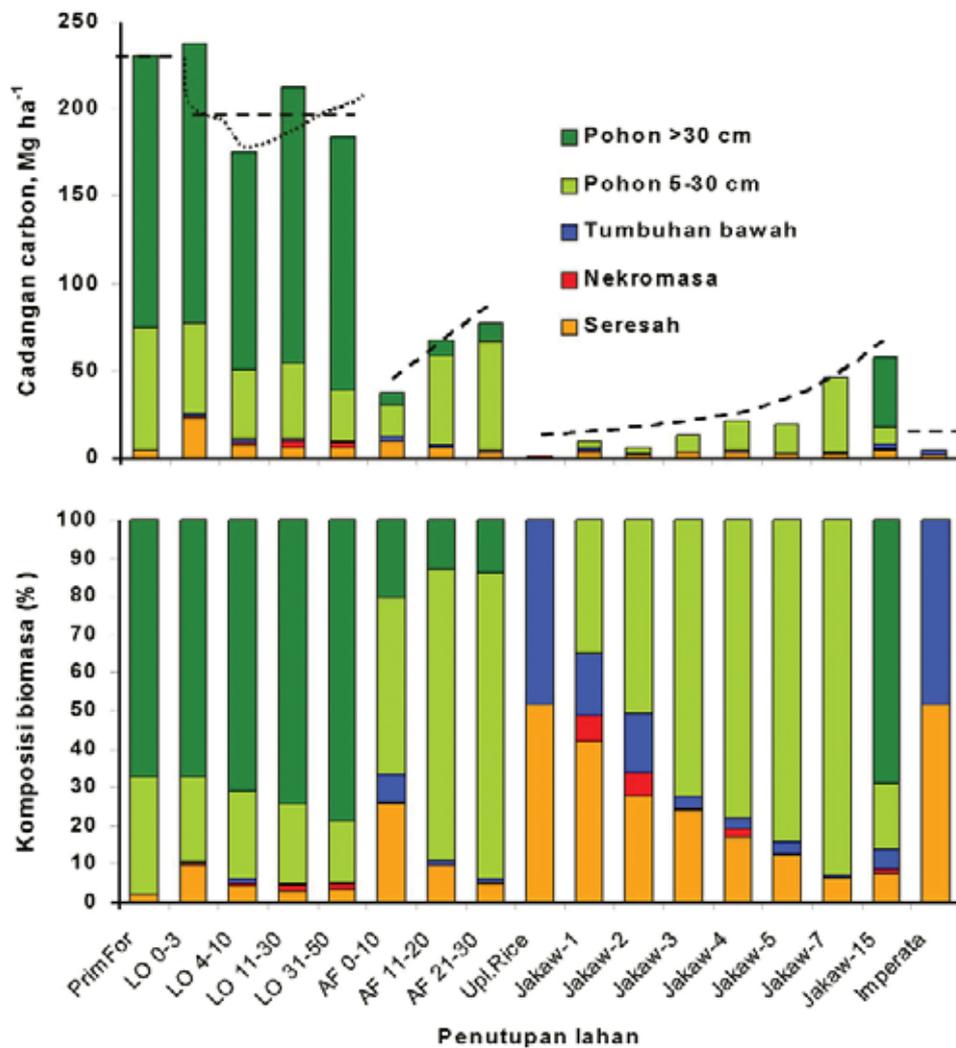
Pohon merupakan komponen terbesar dari biomasa di atas permukaan tanah. Hasil dari studi ini menunjukkan bahwa biomasa pohon dari hutan primer, hutan bekas tebangan dan agroforestri umur 11-30 tahun menyumbang 90% dari total karbon (Gambar 3.6). Nekromasa, tumbuhan bawah dan seresah hanya memberikan sekitar 10%. Kondisi ini hampir sama dengan pengamatan yang pernah dilakukan di hutan sekuder Sumberjaya, Lampung yaitu 8% (Van Noordwijk *et al.*, 2002).

Pada jakaw 0-10 tahun, cadangan karbon yang berasal dari biomasa pohon paling kecil bila dibandingkan dengan sistem penggunaan lahan lainnya yaitu 68%. Nekromasa menempati 2,5%, tumbuhan bawah 7% dan seresah 21,5%. Sistem agroforestri umur 0-10 tahun mempunyai 78,3%, 0,4%, 5% dan 17,6% dari total karbon dalam bentuk biomas, nekromasa, tumbuhan bawah dan seresah. Pada agroforestri, biomasa pohon mengalami peningkatan seiring dengan waktu. Plot jakaw mempunyai nekromasa yang lebih tinggi (secara relatif maupun secara mutlak). Keadaan ini sangat erat kaitannya dengan teknik pembukaan lahan yang dilakukan oleh petani. Sistem tebang-bakar yang dilakukan petani menyisakan nekromasa dan seresah relatif banyak. Seiring pertambahan waktu, dekomposisi nekromas dan seresah terjadi, sehingga komposisi nekromas mengalami penurunan. Demikian juga terjadi pada tumbuhan bawah, semakin rapat kanopi pohon, biomasa tumbuhan bawah semakin berkurang karena berkurangnya cahaya matahari yang mencapai lantai kebun. Pada imperata sumber cadangan karbon hanya terdapat pada tumbuhan bawah (48%) dan seresah (52%).

Time-averaged cadangan karbon

Nilai cadangan karbon mencerminkan dinamika karbon dari sistem penggunaan lahan yang berbeda, yang nantinya digunakan untuk menghitung 'time-averaged karbon' di atas permukaan tanah pada masing-masing sistem. Time-averaged karbon tergantung pada laju akumulasi karbon, karbon maksimum dan minimum yang tersimpan dalam suatu sistem penggunaan lahan, waktu untuk mencapai karbon maksimum dan waktu rotasi (Palm *et al.*, *in press*).

Pada hutan alam diasumsikan bahwa contoh yang diambil secara langsung dapat mewakili 'time-averaged' cadangan karbon, karena telah mencerminkan skala mosaik dari bagian siklus regenerasi.



Gambar 3.6. Cadangan karbon di atas permukaan tanah dan komposisinya di Kab. Nunukan.

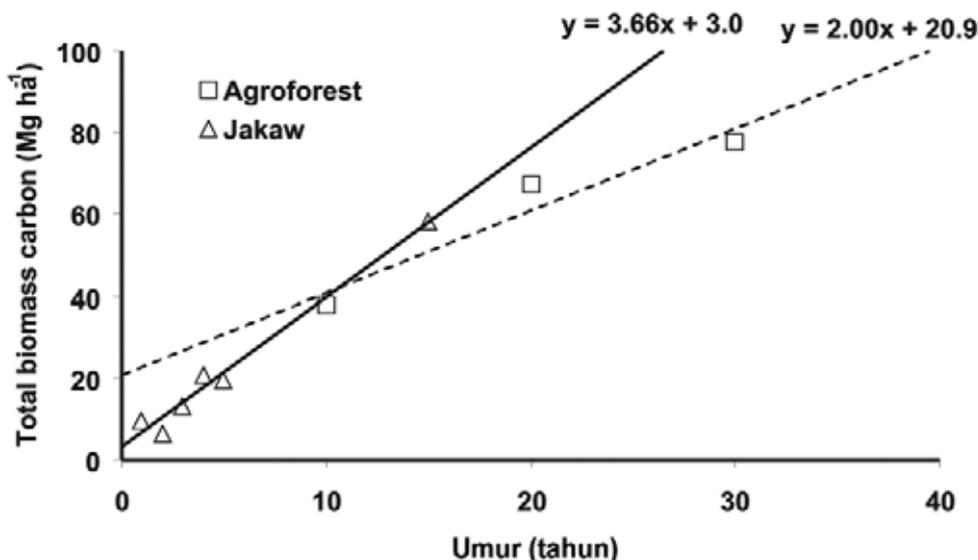
Data untuk bekas tebangan, dengan melihat perbedaan waktu setelah penebangan tidak menunjukkan pola yang diharapkan (garis titik-titik pada Gambar 3.6), penurunan secara langsung terjadi karena pengambilan biomasa, diikuti oleh kematian pohon dan selanjutnya terjadi pertumbuhan kembali vegetasi. Pada plot bekas tebangan 31-50 tahun khususnya, tidak ada hubungan yang sesuai. Tidak adanya pola antar waktu yang dapat menginterpretasikan data ini, maka akan digunakan rata-rata dari plot-plot bekas tebangan tanpa memperhitungkan waktu untuk mengestimasi 'time-averaged' cadangan karbon.

Pada sistem penggunaan lahan agroforestri dan jakaw-padi, cadangan karbon antar waktu menunjukkan adanya peningkatan seperti yang diharapkan (Gambar 3.7). Peningkatan secara linear dengan intersep yang sangat kecil terlihat pada sistem jakaw, sementara pada agroforestri menunjukkan intersep yang lebih tinggi secara substansial (adanya sisa pohon dari hutan), begitu juga laju peningkatannya lebih rendah.

Laju penyerapan karbon pada jakaw diperkirakan $3,66 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$ dan pada sistem agroforestri adalah $2,00 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$ (Gambar 3.7), dapat dibandingkan dengan sistem 'bera' (fallow) yang diamati di

Sumberjaya, Lampung yaitu 3,44 Mg ha⁻¹ tahun⁻¹ (Van Noordwijk *et al.*, 2002). Berdasarkan pada peningkatan secara linier dari total cadangan karbon antar waktu, dapat

diturunkan "time-averaged" cadangan karbon sebagai suatu fungsi panjang rotasi untuk sistem jakaw-padi dengan menggunakan rumus 1.



Gambar 3.7. Pertumbuhan cadangan karbon pada agroforestri dan jakaw di Kec. Sebuku dan Sembakung, Kab. Nunukan, Kalimantan Timur.

Tabel 3.4. Nilai "time-averaged" cadangan karbon pada empat sistem penutupan lahan/penggunaan lahan utama pada lahan kering Kab. Nunukan; pada sistem agroforestri dideskripsikan dua tipe strategi peremajaan pohon yang berbeda (sistem rotasi atau sistem sisipan); jenis yang dominan saat ini ditandai dengan sistem penggunaan lahan dengan huruf tebal.

	Lama siklus (tahun)	Time-averaged Cadangan karbon (Mg ha ⁻¹)	Relatif terhadap hutan
Hutan primer (sisa hutan)		230,1	100,0
Hutan bekas tebangan (pada berbagai intensitas penebangan)		202,7	88,1
Agroforestri	15	25,5	11,1
<i>(rotational)</i>	25	35,5	15,4
	40	50,5	21,9
<i>(sisipan)</i>			
umur rata-rata	25	70,9	30,8
umur rata-rata	40	100,9	43,8
Jakaw-padi	4	7,0	3,0
1 tahun tanaman pangan	6	10,5	4,6
X-1 tahun 'bera' (fallow)	8	14,1	6,1
	10	17,8	7,7
	15	26,9	11,7
	20	36,0	15,6
Imperata (alang-alang) (kebakaran setiap tahun)		4,2	1,8

Pada sistem agroforestri ada dua situasi yang perlu dijelaskan: salah satu dari sistem agroforestri yang ada merupakan peremajaan dengan menempatkan tanaman baru atau menyisipkannya pada ruang kosong dalam suatu lahan ('sisipan') dan memilih beberapa pohon hutan untuk dipertahankan. Pada kasus ini 'time-averaged' cadangan karbonnya tergantung pada rata-rata 'umur suksesi' dari sistem tersebut. Pada sistem lainnya, agroforestri diperbarui pada tingkat lahan dengan menebang pohon dan mulai membangun dari titik nol suatu siklus. Sistem agroforestri yang ada di Kab. Nunukan sebagian besar berupa sistem 'sisipan'. Penanaman pohon yang lebih intensif sebagai tanaman pangan cenderung dilakukan pada tipe rotasi (pergiliran tanaman).

Kesimpulan

Hutan alam di Kabupaten Nunukan mempunyai cadangan karbon sebanyak 230 Mg ha⁻¹. Nilai ini masih dalam kisaran dari perkiraan cadangan karbon di Sumatra maupun pada tempat lain di Kalimantan. Dampak penebangan terhadap cadangan karbon relatif kecil (hanya menurunkan 12% dari cadangan karbon yang ada), tetapi sebenarnya ada kemungkinan cadangan karbon di hutan alam tersebut lebih tinggi dan kehilangan akibat penebangan menjadi lebih tinggi dengan asumsi bahwa hutan alam yang lebih baik kondisinya telah ditebang sebelumnya sehingga hutan yang tersisa tidak dapat mewakili kondisi aslinya.

Ada dua sistem yang umum dilakukan petani di Kecamatan Sebuku dan Sembakung yaitu (i) sistem Jakaw-padi, dimana petani menebang dan membakar pada plot bekas tebangan dan menanam padi lahan kering selama satu tahun atau lebih sebelum petani meninggalkan lahannya dan membiarkan dalam keadaan 'bera' (fallow), dan (ii) sistem agroforestri, dimana petani menanam pohon

buah-buahan di antara pohon-pohon sisa tebangan yang masih ditinggalkan.

Pengukuran pada skala plot menemukan bahwa cadangan karbon pada sistem agroforestri lebih tinggi dari pada sistem jakaw, dengan nilai antara 19 Mg ha⁻¹ dan 58 Mg ha⁻¹ pada jakaw yang diberakan 0-10 tahun dan lebih dari 10 tahun, 38 Mg ha⁻¹ dan 73 Mg ha⁻¹ pada agroforestri yang dikelola 0-10 tahun dan 11-30 tahun. Perkiraan cadangan karbon pada agroforestri berbasis buah dan kayu yang ditemukan di lokasi studi terlihat lebih rendah bila dibandingkan dengan sistem agroforestri lainnya, seperti agroforestri berbasis kopi dan karet. Hal ini terjadi karena jenis pohon yang ada pada agroforestri berbasis buah dan kayu merupakan jenis-jenis dengan nilai kerapatan kayu rendah (sebagian besar merupakan pohon sisa tebangan yang nilai komersialnya rendah).

Laju penyerapan karbon tahunan setelah penebangan pada sistem agroforestri yang berada pada stadia suksesi muda berkisar antara 2-4 Mg ha⁻¹ tahun⁻¹, lebih rendah dari laju pertumbuhan pada hutan tanaman yang dikelola yaitu 5-7 Mg ha⁻¹ tahun⁻¹. Meskipun demikian, laju penyerapan karbon tidak diperlukan dalam perhitungan, sebagai perbandingan digunakan 'time-averaged' cadangan karbon karena dapat memberikan perbandingan langsung.

Konversi dari hutan ke lahan pertanian untuk padi lahan kering – siklus pertumbuhan 'bera' (fallow) akan menurunkan cadangan karbon lebih dari 85%, tergantung pada lamanya siklus 'bera'. Agroforestri merupakan penggunaan lahan yang dapat dipilih, karena pengelolaan pohon secara intensif dapat memberikan pendapatan, dan diharapkan berfungsi sebagai penyerap karbon (cadangan karbonnya 31% dari hutan alam).

Berdasarkan data yang diperoleh, disarankan bahwa bentuk pengelolaan yang baik terhadap hutan bekas tebangan dengan

menghindari degradasi hutan memberikan peluang yang paling baik dalam mempertahankan cadangan karbon di Kab. Nunukan, selain itu juga memberikan pendapatan bagi masyarakat lokal. Dalam prakteknya, penebangan merupakan awal dari degradasi selanjutnya. Untuk mengurangi hilangnya cadangan karbon, suatu pengelolaan lahan yang berkelanjutan dengan pertanian yang dikelola secara intensif merupakan hal pokok yang diperlukan. Agroforestri dan sistem penggunaan lahan berbasis pohon lainnya menyediakan 'income' (pendapatan) dengan cadangan karbon sekitar 20-40% dari hutan alam, tergantung pada pengelolaan yang dilakukan.

Secara keseluruhan, pengelolaan terhadap aktivitas penebangan merupakan prioritas utama dalam upaya menurunkan kehilangan cadangan karbon. Sementara itu, penekanan pada bentuk penggunaan lahan sistem agroforestri dapat menyediakan suatu bagian dari upaya penurunan kehilangan cadangan karbon. Diskusi selanjutnya, seperti pilihan masyarakatan (option), yang berkaitan dengan cadangan karbon perlu dikombinasikan dengan profitabilitas, kesempatan kerja dan 'return to labour', seperti didiskusikan pada bab terakhir dari laporan ini.

4. ALIH GUNA LAHAN DI KABUPATEN NUNUKAN: PENDUGAAN CADANGAN KARBON BERDASARKAN TIPE TUTUPAN LAHAN DAN KERAPATAN VEGETASI PADA SKALA LANSKAP

Atiek Widayati, Andree Ekadinata dan Ronny Syam

Pendahuluan

Latar Belakang

Hutan memiliki cadangan karbon yang sangat besar. Pulau Kalimantan merupakan pulau terbesar di Indonesia dengan areal hutan yang cukup luas, tetapi juga memiliki laju penurunan areal dan kualitas hutan yang sangat cepat. Dengan kondisi seperti ini, Kalimantan telah menjadi pusat perhatian dalam diskusi yang menyangkut dinamika tutupan hutan beserta dampaknya terhadap cadangan dan penyerapan karbon.

Proyek FORMACS di Kabupaten Nunukan dicanangkan untuk menguji pengelolaan hutan berbasis masyarakat sebagai sebuah pendekatan dalam memperbaiki taraf kehidupan masyarakat lokal dan mengurangi eksek terhadap perubahan tutupan hutan. Pemantauan cadangan karbon diperlukan untuk mengevaluasi efektivitas pendekatan yang dilakukan pada proyek ini dalam mencapai tujuan dan untuk menentukan informasi dasar mengenai laju perubahan lahan, sebelum proyek dapat sepenuhnya berjalan secara efektif.

Teknologi penginderaan jauh merupakan salah satu cara yang efektif dalam melakukan

pemantauan perubahan lahan dari waktu ke waktu. Integrasi data perubahan tutupan vegetasi dengan data hasil pengukuran cadangan karbon pada skala plot dapat memberikan pendugaan perubahan cadangan karbon pada skala lanskap. Secara umum dua metode yang akan dilakukan dalam studi ini adalah:

1. Pendekatan yang dilakukan dengan membangun relasi kuantitatif antara informasi dari skala piksel pada citra satelit dengan cadangan karbon. Relasi ini kemudian digunakan sebagai dasar untuk melakukan ekstrapolasi spasial.
2. Pendekatan yang dilakukan dengan mengklasifikasikan kelas-kelas penutupan lahan menjadi kelas-kelas penggunaan lahan yang kemudian dikonversi menjadi kelas cadangan karbon berdasarkan atribut cadangan karbon dari kelas penggunaan lahan tersebut.

Kedua pendekatan di atas memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, oleh karena itu tidak tertutup kemungkinan untuk memadukan kedua pendekatan tersebut. Studi ini dilakukan dengan menggunakan kedua metode di atas, yang kemudian dilanjutkan dengan analisa tingkat ketidakpastian (*uncertainty*) dari setiap metode.

Tujuan

Tujuan dari studi ini adalah:

1. Melakukan analisis perubahan lahan Kabupaten Nunukan pada tahun 1996 sampai 2003 dengan membandingkan dua peta penutupan lahan yang dihasilkan oleh analisa data penginderaan jauh secara terpisah pada masing-masing tahun.
2. Membuat peta kerapatan vegetasi melalui analisis Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) yang dihasilkan melalui pengolahan data pengindraan jauh.
3. Membangun relasi antara data pengukuran cadangan karbon di lapangan dengan nilai NDVI pada tingkat piksel, yang kemudian akan digunakan sebagai basis ekstrapolasi cadangan karbon pada skala lanskap.
4. Membangun relasi antara rata-rata pendugaan cadangan karbon untuk tiap kelas penutupan lahan dan perubahan tutupan lahan sebagai salah satu alternatif dalam penaksiran cadangan karbon pada skala lanskap.
5. Menganalisa kelebihan dan kekurangan pendekatan-pendekatan yang digunakan berdasarkan tingkat ketidakpastian dalam relasi yang dibangun, untuk digunakan sebagai pertimbangan dalam penggunaan metode yang sama di masa yang akan datang.

Lokasi Studi

Kabupaten Nunukan terletak di bagian timur laut Propinsi Kalimantan Timur. Wilayah Kabupaten Nunukan mencakup enam

kecamatan yaitu Krayan, Lumbis, Sebuku, Sembakung, Nunukan, dan Sebatik. Lokasi dan batas administrasi Kabupaten Nunukan ditunjukkan oleh Gambar 1.1. Sebagian besar wilayah Kabupaten Nunukan, terbentuk oleh DAS (Daerah Aliran Sungai) Sembakung dan Sebuku dimana hubungan dataran tinggi-dataran rendah/pantai terdapat pada Kecamatan Lumbis-Kecamatan Sembakung dan Kecamatan Sebuku-Kecamatan Nunukan. Kecamatan Krayan yang terletak di bagian barat Kabupaten Nunukan, memiliki aliran sungai yang bermuara ke Kabupaten Malinau dan sama sekali terpisah dari jaringan sungai utama Kabupaten Nunukan (Gambar 4.1). Daerah ini juga memiliki dinamika perubahan tutupan hutan yang berbeda dengan daerah lain di Nunukan. Berdasarkan hal tersebut, pembahasan mengenai cadangan karbon dalam tulisan ini akan difokuskan pada area DAS Sembakung dan Sebuku.

Data

Citra Satelit

Sejumlah citra Landsat *multitemporal* digunakan untuk membuat peta penutupan lahan Kabupaten Nunukan. Waktu perekaman masing-masing citra satelit tercantum pada Tabel 4.1, sedangkan cakupan citra satelit di wilayah Kabupaten Nunukan diperlihatkan pada Gambar 4.2.

Karakter Spasial dan Spektral Citra Landsat

Citra Landsat memiliki 7 kanal spektral dengan resolusi spasial 30 m. Cakupan spektrum citra Landsat, berkisar antara 0,45-

Tabel 4.1. Waktu perekaman citra satelit Landsat

Path/row	Landsat 5/ETM	Landsat 7/ETM
117/057	29 Desember 1996	23 Januari 2003
118/057	13 Juli 1996	22 Mei 2003
118/058	17 Agustus 1997	22 Mei 2003

0,69 m pada spektrum sinar tampak dan 0,76-2,35 m pada spektrum infra merah. Masing-masing kanal spektral Landsat mewakili berbagai karakteristik spektral yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi berbagai penampakan di permukaan bumi. Karakteristik spektral tersebut ditunjukkan oleh Tabel 4.2.

Data Spasial Pendukung

Data spasial pendukung dibutuhkan dalam beberapa analisa yang akan dilakukan di Kabupaten Nunukan. Berdasarkan tipe informasinya, data spasial pendukung yang dibutuhkan meliputi peta: topografi, pembagian administratif, geologi dan sistem lahan. Daftar peta yang digunakan dalam studi ini ditunjukkan oleh Tabel 4.3.

Metode

Klasifikasi Penutupan Lahan dan Perubahan Penutupan Lahan

Metode yang digunakan dalam analisa perubahan penutupan lahan adalah metode *Post Classification Comparison*. Data perubahan penutupan lahan yang digunakan dalam metode tersebut berupa data yang berasal dari peta penutupan lahan multiwaktu. Diagram alir klasifikasi penutupan lahan dan deteksi perubahannya ditunjukkan pada Gambar 4.3.

Koreksi Citra Satelit

Koreksi Radiometrik

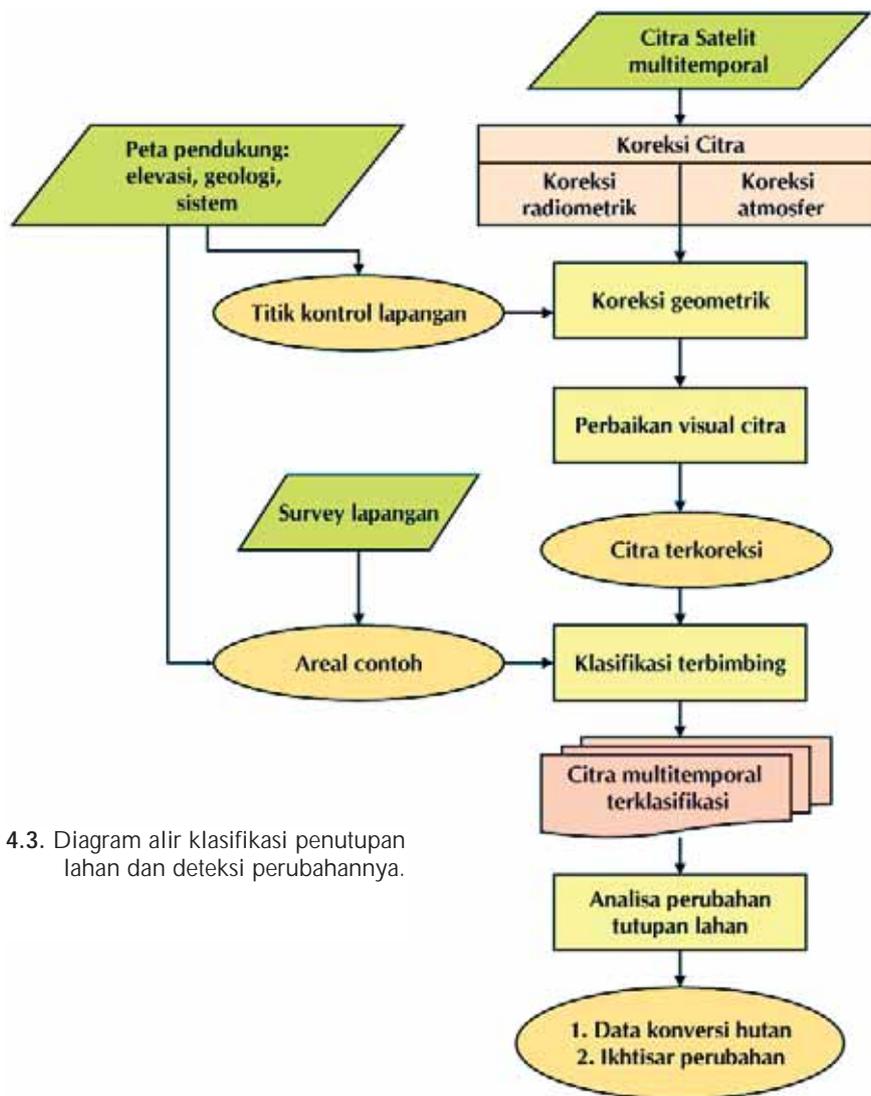
Data penginderaan jauh yang diperoleh dari wahana satelit memberikan informasi tentang

Tabel 4.2. Karakteristik spektral citra Landsat (Lillesand dan Kiefer, 1994)

Saluran (band)	Panjang Gelombang (µm)	Sifat dan Aplikasinya
1	0.45-0.52	<ul style="list-style-type: none"> • Tanggap peningkatan penetrasi tubuh air • Mendukung analisis sifat khas lahan, tanah, vegetasi
2	0.53-0.6	<ul style="list-style-type: none"> • Mengindera puncak pantulan cegetasi • Menekankan perbedaan vegetasi dan nilai kesuburan
3	0.63-0.69	<ul style="list-style-type: none"> • Untuk memisahkan vegetasi • Saluran pada serapan klorofil dan memperkuat kontras vegetasi dan bukan vegetasi
4	0.76-0.9	<ul style="list-style-type: none"> • Tanggap biomasa vegetasi • Identifikasi tipe vegetasi • Memperkuat kontras tanah - tanaman dan lahan - air
5	1.55-1.75	<ul style="list-style-type: none"> • Menentukan jenis tanaman dan kandungan air tanaman • Membantu menentukan kondisi kelembaban tanah
6	10.4-12.5	<ul style="list-style-type: none"> • Deteksi suhu obyek • Analisa gangguan vegetasi • Perbedaan kelembaban tanah
7	2.08-2.35	<ul style="list-style-type: none"> • Pemisahan formasi batuan • Analisis bentuk lahan

Table 4.3. Daftar peta-peta pendukung.

No	Judul	Skala	Sumber
1	Peta topografi	1:50.000	Dit Top Angkatan Darat
2	Peta perencanaan wilayah	-	BAPPEDA Nunukan
3	Peta geologi	1:250.000	Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi
4	Peta sistem lahan	1:250.000	Departemen Transmigrasi



Gambar 4.3. Diagram alir klasifikasi penutupan lahan dan deteksi perubahannya.

reflektansi obyek-obyek yang ada di permukaan bumi. Jumlah reflektansi yang ditangkap oleh sensor satelit diwujudkan dalam bentuk nilai digital (*Digital Number/DN*) atau disebut juga *Digital Counts* (DC) pada citra. Pada saat nilai reflektan diubah oleh sensor satelit menjadi nilai digital dalam suatu skala tertentu terdapat kesalahan-kesalahan yang diakibatkan oleh beberapa faktor, antara lain: kondisi atmosfer pada saat citra direkam, *scene illumination*, variasi pandangan secara geometri dan karakteristik respon sensor (Lillesand and Kiefer, 1994 and Chavez, 1996). Kesalahan-kesalahan tersebut dapat dihilangkan dalam proses koreksi radiometrik.

Koreksi Geometrik

Koreksi geometrik dilakukan untuk memperbaiki citra satelit akibat kesalahan geometrik. Kesalahan-kesalahan geometrik yang ada pada citra satelit dapat diakibatkan oleh beberapa faktor antara lain: variasi ketinggian tempat, variasi ketinggian satelit, variasi kecepatan sensor, kesalahan panoramik, kelengkungan bumi, refraksi atmosfer, variasi bentuk relief permukaan bumi dan ketidaklinieran cakupan sensor satelit (*IFOV/ Instantaneous Field of View*) (Lillesand and Kiefer, 1994). Pada penelitian ini, dengan asumsi bahwa kesalahan geometrik yang terjadi pada citra satelit berupa kesalahan non

sistematis maka proses koreksi geometrik yang dilakukan dengan menggunakan hubungan matematik antara koordinat piksel dalam citra satelit dengan koordinat piksel sebenarnya di lapangan. Hubungan matematik dihasilkan dari data *Ground Control Point* (GCP) yang diperoleh dari peta topografi.

Klasifikasi Penutupan Lahan

Klasifikasi penutupan lahan dilakukan dengan menggunakan metode klasifikasi terbimbing (*supervised classification*). Dalam metode klasifikasi terbimbing sejumlah area contoh (*training area*) digunakan untuk menentukan batasan nilai spektral tiap tipe penutupan lahan. Nilai tersebut akan digunakan oleh suatu algoritma klasifikasi untuk mengidentifikasi nilai-nilai spektral lain pada area tertentu dalam citra satelit. Hasil proses algoritma klasifikasi berupa citra yang telah dikategorisasikan menjadi beberapa tipe penutupan lahan.

Area Contoh

Dataset area contoh dikumpulkan pada saat kegiatan pengecekan lapangan. Letak area contoh di lapangan direkam dengan GPS (*Global Positioning System*). Kelas penutupan lahan yang dapat diidentifikasi di lapangan selama kegiatan pengecekan lapangan sebanyak 13 kelas, kelas-kelas tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Kelas-kelas Penutupan Lahan

No	Kelas Penutupan Lahan
1	Mangrove (Bakau)
2	Hutan Primer
3	Hutan Tanaman Industri
4	Hutan Bekas Tebangan
5	Hutan Sekunder
6	Kebun Campuran Tua (agroforestri)
7	Kebun Campuran Muda (agroforestri)
8	Kebun Kelapa Sawit muda
9	Semak
10	Lahan terbuka
11	Pemukiman
12	Kolam Ikan
13	Badan air



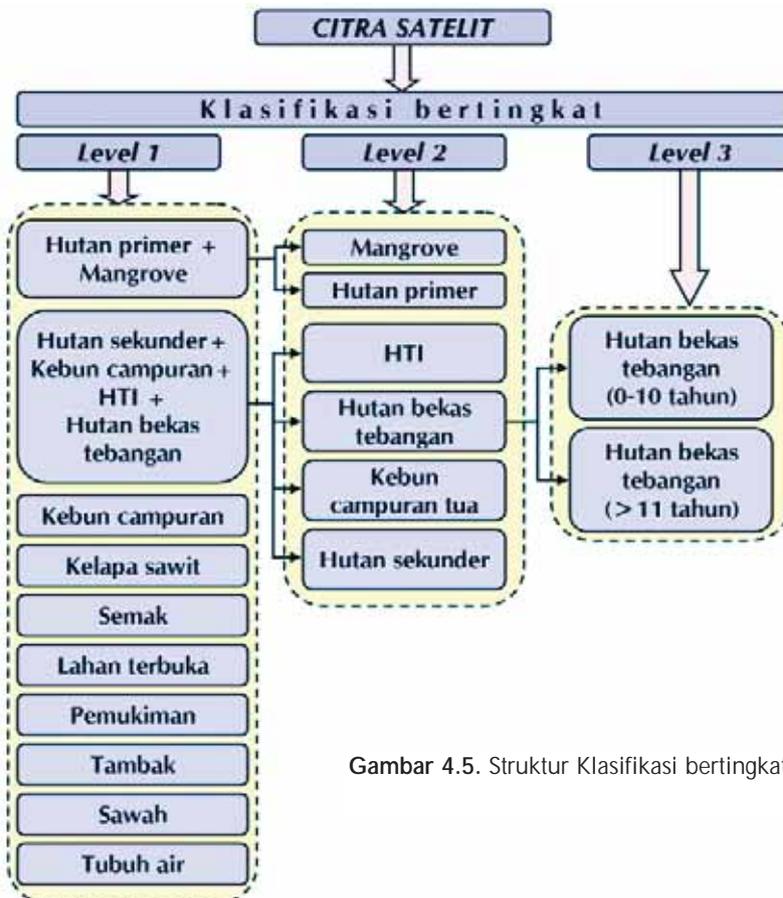
Gambar 4.4. Tipe penutupan lahan di Kabupaten Nunukan, agroforestri (kiri atas), kelapa sawit muda (kanan atas). Tambak (kiri bawah) dan hutan sekunder (kanan bawah)

Klasifikasi Citra Satelit

Proses klasifikasi untuk menghasilkan peta penutupan lahan Nunukan, dilakukan berdasarkan suatu struktur klasifikasi bertingkat yang ditunjukkan pada Gambar 4.5. Terdapat 3 tingkatan proses klasifikasi dalam klasifikasi bertingkat, dimana tiap tingkatan menggunakan sumber informasi yang berbeda dengan menggabungkan batasan nilai spektral contoh yang diperoleh dari citra satelit dan informasi tambahan yang berasal dari peta tematik. Ketiga tingkatan tersebut adalah:

- Tingkatan pertama digunakan untuk mengklasifikasikan tipe penutupan lahan dengan hanya menggunakan informasi dari dataset area contoh. Kelas-kelas hasil klasifikasi tingkat pertama umumnya berupa gabungan dari dua kelas penutupan lahan, oleh karena itu harus dipisahkan pada proses klasifikasi tingkat kedua dan ketiga.

- Pada proses klasifikasi tingkat kedua, dua komponen kelas "mangrove dan hutan primer" dapat dipisahkan dengan menggunakan informasi tematik dari peta sistem lahan, peta geologi dan peta topografi. Untuk kelas besar "hutan sekunder" dibedakan menjadi dua: hutan tanaman industri diidentifikasi menggunakan peta konsesi hutan tanaman industri Kabupaten Nunukan, sedangkan kebun campuran tua diidentifikasi menggunakan keterkaitan kebun tersebut dengan pemukiman, jalan dan sungai. Hutan bekas tebangan dapat diklasifikasikan menggunakan informasi tematik yang terdapat pada peta batas konsesi hutan Kabupaten Nunukan dan adanya jalan sarad yang dapat dilihat dengan jelas pada citra Landsat.
- Klasifikasi tingkat ketiga dilakukan untuk memisahkan kelas hutan bekas tebangan



Gambar 4.5. Struktur Klasifikasi bertingkat

menjadi dua kategori. Klasifikasi tingkat ketiga menggunakan informasi yang diperoleh dari plot-plot pengamatan di Kabupaten Nunukan.

Deteksi perubahan penutupan lahan

Deteksi perubahan penggunaan lahan dilakukan dengan metode *Post Classification Comparison* (Sunar, 1998). Citra terklasifikasi Kabupaten Nunukan tahun 1996 dan 2003 di-*overlay* dan dibandingkan satu dengan lainnya untuk menghitung perubahan penutupan lahan.

Pemetaan kerapatan vegetasi

Respon spektral citra satelit umumnya memiliki sensitivitas terhadap kerapatan vegetasi (indeks luas daun/*Leaf Area Index/LAI*), tajuk pohon dan kandungan air di daun tumbuhan. Kerapatan vegetasi akan bertambah dari lahan terbuka hingga beberapa tahap suksesi, namun pantulan dalam spektrum sinar tampak berkurang karena adanya penambahan luasan daun dan penyerapan, begitu juga pada bayangan yang diakibatkan oleh tajuk pohon. Indeks luas daun maksimal lebih cepat tercapai pada saat awal suksesi, berbeda dengan basal area maksimum pohon dan biomas pohon. Pada saat yang sama terjadi peningkatan pantulan spektrum infra merah yang diakibatkan adanya pantulan dari tajuk, transmisi gelombang yang melewati tajuk dan pantulan tanah (Coops *et al.*, 1997). Hubungan antara respon spektral pada spektrum sinar tampak dan infra merah dengan kerapatan vegetasi dapat dijelaskan dengan suatu indeks yang disebut 'indeks vegetasi' (Huete, 1998). Indeks vegetasi merupakan kombinasi matematis antara band merah dan band NIR yang telah lama digunakan sebagai indikator keberadaan dan kondisi vegetasi (Lillesand dan Kiefer, 1994). Penelitian ini menggunakan salah satu indeks vegetasi yaitu *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI).

Perhitungan NDVI

NDVI pada dasarnya mengukur kemiringan (*slope*) antara nilai asli band merah dan band infra merah di angkasa dengan nilai band merah dan infra merah yang ada dalam tiap piksel citra. Berikut ini adalah rumus penghitungan NDVI:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

dimana NIR = nilai band infra merah; Red = nilai band merah

Nilai NDVI berkisar antara -1 sampai 1. Nilai -1 sampai 0 menunjukkan daerah yang tidak memiliki penutupan vegetasi.

Dalam penelitian ini, nilai NDVI ditunjukkan dalam persentase, dimana nilai terendah (-1) ditunjukkan dengan angka 0 dan nilai tertinggi (1) ditunjukkan dengan angka 100.

Pendugaan penutupan lahan yang berada di bawah awan

Akibat tingkat penutupan awan pada citra cukup tinggi (40%) akan menghasilkan peta penutupan lahan dengan jumlah area bernilai "No Data" cukup luas dan akan berpengaruh pada hasil perhitungan perubahan penutupan lahan. Data luas tiap tipe penutupan lahan yang akurat juga sulit diperoleh karena penutupan awan pada citra meliputi tipe penutupan lahan yang berbeda-beda. Data luas tersebut diperlukan pada saat pendugaan cadangan karbon pada skala lanskap. Untuk menduga tipe dan luas penutupan lahan yang ada di bawah penutupan awan digunakan metode pendekatan SIG. Metode ini menggunakan kombinasi informasi tipe penutupan lahan yang berasal dari areal yang bebas penutupan awan, sistem penggunaan lahan dan data elevasi. Diagram alir metode pendugaan tipe dan luas penutupan lahan di bawah penutupan awan ditunjukkan pada Gambar 4.6.

Pendugaan Cadangan Karbon

Pendugaan cadangan karbon berdasarkan data spasial dilakukan dengan dua metode yaitu:

- Metode pertama: menggunakan informasi luas penutupan lahan yang sudah merupakan gabungan dari hasil klasifikasi dan hasil pendugaan daerah di bawah tutupan awan yang dilakukan dengan menggunakan metode seperti Gambar 4.6. Kemudian luas tiap kelas penutupan lahan dikalikan dengan data hasil perhitungan cadangan karbon di atas tanah (*above ground Carbon stock*) dari kelas penutupan lahan yang bersangkutan. Data perhitungan cadangan karbon di atas tanah tiap kelas penutupan lahan di peroleh dari Bab 2 (Rahayu *et al.*, buku ini) dengan data tambahan dari pustaka lain untuk tipe penutupan lahan yang tidak diambil contohnya.
- Metode kedua: menggunakan hubungan matematis antara nilai NDVI piksel citra

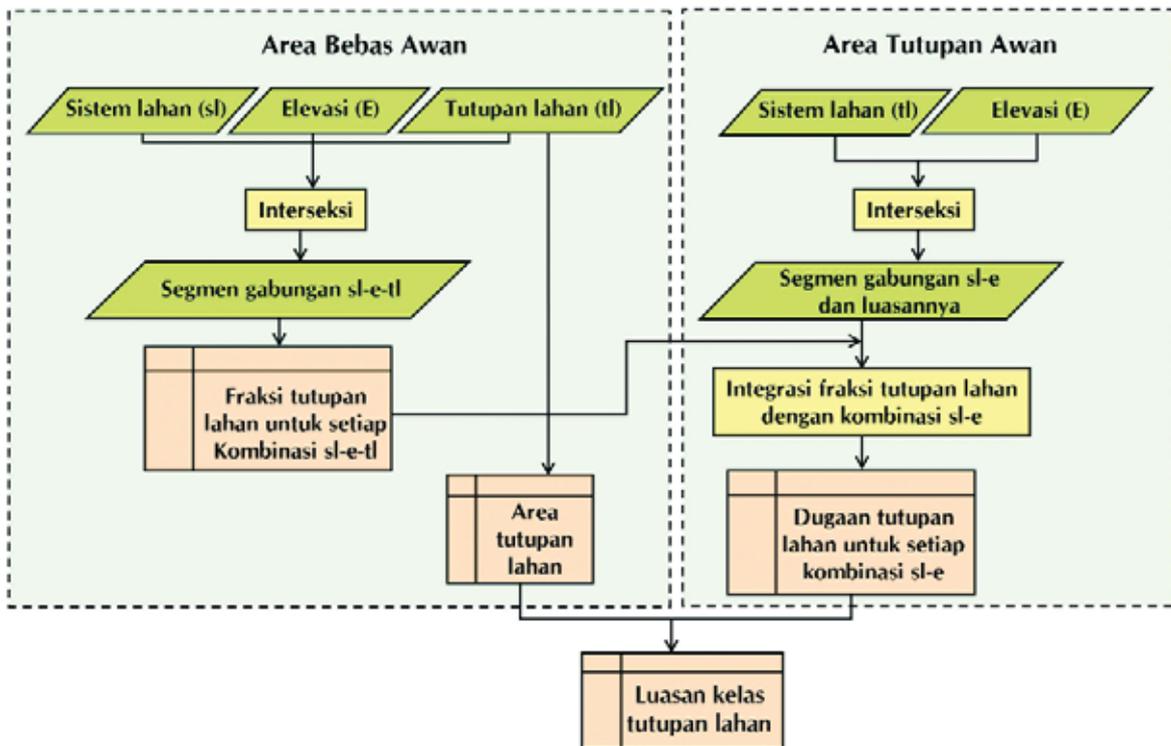
dengan nilai cadangan karbon piksel yang sama sebagai dasar untuk proses extrapolasi spasial.

Metode 1: Ekstrapolasi berdasarkan peta penutupan lahan

Pendugaan cadangan karbon pada dua citra dengan tahun yang berbeda pada dasarnya dilakukan sebagai proses pemberian atribut ulang pada peta penutupan lahan dengan data cadangan karbon pada skala plot tipe penutupan lahan yang sama. Hasil yang diharapkan adalah dugaan cadangan karbon berdasarkan tipe penutupan lahan.

Langkah kerja metode 1:

1. Interpretasi ulang tipe penutupan lahan yang ada pada peta berdasarkan tipe penutupan lahan dari hasil pengukuran plot di lapangan.
2. Pemberian atribut tiap tipe penutupan lahan dan data kerapatan cadangan karbon hasil pengukuran di lapangan (Table 4.5)



Gambar 4.6. Pendugaan tipe dan luas penutupan lahan di bawah penutupan awan

Tabel 4.5. Hasil klasifikasi ulang proses pendugaan cadangan karbon

No.	Tipe penutupan lahan dari klasifikasi citra satelit	Tipe penutupan lahan pada pengukuran plot	Kerapatan karbon (Mg ha ⁻¹)
1	Hutan primer	Hutan primer	230.1
2	Hutan bekas tebangan	Hutan bekas tebangan	201.3
3	Semak	Jakaw 0-10 tahun (bekas tebangan, padi, dan suksesi sekunder)	19.4
4	Hutan sekunder	Jakaw > 10 tahun (bekas tebangan, padi, suksesi sekunder)	58
5	Kebun campuran muda	Agroforestri 0-10 tahun	37.7
6	Kebun campuran tua	Agroforestri 11-30 tahun	72.6
7	-	Imperata	4.2
8	Hutan tanaman industri	Acacia (Lasco <i>et al.</i> , 1999)	88.1
9	Mangrove	Mangrove (Lasco <i>et al.</i> , 2000)	176.8
10	Perkebunan muda	Kelapa sawit (Tomich <i>et al.</i> , 1998)	91
11	Sawah	-	
12	Tambak	-	
13	Lahan terbuka	-	
14	No data	-	
15	Pemukiman	-	
16	Tubuh air	-	

3. Penghitungan luas tiap tipe penutupan lahan untuk memperoleh neraca karbon DAS Sembakung dan Sebuku pada tahun 1996 dan 2003.

Metode 2: Extrapolasi berdasarkan plot pengamatan cadangan karbon

Hingga saat ini belum ada metode yang dapat mengukur kandungan karbon yang ada di dalam tanah pada skala lanskap. Hubungan antara NDVI dan data hasil pengukuran lapangan mampu memberikan informasi tentang biomasa vegetasi dan merupakan salah satu metode pendekatan untuk menduga kandungan karbon (Brown, 1996). Penggunaan karakteristik spektral dan transformasi data penginderaan jauh lainnya untuk menduga biomasa serta karakteristik biofisik vegetasi telah dilakukan dalam penelitian-penelitian sebelumnya. Terdapat hubungan empiris yang cukup kuat antara transformasi spektral dengan luas bidang dasar (*basal area*) dan kerapatan pohon (Coops *et al.*, 1997). Gemmel & Goodenough, 1992 *in*

Coops *et al.*, 1997 menyatakan bahwa luas bidang dasar tegakan akan terus bertambah seiring dengan pertumbuhan tegakan, namun penambahan tersebut tidak mempengaruhi sinyal penginderaan jauh. Sinyal tersebut dipengaruhi oleh tingkat penutupan tajuk yang akan mencapai 100% pada saat tumbuhan masih muda. Demikian juga untuk LAI, bentuk hubungan antara NDVI dan LAI adalah kurvilinier dan mencapai puncaknya pada nilai LAI = 6 untuk hutan konifer (Spanner, Pierce *et al.*, 1996 dalam Brown, 1996).

Pada dasarnya metode ini dilakukan untuk mencari hubungan antara cadangan karbon skala plot dengan data penginderaan jauh. Data cadangan karbon di atas tanah pada skala plot terdiri dari 4 komponen, yaitu: biomasa pohon, biomasa tumbuhan bawah, nekromasa dan biomasa serasah. Nilai NDVI menunjukkan tingkat kerapatan vegetasi berdasarkan tingkat kehijauan vegetasi. Tingkat kehijauan vegetasi dipengaruhi oleh daun sebagai komponen biomasa pohon dan biomasa tumbuhan bawah. Metode 2 ini

terbatas penggunaannya karena terdapat banyak penutupan awan pada citra satelit. Untuk daerah yang tertutup awan, nilai NDVI tidak dapat diperoleh.

Langkah kerja metode 2:

1. Ekstraksi nilai NDVI pada tiap lokasi plot pengukuran cadangan karbon.
2. Analisa regresi hubungan antara cadangan karbon skala plot dengan nilai NDVI.
3. Pendugaan cadangan karbon menggunakan persamaan regresi terpilih pada piksel citra yang bebas awan di DAS Sembakung dan Sebuku, Kabupaten Nunukan tahun 1996 dan 2003.

Hasil dan Pembahasan

Tutupan Lahan

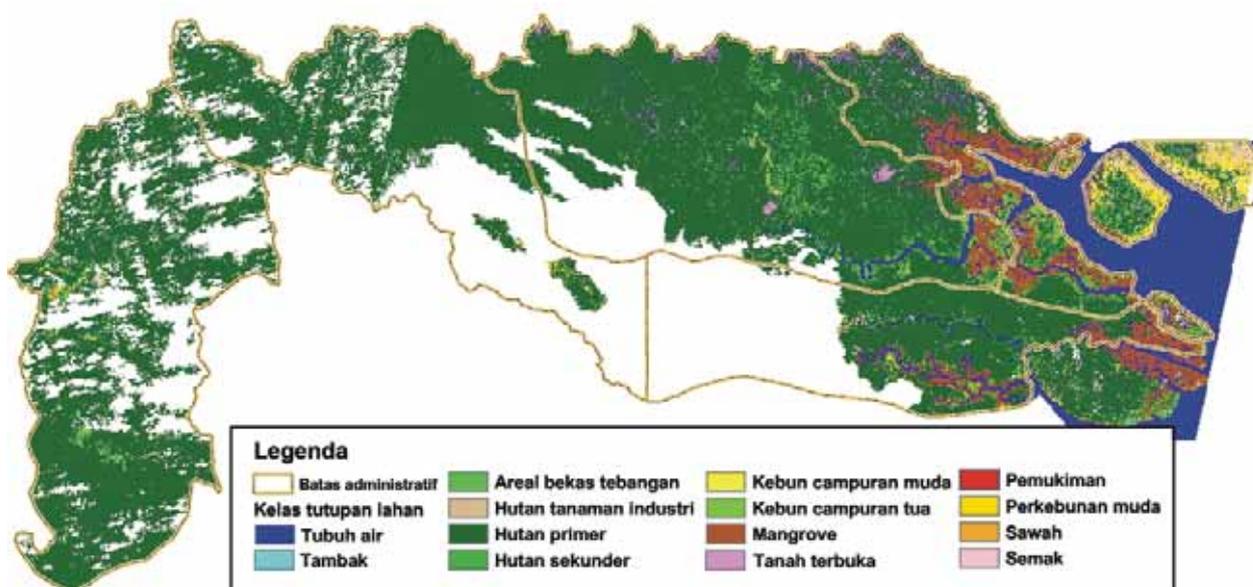
Tutupan Lahan Kabupaten Nunukan tahun 1996

Hasil klasifikasi citra Landsat *Thematic Mapper* (TM) tahun 1996/1997 (Gambar 4.7) menunjukkan bahwa tipe penutupan lahan yang paling dominan di Kabupaten Nunukan

pada saat itu adalah hutan. Kelas hutan primer dan sekunder mencakup areal seluas hampir 9000 km² atau lebih dari 55% total area Kabupaten Nunukan. Luasan areal hutan di atas selayaknya dianggap sebagai taksiran minimal, mengingat cukup luasnya tutupan awan pada citra satelit. Hutan mangrove yang berlokasi di dekat garis pantai Kecamatan Nunukan dan Sembakung, mencakup areal seluas lebih dari 5% dari total luasan areal studi. Areal yang dikategorikan sebagai *no data* akibat penutupan awan dan bayangan awan meliputi hampir 28% areal Nunukan di tahun 1997/1997 (Tabel 4.6).

Tutupan Lahan Kabupaten Nunukan tahun 2003

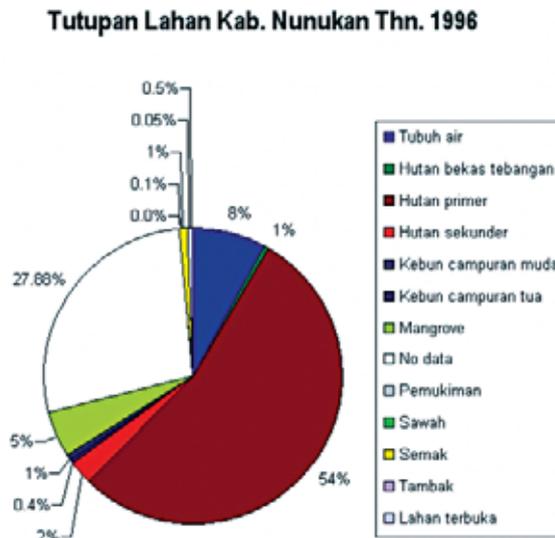
Hasil klasifikasi citra Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM) Kabupaten Nunukan tahun 2003 ditunjukkan dalam Gambar 4.8. Tutupan awan pada citra ini mencapai hampir 42% areal studi, lebih tinggi daripada tutupan awan di tahun 1996. Hutan primer dan sekunder masih merupakan tipe penutupan lahan yang dominan di Kabupaten Nunukan, walaupun luasannya mengalami penurunan dari tahun 1996 menjadi sekitar 44% dari total luasan Kabupaten Nunukan.



Gambar 4.7. Citra Landsat terklasifikasi Kabupaten Nunukan tahun 1996/1997

Tabel 4.6. Ikhtisar area penutupan lahan Kabupaten Nunukan tahun 1996/1997

Kelas Tutupan Lahan	Area (km ²)	%
Tubuh air	1263.68	7.9
Hutan bekas tebangan	107.35	0.7
Hutan primer	8566.97	53.7
Hutan sekunder	396.34	2.5
Kebun campuran muda	65.57	0.4
Kebun campuran tua	91.50	0.6
Mangrove	803.37	5.0
No data	4449.08	27.9
Pemukiman	1.20	0.01
Sawah	9.05	0.1
Semak	124.14	0.8
Tambak	7.58	0.0
Lahan terbuka	73.23	0.5
Total	15959.06	1

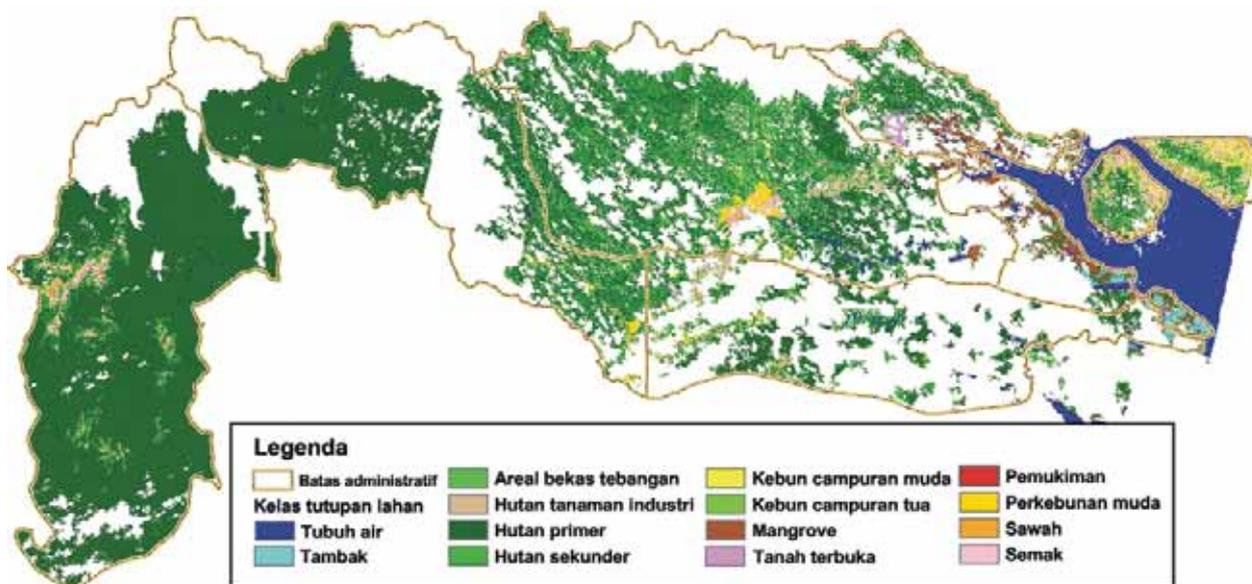


Tipe penutupan lahan semak meningkat menjadi 320 km² atau sekitar 2% dari total areal studi.

Pendugaan Tipe Penutupan Lahan Pada Areal Tertutup Awan

Pendugaan penutupan lahan pada areal tertutup awan dengan menggunakan informasi pendukung dari peta sistem lahan dan peta elevasi dilakukan pada wilayah DAS

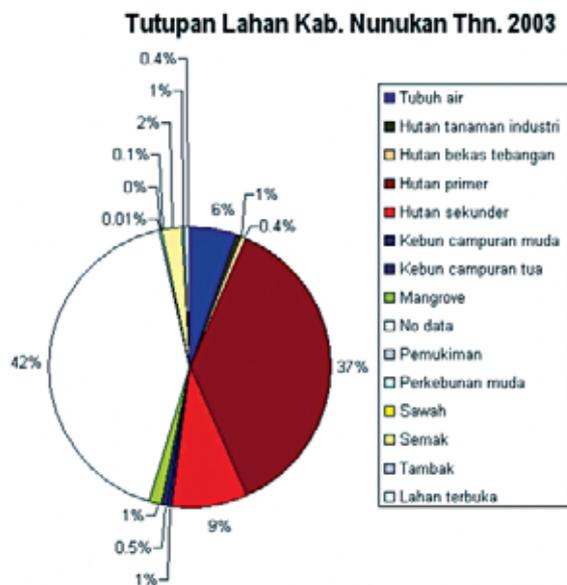
Sembakung dan Sebuku yang mencakup areal seluas 1.1 juta hektar dari 1.6 juta hektar total area Kabupaten Nunukan. Hasil pendugaan penutupan lahan tahun 1996 dan 2003 ditunjukkan dalam Tabel 4.8. Areal hutan hasil pendugaan menunjukkan peningkatan yang signifikan dari 55,6% menjadi 84% untuk tutupan lahan di tahun 1996. Sedangkan untuk tutupan lahan di tahun 2003, areal hutan hasil pendugaan meningkat menjadi 64% dari luasan sebelumnya yang hanya 28.9%.



Gambar 4.8. Citra Landsat terklasifikasi Kabupaten Nunukan tahun 2003

Tabel 4.7. Ikhtisar area penutupan lahan Kabupaten Nunukan tahun 2003

Kelas tutupan lahan	Area (km ²)	%
Tubuh air	890.6463	5.58
Hutan tanaman industri	88.9245	0.56
Hutan bekas tebangan	65.9511	0.41
Hutan primer	5865.5493	36.76
Hutan sekunder	1364.0382	8.55
Kebun campuran muda	119.3238	0.75
Kebun campuran tua	73.1916	0.46
Mangrove	228.5811	1.43
No data	6718.2588	42.10
Pemukiman	1.674	0.01
Perkebunan muda	48.8646	0.31
Sawah	20.6442	0.13
Semak	321.3576	2.01
Tambak	80.1468	0.50
Lahan terbuka	70.2036	0.44
Total	15957.36	100



Tabel 4.8A. Ikhtisar tutupan lahan Kabupaten Nunukan tahun 1996

Kelas tutupan lahan	Sebelum analisa tutupan awan		Setelah analisa tutupan awan	
	ha	%	ha	%
Tubuh air	25641.06	2.35	25886.41	2.38
Hutan bekas tebangar	8802.26	0.81	8904.11	0.82
Hutan primer	606337.99	55.65	915183.03	83.99
Hutan sekunder	29379.53	2.70	31521.27	2.89
Kebun campuran mud	6519.73	0.60	7085.34	0.65
Kebun campuran tua	8248.01	0.76	8978.87	0.82
Mangrove	70190.31	6.44	71532.09	6.56
Pemukiman	114.13	0.01	114.48	0.01
Semak	11202.54	1.03	12896.81	1.18
Tambak	184.97	0.02	185.49	0.02
Lahan terbuka	5977.22	0.55	6815.71	0.61
No data	317041.63	29.10	735.78	0.07
Total	1089639.40	100	1089639.40	100

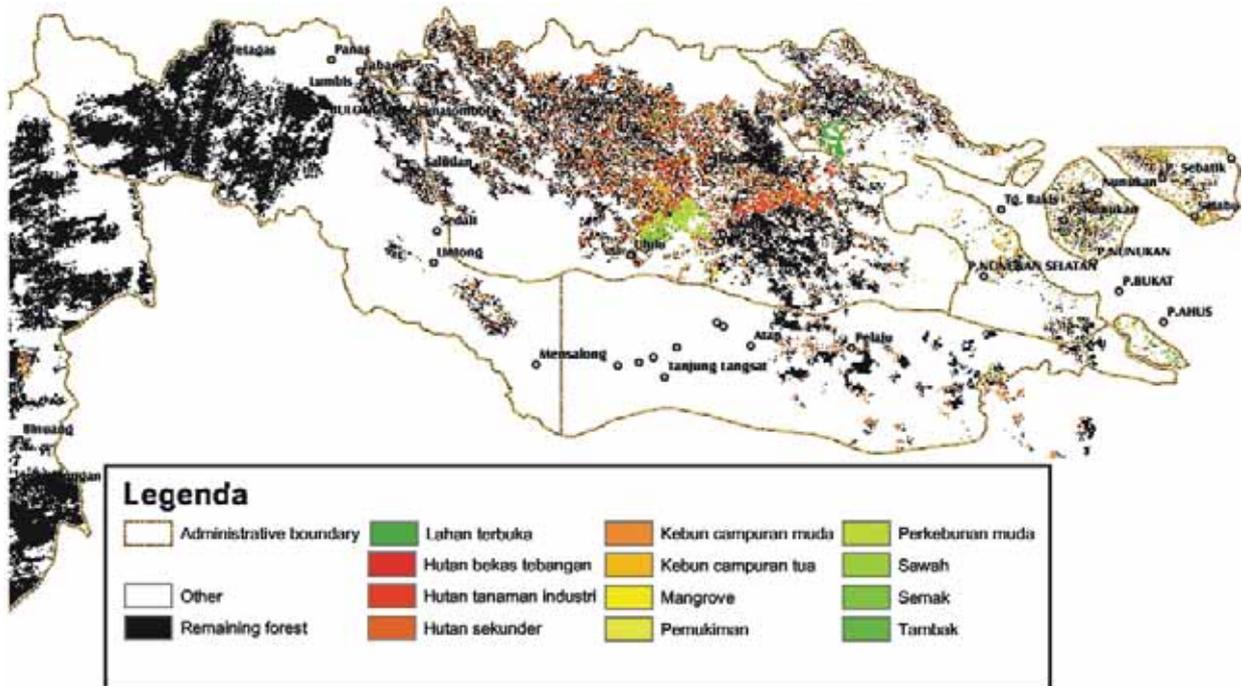
Table 4.8B. Penutupan lahan Kabupaten Nunukan tahun 2003 setelah penghilangan awan

Kelas tutupan lahan	Sebelum analisa tutupan		Setelah analisa tutupan	
	ha	%	ha	%
Tubuh air	9950.47	0.91	10322.32	0.95
Hutan bekas tebangan	8982.65	0.82	9244.66	0.85
Hutan tanaman industri	6323.42	0.58	21172.53	1.94
Hutan primer	314297.95	28.86	697695.81	64.07
Hutan sekunder	121823.99	11.19	184554.40	16.95
Kebun campuran muda	9936.01	0.91	13706.55	1.26
Kebun campuran tua	5239.42	0.48	5970.62	0.55
Mangrove	22339.35	2.05	67341.96	6.18
Pemukiman	155.10	0.01	323.71	0.03
Perkebunan muda	4954.62	0.46	9037.78	0.83
Sawah	942.36	0.09	2361.90	0.22
Semak	25999.39	2.39	34299.43	3.15
Tambak	7353.06	0.68	22115.31	2.03
Tanah terbuka	6410.43	0.59	8918.61	0.82
No data	544216.06	49.98	1858.68	0.17
Total	1088924.27	100.00	1088924.27	100

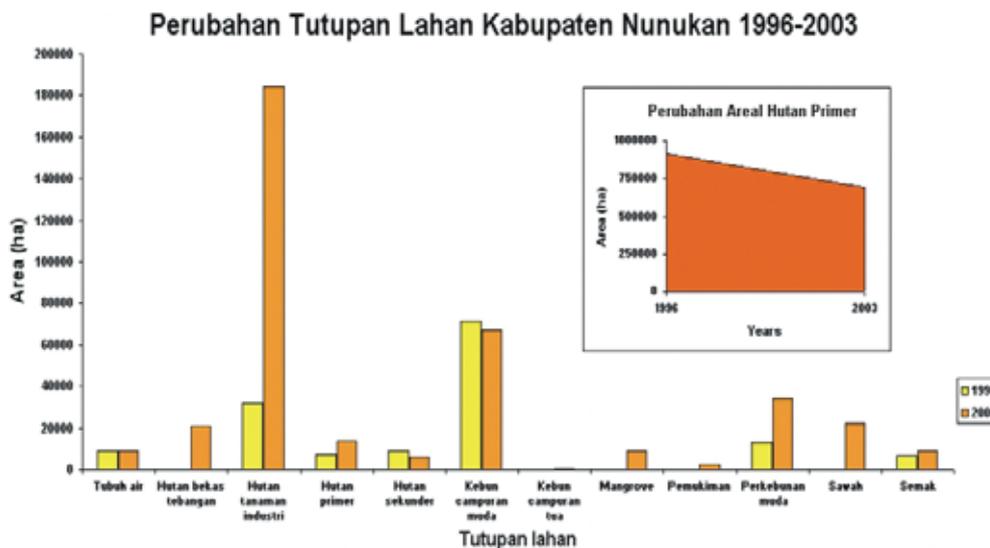
Perubahan Tutupan Lahan

Perubahan tutupan lahan pada DAS Sembakung dan Sebuku di Kabupaten Nunukan pada periode 1996-2003 mengindikasikan adanya aktivitas konversi hutan. Luasan hutan primer berkurang dari 915,18 ha di tahun 1996 menjadi 697,7 ha di tahun 2003. Dengan kata lain, areal hutan berkurang sekitar 24% dalam waktu 7 tahun, dengan tingkat konversi hutan sekitar 3,85%

per tahun. Peta perubahan tutupan hutan (Gambar 4.9) menunjukkan bahwa sebagian besar areal hutan yang hilang berlokasi dekat dengan aliran sungai utama. Luasan hutan mangrove lebih stabil dibandingkan luas kawasan hutan, dengan tutupan seluas 6% sepanjang garis pantai Sebuku dan Sembakung. Tipe penutupan lahan yang menggantikan hutan primer pada umumnya adalah kelas hutan sekunder, sejumlah kecil hutan tanaman industri dan tambak.



Gambar 4.9. Peta perubahan tutupan hutan Sembuku dan Sembakung, Kabupaten Nunukan



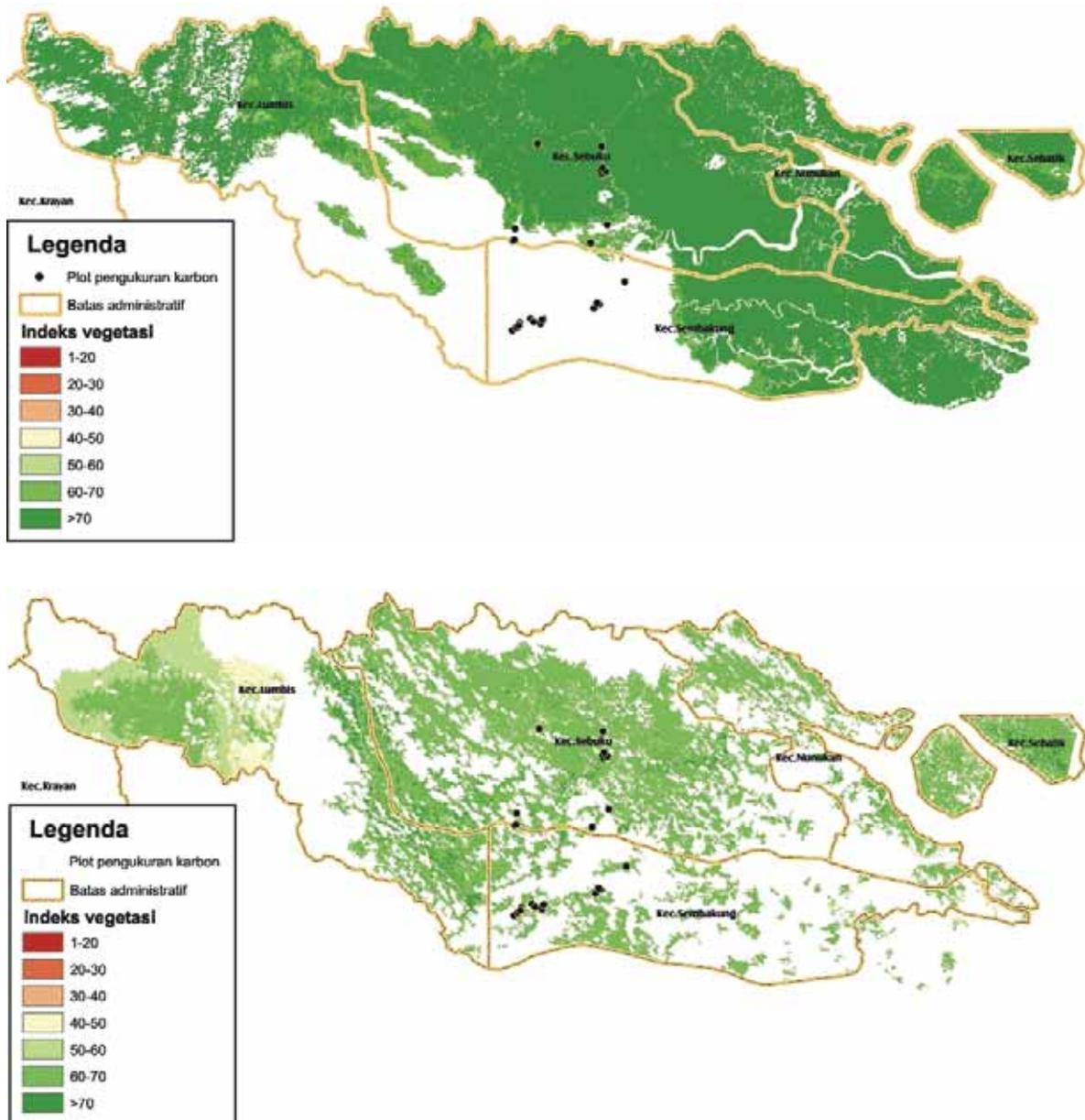
Gambar 4.10. Ikhtisar perubahan tutupan lahan Sembakung dan Sebuku, Kabupaten Nunukan

Kerapatan Vegetasi

Proses penghitungan *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)* menghasilkan dua peta NDVI Kabupaten Nunukan (Gambar 4.11), masing-masing untuk tahun 1996 dan 2003. Nilai NDVI yang dihasilkan, bervariasi antara 50 sampai 99, hanya sejumlah kecil piksel yang bernilai dibawah 50 (non vegetasi).

Perbedaan area tutupan awan pada tahun 1996 dan 2003 menimbulkan kesulitan untuk dapat membandingkan distribusi kerapatan vegetasi secara tepat, walaupun dapat diketahui bahwa sebagian besar area Sebuku dengan kisaran NDVI 70-99 di tahun 1996 berubah menjadi kisaran 60-70 di tahun 2003.

Citra satelit yang digunakan dalam studi ini (citra bagian barat dan citra bagian timur)



Gambar 4.11. Kerapatan vegetasi (NDVI) di Sebuku dan Sembakung, Kabupaten Nunukan di tahun 1996 (atas) dan 2003 (bawah) dipadu dengan distribusi plot pengukuran cadangan karbon.

direkam dalam dua musim yang berbeda dan tidak dilakukan kalibrasi terhadap faktor-faktor atmosfer dan musim. Oleh karena itu, maka nilai NDVI yang dihasilkan ikut terpengaruh oleh faktor-faktor tersebut. Perbedaan musim pada waktu perekaman menimbulkan penyimpangan dalam penghitungan nilai NDVI. Penyimpangan ini terjadi bukan akibat adanya perubahan tutupan lahan, melainkan lebih diakibatkan oleh perbedaan kandungan air pada vegetasi. Faktor lain yang menyebabkan penyimpangan nilai NDVI adalah kabut, yang mengakibatkan nilai NDVI menjadi lebih rendah dari keadaan sebenarnya. Kasus semacam ini dapat dilihat dengan jelas pada bagian barat Lumbis dimana nilai NDVI yang dihasilkan berkisar antara 40-50, walaupun tipe penutupan lahan pada areal tersebut adalah hutan.

Pendugaan Cadangan Karbon Pada Skala Lanskap

Pendugaan Cadangan Karbon Berdasarkan Tutupan Lahan

Peta cadangan karbon (Gambar 4.12) dihasilkan dari perpaduan kelas penutupan lahan dan nilai kerapatan karbon pada kelas tutupan lahan terkait (Tabel 4.5). Peta ini mengindikasikan penurunan cadangan karbon yang cukup substansial pada periode 1996-2003 di Kabupaten Nunukan, terutama pada daerah aliran sungai di bagian tengah Kecamatan Sebuku.

Neraca karbon total diperkirakan berdasarkan tutupan lahan dari total areal pada masing-masing tipe penutupan lahan, termasuk luasan lahan yang diduga dari areal tutupan awan. Pada DAS Sebuku dan Sembakung, Kabupaten Nunukan, total cadangan karbon mendekati 228 Tg¹ di tahun 1996 dan 189 Tg di tahun 2003, hal ini berarti telah terjadi penurunan cadangan karbon sebesar 17% dalam waktu 7 tahun. Rata-rata cadangan karbon menurun dari 211 Mg ha⁻¹

menjadi 175 Mg ha⁻¹, hal ini sebagian besar terjadi akibat adanya 217.000 ha hutan primer yang dikonversi menjadi tipe penggunaan lahan lain. Dalam hal ini, penurunan cadangan karbon (17%) lebih rendah daripada penurunan luasan hutan primer (24%).

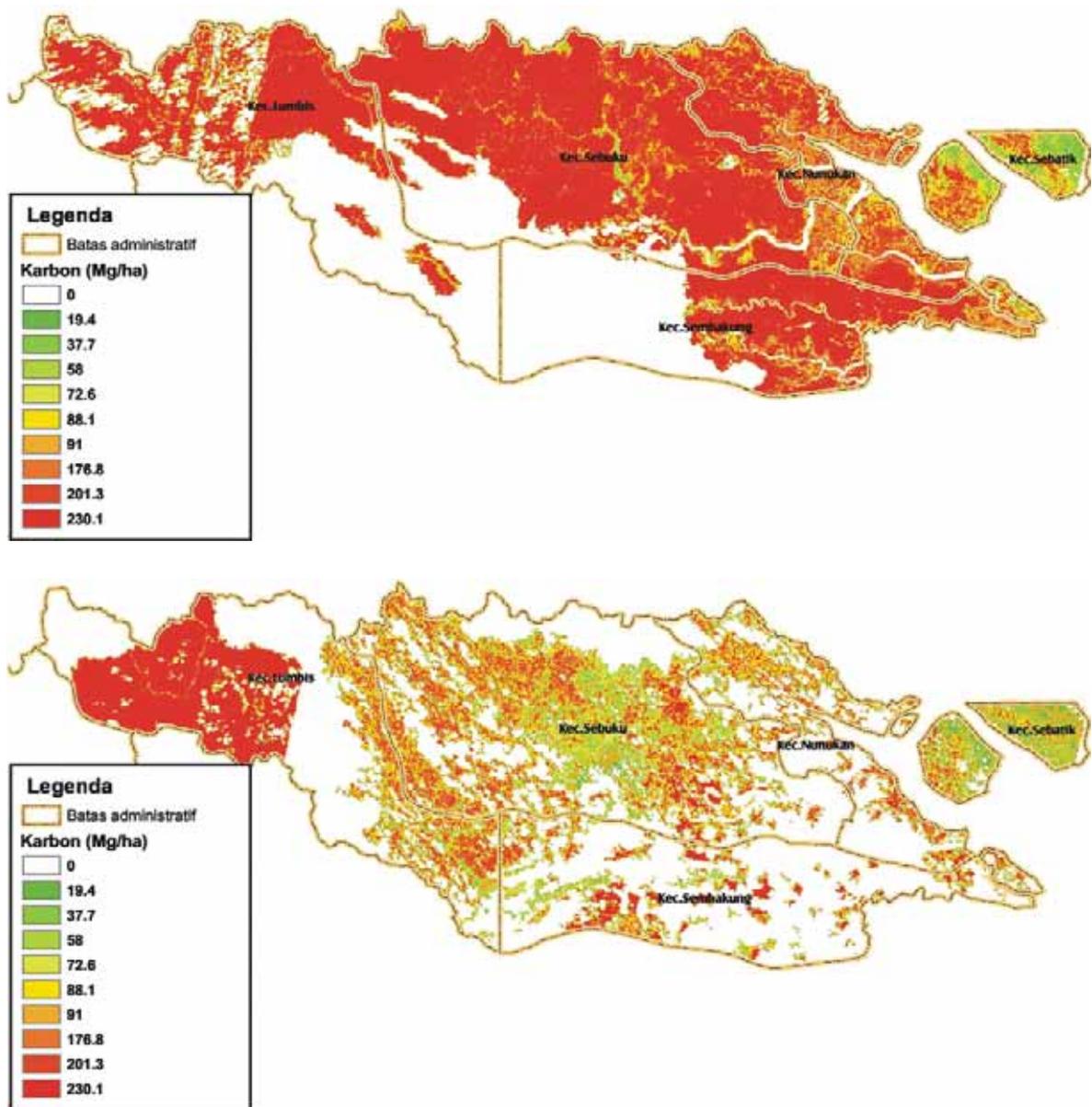
Distribusi geografis konversi hutan dan akibatnya terhadap penurunan cadangan karbon sangat sulit diungkapkan secara akurat akibat luasnya tutupan awan pada citra satelit. Secara umum, dapat dikatakan bahwa Kecamatan Sebuku telah mengalami penurunan luasan hutan secara substansial menjadi jakaw, areal bekas tebangan, dan perkebunan muda. Sebaliknya, areal pantai Kecamatan Nunukan dapat dikatakan stabil dengan keberadaan hutan mangrove, walaupun di bagian utara terjadi degradasi dan alih guna hutan. Perubahan ini memberikan kontribusi besar terhadap penurunan cadangan karbon di Kecamatan Nunukan.

Pendugaan Cadangan Karbon Berdasarkan Kerapatan Vegetasi

Kerapatan karbon dari plot pengukuran

Hanya informasi dari 26 plot pengukuran cadangan karbon (apendiks 1) yang dapat digunakan dalam membangun hubungan regresi antara NDVI dengan nilai cadangan karbon di atas tanah (*aboveground Carbon stock*). Plot-plot pengukuran tersebut berlokasi di daerah bebas awan citra Landsat Kabupaten Nunukan. Tipe guna lahan dengan nilai NDVI tertinggi adalah plot yang diukur pada area *agroforestri* dan *jakaw* yang diberakan selama lebih dari 6 tahun (NDVI_{>=69}). Nilai tersebut sesuai dengan harapan, mengingat rapatnya tutupan kanopi dari tegakan muda di plot tersebut. Areal bekas tebangan juga memiliki nilai NDVI yang cukup tinggi (67-69). Sedangkan, plot di tipe guna lahan *jakaw* dengan periode bera yang singkat menunjukkan rentang NDVI yang cukup lebar (45-67). Sayangnya, seluruh plot yang berlokasi di hutan ternyata berada pada daerah

¹ Tg = 10¹² g

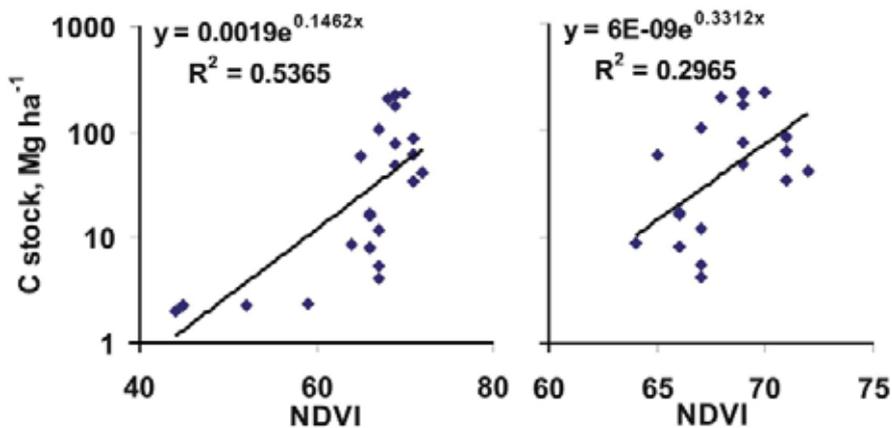


Gambar 4.12. Distribusi kerapatan karbon berdasarkan tipe penutupan lahan di cekungan Sembakung dan Sebuku, Kabupaten Nunukan, pada tahun 1996/7 (atas) dan 2003 (bawah)

tutupan awan citra satelit, sehingga nilai NDVI dari plot tersebut tidak dapat dihasilkan. Relasi antara nilai kerapatan karbon dari pengukuran plot dengan nilai NDVI ditunjukkan oleh Gambar 4.13.

Relasi antara nilai NDVI dan cadangan karbon, secara khusus dapat dikatakan berbentuk kurva lengkung (*curvilinear*). Dengan memperhatikan hal tersebut, diperlukan proses transformasi logaritmik terhadap nilai

cadangan karbon, sehingga didapatkan kesesuaian dengan asumsi analisa regresi standar untuk keragaman mutlak (*uniform variability*). Walaupun kerapatan karbon terus meningkat seiring dengan pertumbuhan biomasa kayu dan riap tegakan, nilai NDVI menunjukkan saturasi pada nilai 70 dimana index area daun (*leaf area index*) mencapai optimum. Secara keseluruhan, hanya 54% variasi nilai logaritmik kerapatan karbon yang dapat diwakili oleh nilai NDVI. Perlunya relasi



Gambar 4.13. Relasi antara NDVI dan cadangan karbon di atas tanah (pada skala logaritmik); relasi untuk seluruh data (kiri) dan relasi pada rentang NDVI yang lebih besar dari 60

yang dibangun secara bertahap, sebagaimana diindikasikan oleh data, dilakukan dengan memisahkan nilai NDVI yang >60. Pemisahan ini memperbaiki keseragaman terhadap keragaman data, walau pun disisi lain, mengurangi kemungkinan terwakilinya seluruh tingkat keragaman. Berdasarkan hal-hal tersebut di atas, persamaan regresi yang akan digunakan untuk perhitungan selanjutnya adalah:

$$\text{Densitas karbon [Mg ha}^{-1}\text{]} = 0.0019 \cdot e^{0.1462 \cdot \text{NDVI}}$$

Penggunaan persamaan eksponensial dan transformasi logaritmik dalam membangun relasi terhadap cadangan karbon terukur, memunculkan prediksi bahwa untuk pendugaan cadangan karbon akan menghasilkan rata-rata nilai taksiran yang terlalu rendah (*undersesimation*). Pada kenyataannya, perbandingan rata-rata nilai dugaan terhadap nilai sebenarnya pada plot pengukuran menghasilkan 52,8% nilai kesesuaian (59,7% jika digunakan pemisahan terhadap nilai NDVI >60). Penggunaan persamaan tersebut dalam menduga cadangan karbon pada skala lanskap akan menghasilkan nilai taksiran yang terlalu rendah. Meskipun, regresi yang diperoleh berasal dari nilai NDVI tahun 2003, namun digunakan juga dalam menduga cadangan karbon tahun 1996, dengan mengabaikan perbedaan nilai NDVI yang mungkin terjadi akibat perbedaan musim

dan keberadaan kabut pada citra satelit (Gambar 4.14)

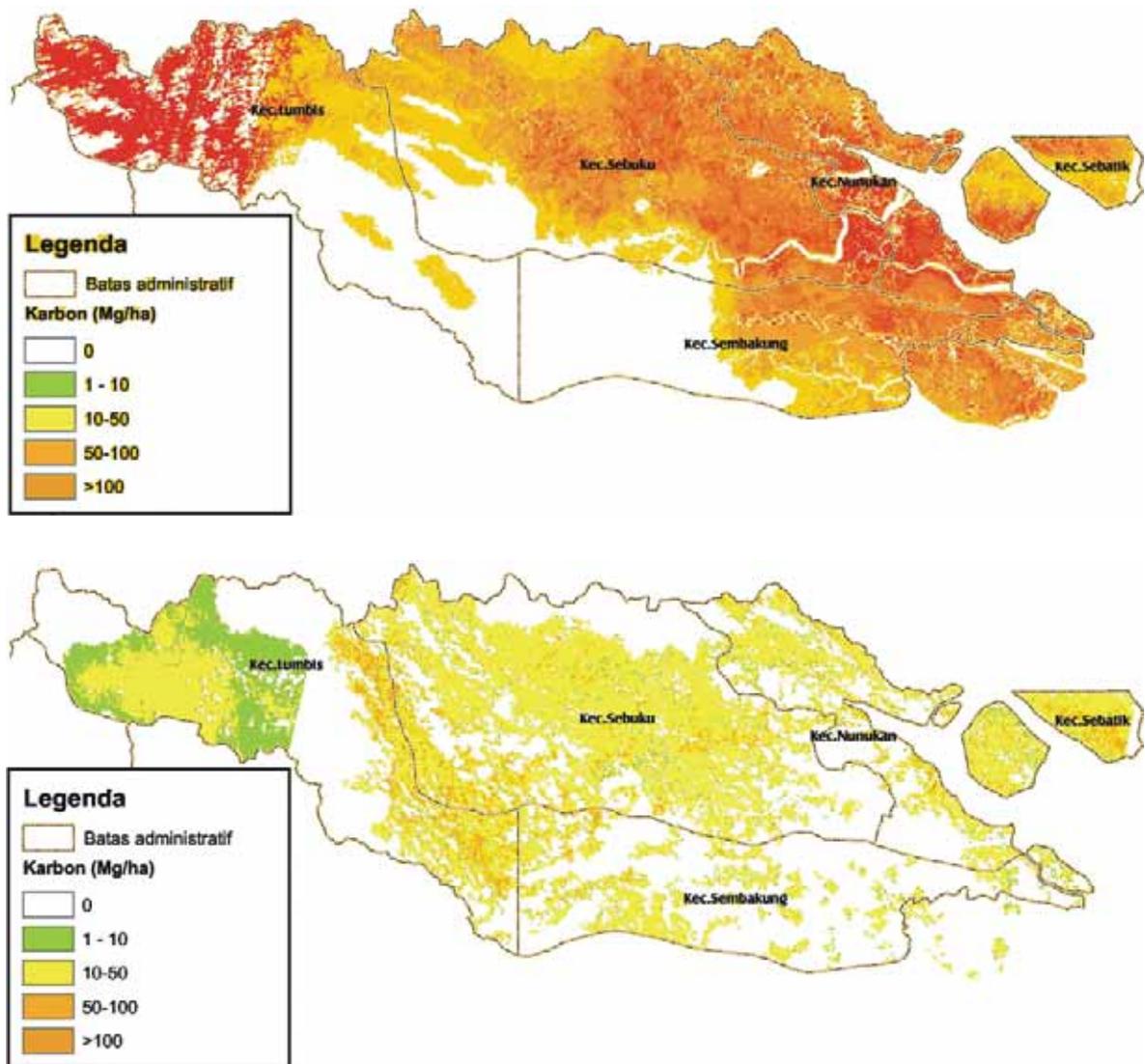
Perbandingan secara langsung dengan pendekatan pertama hanya mungkin dilakukan pada area bebas awan, seluas 738.000 ha pada tahun 1996 dan 512.000 ha di tahun 2003. Pada area tersebut, pendugaan cadangan karbon berdasarkan nilai NDVI menunjukkan penurunan yang dramatis dari tahun 1996 ke tahun 2003. Pada tahun 1996, rata-rata nilai dugaan kerapatan karbon adalah 221 Mg ha⁻¹, sedangkan pada tahun 2003 nilai cadangan karbon berkurang menjadi hanya 27 Mg ha⁻¹ (Tabel 4.9).

Tabel 4.9. Perbandingan cadangan karbon Kabupaten Nunukan tahun 1996 dan 2003 berdasarkan dua pendekatan yang berbeda

Tahun	Rata-rata kerapatan karbon berdasarkan tutupan lahan [Mg ha ⁻¹]	Rata-rata kerapatan karbon berdasarkan NDVI [Mg ha ⁻¹]
1996	210	222
2003	166	27

Perbandingan nilai dugaan cadangan karbon berdasarkan peta tutupan lahan dan peta kerapatan vegetasi

Untuk tahun 1996, rata-rata nilai kerapatan karbon pada area bebas awan menunjukkan



Gambar 4.14. Peta dugaan kerapatan karbon berdasarkan nilai NDVI untuk DAS Sembakung dan Sebuku, Kabupaten Nunukan pada tahun 1996 (atas) dan 2003 (bawah).

perbedaan yang kecil antara dua pendekatan yang digunakan. Sedangkan untuk tahun 2003, ditemukan perbedaan yang cukup besar antara nilai dugaan karbon dari dua pendekatan tersebut. Beberapa faktor yang menimbulkan perbedaan ini adalah:

- a. Pendugaan cadangan karbon berdasarkan nilai NDVI menunjukkan hasil yang secara umum merupakan taksiran yang terlalu rendah. Hal ini terjadi akibat lemahnya korelasi antara NDVI dan nilai kerapatan karbon terukur. Selain itu, juga diakibatkan oleh tingginya keragaman nilai cadangan

karbon pada nilai NDVI >70, dimana pada rentang tersebut, cadangan karbon bervariasi antara 50 to 250 Mg ha⁻¹. Tidak linearnya hubungan regresi antara NDVI dan cadangan karbon akhirnya menimbulkan bias dalam nilai dugaan karbon sebagaimana dijelaskan di atas.

- b. Pendugaan karbon berdasarkan tipe tutupan lahan membutuhkan proses analisa akurasi peta tutupan lahan dengan menggunakan data hasil pengecekan lapangan (dengan titik contoh yang belum dipergunakan dalam membangun kunci

interpretasi). Verifikasi hasil pendugaan cadangan karbon, dapat dilakukan dengan menggunakan pengukuran lapangan yang independen.

Nilai NDVI dari citra satelit tahun 1996 secara keseluruhan lebih tinggi daripada nilai NDVI tahun 2003 akibat adanya perbedaan musim (kandungan air pada tumbuhan) dan kualitas citra secara keseluruhan (keberadaan kabut), hal ini dapat dilihat secara jelas pada areal hutan yang tidak berubah baik di tahun 1996 ataupun 2003. Disamping itu, analisa regresi dihasilkan hanya dengan menggunakan nilai NDVI di tahun 2003 dan pada kenyataannya sejumlah besar piksel di tahun 1996 memiliki nilai NDVI di luar rentang nilai NDVI tahun 2003. Hal ini mengakibatkan proses ekstrapolasi nilai cadangan karbon di tahun 1996 dilakukan dengan dasar hubungan regresi yang lemah. Kesamaan hasil di tahun 1996, mungkin terjadi hanya karena kebetulan akibat dua tipe kesalahan yang saling bertentangan dan bukan karena hubungan yang kuat antara dua pendekatan yang digunakan.

Kesimpulan

Kesimpulan dari studi ini adalah sebagai berikut:

1. Telah terjadi perubahan tutupan lahan yang substansial di Kabupaten Nunukan antara tahun 1996-2003, dimana diperkirakan 3,85% areal hutan primer dikonversi menjadi tipe penggunaan lahan lain setiap tahunnya.
2. Peta kerapatan vegetasi berdasarkan Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) menunjukkan perubahan lahan yang bahkan lebih dramatis. Akan tetapi berbagai kesulitan teknis menyangkut metode yang digunakan (perbedaan musim dan adanya kabut pada citra satelit) kemungkinan merupakan faktor penting yang menyebabkan terjadinya perbedaan ini.
3. Pendugaan cadangan karbon berdasarkan nilai NDVI pada tingkat piksel dan hubungan regresi terhadap cadangan karbon, secara esensial berbeda dengan hasil yang didapatkan melalui ekstrapolasi cadangan karbon secara spasial berdasarkan tipe penutupan lahan.
4. Dengan menggunakan koreksi terhadap areal tutupan awan, rata-rata kerapatan cadangan karbon di DAS Sembakung dan Sebuku (Kabupaten Nunukan tanpa Kecamatan Krayan) menurun antara tahun 1996-2003 dari 211 menjadi 175 Mg ha⁻¹. Hal ini terjadi akibat konversi 217.000 (24%) ha hutan primer menjadi tipe penggunaan lahan lainnya. Hilangnya cadangan karbon (17%) lebih kecil daripada penurunan areal hutan primer (24%), hal ini dikarenakan tipe penggunaan lahan pengganti masih menyimpan sebagian cadangan karbon dari hutan primer.
5. Sumber kesalahan dari pendugaan cadangan karbon berdasarkan tipe tutupan lahan adalah lemahnya definisi (termasuk di dalamnya keragaman internal) 'hutan sekunder' dalam tahapan klasifikasi tutupan lahan, ditambah lagi adanya kemungkinan terjadinya perubahan cadangan karbon di dalam tipe penutupan lahan tertentu (terutama dalam kategori areal bekas tebangan dan agroforestri) yang berhubungan dengan intensitas penggunaan lahan pada masing-masing kategori.
6. Walaupun pendugaan cadangan karbon secara langsung melalui data penginderaan jauh memiliki keunggulan teoritis dibandingkan pendugaan berbasis tipe tutupan lahan, namun perbedaan sifat dasar antara nilai indeks berbasis area tutupan daun seperti NDVI dan nilai cadangan karbon yang lebih berbasis pada kayu, membuat metode ini sangat rentan untuk diaplikasikan secara praktis dan menjadi sumber bias yang membutuhkan analisa statistik lebih jauh untuk dapat diperbaiki.

5. STUDI SKENARIO TATA GUNA LAHAN DI NUNUKAN, KALIMANTAN TIMUR (INDONESIA): FAKTOR PENYEBAB, SUMBER PENGHIDUPAN LOKAL DAN CADANGAN KARBON YANG RELEVAN SECARA GLOBAL

Desi Ariyadhi Suyamto dan Meine van Noordwijk

Pendahuluan

Pemanasan global terjadi karena lonjakan tajam dalam peningkatan gas-rumah-kaca, terutama yang bersumber dari emisi karbon-dioksida akibat pembakaran bahan bakar fosil serta konversi hutan dan lahan gambut. Emisi neto karbondioksida ke atmosfer dapat dikurangi dengan mempertahankan sisa cadangan karbon terestrial secara efektif, atau melalui pengikatan karbon oleh pertumbuhan vegetasi baru, dimana karbon disimpan sebagai biomasa. Sistem sirkulasi atmosfer global adalah 'tanggung jawab bersama', sehingga dampak global dari emisi karbon lokal maupun cadangan karbon netonya mendasari diskusi-diskusi yang dilakukan saat ini mengenai pengendalian emisi dan Mekanisme Pembangunan Bersih. Hutan tropis merupakan gudang utama karbon yang nasibnya berada di ujung tanduk, karena konversi kapital sumberdaya alam menjadi kapital finansial (baik dalam bentuk pembalakan maupun bentuk-bentuk degradasi lanjutannya) masih merupakan pilihan sumber penghidupan yang paling setimpal, bila ditinjau dari pengorbanannya. Sementara itu, proses-proses 'pendulangan' sumberdaya lokal yang digerakkan secara eksternal oleh "aktor jarak jauh" ditambah dengan nihilnya

pengakuan atas hak masyarakat lokal dalam pengelolaan lahan dianggap sebagai faktor utama penyebab penipisan hutan. Tidak bisa dipungkiri bahwa pembalakan, baik liar maupun sah, ternyata mampu menyediakan lapangan pekerjaan bagi masyarakat lokal yang tentu saja menjadi riskan ketika diberlakukan larangan kegiatan tersebut (temuan riset mengenai hal ini bisa dibaca dari makalah Casson dan Obidzinski (2002)).

Akhirnya, mencari alternatif sumber penghidupan yang sesuai dengan tujuan proteksi maupun perbaikan cadangan karbon tidak hanya membutuhkan visi jangka panjang yang terkait dengan kearifan pengelolaan sumberdaya pada tingkat lanskap, yang membutuhkan pengakuan atas hak masyarakat lokal untuk bisa mengakses sumberdaya tersebut secara aman. Selain itu, juga harus didasarkan pada bagaimana alternatif sumber penghidupan tersebut mampu untuk menciptakan kesempatan kerja (mandiri) bagi masyarakat dengan imbalan yang setimpal, kapan pun juga. Ekstraksi karbon merupakan suatu eksternalitas¹ dari aktivitas manusia, sebagai bagian dari strategi penghidupan, dimana konsekuensinya hanya bisa dirasakan

¹ konsekuensinya tidak diperhitungkan oleh pengambil keputusan

pada resolusi global yang buram sebagai suatu "kenormalan yang merayap"², sehingga menyebabkan terjadinya "amnesia konsekuensi" pada suatu kelompok masyarakat. Sehingga, ketika hubungan "umpan-balik berputar" yang terkait dengan siklus karbon ditempatkan secara tepat dengan inisiatif-inisiatif untuk mempertahankan cadangan karbon melalui pemberian insentif kepada masyarakat, maka pemahaman mengenai sumber-sumber penghidupan masyarakat sangat diperlukan. Sumber-sumber penghidupan masyarakat merupakan cerminan pengetahuan mereka dalam berjuang demi melangsungkan kehidupan serta persepsi mereka terhadap resiko dan manfaat. Jika pilihan yang tersedia didominasi oleh sumber-sumber penghidupan berbasis pemanenan karbon, maka diperlukan upaya untuk mencari sumber penghidupan yang hemat-karbon namun masih bermanfaat bagi masyarakat lokal. Proyek FORMACS bermaksud untuk mencapai dua manfaat: yaitu memperbaiki taraf hidup masyarakat, sekaligus meningkatkan pengikatan karbon pada wilayah bekas-pembalakan di Nunukan, Kalimantan Timur, melalui dua pendekatan: Pengelolaan Sumberdaya Alam Berbasis Komunitas (CBNRM) dan Pertanian Lestari dengan Asupan Eksternal Rendah (LEISA), lihat Bab 1 oleh Lusiana dan Shea. Kebutuhan dasar ketika menawarkan kesempatan kerja (mandiri) dengan pendapatan per pengorbanan tenaga kerja yang menarik pada tingkat kepadatan penduduk yang ada, sementara di sisi lain juga harus mampu memenuhi kebutuhan pangan, air bersih dan jasa-jasa lingkungan lainnya, bisa dipenuhi dengan berbagai cara. Untuk itu, diperlukan suatu cara yang konsisten dalam membandingkan berbagai skenario perubahan serta dampaknya terhadap cadangan karbon dan pendapatan. Menurut Peterson *et al.* (2003), perencanaan berbasis skenario merupakan metode sistemis untuk berpikir secara kreatif mengenai ketidakpastian dan

kerumitan yang mungkin terjadi di masa mendatang. Ide sentral dari perencanaan berbasis skenario adalah lebih mempertimbangkan beragam kemungkinan yang bisa terjadi di masa depan dengan segala ketidakpastiannya yang dianggap penting dalam suatu sistem, daripada memfokuskan diri pada upaya prediksi suatu hasil tunggal dengan akurat. Perencanaan berbasis skenario dimulai dengan melakukan identifikasi isu atau masalah sentral. Masalah tersebut kemudian digunakan sebagai perangkat dalam memfokuskan penilaian sistem; dan kombinasi antara hasil penilaian tersebut dengan permasalahan utamanya digunakan dalam rangka mengidentifikasi alternatif kunci. Dalam menilai proyek terkait dengan pencapaian tujuan tersebut, tiga pertanyaan penting berikut ini akan muncul:

1. "mampukah proyek mengentaskan kemiskinan, sekaligus meningkatkan cadangan karbon di wilayah tersebut?",
2. "dapatkah masyarakat mengadopsi CBNRM dan LEISA serta mempersepsikannya sebagai sumber penghidupan baru yang menguntungkan?",
3. atau singkatnya "adakah imbal-balik antara manfaat lingkungan global dengan tujuan lokal?" (Tomich, *et al.*, 2001).

Tentunya, pertanyaan-pertanyaan tersebut tidak akan bisa dijawab di dalam kerangka waktu proyek, karena menyangkut skala ruang yang lebih luas dan skala waktu yang lebih panjang. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan ilmiah yang mampu mengekstrapolasikan hasil-hasil pendugaan dari skala plot ke lanskap, dari skala rumah tangga ke komunitas, dan dari kerangka waktu saat ini ke masa depan yang tidak pasti.

Model dapat digunakan sebagai alat untuk melakukan analisis *ex ante* atau analisis prospektif (Gambar 5.1). Model merupakan produk konseptualisasi dari pemahaman terkini mengenai interaksi-interaksi yang terjadi dalam suatu sistem, dengan merancang-bangun hipotesa mengenai proses-

² Kecenderungan yang terkesan berubah secara perlahan, tertutup oleh fluktuasi yang tak beraturan (Diamond, 2005)



Gambar 5.1. Struktur generik suatu model yang menterjemahkan 'penyebab' atau peubah eksogen menjadi respons-respons terikat-waktu dalam suatu lanskap, dengan konsekuensi (atau dianggap 'eksternalitas' sejauh konsekuensi tersebut bukan merupakan bagian hubungan umpan-balik berputar dari bagian yang dinamis) yang digunakan untuk kriteria dan indikator dari kinerja sistem; dalam hal ini skenario merupakan kombinasi spesifik dari peubah-peubah penyebab untuk mewakili perubahan-perubahan pada sistem-sistem dengan tingkat yang lebih tinggi.

proses fundamental yang terkait agar dapat dipertanggungjawabkan. Penggunaan model untuk proses-proses negosiasi dalam suatu kelompok masyarakat memerlukan evaluasi terlebih dulu, yaitu dengan cara membandingkan pola-pola data hasil simulasi model dengan pola-pola data hasil observasi langsung. Sebenarnya, skema dasar dari 'penyebab', 'respons' dan 'konsekuensi' berlaku umum pada berbagai tipe model, termasuk model-model yang hakikatnya merupakan persamaan regresi (dalam persamaan regresi $Y=a+bX$, X adalah penyebab, b adalah respons dan Y adalah konsekuensi). Di sini kami lebih tertarik pada jenis-jenis model, dimana respons bisa melakukan umpan-balik berputar secara mandiri dan mewakili tingkat struktur endogen. Namun, kualitas model-model jenis ini bisa saja mundur menjadi model-model yang hakikatnya sama dengan model-model regresi, jika langkah-langkah untuk memvalidasikannya melibatkan upaya penyesuaian secara ekstensif pada keseluruhan model sehingga hasil simulasi dipaksakan secara sengaja untuk mendekati data observasi. Upaya penyesuaian secara paksa tersebut mungkin bisa memperbaiki presisi

model dalam interpolasi, namun akhirnya justru akan mengurangi tingkat kepercayaannya dalam ekstrapolasi yang melibatkan kondisi-kondisi yang baru, sehingga mengurangi kemampuan model untuk tujuan analisis *ex ante*.

Makalah ini memaparkan aplikasi Model FALLOW (Van Noordwijk, 2002) dalam mengeksplorasi semua pola imbal-balik yang mungkin antara manfaat lokal (pendapatan per kapita) dengan resiko global (cadangan karbon) melalui simulasi berbasis skenario. Sebelumnya, validitas model dievaluasi terlebih dahulu menggunakan data dari wilayah kajian.

Tujuan

1. Mengeksplorasi berbagai skenario penyebab alih guna lahan, kemungkinan dampaknya pada pengambilan keputusan lokal dan pendapatan per kapita, serta konsekuensi logisnya terhadap cadangan karbon.
2. Menguji kelayakan Model FALLOW untuk tujuan tersebut

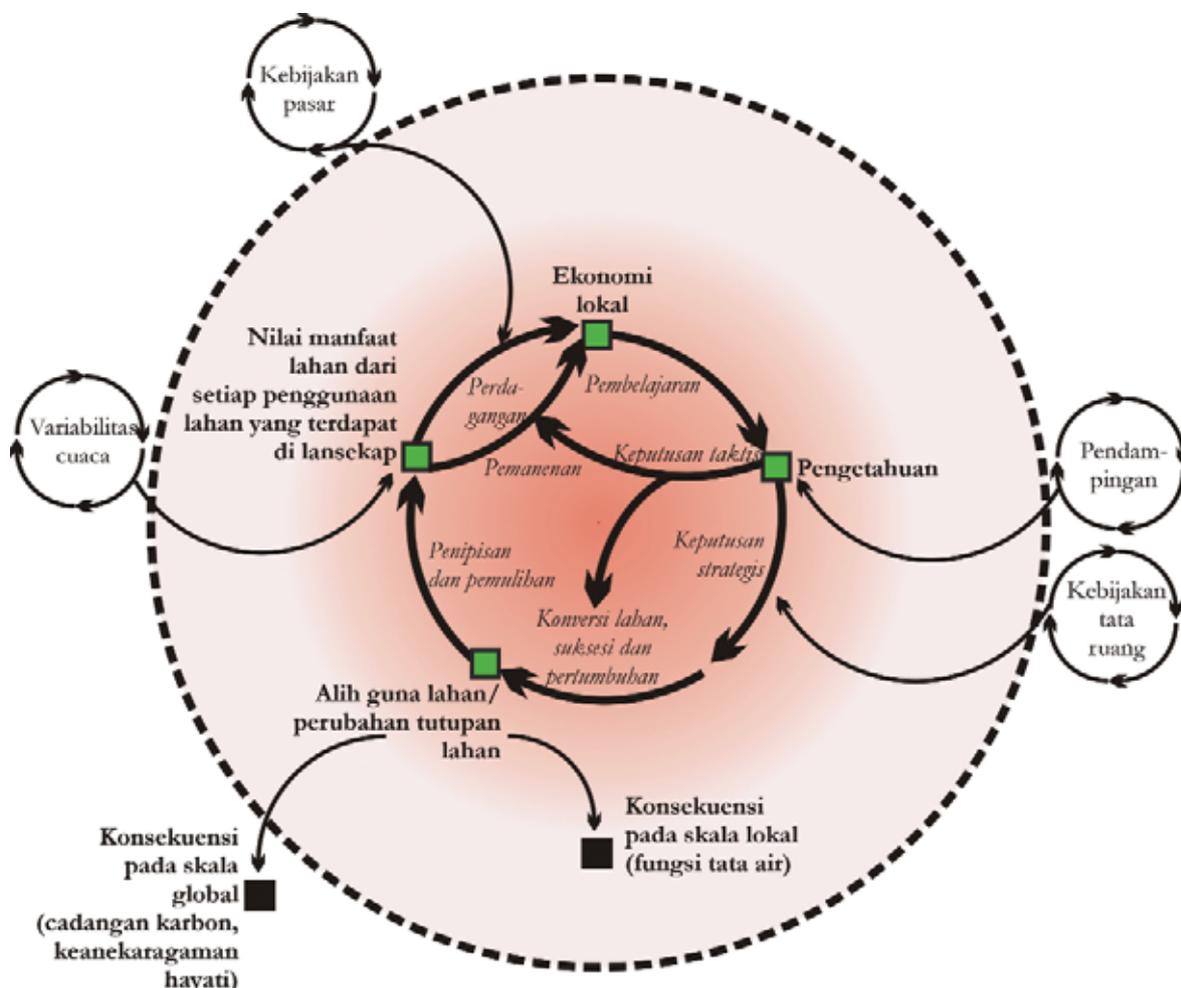
Inti Model FALLOW

FALLOW merupakan model dinamika lanskap yang mempertimbangkan aspek ruang secara eksplisit (Gambar 5.2). Model ini diharapkan dapat menangkap dinamika kehidupan penduduk suatu lanskap dari tahun ke tahun, dengan mensimulasikan: (i) bagaimana sumber penghidupan penduduk tersebut dalam kaitannya dengan ekstraksi cadangan sumberdaya alam, (ii) bagaimana pemulihan cadangan sumberdaya alam tersebut, (iii) bagaimana penduduk

mempelajari manfaat berbagai pilihan sumber penghidupan yang ada, (iv) bagaimana mereka mengambil keputusan terencana mengenai pemanfaatan sumberdaya alam maupun sumberdaya manusia, dan (v) apa konsekuensi dari proses dinamika lanskap yang ditimbulkan.

Ekstraksi Cadangan Sumberdaya Alam dan Pemulihannya

Strategi-strategi penghidupan yang dimiliki para pengambil keputusan pada akhirnya diuji melalui proses-proses perjuangan mereka



Gambar 5.2. Hubungan-hubungan penting yang dipertimbangkan dalam putaran dinamis di Model FALLOW (nilai manfaat lahan, ekonomi lokal dan pengambilan keputusan terkait dengan pengelolaan lahan) yang menentukan pola keruangan tutupan lahan, serta modul-modul yang menterjemahkan pola tersebut ke dalam nilai konsekuensi terhadap berbagai jasa lingkungan, termasuk di antaranya cadangan karbon. 'Penyebab-penyebab' eksternal (digambarkan sebagai putaran-putaran kecil) berperan dalam dinamika dengan mempengaruhi respons lokal melalui perdagangan (misalnya kebijakan pasar yang dibuat oleh agen-agen dari luar wilayah), pengetahuan (misalnya kegiatan pendampingan yang dilakukan oleh agen-agen dari luar wilayah), proses pengambilan keputusan (misalnya kebijakan tata ruang yang dibuat oleh agen-agen dari luar wilayah) atau nilai manfaat lahan (misalnya variabilitas cuaca yang dipengaruhi oleh proses-proses iklimatis global).

dalam mempertahankan kehidupan pada jangka waktu yang panjang (Diamond, 2005). Ketika para pengambil keputusan tersebut memiliki kesempatan untuk 'melarikan diri' ke lokasi atau aktivitas lainnya setelah terjadi pengurasan sumberdaya lokal, kita perlu memperluas batas wilayah sistem kajian. Penggunaan sumberdaya alam (termasuk karbon) dikatakan lestari jika melibatkan upaya untuk mencapai kesetimbangan antara laju pemulihan dan laju pemanenan setelah memanfaatkan cadangan yang terakumulasi di dalam suatu sistem. Bagaimanapun juga, penipisan cadangan sumberdaya alam pada tingkat pemulihannya yang efisien telah diajarkan di berbagai belahan dunia. Eksploitasi berlebihan bisa disebabkan oleh kurangnya kesadaran dan kepedulian akan berbagai konsekuensi yang sebenarnya telah diketahui.

Berdasarkan tingkat pemanenan karbon, pilihan-pilihan sumber penghidupan bisa dikelompokkan menjadi: (i) jenis-jenis sumber penghidupan yang mengekstraksi cadangan karbon dalam jumlah relatif besar (misalnya pembalakan hutan dan pertanian), (ii) pada jumlah medium (misalnya agroforestri, perkebunan monokultur), (iii) pada jumlah kecil (misalnya Hasil Hutan Non Kayu/HHNK), dan (iv) hampir pada tingkat nol (misalnya jenis-jenis pekerjaan jasa/perkotaan).

Pada kegiatan pembalakan hutan sejumlah besar karbon hilang melalui ekstraksi kayu dan kematian pepohonan yang rusak, sedangkan pada kegiatan pertanian kehilangan cadangan karbon terjadi melalui pembersihan lahan dan ketidakseimbangan antara jumlah sisaan bahan organik yang kembali ke tanah dengan laju dekomposisinya. Jumlah sisaan bahan organik yang kembali ke tanah di lahan pertanian lebih rendah dari pada laju dekomposisinya. Pada agroforestri dan perkebunan monokultur, ekstraksi karbon dalam jumlah yang relatif kecil terjadi pada kurun waktu produksi, namun ekstraksi tersebut menjadi relatif besar

pada kurun waktu pengembangan/regenerasi, yaitu melalui pembersihan lahan.

Pada Model Trenbath sederhana, sebagai rancang bangun model FALLOW, diasumsikan bahwa kesuburan tanah akan berkurang selama kurun waktu tanam dan dapat dipulihkan secara perlahan selama kurun waktu bera (lihat Van Noordwijk, 2002). Pemulihan cadangan karbon permukaan tanah tergantung pada pertumbuhan dan suksesi vegetasi. Pertumbuhan vegetasi itu sendiri dipengaruhi faktor pembatas yang berupa sumberdaya penunjang proses pertumbuhan, seperti cahaya, unsur hara, air dan komposisi spesies serta faktor-faktor lain yang mempengaruhi proses perkembangan (misalnya penuaan). Pada ekosistem buatan manusia (termasuk perkebunan monokultur dan kebun agroforestri), beberapa faktor pembatas tersebut bisa dikendalikan melalui manajemen (misalnya pemangkasan, penyiangan, penjarangan, dan lain sebagainya). Cadangan karbon tanah (dalam hal ini bahan organik tanah) akan pulih melalui asupan karbon organik dari serasah yang dihasilkan oleh cadangan permukaan. Asupan karbon organik dipengaruhi oleh waktu tinggal dari lapisan serasah tersebut yang menentukan kesempatannya untuk terdekomposisi. Sebagian besar praktek pertanian tidak mampu memulihkan kesuburan tanah asalnya. Pada praktek pertanian modern, pemupukan merupakan solusi mahal yang lebih disukai dalam mempertahankan kesuburan. Akhirnya, pemulihan cadangan sumberdaya alam tergantung pada tipe pengelolaan lahan atau keputusan penduduk untuk memberakan lahan mereka.

Persepsi Terhadap Manfaat Sumber Penghidupan dan Gaya Belajar

Masyarakat mengukur nilai manfaat dari berbagai pilihan sumber penghidupan melalui dua indikator yaitu: pendapatan per pengorbanan tenaga kerja (Rp/HOK) dan

pendapatan per pengorbanan luasan lahan (Rp/ha). Ukuran manfaat tersebut dinyatakan sebagai nilai harapan yang mencerminkan pengetahuan masyarakat mengenai resiko dan manfaat yang mereka pelajari dari pengalaman sendiri. Jadi, persepsi masyarakat terhadap resiko dan manfaat tidak harus diukur dengan menggunakan tingkat suku bunga bank sebagai standar dalam mengukur ketidakpastian masa depan.

Dalam proses belajar-mandiri, masyarakat memiliki gaya yang berbeda-beda. Di dalam model, gaya belajar tersebut dicerminkan oleh parameter "laju pembaharuan-pengetahuan", yang menunjukkan fraksi dari informasi terbaru yang dipertimbangkan atau seberapa banyak pengetahuan lama yang dipertahankan oleh seseorang untuk digunakan dalam memperbaharui pengetahuan yang ada. Beberapa orang cenderung lebih mempercayai informasi terbaru daripada pengetahuan lamanya, sedangkan yang lain berperilaku sebaliknya. Sebuah desa bisa ditempati oleh sekelompok masyarakat yang relatif konservatif, yang cenderung mempertahankan pengetahuan lamanya, dan sekelompok masyarakat yang relatif progresif, yang cenderung mempercayai informasi terbaru sebagai almanak masa depan dan dengan mudah melupakan pelajaran yang telah diperoleh di masa lalu. Dalam suatu komunitas, apabila kesuksesan pengambilan keputusan dari seseorang dapat dirasakan manfaatnya oleh orang lain, maka terbuka kesempatan bagi yang lainnya untuk mempelajari pengalaman tersebut. Dengan demikian, evolusi pengetahuan pada tingkat desa terbentuk oleh dua kelompok masyarakat dengan gaya belajar yang bertolak belakang: konservatif dan eksperimenter. Pengetahuan juga bisa diperbaharui oleh informasi yang didapatkan melalui pendidikan dan pendampingan. Pada skala yang lebih luas, pengetahuan masyarakat pada suatu tempat bisa dipengaruhi oleh pengetahuan masyarakat di tempat lainnya. Khususnya, dengan terlibatnya sistem-sistem produksi berbasis pohon yang memiliki waktu tunggu antara

penanaman dan produksi yang lama, laju difusi inovasi baik yang terjadi di dalam suatu komunitas maupun antar komunitas merupakan faktor penting dalam menentukan dampak keseluruhan. Dipertimbangkannya peran 'penyuluhan' secara eksplisit dalam pendekatan pemodelan ini merupakan pencapaian kemajuan dalam kerumitan melakukan 'pelambangan' terhadap aktor-aktor spesifik yang berperan dalam perubahan sistem-sistem kompleks, yang seringkali dibutuhkan dalam penilaian dampak. Di dalam teori difusi inovasi, eksperimenter disebut sebagai pengadopsi awal, yang hanya memiliki fraksi relatif kecil dalam keseluruhan populasi suatu komunitas, sedangkan konservatif diistilahkan sebagai kelompok mayoritas awal, kelompok mayoritas lanjut atau kelompok tradisional, yang mendominasi komunitas tersebut (Gladwell, 2000). Istilah 'inovator' pada teori tersebut merujuk pada agen pendampingan dalam model ini.

Alokasi Lahan dan Tenaga Kerja pada Berbagai Pilihan Penggunaan Lahan

Dalam memilih praktek-praktek penggunaan lahan, seseorang melibatkan pertimbangan yang mendalam mengenai neraca resiko-manfaat dari setiap pilihan yang ada. Oleh karena itu, akan sangat dipengaruhi oleh pengetahuan masyarakat dan gaya belajar mereka. Keputusan-keputusan strategis (dengan konsekuensi tahunan) dan keputusan-keputusan taktis pada 'sistem-sistem penggunaan lahan' dapat dibedakan dalam hal pengalokasian tenaga kerja pada setiap jenis penggunaan lahan yang terdapat pada lanskap yang dikelola.

Lahan akan dialokasikan untuk setiap pilihan penggunaan lahan, terkait dengan nilai harapan pendapatan per pengorbanan luasan lahan (Rp/ha). Makin tinggi nilai harapan pendapatan per pengorbanan luasan lahan (Rp/ha), orang cenderung mengalokasikan ruang yang lebih luas untuk jenis praktek penggunaan lahan seperti ini. Ketika nilai

harapan pendapatan per pengorbanan luasan lahan (Rp/ha) melebihi nilai aktual pendapatan per pengorbanan luasan lahan pada plot-plot yang telah ada (Rp/ha), orang cenderung melakukan ekspansi lahan untuk memenuhi harapannya. Pada beberapa kasus, ekspansi lahan tidak hanya dikendalikan oleh pasar, sebagai contoh ekspansi pertanian tanaman pangan lebih cenderung ditentukan oleh kebutuhan pangan. Selanjutnya, keputusan untuk memberakan atau memperbaharui suatu plot dipengaruhi oleh takaran seseorang dalam menentukan batas marjinal lahan, yaitu ketika nilai aktual pendapatan per pengorbanan luasan lahan dari suatu plot (Rp/ha) telah turun dari nilai harapannya.

Dalam Model FALLOW, alokasi tenaga kerja pada setiap jenis pilihan penggunaan lahan dilakukan setiap tahun, terkait dengan nilai harapan pendapatan per pengorbanan tenaga kerja (Rp/HOK). Makin tinggi nilai harapan pendapatan per pengorbanan tenaga kerja (Rp/HOK), orang cenderung mengalokasikan tenaga kerja pada porsi yang lebih tinggi untuk jenis penghidupan tersebut. Dalam pengambilan keputusan taktisnya, masyarakat mungkin menggunakan dasar proporsionalitas sederhana antara nilai harapan pendapatan dan alokasi sumberdaya maupun menggunakan skema keputusan yang cenderung memilih jenis-jenis pilihan yang 'paling menjanjikan' (sebagaimana telah diyakini). Dalam model, alokasi tenaga kerja untuk jenis kegiatan produksi pangan lokal bisa melebihi 'perilaku pemilihan rasional' berdasarkan nilai harapan pendapatan relatif per pengorbanan tenaga kerja. Hal tersebut mencerminkan perilaku antisipatif terkait dengan pencegahan krisis-pangan.

Dalam memilih suatu plot untuk ekspansi lahannya, orang akan mempertimbangkan beberapa penentu keruangan yang mempengaruhi daya tarik suatu plot. Daya tarik suatu plot itu sendiri terkait dengan nilai manfaat (misalnya kesuburan lahan, hasil

panen harapan), biaya ekspansi (misalnya jarak yang terkait dengan biaya perjalanan, kelerengan lahan, dan kemudahan untuk pembersihan lahan), pengendalian lahan (misalnya jarak dari pemukiman atau jarak dari plot yang telah ada) dan status pengakuan atas hak mengelola lahan (lahan publik atau privat).

Metodologi

Dalam menggunakan Model FALLOW sebagai alat untuk mensimulasikan dinamika lanskap dan penghidupan masyarakat di Nunukan, dilakukan langkah-langkah berikut ini:

- pemilihan wilayah kajian untuk validasi dan simulasi;
- parameterisasi model;
- validasi model; dan
- simulasi beberapa skenario.

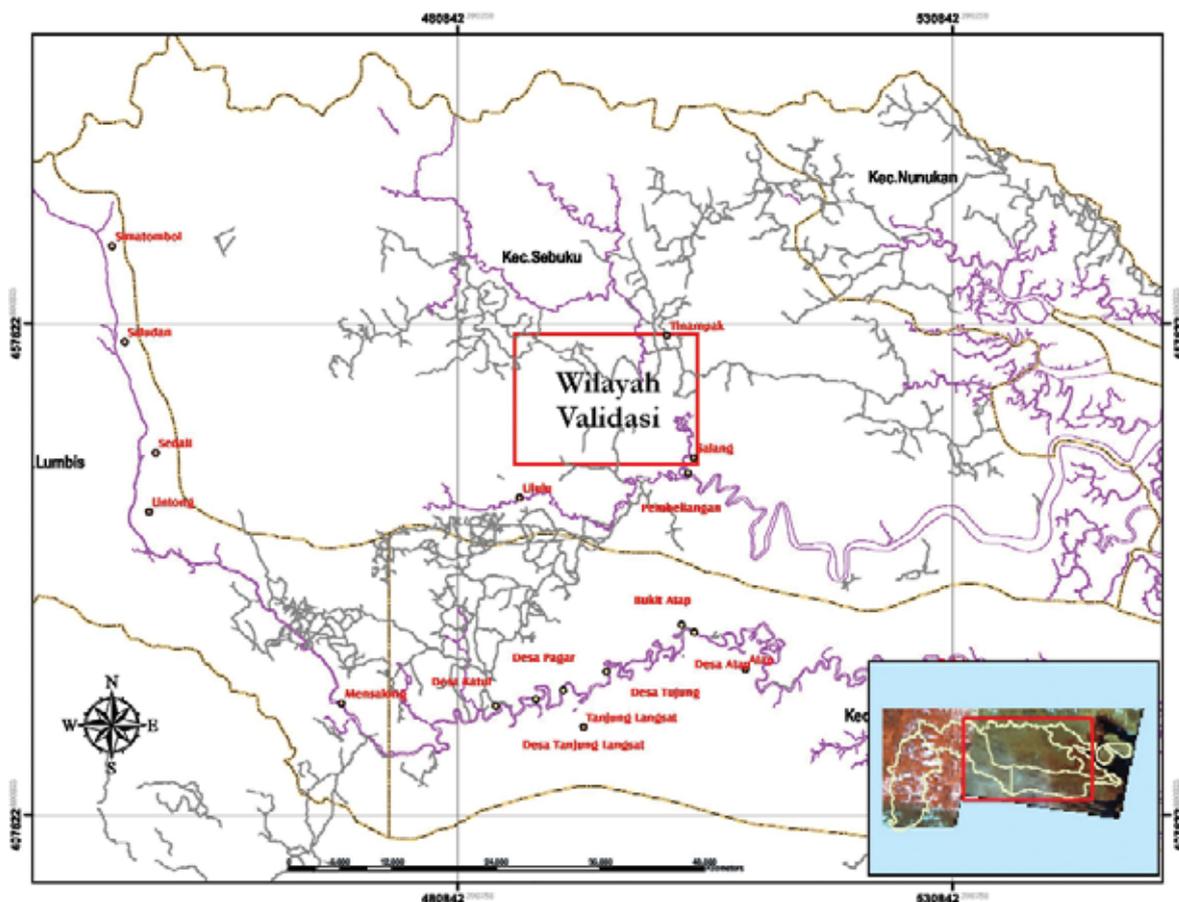
Hasil

Wilayah Validasi

Sebelum mengaplikasikan model, validasi dilakukan untuk mengevaluasi kinerjanya dalam menggambarkan dinamika alih guna lahan. Bagian wilayah Sebuku dengan luasan 24.656 ha dipilih sebagai wilayah kajian (Gambar 5.3). Wilayah ini dipilih karena kondisinya yang relatif bebas awan sebagaimana ditangkap oleh citra Landsat pada tahun 1996 dan 2003 (lihat Widayati *et al.* dalam Bab 4). Peta tutupan lahan wilayah tersebut pada tahun 1996 digunakan untuk inialisasi model. Kemudian, hasil simulasi 8-tahun dibandingkan dengan peta tutupan lahan tahun 2003. Pembalakan, pertanian dan agroforestri merupakan pilihan penggunaan lahan utama di wilayah ini.

Parameterisasi Model

Sebagian besar parameter yang digunakan dalam studi ini dianalisis dari data hasil survei rumah tangga/survei lapangan yang dilakukan



Gambar 5.3. Wilayah validasi yang dipilih sebagai wilayah aplikasi model, mencakup luasan 24.656 ha dan merupakan bagian dari Sebuku.

oleh tim proyek (lihat Bab 2 oleh Wijaya *et al.* untuk hasil rinci survei sosial-ekonomi rumah tangga dan Bab 3 oleh Rahayu *et al.* untuk hasil rinci survei biofisik/karbon). Parameter lainnya diduga melalui data sekunder.

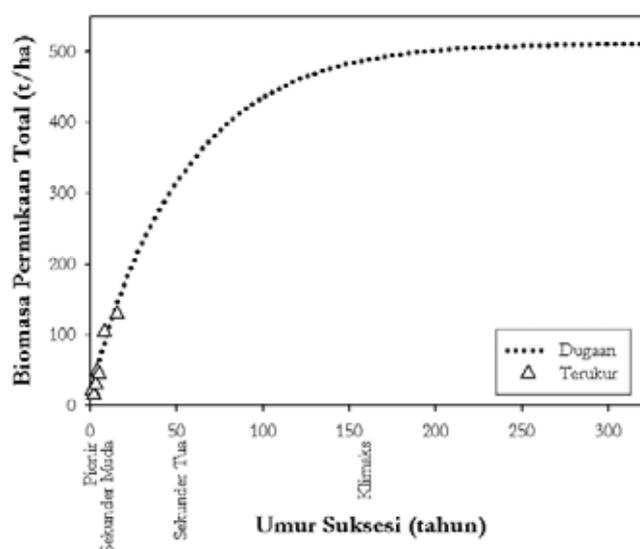
Dinamika Hutan

Rataan biomasa permukaan dari plot-plot *jakaw* pada usia bera 1, 2, 3, 4, 5, 6-10, dan >10 tahun, serta dari hutan primer digunakan untuk menentukan batas waktu suksesi hutan alam. Gambar 5.4 memperlihatkan biomasa terukur (segitiga) dan model duganya (garis bernoktah), menggunakan fungsi asimptotis umum $y = y_{\max}(1 - \exp[-\beta x^{\gamma}])^n$ (Vanclay, 1994). Batas waktu hutan bekas-tebangan ditentukan sesuai dengan data survei lapangan (Tabel 5.1). Tabel 5.2 merangkum statistik (min, maks, nilai tengah and simpangan baku) dari

total biomasa permukaan dari hutan alam. Untuk inialisasi pada tingkat piksel digunakan distribusi normal dengan nilai tengah dan simpangan baku sebagaimana terindikasi dan dibatasi dengan nilai minimum serta maksimum hasil pengamatan.

Sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel 5.1, waktu setelah penebangan pertama (tahun) tidak berkorelasi langsung dengan riap biomasa pada petak-petak bekas tebangan. Dengan demikian, riap biomasa permukaan hutan secara umum tidak dapat diduga berdasarkan umur suksesinya (sebagai $\text{dBiomasaPermukaan}/dt$), namun berdasarkan kondisi biomasa permukaan saat ini relatif terhadap biomasa permukaan maksimum yang ditemukan pada hutan primer ($\text{Biomasa Permukaan} / \text{BiomasaPermukaan}_{\text{Rujukan}}$). Kurva asimptotis digunakan untuk membangun

Gambar 5.4. Biomasa permukaan total sebagai fungsi dari umur untuk menurunkan parameter-parameter yang terkait dengan suksesi hutan alam.



Tabel 5.1. Lama waktu setelah penebangan pertama (tahun) dan statistik biomasa permukaan untuk petak-petak bekas tebangan

Tahap	Batas waktu (tahun setelah penebangan pertama)	Minimum (Mg ha ⁻¹)	Maksimum (Mg ha ⁻¹)	Nilai tengah (Mg ha ⁻¹)	Simpangan baku (Mg ha ⁻¹)
Tebangan 1	2	406,1	644,7	528,6	119,5
Tebangan 2	7	248,9	654,6	390,5	228,9
Tebangan 3	21	411,4	523,4	467,4	79,2
Tebangan 4	41	256,7	575,0	438,8	164,1

Tabel 5.2. Parameter-parameter yang menjelaskan suksesi hutan alam dan statistik biomasa permukaannya

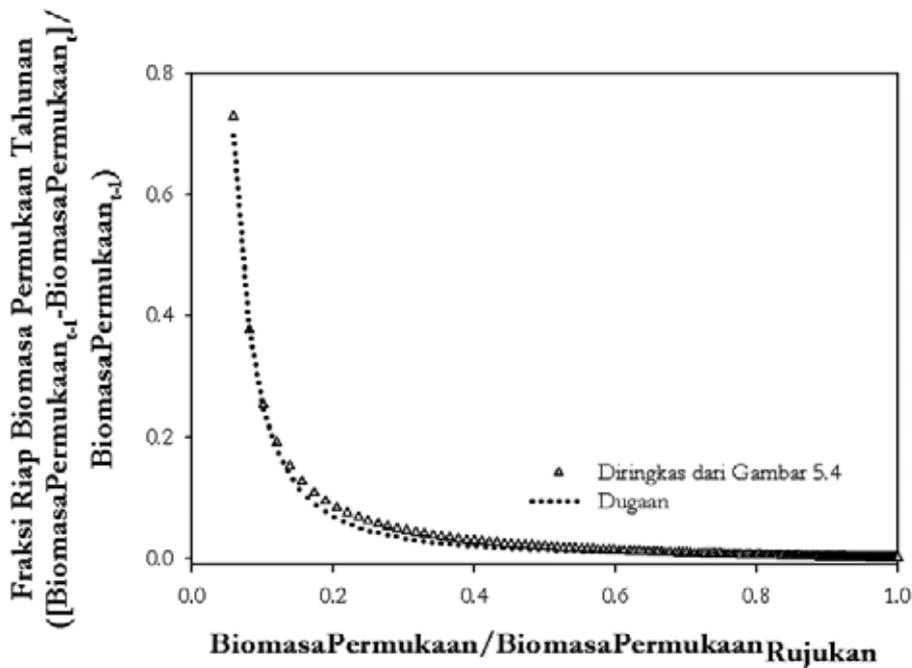
Tahap	Batas waktu (tahun)	Minimum (Mg ha ⁻¹)	Maksimum (Mg ha ⁻¹)	Nilai tengah (Mg ha ⁻¹)	Simpangan baku (Mg ha ⁻¹)
Pioner	1	17,3	96,7	59,71	26,94
Sekunder muda	10	104,8	316,6	224,03	62,85
Sekunder tua	51	320,1	487,5	429,05	47,86
Klimaks	159	488,0	510,8	505,00	6,16

grafik hubungan antara riap biomasa permukaan dan BiomasaPermukaan/Biomasa Permukaan_{Rujukan}, dengan $y_{maks}=0.003$, $\beta=1$, $\gamma=1.6$, $\eta=-1.2$, dan akar rata-rata galat kuadrat=0.02 (Gambar 5.5). Dalam hal ini, riap biomasa permukaan ditetapkan sebagai $[BiomassPermukaan_t - BiomassPermukaan_{t-1}] / BiomassPermukaan_{t-1}$.

Fraksi dari biomasa pohon diduga dari korelasinya dengan biomasa permukaan total, berdasarkan kurva asimptotis dengan

$y_{maks}=0.90$, $\beta=0.001$, $\gamma=2.27$, $\eta=1$, dan akar rata-rata galat kuadrat=0.13 (Gambar 5.6). Potensi tegakan (m³ ha⁻¹) adalah 1,4842 dari biomasa pohon (Mg ha⁻¹), berdasarkan korelasi yang ditunjukkan dalam Gambar 5.7. Dalam hal ini, potensi tegakan (m³ ha⁻¹) diduga dengan asumsi faktor silindris (fs) sama dengan 1. Potensi tegakan ditetapkan sebagai komponen produk kayu yang bisa dipanen.

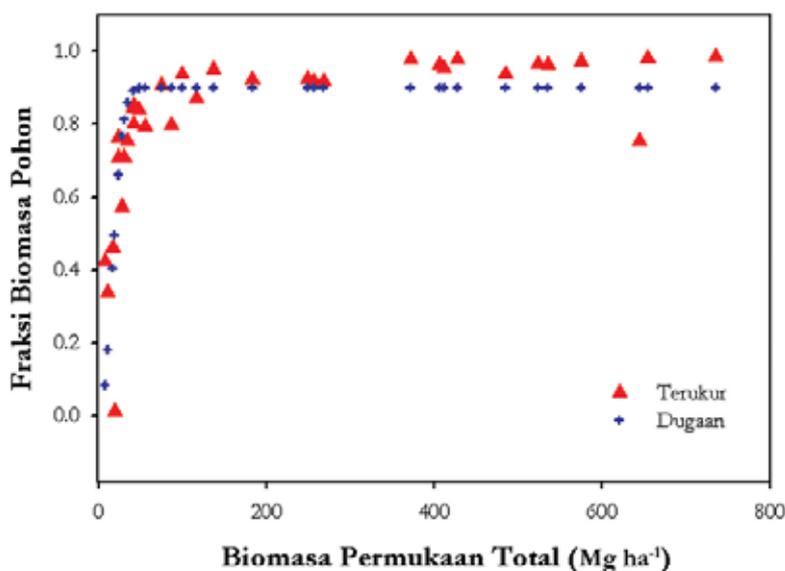
Pembalakan diasumsikan mengekstraksi pohon-pohon berukuran besar. Fraksi dari



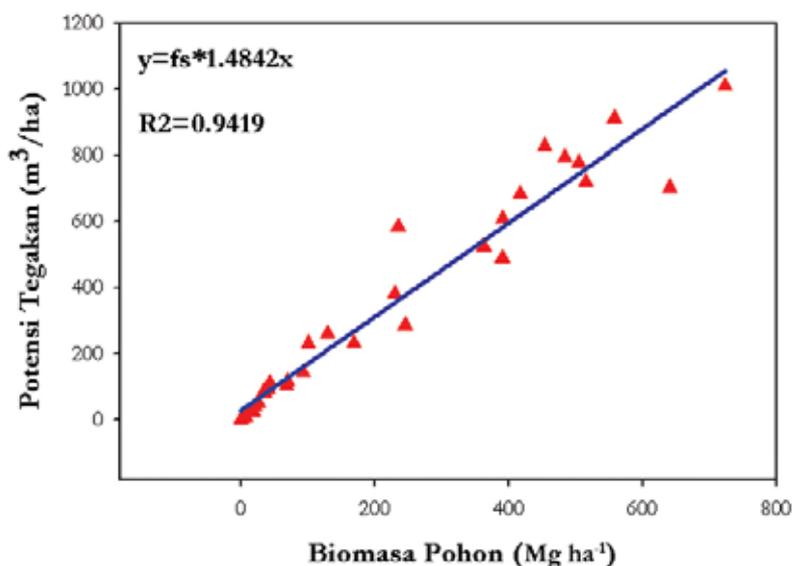
Gambar 5.5. Riap tahunan biomasa permukaan hutan alam dan hutan bekas tebangan diduga dari kondisi saat ini relatif terhadap biomasa permukaan maksimum pada hutan primer (510,8 Mg ha⁻¹, lihat Tabel 5.2).

pohon berukuran besar (diameter setinggi dada > 30 cm) diduga dari potensi tegakannya (m³ ha⁻¹), berdasarkan kurva asimptotis dengan $y_{maks}=0,83$, $\beta=0,005$, $\gamma=1,05$, $\eta=15$, dan akar rata-rata galat kuadrat=0.25 (Gambar 5.8). Data hasil pengukuran diperoleh dari rata-rata-ulangan plot-plot hutan primer, lahan bera dan petak-petak bekas tebangan. Pencilan terdapat pada data hasil pengukuran di lahan bera umur 6-10 tahun. Pencilan tersebut

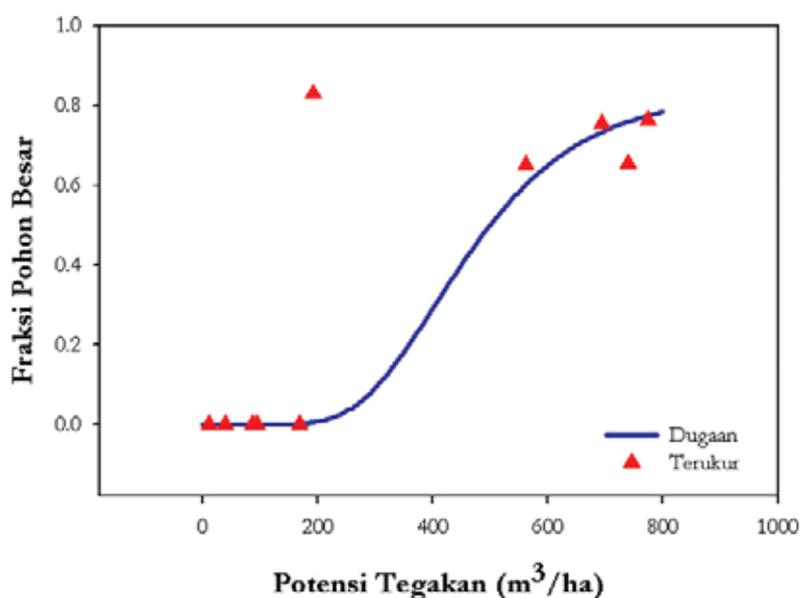
barangkali mencerminkan sisa-sisa pohon besar yang ditinggalkan dan bertahan hidup selama kurun waktu tahap pembersihan lahan dan penanaman. Dugaan adanya sisa pohon besar yang menyebabkan pencilan data didasarkan pada kerapatannya yang rendah dalam sistem pembeeraan dan diameter pohonnya yang berbeda secara substansial dengan vegetasi di sekitarnya.



Gambar 5.6. Kurva duga komponen pohon dari biomasa permukaan total di hutan.



Gambar 5.7. Potensi tegakan (menunjukkan kayu yang bisa dipanen) di hutan sebagai fungsi dari biomasa pohon.



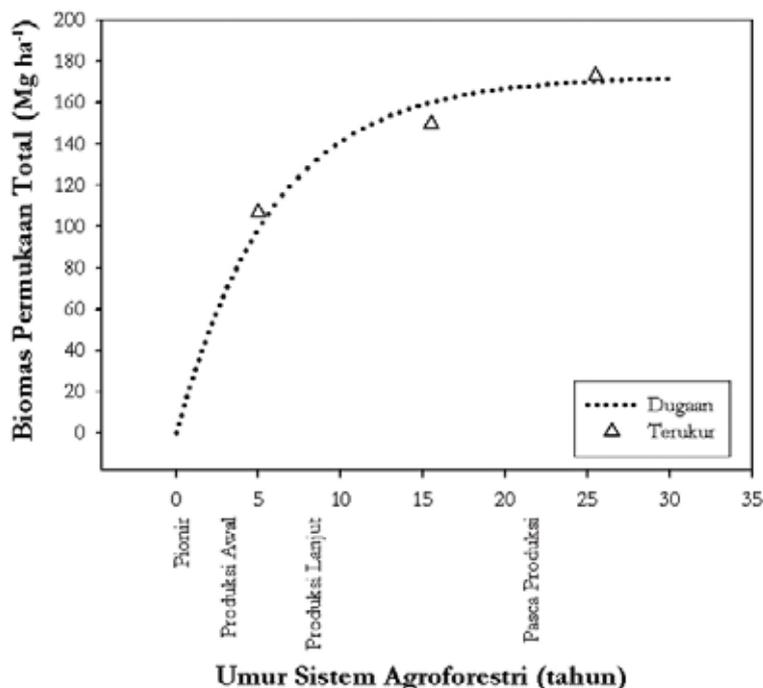
Gambar 5.8. Fraksi pohon yang bisa dipanen (pohon besar) yang terdapat di hutan sebagai fungsi dari potensi tegakannya.

Dinamika Sistem Agroforestri

Rataan biomasa permukaan total dari plot-plot agroforestri pada umur 0-10, 11-20, 21-30 tahun digunakan untuk menentukan batas waktu pada tahapan perkembangan agroforestri. Gambar 5.9 menampilkan biomasa terukur (segitiga) dan model dugaanya (garis bernoktah), berdasarkan kurva asimptotis dengan $y_{\max} = 172,87$, $\beta = 0,2$, $\gamma = 0,95$, $\eta = 1,1$, dan akar rata-rata galat kuadrat = 7,68. Tabel 5.3 merangkum statistik (minimum, maksimum, nilai tengah dan simpangan baku)

dari biomasa permukaan pada setiap tahapan perkembangan sistem agroforestri. Untuk inialisasi pada tingkat piksel, digunakan distribusi normal dengan nilai tengah dan simpangan baku sebagaimana terindikasi, dan dibatasi dengan nilai minimum dan maksimum hasil pengamatan.

Riap tahunan biomasa permukaan dalam sistem agroforestri diduga dari kondisi biomasa permukaan saat ini relatif terhadap nilai maksimum biomasa permukaan yang ditemukan pada kebun tua (BiomasaPermu-



Gambar 5.9. Biomasa permukaan total sebagai fungsi umur sistem agroforestri.

Table 5.3. Parameter-parameter yang menjelaskan perkembangan sistem agroforestri dan statistik biomasa permukaannya.

Tahap	Batas waktu (tahun)	Minimum (Mg ha ⁻¹)	Maksimum (Mg ha ⁻¹)	Nilai tengah (Mg ha ⁻¹)	Simpangan baku (Mg ha ⁻¹)
Pioner	0	0,0	49,4	25,29	24,74
Produksi awal	3	68,9	120,3	96,81	20,36
Produksi lanjut	8	128,5	166,8	153,21	12,27
Pasca produksi	21	167,7	171,7	170,11	1,32

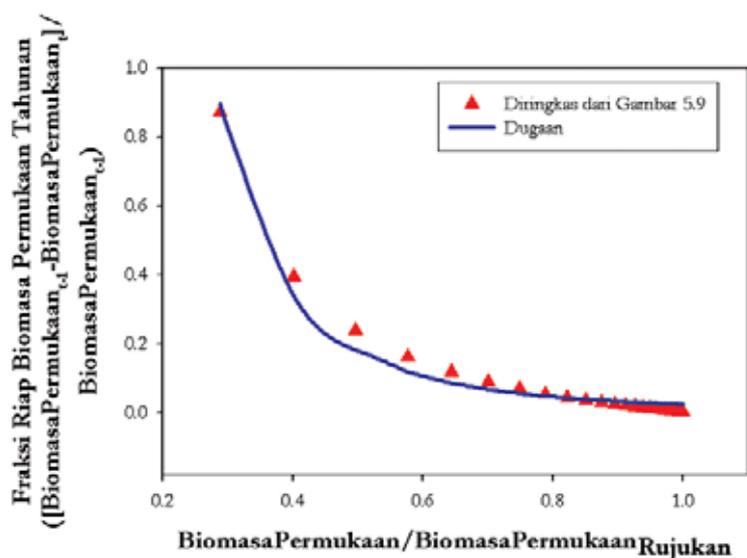
kaan/BiomasaPermukaan_{Rujukan}). Kurva asimptotis digunakan untuk membangun grafik hubungan antara riap biomasa permukaan dan BiomasaPermukaan/Biomasa Permukaan_{Rujukan}, dengan $y_{max}= 0.0014$, $\beta=0.09$, $\gamma=2.7$, $\eta=1.11$, dan akar rata-rata galat kuadrat=0,09 (Gambar 5.10). Dalam hal ini, riap biomasa permukaan ditetapkan sebagai $[BiomassPermukaan_t - BiomassPermukaan_{t-1}] / BiomassPermukaan_{t-1}$.

Hasil panen dari sistem agroforestri sangat bergantung pada biomasa pohon dan umur. Fraksi biomasa pohon diduga dari korelasinya terhadap total biomasa permukaan, berdasarkan kurva asimptotis dengan $y_{max}=0.91$, $\beta=0.0055$, $\gamma=2$, $\eta=2.1$, dan akar rata-rata galat kuadrat=0,04 (Gambar 5.11).

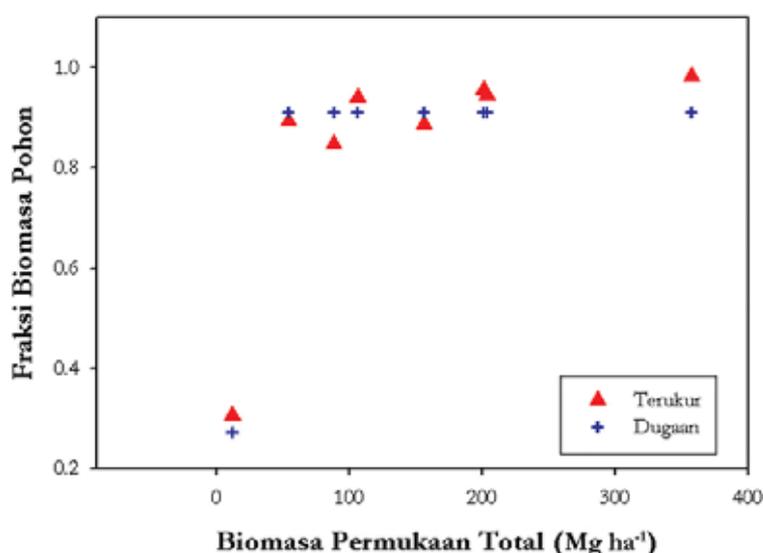
Tipe sistem agroforestri yang banyak ditemui di Nunukan adalah kebun buah campuran. Dalam memparameterisasikan hasil panen agroforestri, enam spesies yang paling dominan, yaitu rambutan, pisang, elai (durian hutan), langsung, kopi dan durian, dipilih berdasarkan peluang kemunculannya, yang dirangkum dari hasil survei rumah tangga (Tabel 5.4).

Tabel 5.4. Enam spesies dominan yang membentuk kebun buah campuran pada sistem agroforestri di Sebuku.

Peringkat	Sebuku	
	Spesies	Peluang Kemunculan
1	Kopi	0.37
2	Rambutan	0.31
3	Langsat	0.31
4	Elai	0.29
5	Banana	0.11
6	Durian	0.11



Gambar 5.10. Riap tahunan biomasa permukaan sistem agroforestri diduga dari kondisi saat ini relatif terhadap biomasa permukaan maksimum pada kebun tua (171,7 Mg ha⁻¹, lihat Tabel 5.3).



Gambar 5.11. Kurva untuk menduga komponen pohon dalam biomasa total pada sistem agroforestri

Hasil produksi setiap spesies (Mg ha⁻¹) diduga dari fraksinya, relatif terhadap biomasa permukaannya. Fraksi hasil produksi untuk spesies pohon (rambutan, elai, langsung, kopi dan durian) diduga berdasarkan biomasa pohon, sedangkan untuk pisang diduga dari biomasa permukaan bukan pohon (Tabel 5.5).

Faktor penuaan ditambahkan sebagai pengali pada setiap tahap perkembangan. Pada studi ini, faktor penuaan sebesar 0,1; 1; 0,75; 0,2 digunakan untuk mengkoreksi hasil produksi pada tahapan pioner, produksi awal, produksi lanjut dan pasca produksi berturut-turut.

Tabel 5.5. Hasil produksi sistem agroforestri diduga sebagai fraksi dari biomasa permukaan pohon atau bukan pohon.

Spesies	Rambutan	Banana	Elai	Langsat	Kopi	Durian
Biomasa (Mg ha ⁻¹)	15,25 (pohon)	1,26 (bukan pohon)	8,60 (pohon)	12,22 (pohon)	2,66 (pohon)	24,96 (pohon)
Hasil (kg ha ⁻¹)	318	303	1321	222	38	895
Fraksi hasil	0,0209	0,2397	0,1536	0,0182	0,0145	0,0358

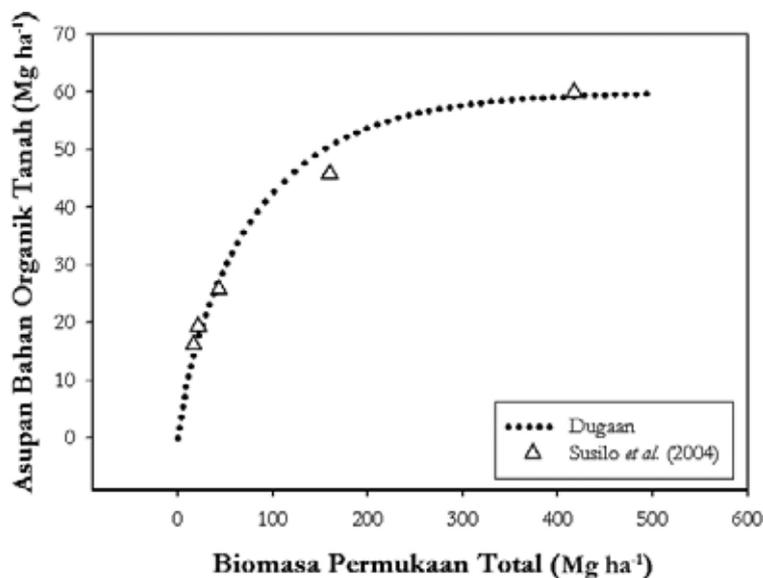
Kesuburan Tanah dan Produktivitas Pertanian

Asumsi yang mendasari pendugaan asupan bahan organik tanah tahunan pada berbagai tipe tutupan lahan di Jambi, Sumatera (Susilo, *et al*, 2004) digunakan untuk menduga asupan bahan organik tanah dari biomasa permukaan (Gambar 5.12). Cadangan biomasa tanah diinisialisasi menggunakan kurva hubungan tersebut, yang hasilnya terangkum pada Tabel 5.6.

Produktivitas tanaman pangan (dalam hal ini padi) diduga dari produktivitas lahan-lahan *jakaw* sebagaimana terangkum pada Tabel 5.7.

Pengetahuan Masyarakat dan Pengambilan Keputusan Terencana

Tidak semua parameter yang digunakan untuk menginisialisasi persepsi masyarakat terhadap manfaat setiap jenis sumber penghidupan diturunkan secara langsung dari data hasil survei sosial ekonomi rumah tangga, tetapi beberapa di antaranya diduga dengan menggabungkan data sekunder (hasil akhirnya terangkum di Tabel 5.8). Nilai harapan pendapatan per pengorbanan tenaga kerja pada pertanian tanaman pangan diduga dari data luas areal pertanian pada peta tutupan lahan tahun 1996 (6 ha), dan data sosial-



Gambar 5.12. Kurva hubungan antara total biomasa permukaan dengan asupan bahan organik tanah. Pola ini diringkas dari penilaian biomasa tanah pada berbagai sistem penggunaan lahan di Jambi, Sumatera oleh Susilo, *et al*. (2004).

Tabel 5.6. Statistik bahan organik tanah (Mg ha⁻¹) pada berbagai jenis tutupan lahan untuk inisialisasi model

Jenis tutupan lahan	Bahan organik tanah (Mg ha ⁻¹)			
	Minimum	Maksimum	Nilai tengah	Simpangan baku
Hutan pioner	0,00	38,30	22,42	14,58
Hutan sekunder muda	40,23	57,95	53,20	4,81
Hutan sekunder tua	58,02	59,65	59,27	0,42
Hutan primer	59,65	59,73	59,71	0,02
Hutan bekas tebangan 1	59,22	59,93	59,65	0,37
Hutan bekas tebangan 2	56,23	59,94	57,68	1,98
Hutan bekas tebangan 3	59,26	59,76	59,51	0,35
Hutan bekas tebangan 4	56,51	59,86	58,67	1,87
Agroforestri pioner	0,00	29,62	16,56	15,12
Agroforestri awal produksi	35,56	45,90	41,55	4,11
Agroforestri produksi lanjut	47,06	51,29	49,91	1,34
Agroforestri pasca produksi	51,38	51,72	51,58	0,11

Tabel 5.7. Laju penipisan kesuburan tanah tahunan dan efisiensi konversi pada padi.

Umur pembersaan (tahun)	Total biomasa (Mg ha ⁻¹)	Cadangan karbon tanah dugaan	Pengurangan cadangan karbon tanah	Hasil panen padi (Mg ha ⁻¹)	Laju pengurangan	Efisiensi konversi
1	2,44	3,67	0,47	0,80	0,41	1,68
2	5,05	6,27	0,81	2,43	0,04	2,99
3	5,32	6,52	0,84	3,14	0,02	3,73
4	5,50	6,67	0,86	2,96	0,04	3,43
5	5,83	6,96	0,90	3,06	-	3,40
Efisiensi konversi tanaman padi rata-rata						3,04
Laju pengurangan kesuburan tanah rata-rata						0,13

Tabel 5.8. Persepsi masyarakat mengenai manfaat sumber penghidupan di Sebuku

Sumber penghidupan	Nilai harapan pendapatan per pengorbanan tenaga kerja (Rp orang ⁻¹ ha ⁻¹)	Nilai harapan pendapatan per pengorbanan luasan lahan (Rp ha ⁻¹)
Pertanian tanaman pangan	18,380	1,348,194
Agroforestri (kebun buah campuran)	41,127	4,574,014
Hasil hutan non kayu (gaharu)	3,968	N.A.
Pembalakan	34,673	61,311,413
Non pertanian	13,292	

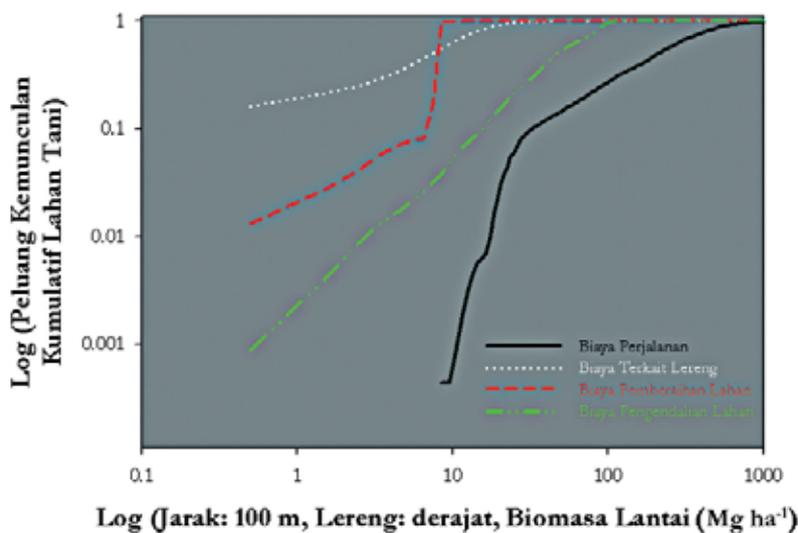
ekonomi dari survei rumah tangga: asupan tenaga kerja tahunan per ha (HOK ha⁻¹ tahun⁻¹), hasil panen padi rata-rata per ha (317 kg ha⁻¹) dan harga beras (Rp 4,250 kg⁻¹). Dua informasi terakhir juga digunakan untuk menduga nilai harapan pendapatan per pengorbanan luasan lahan pada sistem pertanian tanaman-pangan. Metode yang sama diterapkan untuk menduga nilai harapan pendapatan per pengorbanan tenaga kerja dan nilai pendapatan per pengorbanan luasan lahan pada sistem agroforestri. Nilai harapan pendapatan per pengorbanan tenaga kerja pada aktivitas pembalakan diturunkan langsung dari data hasil survei rumah tangga. Nilai harapan pendapatan per pengorbanan luasan lahan pada aktivitas pembalakan hutan diduga dari data luas areal bekas tebangan pada tahun 1996 (47 ha), hasil kayu pada petak tebangan baru (772 m³ ha⁻¹), harga kayu (Rp 99,276 m⁻³) serta jumlah tenaga kerja yang mungkin terlibat dalam aktivitas pembalakan (dengan fraksi dugaan sekitar 0,35).

Diasumsikan bahwa 1% dari total populasi, terdiri dari kelompok masyarakat yang memiliki laju pembaharuan pengetahuan sama dengan 0,75, sedangkan sisanya (99%) memiliki laju pembaharuan pengetahuan sama dengan 0,25. Strategi awal antara dua kelompok masyarakat tersebut diasumsikan berada pada kondisi kesetimbangan Nash, sehingga keduanya memiliki pengetahuan yang sama pada tahap awal.

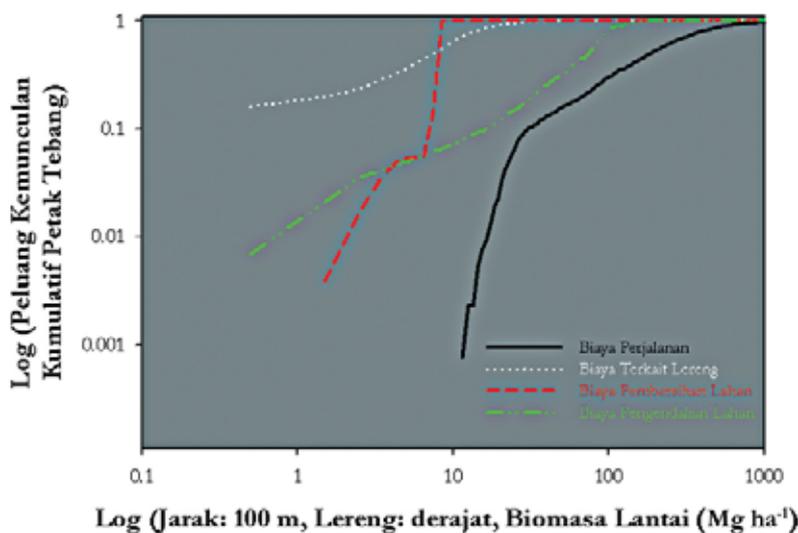
Analisis keruangan dilakukan menggunakan peta tutupan lahan, peta kelerengan dan peta-peta jarak (meliputi jarak ke jalan, jarak ke sungai, dan jarak ke pemukiman). Analisis ini dilakukan untuk menduga efek dari karakteristik keruangan dalam menentukan perencanaan masyarakat yang terkait dengan pemilihan plot untuk ekspansi lahan. Rangkuman hasil analisis disajikan pada Gambar 5.13.

Validasi Model

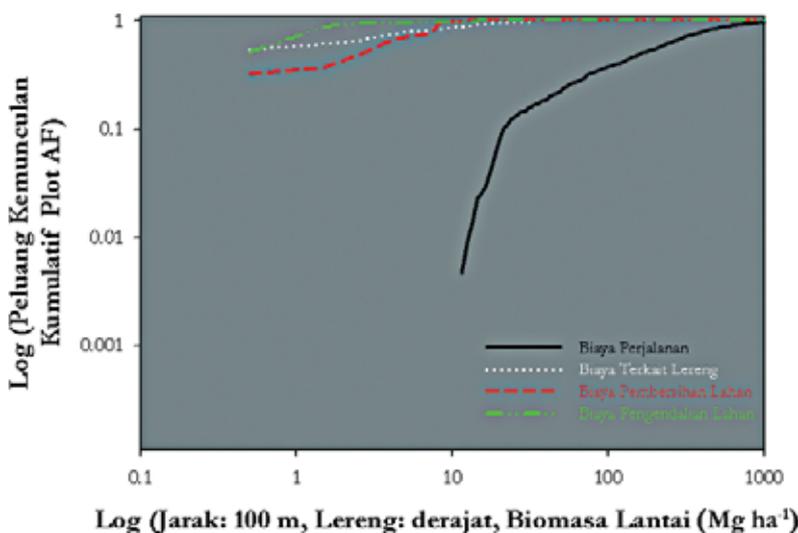
Validasi dilakukan untuk mengukur kemiripan pola lanskap pada tahun 2003 antara hasil simulasi dengan data rujukan (yaitu peta tutupan lahan, yang diturunkan dari citra Landsat TM – lihat Bab 4). Model divalidasi pada tiga tingkatan yaitu: (1) pada tingkat nominal rinci, dengan mengukur kemiripan peta tutupan lahan; (2) pada tingkat nominal agregat, dengan mengukur kemiripan peta penggunaan lahan; dan (3) pada tingkat kuantitatif rinci, dengan mengukur kemiripan peta Karbon/Karbon_{Rujukan}. Peta-peta yang digunakan dalam validasi disajikan pada



(a) Pertanian



(b) Pembalakan

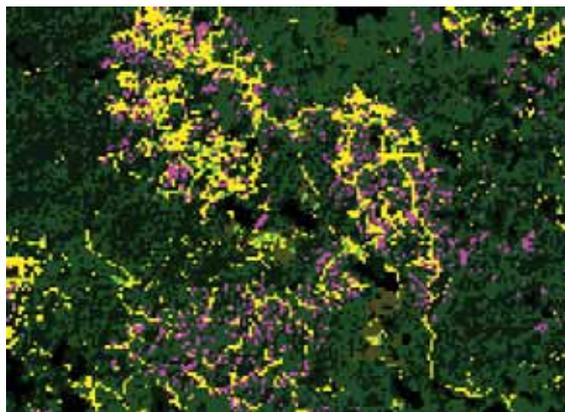


(c) Agroforestri

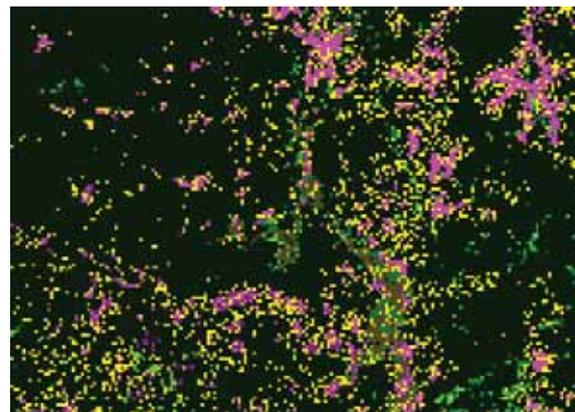
Gambar 5.13. Karakteristik keruangan menentukan perencanaan dalam melakukan ekspansi lahan bagi seseorang. Prosedur perhitungan yang diadopsi dari Costanza (1989) digunakan untuk menghitung efek dari setiap penentu keruangan, yang dinyatakan sebagai rataan terboboti secara eksponensial terhadap semua nilai dari masing-masing penentu keruangan: (a) pada ekspansi lahan pertanian, efek dari biaya perjalanan adalah 0,0122, biaya terkait-lereng adalah 0,5243, biaya pembersihan lahan adalah 0,4812, dan biaya pengendalian lahan adalah 0,0685; (b) pada ekspansi lahan tebangan, efek dari biaya perjalanan adalah 0,0130, biaya terkait-lereng adalah 0,5240, biaya pembersihan lahan adalah 0,4695, dan biaya pengendalian lahan adalah 0,0717; serta (c) pada ekspansi lahan agroforestri, efek dari biaya perjalanan adalah 0,0246, biaya terkait-lereng adalah 0,8006, biaya pembersihan lahan adalah 0,7535, dan biaya pengendalian lahan adalah 0,9319.

Gambar 5.14-5.16. Prosedur validasi diadopsi dari Costanza (1989), dengan mengukur kemiripan pola keruangan pada resolusi bertingkat. Hasilnya disajikan dalam gambar 5.17. Pada tingkat nominal rinci (pembandingan peta tutupan lahan, Gambar 5.14), kemiripan model hanya berkisar 37%

(Gambar 5.17). Ketika validasi dilakukan pada tingkat agregat (pembandingan peta penggunaan lahan, Gambar 5.15), kemiripan model meningkat menjadi 70% (Gambar 5.17). Model mencapai kemiripan 80% (Gambar 5.17) ketika validasi dilakukan pada tingkat kuantitatif detail (Gambar 5.16).



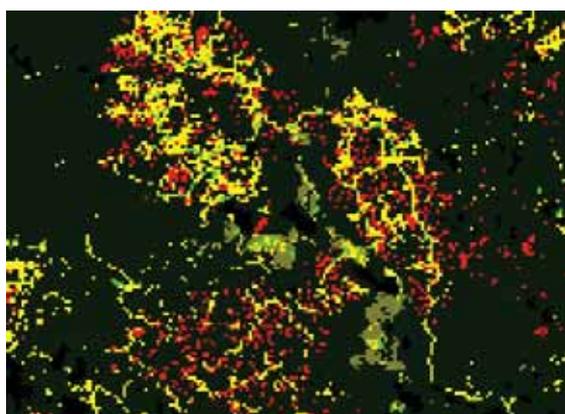
Peta tutupan lahan rujukan (dari Landsat TM). Wilayah hitam merupakan daerah berawan, yang tidak diperhitungkan.



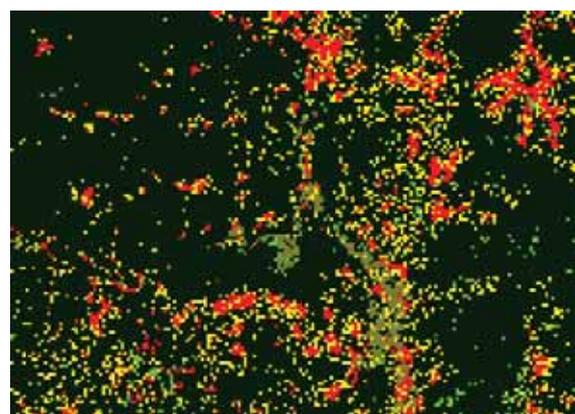
Peta tutupan lahan simulasi



Gambar 5.14. Peta tutupan lahan rujukan dari daerah Sebuku pada tahun 2003 (kiri), dibandingkan dengan hasil simulasi (kanan). Pada tingkat nominal rinci, kemiripan keruangan dari data hasil simulasi terhadap data rujukan hanya berkisar 37% (lihat Gambar 5.17).



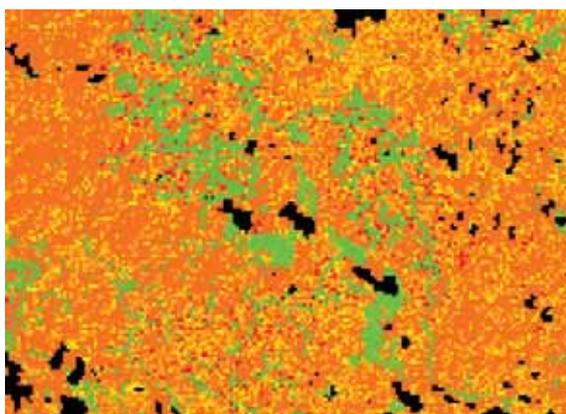
Peta penggunaan lahan rujukan (agregasi peta tutupan lahan). Wilayah hitam merupakan daerah berawan, yang tidak diperhitungkan.



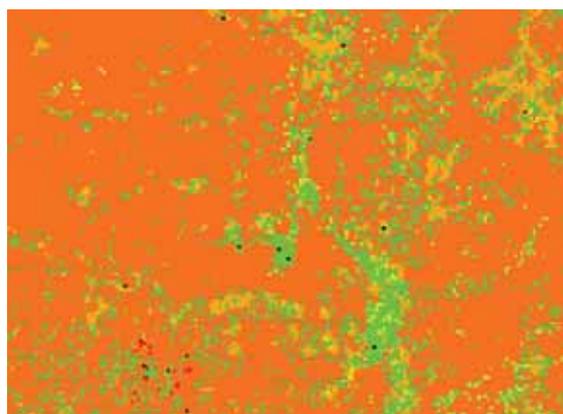
Peta penggunaan lahan simulasi (agregasi peta tutupan lahan)



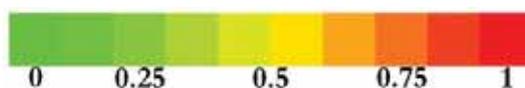
Gambar 5.15. Peta penggunaan lahan rujukan daerah Sebuku pada tahun 2003 (kiri), dibandingkan dengan hasil simulasi (kanan). Peta-peta tersebut dihasilkan dari agregasi peta-peta tutupan lahan, dimana hutan pioneer dipisahkan dari kelompok hutan dan direklasifikasikan menjadi lahan bera. Pada tingkat nominal agregat, kemiripan keruangan dari data hasil simulasi terhadap data rujukan meningkat menjadi 70% (lihat Gambar 5.17).



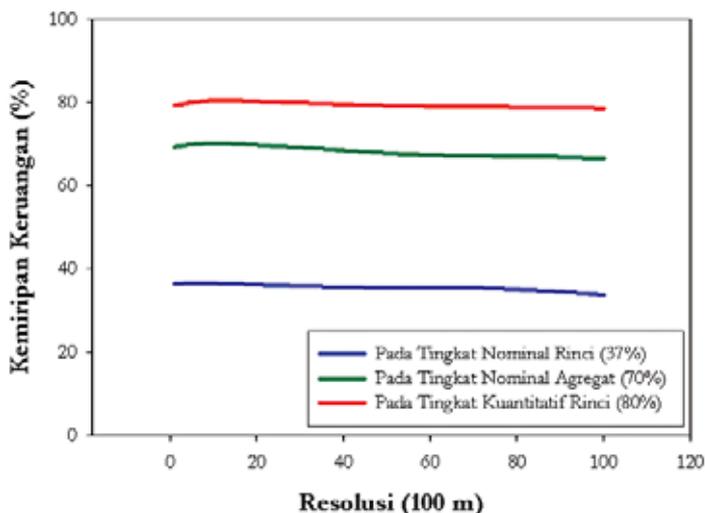
Peta Rujukan Karbon/Karbon_{Rujukan}. Wilayah hitam merupakan daerah berawan, yang tidak diperhitungkan.



Peta Karbon/Karbon_{Rujukan} Simulasi.



Gambar 5.16. Dugaan peta Karbon/Karbon_{Rujukan} berdasarkan peta rujukan tutupan lahan dan statistik dari survei karbon lapangan (kiri), dibandingkan dengan Karbon/Karbon_{Rujukan} hasil simulasi (kanan). Dalam hal ini, Karbon/Karbon_{Rujukan} merupakan cadangan karbon permukaan relatif terhadap nilai cadangan karbon maksimum pada hutan primer. Pada tingkat kuantitatif detail, kemiripan keruangan dari data hasil simulasi terhadap data rujukan adalah 80% (lihat Gambar 5.17).

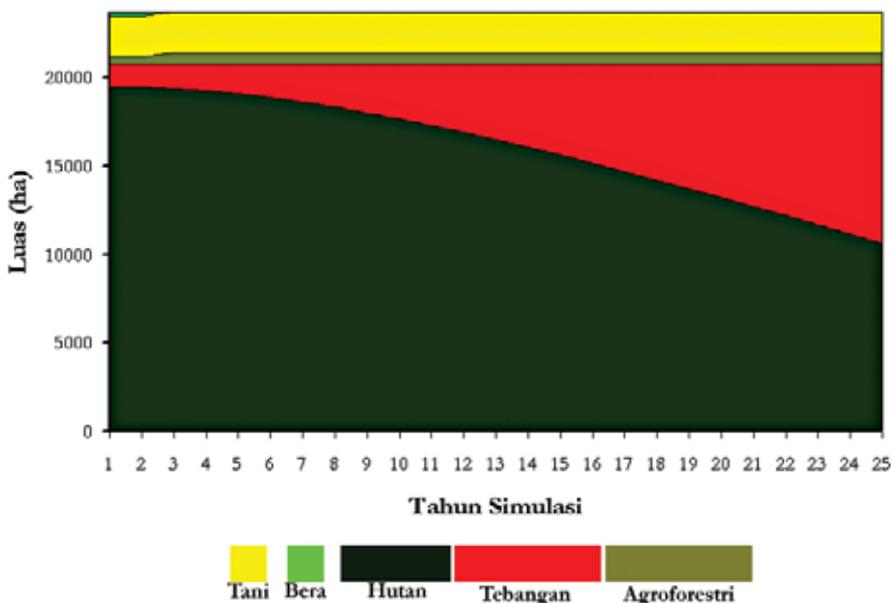


Gambar 5.17. Kemiripan hasil simulasi dan peta rujukan, diukur pada resolusi bertingkat, dari 100 m hingga 10 km (prosedur penghitungan diadopsi dari Costanza, 1989). Pada tingkat nominal rinci (pembandingan peta tutupan lahan), kemiripan model hanya berkisar 37%. Pada tingkat nominal agregat (pembandingan peta penggunaan lahan), kemiripan model meningkat menjadi 70%. Pada tingkat kuantitatif rinci (pembandingan peta Karbon/Karbon_{Rujukan}), kemiripan model mencapai 80%.

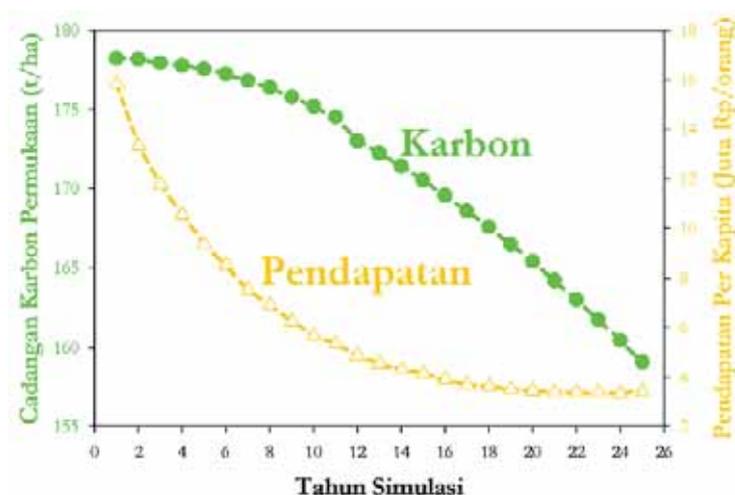
Acuan dan efek ledakan penduduk: perubahan terprediksi dalam karakteristik sistem jika kecenderungan terkini terus berlanjut sebagai acuan dinamis dalam melakukan analisis 'dampak' dari intervensi-intervensi bertipe proyek

Ekstrapolasi waktu dengan menggunakan parameter-parameter di atas (lihat bagian awal

dari bab ini) dengan kemiripan yang bisa diterima akibat perubahan yang terjadi selama 10 tahun terakhir, menunjukkan bahwa pembalakan akan tetap dipersepsikan sebagai pilihan sumber penghidupan yang paling menguntungkan dalam kurun waktu 25 tahun mendatang (Gambar 5.18). Oleh karena itu, simulasi model menghasilkan suatu 'acuan' yang menyatakan bahwa penipisan lanjut cadangan kayu dan tentunya juga cadangan



Gambar 5.18. Dinamika lanskap simulasi di Sebuku selama 25 tahun dari tahun 2003, menggunakan seting parameter terkini, dimana pembalakan hutan dianggap oleh masyarakat sebagai sumber penghidupan yang paling menguntungkan sehingga menipiskan cadangan karbon permukaan.



Gambar 5.19. Menggunakan setting parameter terkini, kecenderungan yang mungkin terjadi dari dinamika lanskap di Sebuku selama 25 tahun (diinisialisasi menggunakan peta tutupan lahan rujukan tahun 2003), menghasilkan kurva yang menurun pada kedua indikator manfaat: pendapatan per kapita (juta Rp/orang) dan cadangan karbon permukaan (Mg ha^{-1}).

karbon, bersamaan dengan penurunan pendapatan apabila kesempatan terbaik melakukan pembalakan berkurang (Gambar 5.19).

Penurunan pendapatan dipercepat ketika populasi penduduk diasumsikan meningkat (Gambar 5.20.A2), namun pertumbuhan populasi tersebut tidak meningkatkan intensitas pembalakan secara substansial,

sehingga menghasilkan pola penurunan cadangan karbon yang sama dengan skenario acuan (Gambar 5.20.A1).

Simulasi-simulasi Berbasis Skenario

Pola lanskap dari peta tutupan lahan aktual tahun 2003 disimulasikan selama 25 tahun ke depan berdasarkan skenario yang dijelaskan

pada Tabel 5.9. Skenario 1 dan skenario 2 dimaksudkan untuk mengeksplorasi kemudahan adopsi sistem agroforestri pada lanskap tersebut jika profitabilitasnya ditingkatkan. Skenario terakhir dimaksudkan untuk mengeksplorasi perilaku adaptif masyarakat, jika pasar kayu hilang dari wilayah tersebut.

Upaya-upaya untuk meningkatkan profitabilitas agroforestri melalui peningkatan hasil dan perbaikan pasar (dengan menaikkan harga produk agroforestri) ternyata tidak berpengaruh terhadap adopsi agroforestri di lanskap tersebut, sehingga menghasilkan pola imbal-balik yang sama, dibandingkan dengan acuan (Gambar 5.20 B1, B2, C1, C2).

Mengurangi pasar kayu sebanyak 75%-100% ternyata mempengaruhi pendapatan masyarakat secara signifikan, sehingga memaksa mereka untuk mengadopsi sistem agroforestri dan pertanian sebagai pengganti hilangnya sumber pendapatan dari pembalakan (Gambar 5.21). Pengurangan

pasar kayu pada tingkat ini mampu menaikkan pendapatan sebanyak 58%-83% (Gambar 5.20.D2) dan mengurangi cadangan karbon sebanyak 18%, dibandingkan dengan kondisi acuan (Gambar 5.20.D1).

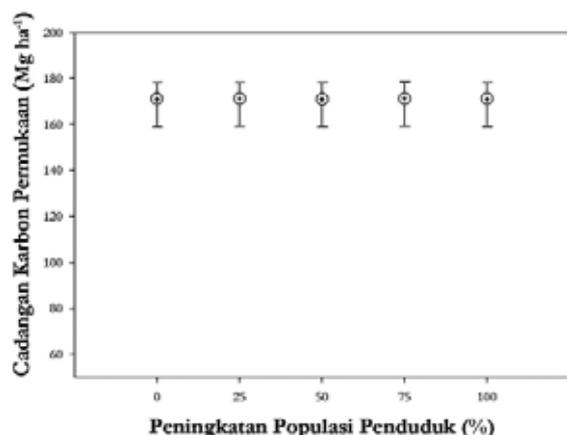
Jika skenario 1 dan skenario 2 digabungkan dengan skenario 3, dimana hasil dan harga produk agroforestri ditingkatkan sebanyak 100% pada berbagai tingkat pengurangan pasar kayu, cadangan karbon bisa dipertahankan pada tingkat pengurangan pasar kayu setidaknya 75% (Gambar 22 A) tanpa memperburuk resiko pengurangan pendapatan dibandingkan dengan kondisi acuan (Gambar 22 B).

Diskusi

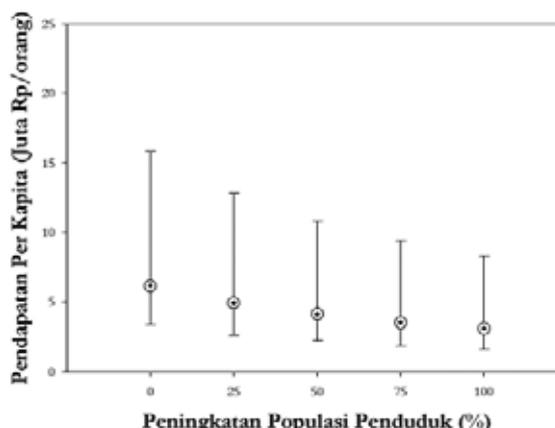
Sejalan dengan tujuan studi ini, kami akan meninjau-ulang kelayakan dan kelemahan Model FALLOW sebagai alat pencapaian tujuan, serta memformulasikan kesimpulan sementara mengenai dampak yang mungkin

Tabel 5.9. Skenario yang digunakan untuk eksplorasi semua pola imbal-balik yang mungkin antara pendapatan per kapita dengan cadangan karbon permukaan.

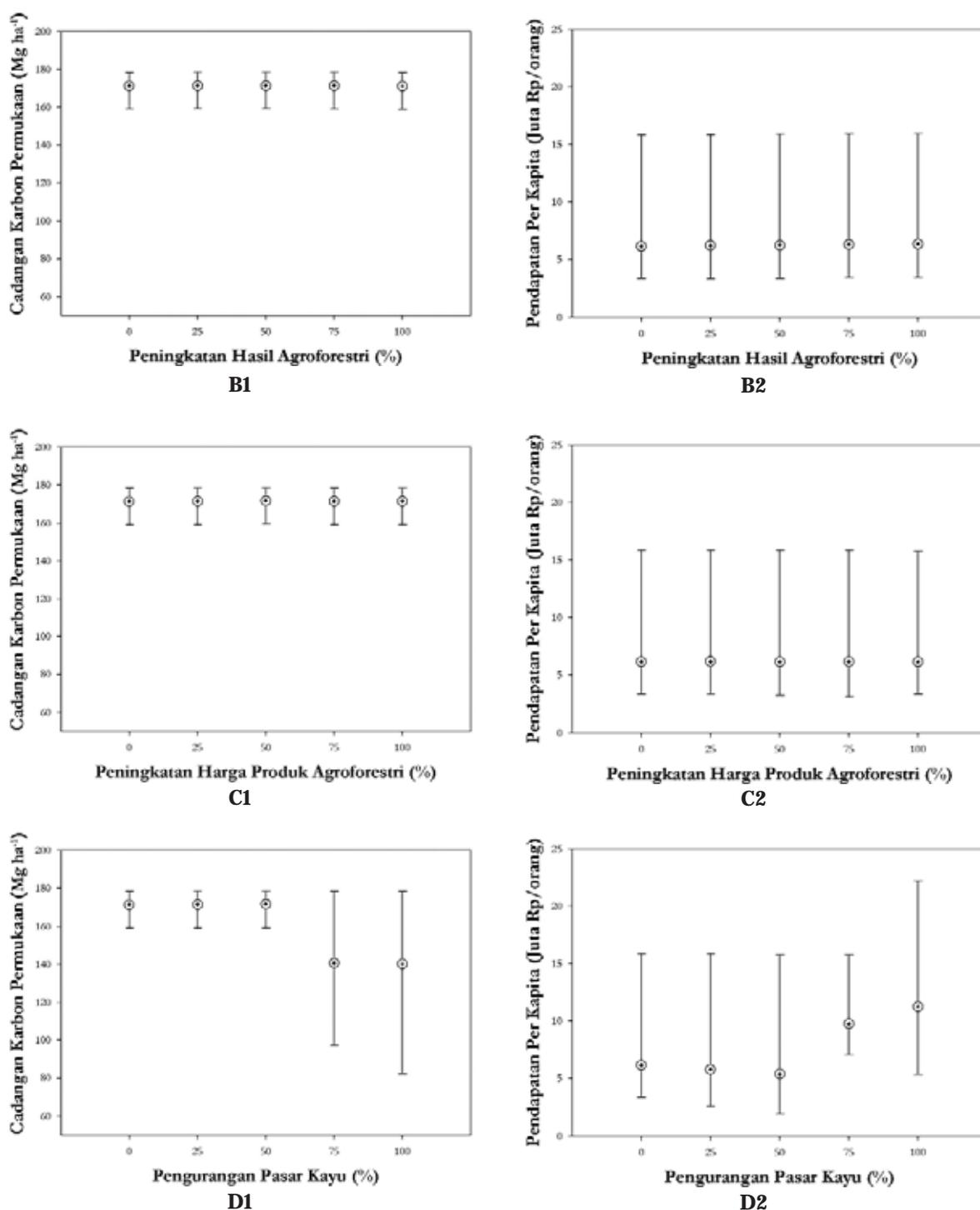
Skenario	Parameter kunci
1	Perbaikan hasil agroforestri
2	Perbaikan pasar agroforestri
3	Pengurangan pasar kayu



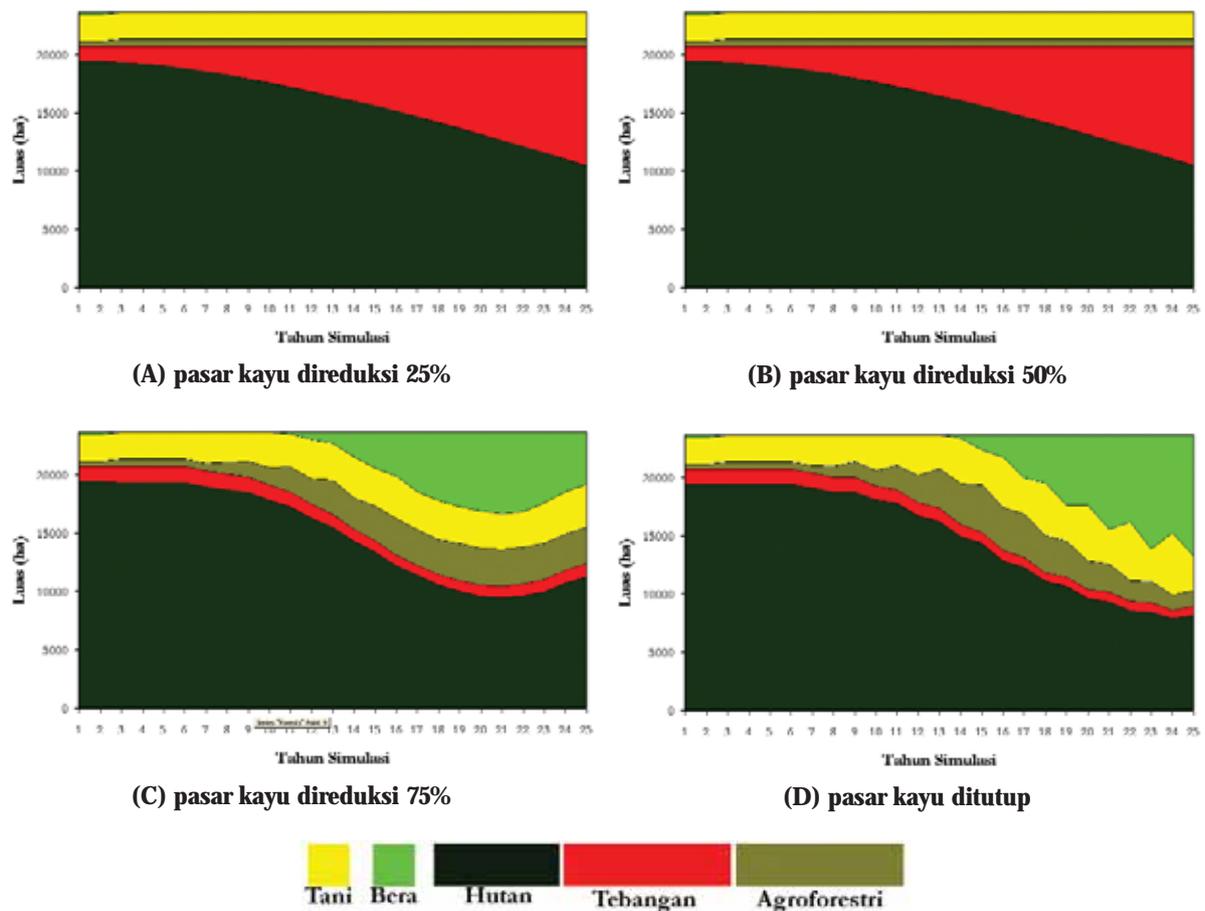
A1



A2

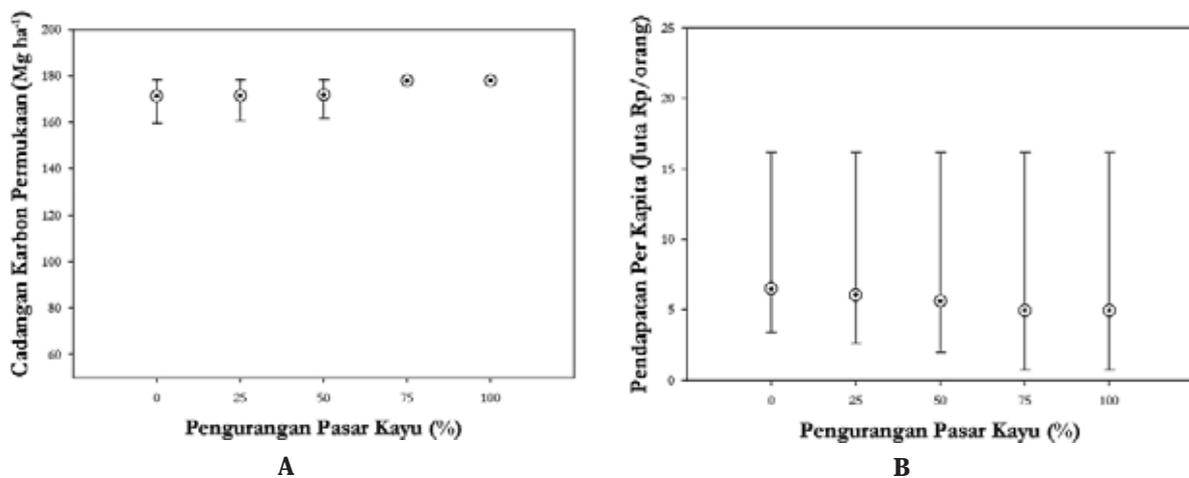


Gambar 5.20. Sebagaimana disimulasikan oleh model, peningkatan populasi penduduk mengurangi keuntungan lokal (A2), sementara cadangan karbon tetap sama dengan kecenderungan terkini (A1). Upaya untuk memperbaiki profitabilitas agroforestri dengan meningkatkan hasil dan memperbaiki pasar tidak berpengaruh terhadap tingkat adopsi agroforestri, jika kapital sumberdaya alam untuk melakukan aktivitas pembalakan masih lebih menjanjikan dengan hasil yang lebih tinggi, sehingga baik pendapatan per kapita (B1, C1) maupun cadangan karbon (B2, C2) tidak berubah dari kecenderungan terkini. Mengurangi pasar kayu hingga 25%-50% dari seting terkini (kapasitas penuh) mengurangi pendapatan masyarakat (D2) tanpa mengubah kecenderungan terkini dari pengurangan cadangan karbon (D1). Ketika pasar kayu dikurangi hingga 75%-100%, masyarakat mulai mengadopsi sistem pertanian maupun agroforestri sebagai kompensasi kehilangan pendapatan dari kegiatan pembalakan, sehingga makin mengurangi cadangan karbon (D1) dan menciptakan keuntungan yang lebih tinggi (D2).



Gambar 5.21. Masyarakat masih mengharapkan pembalakan untuk dapat memberikan penghasilan yang terbaik bagi mereka, meskipun pasar kayu telah dikurangi hingga 25%-50% dari seting terkini (A and B). Ketika pasar kayu dikurangi hingga 75%-100%, masyarakat mulai mengadopsi sistem pertanian dan sistem agroforestri pada skala yang lebih besar sebagai kompensasi kehilangan keuntungan dari aktivitas pembalakan.

Efek gabungan ketika agroforestri diperbaiki, sementara pasar kayu dikurangi



Gambar 5.22. Pada populasi penduduk saat ini (4.046 jiwa), ketika agroforestri diperbaiki dengan meningkatkan hasil dan harga produknya 100% dari seting saat ini, cadangan karbon dapat dipertahankan saat pasar kayu dikurangi paling tidak sebanyak 75% (A), dengan resiko pengurangan pendapatan yang sama dengan seting saat ini (B).

dari beberapa skenario penyebab alih guna lahan terhadap pendapatan dan cadangan karbon di Nunukan.

Bagaimana "Kemiripan" Hasil Simulasi Model Bisa Diukur Lebih Baik?

Dalam konteks pemantauan karbon, model dinamika lanskap seperti FALLOW bisa dijadikan sebagai alat pendugaan dengan biaya transaksi yang relatif rendah. Jika kemiripannya telah diuji dengan baik, model juga bisa digunakan sebagai alat untuk membantu melakukan perencanaan berbasis skenario (analisis *ex ante*). Studi ini menunjukkan bahwa pada validasi tingkat rinci dengan menggunakan nilai nominal, FALLOW hanya memberikan tingkat kemiripan sebesar 37%, namun kemiripan tersebut meningkat ketika validasi dikaburkan pada tingkat agregat yang lebih kasar atau menggunakan nilai kuantitatif (dengan memberikan nilai kemiripan sebesar 70% dan 80% berturut-turut).

Jika data simulasi dibandingkan dengan data aktual dalam hal kedekatan luasan (bukan kemiripan pola keruangan) pada tingkat agregat (perbandingan penggunaan lahan), akan diperoleh perbedaan luasan relatif dari data hasil simulasi terhadap data aktual, dengan rata-rata 11,15%, berkisar dari +2,45% pada hutan hingga +28,6% pada plot-plot agroforestri (Tabel 5.10). Sehingga, model tersebut menghasilkan nilai dugaan yang "bisa diterima" dalam hal kedekatan nilai luasannya.

Untuk kasus pada studi ini, kedekatan nilai luasan lahan dapat dianggap lebih penting daripada kemiripan keruangan, ketika kita membicarakan konsekuensi pada cadangan karbon yang bersifat aditif.

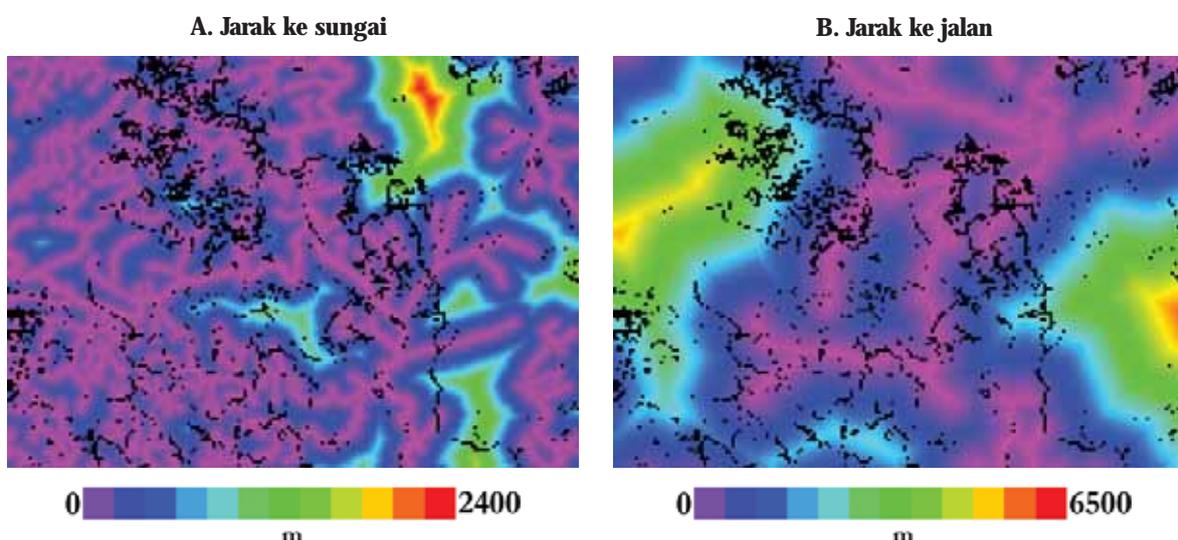
Pada proses validasi model (untuk mendapatkan kemiripan pola keruangan dari data hasil simulasinya), peta tutupan lahan yang diperoleh dengan menjalankan hasil interpretasi dari citra Landsat TM digunakan sebagai rujukan untuk mewakili hasil observasi langsung. Namun kenyataannya, dengan menggunakan Landsat TM stratifikasi umur tutupan lahan secara rinci (misalnya hutan sekunder dipilah menjadi hutan sekunder muda dan hutan sekunder tua) tidak bisa dilakukan pada tingkat resolusi 30-m. Sehingga, asumsi yang salah mengenai umur tutupan lahan akan menghasilkan kemiripan yang rendah. Meskipun "jarak ekologis" antara dua nilai nominal (antara hutan sekunder tua dan hutan primer) sebenarnya sangat berdekatan, tetapi keduanya tidak akan dipertimbangkan sebagai dua nilai yang "mirip" dalam prosedur validasi. Ketika kesalahan dalam pendugaan umur dikurangi melalui reklasifikasi peta tutupan lahan pada tingkat yang lebih agregat (peta penggunaan lahan), kemiripan yang lebih baik bisa dicapai. Nilai kemiripan yang relatif tinggi yang dicapai oleh proses validasi menggunakan nilai kuantitatif ($\text{Karbon}/\text{Karbon}_{\text{Rujukan}}$) menyarankan bahwa nilai kuantitatif bisa menjelaskan "jarak ekologis" dengan lebih baik daripada nilai nominal.

Tabel 5.10. Kedekatan nilai luasan lahan pada tingkat nominal agregat (perbandingan penggunaan lahan).

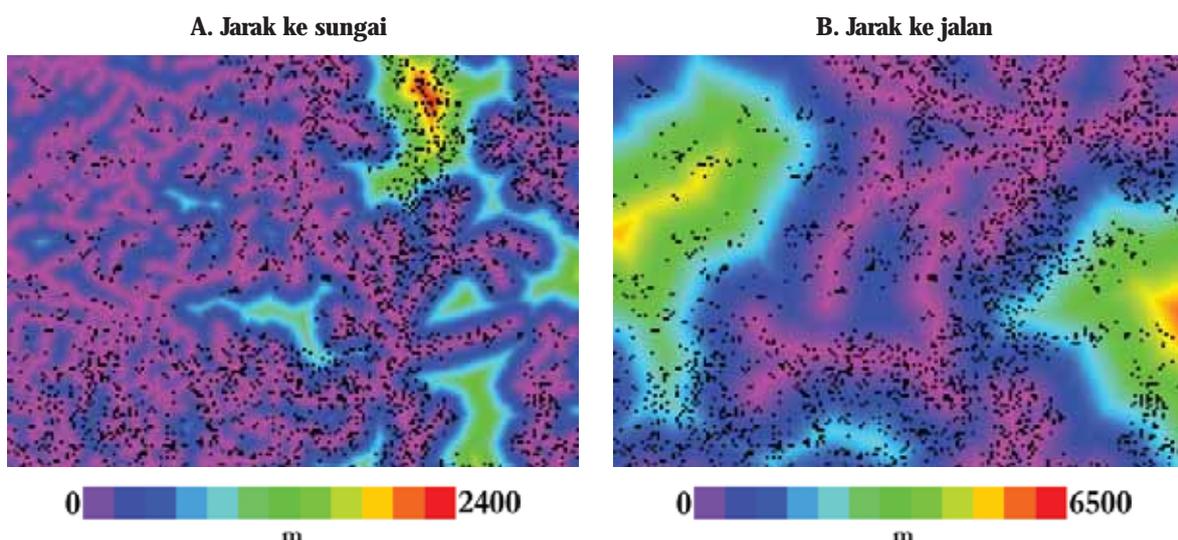
Tipe penggunaan lahan	Luas aktual pada tahun 2003 (ha)	Luas simulasi pada tahun 2003 (ha)	Perbedaan luas data simulasi relatif terhadap data aktual (%)
Pertanian	2269	2397	5,64
Bera	211	217	2,84
Hutan	19481	19959	2,45
Bekas terbangun	1297	1507	16,19
Kebun agroforestri	430	553	28,60

Kemiripan pola keruangan yang rendah dari peta tutupan lahan hasil simulasi bisa disebabkan juga karena belum terwakilinya penentu keruangan yang "tepat" pada studi ini. Gambar 5.23 dengan jelas menunjukkan bahwa pola keruangan aktual dari lahan pertanian pada tahun 2003 nampaknya tidak mengikuti pola keruangan jalan maupun sungai. Namun, karena peta-peta jalan dan sungai pada resolusi yang relatif kasar merupakan satu-satunya informasi keruangan yang tersedia untuk memparametrisasi model,

tentu saja pola keruangan lahan pertanian sebagaimana disimulasikan oleh model memiliki ketergantungan keruangan yang cukup tinggi terhadap jalan dan sungai (Gambar 5.24). Barangkali, penentu keruangan "sejati" yang mempengaruhi ekspansi lahan muncul pada resolusi yang sangat tinggi, misalnya berupa peta jalan setapak. Oleh karena itu, untuk validasi selanjutnya, disarankan untuk melakukan inialisasi dan validasi model menggunakan peta tutupan lahan hasil survei lapangan atau



Gambar 5.23. Lahan pertanian di Sebuku sebagaimana diamati melalui Landsat TM pada tahun 2003 (piksel warna hitam), ditumpangtindihkan dengan peta jarak ke sungai (A) dan peta jarak ke jalan (B). Pola keruangan dari lahan pertanian tersebut ternyata tidak mengikuti pola sungai maupun pola jalan.



Gambar 5.24. Lahan pertanian di Sebuku sebagaimana disimulasikan oleh model pada tahun 2003 (piksel warna hitam), ditumpangtindihkan dengan peta jarak ke sungai (A) dan peta jarak ke jalan (B). Pola keruangan dari lahan pertanian hasil simulasi tersebut berkumpul di sekitar sungai atau jalan.

peta turunan dari citra satelit resolusi tinggi (misalnya QuickBird), daripada menggunakan produk model lain dengan resolusi rendah sebagai rujukan (termasuk dalam hal ini peta tutupan lahan yang diturunkan dari citra Landsat TM).

Imbal-balik Karbon-Pendapatan pada Lanskap Berhutan

Ketika lanskap masih didominasi oleh hutan seperti di wilayah validasi (Sebuku), sumber penghidupan masyarakat lokal sangat tergantung pada sumberdaya hutan. Dari semua skenario tunggal (skenario 1-skenario 3), pengurangan cadangan karbon tidak bisa dihindarkan. Ketika pasar kayu dikurangi, masyarakat akan berpindah ke sistem pertanian dan sistem agroforestri pada skala besar, yang berarti merupakan betuk lain dari deforestasi dengan konsekuensi yang lebih buruk terhadap cadangan karbon. Ketika pasar kayu dikurangi dan pada saat bersamaan juga dilakukan perbaikan sistem agroforestri, cadangan karbon bisa dipertahankan tanpa memperburuk resiko penurunan pendapatan dari kondisi saat ini. Dengan demikian, mengurangi emisi karbon akibat perubahan lahan sekaligus meningkatkan keuntungan lokal di wilayah seperti ini harus didekati dengan mempromosikan CBNRM (misalnya melalui pembalakan berdampak rendah) secara bersamaan dengan upaya perbaikan sistem agroforestri.

Kesimpulan

Tingkat kesesuaian model adalah sebesar 37% pada tingkat nominal (perbandingan peta tutupan lahan), 70% pada tingkat nominal yang lebih kasar (perbandingan peta

penggunaan lahan), dan 80% pada tingkat kuantitatif perbandingan peta Karbon/Karbon_{Rujukan}).

Model memberikan nilai dugaan yang "bisa diterima" dalam hal kedekatan luasan pada tingkat nominal agregat.

Model dinamika lanskap yang mempertimbangkan aspek keruangan secara eksplisit seperti FALLOW seharusnya diinisialisasi dan divalidasi menggunakan peta-peta hasil survei lapangan atau peta-peta turunan beresolusi tinggi, daripada membandingkannya dengan produk model lainnya pada resolusi rendah.

Dari hasil simulasi acuan dinamis di Nunukan, menunjukkan bahwa baik pendapatan maupun cadangan karbon pada tingkat lanskap terus menurun, karena pembalakan yang tanpa memperhitungkan kelestarian masih merupakan pilihan penggunaan lahan yang dianggap paling menguntungkan.

Untuk mencapai manfaat global maupun lokal secara bersamaan, CBNRM dan LEISA harus diterapkan secara simultan: peningkatan profitabilitas agroforestri secara substansial diperlukan sebelum jenis praktek ini bisa berkompetisi dengan daya tarik praktek pembalakan, bergandengan dengan upaya efektif dalam mengurangi penjualan papan kayu; faktor waktu penantian yang mempengaruhi profitabilitas agroforestri menunjukkan sangat pentingnya upaya promosi serta pendampingan secara aktif untuk berpacu dengan waktu, namun hanya dalam kondisi jika pilihan penggunaan lahan yang dipromosikan benar-benar bermanfaat bagi petani.

DAFTAR ISI

- Anonim. 2001. Kabupaten Nunukan dalam Angka (Nunukan in Numbers). Badan Perencanaan, Pembangunan Daerah Kabupaten Nunukan dan Badan Pusat Statistik Kabupaten Nunukan, Nunukan.
- Arifin J 2001. Estimasi cadangan karbon pada berbagai sistem penggunaan lahan di Kecamatan Ngantang, Malang, Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang, 61pp.
- Australian Greenhouse Office. 2002. Field Measurement Procedures for Carbon Accountin. Bush for Greenhouse Report No.2 Version 1.
http://www.greenhouse.gov.au/land/bush_workbook_a3/index.html
Accessed: 24 February 2005
- Barr C. 2002. Timber concession reform : questioning the "sustainable logging" paradigm: *dalam* Pierce, CJ. and Resosudarmo, IAP. (eds). Which Way Forward? People, Forest and Policymaking in Indonesia. Resources for the Future, Washington DC. Pp. 191:220.
- Biro Pusat Statistik. 2003. Statistik Indonesia (Statistical Yearbook of Indonesia). Central Bureau of Statistics. Jakarta, Indonesia.
- Billsborrow RE and Okoth-Ogendo HWO. 1992. Population-driven changes in land use in developing countries. *AMBIO* 21(1): 37-45.
- Brookfield H, Potter L and Byron L. 1995. In Place of the Forest: Environmental and Socio-Economic Transformation in Borneo and the Eastern Malay Peninsula. United Nations University Press, Tokyo. 310 pp.
- Brown K. 1996. The Utility of Remote Sensing Technology in Monitoring Carbon Sequestration Agroforestry Projects, College of Forest Resources, University of Washington.
http://www.ghgprotocol.org/docs/winrock_remote_sensing.pdf (viewed, 21 March 2005)
- Canadell JG. 2002. Land use effects on terrestrial carbon sources and sinks. *Science in China* Vol. 45: 1-9.
- Casson A and Obidzinski K. 2002. From new order to regional autonomy: shifting dynamics of "illegal" logging in Kalimantan, Indonesia. *World Development* 30 (12): 2133-2151.
- Chavez PS. 1996. Image based atmospheric corrections revisited and improved. *Photogrametric Engineering and Remote Sensing* 62:9, 1025-1036.
- Coops N. 1996. Estimating eucalypt forest volume and density using textural, spectral and environmental variables. Proceedings 8th Australasian Remote Srsning Conference. Canberra, Australia.
- Costanza R. 1989. Model goodness of fit: a multiple resolution procedure. *Ecological Modelling* 47:199-215.
- Diamond J. 2005. Collapse: How Societies Choose to Fail or Survive. Penguin Books. 592 pp.
- EIA and Telapak Indonesia. 2001. Timber Trafficking: Illegal Logging in Indonesia, South East Asia and International Consumption of Illegally Sourced Timber <http://www.eia-international.org/> accessed: 21 March 2005
- Gladwell M. 2000. The Tipping Point: How Little Things Can Make a Big Difference.

- Little, Brown and Company. 285 pp. January 2005
- Hairiah K and Murdiyarso D. 2005. Alih guna lahan dan neraca karbon terestrial. Bahan Ajaran ASB 3, World Agroforestry Centre (ICRAF SEA) (*in press*)
- Hairiah K, Sitompul SM, van Noordwijk M and Palm C. 2001a. Carbon stocks of tropical landuse systems as part of the global C balance: effects of forest conversion and option for clean development activities. ASB Lecture Note 4A. ICRAF, Bogor, 49pp. <http://www.worldagroforestry.org/sea/Products/Training/Materials/lecture%20notes/ASB-LecNotes/ASBLecNote%204A.pdf> Accessed 18 February 2005.
- Hairiah K, Sitompul SM, van Noordwijk M and Palm C. 2001b. Methods for sampling carbon stocks above and below ground. ASB Lecture Note 4B. ICRAF, Bogor, 23pp. <http://www.worldagroforestry.org/sea/Products/Training/Materials/lecture%20notes/ASB-LecNotes/ASBLecNote%204B.pdf> Accessed 18 February 2005.
- Hairiah K, Suprayogo D, Widiyanto, Berlian, Suhara E, Mardiasuning A, Widodo RH, Prayogo C dan Rahayu S. 2004. Alih guna lahan hutan menjadi lahan agroforestri berbasis kopi: ketebalan seresah, populasi cacing tanah dan makroporositas tanah. *AgriVita* 26(1): 68-80
- Hatfindo Prima. 2004. Laporan Proyek Analisis Perubahan Tutupan Hutan, Kabupaten Nunukan Propinsi Kalimantan Timur, Indonesia (Project Report: Forest Cover Changes in Nunukan, east Kalimantan).
- Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Nougier M, *et al.* Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge University Press. 83 pp. <http://www.ipcc.ch/> Accessed: 28
- Huete AR. 1998. Introduction to Vegetation Indices. Department of Soil Water and Environmental Science. University of Arizona. www.start.or.th/lucdis_98/huete1.htm Accessed: 23 March 2005
- Kamelarczyk BBK. 2004. Implications of Small-scale Timber Concessions on Rural Livelihood - A Case Study from Malinau District, Indonesia. MSc Thesis. Faculty of Forestry, The Royal Veterinary and Agrocultrual University, Denmark.
- Ketterings QM, Coe R, van Noordwijk M, Ambagau Y and Palm C. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management* 146: 199-209.
- Lasco RD, Pulhin FB, Visco RG, Racelis DA, Guillermo IN and Sales RF. 2000. Carbon stocks assessment of Philippine forest ecosystems. Paper presented at the Science-Policy Workshop on Terrestrial Carbon Assessment for Possible Carbon Trading, Bogor, Indonesia.
- Lasco RD, Lales JS, Guillermo IQ and Arnuevo T. 1999. CO₂ Absorption Study of the Leyte Geothermal Forest Reserve. Final report of a study conducted for the Philippine National Oil Company (PNOC). UPLB Foundation, Inc. Los Banos, Laguna
- Lasco RD. 2002. Forest carbon budgets in Southeast Asia following harvesting and land cover change. In: Impacts of land use Change on the Terrestrial Carbon Cycle in the Asian Pacific Region'. *Science in China* Vol. 45, 76-86.
- Levang P. 2002. Peoples Dependencies on Forests. Pp 109-130 in Forest, Science and Sustainability: The Bulungan Model Forest. Technical Report Phase I 1997-

- 2001, ITTO Projects PD 12/1997 Rev.1 (F), CIFOR, Indonesia.
- Levang P, Dounias E and Sitorus S. 2005. Out of forest, out of poverty? *Forest, Trees and Livelihoods* 15(2): 221- 235
- Lillesand TM and Kiefer RW. 1994. Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley and Sons.Inc, New York. 750pp.
- Mackinnon K, Hatta G, Halim H and Mangalik A. 2000. Seri Ekologi Indonesia, Buku III: Ekologi Kalimantan. Prenhallindo, Jakarta. pp: 189 (Kotak 4.1).
- Page SE, Siegert F, Rieley JO, Boehm HD *et al.* 2002. The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. *Nature* 420(6911):61-5.
- Palm CA, Woomer PL, Allegre J *et al.* 1999. Carbon sequestration and trace gas emissions in slash and burn and alternative land uses in the humid tropics. ASB Climate Change Working Group Final Report, Phase II, ICRAF, Nairobi. 36 pp
- Paustian K, Andr n O, Janzen HH, Lal R, *et al.* 1997. Agricultural soils as a sink to mitigate CO2 emissions. *Soil Use and Management* 13: 230-244
- Pendidikan Ilmu Kayu Atas. 1979. Mengenal Sifat-Sifat Kayu Indonesia dan Penggunaannya. Penerbit Kanisius. 36 pp
- Peterson GD, Cumming GS and Carpenter SR. 2003. Scenario planning: a tool for conservation in an uncertain world. *Conservation Biology* 17(2): pp. 358-366.
- Priyadarsini R. 1999. Estimasi Modal C (Karbon-stock), Masukan Bahan Organik, dan Hubungannya dengan Populasi Cacing Tanah pada Sistem Wanatani. Program Pascasarjana, Universitas Brawijaya, Malang. 76pp.
- Ray TW. 1994. A FAQ on Vegetation in Remote Sensing. Division of Geological and Planetary Sciences, California Institute of Technology. www.yale.edu/ceo/Documentation/rsvegfaq.html Accessed: 18 March 2005
- Ray TW. 1994. A FAQ on Vegetation in Remote Sensing. Division of Geological and Planetary Sciences, California Institute of Technology. www.yale.edu/ceo/Documentation/rsvegfaq.html
- Resosudarmo IAP and Dermawan A. 2002. Forests and regional autonomy: the challenge of sharing the profits and pains: *dalam* Pierce, CJ. and Resosudarmo, IAP. (eds). Which Way Forward? People, Forest and Policymaking in Indonesia. Resources for the Future, Washington DC. Pp 325-357.
- Sist P, Sheil D, Kartawinata K, Priyadi H. 2003. Reduced-impact logging in Indonesian Borneo: some results confirming the need for new silvicultural prescriptions. *Forest Ecology and Management* 179: 415-427.
- Smith J, Obidzinski K, Subarudi, Suramenggala I. 2003. Illegal logging, collusive corruption and fragmented governments in Kalimantan, Indonesia. *International Forestry Review* 5 (3) :293-302.
- Smith J and Scherr SJ. 2003. Capturing the value of Forest Carbon for Local Livelihoods. *World Development* 31(12): 2143-2160.
- Sugiarto C. 2002. Kajian Aluminium sebagai Faktor Pembatas Pertumbuhan Akar Sengon (*Paraserianthes falcataria* L. Nielsen), Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang, 64pp.
- Sunar F. 1998. An analysis of changes in a multi date dataset: a case study in Ikitelli area, Istanbul Turkey. *International Journal of Remote Sensing* 19:2, 225-235.

- Susilo FX, Neutel AM, van Noordwijk M, Hairiah K, Brown G and Swift MJ. 2004. Soil biodiversity and food webs. In: van Noordwijk, M, Cadisch, G and Ong, CK (Eds): *Below-ground Interactions in Tropical Agroecosystems: Concepts and Models with Multiple Plant Components*. CABI Publishing. pp: 300
- Tacconi L. 2003, *Fires in Indonesia: Causes, Costs and Policy Implications*. Occasional Paper No. 38. Bogor, Center for International Forestry Research.
- Ponce-Hernandez R with contributions from Koothafkan P and Antoine J. 2004. *Assessing Carbon Stocks and Modelling Win-Win Scenarios of Carbon Sequestration through Land-Use Changes*. Food and Agriculture Organizations of the United Nations. 156 pp.
- Tacconi L, Obidzinski K, Smith J, Subarudi, Suramenggala I. 2004. Can 'legalization' of illegal forest activities reduce illegal logging?: lessons from East Kalimantan. *Jurnal of Sustainable Forestry* 19:137-151.
- Tomich TP, Fagi AM, de Foresta H, *et al*. 1998. Indonesia's fire : smoke as a problem, smoke as a symptom. *Agroforestry Today* January - March: 4 - 7.
- Tomich TP, van Noordwijk M, Budidarsono S, Gillison A, Kusumanto T, Murdiyarso D, Stolle F and Fagi AM. 1998. Alternatives to Slash-and-Burn in Indonesia: Summary Report and Synthesis of Phase II. ASB-Indonesia Report No. 8. ICRAF S.E. Asia. Bogor. Indonesia.
- Tomich TP, van Noordwijk M, Budidarsono S, Gillison A, Kusumato T, Murdiyarso D, Stolle F and Fagi AM. 2001. Agricultural intensification, deforestation and the environment: assessing tradeoffs in Sumatra, Indonesia. In: Lee DR and Barrett CB (Eds): *Tradeoffs Or Synergies? Agricultural Intensification, Economic Development and the Environment*. CABI Publishing.
- Vanclay JK. 1994. *Modelling Forest Growth and Yield: Applications to Mixed Tropical Forests*. CAB International.
- van Noordwijk M, Subekti R, Kurniatun H, Wulan YC, *et al*. Carbon stock assessment for a forest-to-coffee conversion landscape in Sumber-Jaya (Lampung, Indonesia): from allometric equations to land use change analysis. In: *Impacts of land use Change on the Terrestrial Carbon Cycle in the Asian Pacific Region'*. *Science in China* Vol. 45, 76-86.
- van Noordwijk M., Woomer P, Cerri C, Bernoux M and Nugroho K. 1997. Soil carbon in the humid tropical forest zone. *Geoderma* 79: 187-225
- van Noordwijk M. 2002. Scaling trade-offs between crop productivity, carbon stocks and biodiversity in shifting cultivation landscape mosaics: the FALLOW model. *Ecological Modelling* 149: 113-126.
- Watson RT, Noble IR, Bolin B, Ravindranath NH, Verardo DJ and Dokken DJ (eds.). 2000. *Land Use and Land-Use Change and Forestry: A special report of the IPCC*. Cambridge, UK. Cambridge University Press. 377 pp.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Cadangan karbon terukur dan perkiraan cadangan kayu pada plot contoh di Kecamatan Sebuku dan Sembakung, Nunukan, Kalimantan Timur.

Waktu pengambilan contoh	Desa	Posisi		Tipe penggunaan lahan	Umur (tahun)	Biomasa pohon (Mg ha ⁻¹)	Nekromasa (Mg ha ⁻¹)	Tumbuhan bawah (Mg ha ⁻¹)	Seresah (Mg ha ⁻¹)	Cadangan kayu ¹ (m ³ /ha)
		50 N	UTM							
20-Jan-04	Sujau	479475	436480	Logged-over forest	0-3	515.4	1.3	1.3	17.1	720.23
20-Jan-04	Sujau	479509	436626	Logged-over forest	0-3	484.5	1.4	9.4	149.5	793.17
20-Jan-04	Sujau	479820	436793	Logged-over forest	0-3	390.7	1.7	2.0	11.7	489.05
12-Dec-03	Sekikilan	498603	451246	Logged-over forest	4-10	229.8	3.0	3.0	13.0	379.82
12-Dec-03	Sekikilan	unrecorded	unrecorded	Logged-over forest	4-10	245.5	2.2	4.7	15.5	284.90
12-Dec-03	Sekikilan	498668	451221	Logged-over forest	4-10	640.6	1.1	1.6	11.2	703.01
19-Dec-03	Atap	503632	427741	Logged-over forest	11-30	453.5	10.8	2.3	18.2	na
12-Dec-03	Atap	503594	427669	Logged-over forest	11-30	505.3	9.0	1.1	8.0	777.94
19-Dec-03	Atap	503625	427654	Logged-over forest	11-30	391.6	3.0	1.2	15.6	608.56
25-Jan-04	Lubok	483286	419551	Logged-over forest	31-50	378.3	5.1	2.1	11.0	826.80
25-Jan-04	Lubok	unrecorded	unrecorded	Logged-over forest	31-50	235.0	8.5	1.1	12.1	584.08
25-Jan-04	Lubok	unrecorded	unrecorded	Logged-over forest	31-50	558.1	2.5	0.7	13.6	910.82
Feb-04	Tau Baru	484843	457500	Primary Forest	-	723.3	0.9	0.2	10.7	1009.54
Feb-04	Tau Baru	484793	457809	Primary Forest	-	417.9	0.5	0.0	9.2	682.60
Feb-04	Tau Baru	484817	457684	Primary Forest	-	363.1	0.4	0.2	7.9	524.47
Feb-04	Sekikilan	498670	457071	Imperata	-	0.0	0.0	4.6	5.6	na
Feb-04	Sekikilan	498617	457120	Imperata	-	0.0	0.0	4.2	4.4	na
Feb-04	Sekikilan	498472	451989	Imperata	-	0.0	0.0	4.6	4.5	na
Feb-04	Sekikilan	498503	451968	Jakaw	1	0.2	1.5	5.8	11.4	na
Feb-04	Sekikilan	498527	451997	Jakaw	1	7.7	1.9	1.6	5.5	5.15
Feb-04	Sekikilan	498472	451989	Jakaw	1	16.0	0.3	2.6	9.1	27.20
25-Dec-03	Manuk Bungkul	497447	422652	Jakaw	2	3.7	0.8	1.5	5.0	6.10
25-Dec-03	Manuk Bungkul	497436	422662	Jakaw	2	3.2	0.6	2.0	1.8	3.45
25-Dec-03	Manuk Bungkul	497419	422649	Jakaw	2	18.1	0.9	1.5	3.2	23.70
07-Mar-04	Manuk Bungkul	497235	422041	Jakaw	3	26.0	0.2	0.8	7.5	49.98
07-Mar-04	Manuk Bungkul	496957	421936	Jakaw	3	16.9	0.0	1.0	6.0	27.67
07-Mar-04	Manuk Bungkul	496957	421854	Jakaw	3	21.6	0.1	1.0	7.8	38.81
14-Dec-03	Tanjung Harapan	479474	417051	Jakaw	4	31.9	1.1	1.9	7.4	110.03
14-Dec-03	Tanjung Harapan	479522	416983	Jakaw	4	43.7	0.7	1.0	9.8	na
14-Dec-03	Tanjung Harapan	479365	416983	Jakaw	4	33.5	1.2	0.8	6.4	78.78

¹ Cadangan kayu diperkirakan dari jumlah pohon yang ditemukan pada masing-masing plot. na: tidak ditemukan kayu di dalam plot contoh

Lampiran 1. (Lanjutan)

Waktu pengambilan contoh	Desa	Posisi		Tipe penggunaan lahan	Umur (tahun)	Biomasa pohon (Mg ha ⁻¹)	Nekromasa (Mg ha ⁻¹)	Tumbuhan bawah (Mg ha ⁻¹)	Seresah (Mg ha ⁻¹)	Cadangan kayu ¹ (m ³ /ha)
		50 N	UTM							
	Tanjung Harapan	480505	417490	Jakaw	5	34.7	0.2	1.4	5.0	82.73
	Tanjung Harapan	480414	417590	Jakaw	5	35.8	0.0	1.4	4.9	82.10
	Tanjung Harapan	480295	417693	Jakaw	5	40.1	0.2	1.1	6.5	91.58
26-Feb-04	Lubok	486091	419350	Jakaw	7	67.6	0.0	0.9	6.2	101.91
26-Feb-04	Lubok	485993	419545	Jakaw	7	93.2	0.0	0.2	6.2	142.49
26-Feb-04	Lubok	485760	419370	Jakaw	7	129.7	0.6	0.9	5.6	259.08
Feb-04	Sekikilan	499390	451863	Jakaw	15	168.7	0.0	3.2	11.4	231.55
Feb-04	Sekikilan	499463	451897	Jakaw	15	101.3	1.1	5.4	8.7	230.05
Feb-04	Sekikilan	499390	451863	Jakaw	15	69.2	1.7	8.4	7.5	114.53
04-Mar-04	Pagaluyon	480921	418031	Agroforest	9	3.7	0.0	1.6	6.9	na
04-Mar-04	Pagaluyon	480897	418102	Agroforest	9	192.4	2.9	1.4	4.7	na
04-Mar-04	Pagaluyon	480754	418099	Agroforest	9	28.3	0.0	2.9	6.8	na
08-Mar-04	Manuk Bungkul	497694	423055	Agroforest	10-20	192.7	0.0	1.1	10.1	na
08-Mar-04	Manuk Bungkul	497686	423021	Agroforest	10-20	75.0	0.6	1.5	11.5	na
08-Mar-04	Manuk Bungkul	497725	422993	Agroforest	10-20	138.5	0.0	1.1	16.8	na
28-Feb-04	Sujau Lama	479978	439228	Agroforest	21-30	351.4	0.0	1.1	5.2	na
28-Feb-04	Sujau Lama	479984	439236	Agroforest	21-30	48.5	0.0	1.1	4.8	na
28-Feb-04	Sujau Lama	480025	439257	Agroforest	21-30	100.0	0.0	1.3	5.3	na
25-Feb-04	Apas	499884	440098	Padi - Jakaw	1	0.0	0.0	2.4	0.0	na
02-Mar-04	Kunyit	496304	436179	Padi - Jakaw	2	0.0	0.0	5.1	0.0	na
06-Mar-04	Manuk Bungkul	498191	422694	Padi - Jakaw	3	0.0	0.0	5.3	0.0	na
02-Mar-04	Lubok Buat	483997	418862	Padi - Jakaw	4	0.0	0.0	5.5	0.0	na
01-Mar-04	Lubok Buat	485469	418436	Padi - Jakaw	5	0.0	0.0	5.8	0.0	na
09-Feb-04	Pagaluyon	480985	418710	Padi - Jakaw	6	0.0	0.0	12.0	0.0	na

Lampiran 2. Spesies pohon yang ditemukan pada plot-plot contoh

A. Hutan primer

No	Nama Lokal	Nama Latin	Famili
1	Adau (medang perupuk)	<i>Lophopetalum</i> sp.	Celastraceae
2	Balingkudung (Salingkawang)	<i>Buchanania</i> sp.	Anacardiaceae
3	Banggeris	<i>Koompassia</i> sp.	Leguminosae
4	Bayur	<i>Pterospermum</i> sp.	Sterculiaceae
5	Bengkirai	<i>Shorea laevis</i>	Dipterocarpaceae
6	Bintangal (bintangur)	<i>Calophyllum</i> sp.	Guttiferae
7	Dara-dara (mendarahan)	<i>Knema</i> sp.	Myristicaceae
8	Gading-gading (kayu gading)	<i>Muraya paniculata</i>	Rutaceae
9	Gimpango (limpato)	<i>Prainea limpato</i>	Moraceae
10	Ipil	<i>Intsia</i> sp.	Leguminosae
11	Jambu-jambu	<i>Syzigium</i> sp.	Myrtaceae
12	Kapur	<i>Dryobalanops sumatrensis</i>	Dipterocarpaceae
13	Kayu hitam	<i>Diospyros transitoria</i>	Ebenaceae
14	Keruing	<i>Dipterocarpus alatus</i>	Dipterocarpaceae
15	Kulit (medang wangi)	<i>Beilschmiedia micrantha</i>	Lauraceae
16	Lapak (kayu lilin)	<i>Aglaiia leptantha</i>	Meliaceae
17	Meranti kuning	<i>Shorea</i> sp.	Dipterocarpaceae
18	Meranti merah (Adat)	<i>Shorea</i> sp.	Dipterocarpaceae
19	Meranti merah (tua)	<i>Shorea</i> sp.	Dipterocarpaceae
20	Meranti Putih	<i>Shorea</i> sp.	Dipterocarpaceae
21	Nyantuh (nyatoh)	<i>Chrysophyllum</i> spp.	Sapotaceae
22	Pala bukit	<i>Myristica crassa</i>	Myristicaceae
23	Pampalang (empilung)	unknown	unknown
24	Rengas	<i>Gluta curtisii</i>	Anacardiaceae
25	Serangan batu (seranggap)	<i>Hopea</i> sp.	Dipterocarpaceae
26	Talisoy (talisei)	<i>Terminalia subspathulata</i>	Combretaceae
27	Talutu (taluto)	unknown	unknown
28	Tengkawang (biasa)	<i>Shorea pinanga</i>	Dipterocarpaceae
29	Ulin	<i>Eusideroxylon zwageri</i>	Lauraceae

B1. Hutan bekas tebangan 0-10 tahun

No	Nama Lokal	Nama Latin	Famili
1	Adau (medang perupuk)	<i>Lophopetalum</i> sp.	Celastraceae
2	Alag-alag (alanagni)	<i>Myristica guatteriifolia</i>	Myristicaceae
3	Bab	unknown	unknown
4	Bak (mersawa terbak)	<i>Anisoptera costata</i>	Dipterocarpaceae
5	Balingkudung (Salingkawang)	<i>Buchanania</i> sp.	Anacardiaceae
6	Balinsakat (balindakat)	<i>Artocarpus atilis</i>	Moraceae
7	Banggeris	<i>Koompassia</i> sp.	Leguminosae
8	Bangunyung (kayu melati)	<i>Teijsmanniodendron ahernianum</i>	Verbenaceae
9	Bengkirai	<i>Shorea laevis</i>	Dipterocarpaceae
10	Bidang (medang mata buaya)	<i>Cryptocarya griffithiana</i>	Lauraceae
11	Binatol (Binatoh)	<i>Shorea argentifolia</i>	Dipterocarpaceae
12	Bintangal (bintangur)	<i>Calophyllum</i> sp.	Guttiferae
13	Dara-dara (mendarahan)	<i>Knema</i> sp.	Myristicaceae
14	Durian	<i>Durio zibethinus</i>	Bombacaceae
15	Gading-gading (ky. Gading)	<i>Muraya paniculata</i>	Rutaceae
16	Gimpango (limpatu)	<i>Prainea limpatu</i>	Moraceae
17	Intut	<i>Palaquium quercifolium</i>	Sapotaceae
18	Jambu-jambu (jambu hutan)	<i>Syzygium</i> sp.	Myrtaceae
19	Jarum	<i>Dysoxylum</i> sp.	Rubiaceae
20	Jelutung	<i>Dyera costulata</i>	Apocynaceae
21	Juangi (juani)	unknown	unknown
22	Kabuton	unknown	unknown
23	Kapur	<i>Dryobalanops sumatrensis</i>	Dipterocarpaceae
24	Kayu hitam	<i>Diospyros transitoria</i>	Ebenaceae
25	Keruing	<i>Dipterocarpus alatus</i>	Dipterocarpaceae
26	Kulit (medang wangi)	<i>Bellischmiedia micrantha</i>	Lauraceae
27	Lapak (kayu lapan)	<i>Astronia macrophylla</i>	Melastomataceae
28	Lapak (kayu lilin)	<i>Aglaia leptantha</i>	Meliaceae
29	Lobo (lomo)	<i>Atuna racemosa</i>	Chrysobalanaceae
30	Majau (meranti majau)	<i>Shorea johorensis</i>	Dipterocarpaceae
31	Mengkuom (mengkuang)	<i>Dysoxylum densiflorum</i>	Meliaceae
32	Meranti merah (tua)	<i>Shorea</i> sp.	Dipterocarpaceae
33	Meranti Putih	<i>Shorea</i> sp.	Dipterocarpaceae
34	Nyantu (jelutung paya)	<i>Dyera polyphylla</i>	Apocynaceae
35	Pilipikan (lilipga)	<i>Hopea iriana</i>	Dipterocarpaceae
36	Pisang-pisang	<i>Alphonsea</i> sp.	Annonaceae
37	Plaju (Pilajau)	<i>Myristica crassa</i>	Anacardiaceae
38	Rengas	<i>Gluta curtisii</i>	Anacardiaceae
39	Sedaman	<i>Macaranga</i> sp.	Euphorbiaceae
40	Selangan batu (seranggap)	<i>Hopea</i> sp.	Dipterocarpaceae
41	Sepetir	<i>Copaifera palustris</i>	Leguminosae
42	Telantang (terentang)	<i>Camptosperma</i> sp.	Anacardiaceae
43	Tengkawang biasa	<i>Shorea pinanga</i>	Dipterocarpaceae
44	Terap hutan	<i>Artocarpus</i> sp.	Moraceae
45	Tigalangan	unknown	unknown
46	Tipulu	<i>Artocarpus teysmannii</i>	Moraceae
47	Ulin	<i>Eusideroxylon zwageri</i>	Lauraceae

B2. Hutan bekas tebangan 11-30 tahun

No	Nama Lokal	Nama Latin	Famili
1	Bayur	<i>Pterospermum</i> sp.	Sterculiaceae
2	Bengkirai	<i>Shorea laevis</i>	Dipterocarpaceae
3	Dara-dara	<i>Knema</i> sp.	Myristicaceae
4	Ipil	<i>Intsia</i> sp.	Leguminosae
5	Kapur	<i>Dryobalanops sumatrensis</i>	Dipterocarpaceae
6	Keruing	<i>Dipterocarpus alatus</i>	Dipterocarpaceae
7	Meranti merah	<i>Shorea</i> sp.	Dipterocarpaceae
8	Pala-pala	<i>Myristica crassa</i>	Myristicaceae
9	Rambutan	<i>Nephelium lappaceum</i>	Sapindaceae
10	Resak	<i>Shorea maxima</i>	Dipterocarpaceae
11	Resak bukit	<i>Cotylelobium lanceolatum</i>	Dipterocarpaceae
12	Sedaman	<i>Macaranga</i> sp.	Euphorbiaceae
13	Tailan (Jabon)	<i>Anthocephalus chinensis</i>	Rubiaceae
14	Ulin	<i>Eusideroxylon zwageri</i>	Lauraceae

B3. Hutan bekas tebangan 31-50 tahun

No	Nama Lokal	Nama Latin	Famili
1	Dara-dara (mendarahan)	<i>Knema</i> sp.	Myristicaceae
2	Gaharu (gaharu buaya)	<i>Gonystylus bancanus</i>	Thymelaceae
3	Kapur	<i>Dryobalanops sumatrensis</i>	Dipterocarpaceae
4	Meranti Kuning	<i>Shorea</i> sp.	Dipterocarpaceae
5	Meranti Merah	<i>Shorea</i> sp.	Dipterocarpaceae
6	Meranti merah (tua)	<i>Shorea curtisii</i>	Dipterocarpaceae
7	Meranti Putih	<i>Shorea</i> sp.	Dipterocarpaceae
8	Meranti rawa	<i>Shorea hemsleyana</i>	Lauraceae
9	Nyatoh	<i>Chrysophyllum</i> spp.	Sapotaceae
10	Pala	<i>Myristica crassa</i>	Myristicaceae
11	Patag (petai hutan)	<i>Parkia</i> sp.	Fagaceae
12	Sadaman	<i>Macaranga</i> sp.	Dipterocarpaceae
13	Tengkawang biasa	<i>Shorea pinanga</i>	Dipterocarpaceae
14	Ulin	<i>Eusideroxylon zwageri</i>	Lauraceae

C1. Agroforestri 0-10 tahun

No	Nama Lokal	Nama Latin	Famili
1	Durian	<i>Durio zibethinus</i>	Bombacaceae
2	Gmelina	<i>Gmelina arborea</i>	Verbenaceae
3	Kemiri	<i>Aleurites moluccana</i>	Euphorbiaceae
4	Langsat	<i>Lansium domesticum</i>	Meliaceae
5	Mangga	<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae
6	Nangka	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	Moraceae
7	Rambutan	<i>Nephelium lappaceum</i>	Sapindaceae

C2. Agroforestri 11-30 tahun

No	Nama Lokal	Nama Latin	Famili
1	Baling Kudung	<i>Buchanania</i> sp.	Anacardiaceae
2	Bayur	<i>Pterospermum</i> sp.	Sterculiaceae
3	Bunyu	<i>Mangifera</i> sp.	Anacardiaceae
4	Cempedak	<i>Artocarpus integer</i>	Moraceae
5	Kutang	unknown	unknown
6	Durian	<i>Durio zibethinus</i>	Bombacaceae
7	Elai	<i>Durio malacensis</i>	Bombacaceae
8	Gamal	<i>Gliricidia sepium</i>	Leguminosae
9	Gambil (siri-sirian)	<i>Pternandra azurea</i>	Melastomataceae
10	Gambiran	<i>Glochidion rubrum</i>	Euphorbiaceae
11	Jambu-jambuan	<i>Syzygium</i> sp.	Myrtaceae
12	Kelapa	<i>Cocos nucifera</i>	Palmae
13	Klamuku (rambutan hutan)	<i>Nephelium cuspidatum</i>	Sapindaceae
14	Kopi	<i>Coffea</i> sp.	Rubiaceae
15	Langsat	<i>Lansium domesticum</i>	Meliaceae
16	Lindungu	<i>Bruguiera</i> sp.	Rhizophoraceae
17	Lepeu	<i>Bauhinia semibifida</i>	Leguminosae
18	Mangga	<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae
19	Perupuk	<i>Lophopetalum</i> sp.	Celastraceae
20	Pinang	<i>Areca catechu</i>	Palmae
21	Polod (aren)	<i>Arenga pinata</i>	Palmae
22	Rambutan	<i>Nephelium lappaceum</i>	Sapindaceae
23	Sedaman	<i>Macaranga</i> sp.	Euphorbiaceae
24	Talisei	<i>Terminalia subspathulata</i>	Combretaceae
25	Tato	unknown	unknown
26	Terap	<i>Artocarpus</i> sp.	Moraceae
27	Tibangu	unknown	unknown
28	Tinggegayang	unknown	unknown
29	Tolonsob	<i>Pterocymbium tinctorium</i>	Sterculiaceae
30	Tontianak	unknown	unknown

D1. *Jakaw* 0 - 10 tahun.

No	Nama Lokal	Nama Latin	Famili
1	Ambalu logon	<i>Anthocephalus</i> sp.	Rubiaceae
2	Abung	<i>Ficus</i> sp.	Moraceae
3	Apas-apas	unknown	unknown
4	Bayur	<i>Pterospermum</i> sp.	Sterculiaceae
5	Benua	<i>Macaranga triloba</i>	Euphorbiaceae
6	Bintangur	<i>Calophyllum</i> sp.	Guttiferae
7	Bolo	<i>Alphonsea</i> sp.	Annonaceae
8	Bumbungalin	unknown	unknown
9	Dara - dara	<i>Knema</i> sp.	Myristicaceae
10	Emas	unknown	unknown
11	Gita	<i>Ficus glomerata</i>	Moraceae
12	Gadigading	<i>Muraya paniculata</i>	Rutaceae
13	Pulai	<i>Alstonia</i> sp.	Apocynaceae
14	Intut	<i>Palaquium quercifolium</i>	Sapotaceae
15	Ipil	<i>Intsia</i> sp.	Leguminosae

D1. *Jakaw* 0 - 10 tahun. (Lanjutan)

No	Nama Lokal	Nama Latin	Famili
16	Jabon	<i>Anthocephalus chinensis</i>	Rubiaceae
17	Jambu-jambu	<i>Syzigium</i> sp.	Myrtaceae
18	Junod	<i>Aniba</i> sp.	Lauraceae
19	Kapur	<i>Dryobalanops sumatrensis</i>	Dipterocarpaceae
20	Kekatang (MM)	<i>Shorea curtisii</i>	Dipterocarpaceae
21	Keling	<i>Artocarpus ovatus</i>	Moraceae
22	Kibalow	<i>Shorea argentifolia</i>	Dipterocarpaceae
23	Kucing (MM)	<i>Cratoxylum</i> sp.	Guttiferae
24	Kutang	unknown	unknown
25	Kusiak	unknown	unknown
26	Lai	<i>Durio malacensis</i>	Bombacaceae
27	Lindungu	<i>Bruguiera</i> sp.	Rhizophoraceae
28	Manik -Manik	unknown	unknown
29	Ogot	unknown	unknown
30	Sedaman	<i>Macaranga</i> sp.	Euphorbiaceae
31	Susunod	unknown	unknown
32	Tali/Balinsakad	<i>Artocarpus atilis</i>	Moraceae
33	Talisei	<i>Terminalia subspatulata</i>	Combretaceae
34	Talutu	unknown	unknown
35	Tambalogon	<i>Bombax ceiba</i>	Bombacaceae
36	Tanakal	unknown	unknown
37	Tatalad	unknown	unknown
38	Tindaka	unknown	unknown
39	Tinggegayang	unknown	unknown
40	Togop	unknown	unknown
41	Tolonsop	<i>Pterocymbium tinctorium</i>	Sterculiaceae
42	Ulin	<i>Eusideroxylon zwageri</i>	Lauraceae
43	Pisang hutan	<i>Musa</i> sp.	Musaceaea

D2. *Jakaw* lebih dari 10 tahun

No	Nama Lokal	Nama Latin	Famili
1	Abung	<i>Ficus</i> sp.	Moraceae
2	Apulakit	unknown	unknown
3	Bayur	<i>Pterospermum</i> sp.	Sterculiaceae
4	Bintangur	<i>Calophyllum</i> sp.	Guttiferae
5	Bislang	unknown	unknown
6	Bubuanak	unknown	unknown
7	Bulinti	unknown	unknown
8	Kaputan	unknown	unknown
9	Kubi	unknown	unknown
10	Langsat	<i>Lansium domesticum</i>	Meliaceae
11	Lepeu	<i>Bauhinia semibifida</i>	Leguminosae
12	Pisang-pisang	<i>Alphonsea</i> sp.	Annonaceae
13	Rambutan	<i>Nephelium lappaceum</i>	Sapindaceae
14	Sadaman	<i>Macaranga</i> sp.	Euphorbiaceae
15	Tanakal	unknown	unknown
16	Terap	<i>Artocarpus</i> sp.	Moraceae
17	Tibangu	unknown	unknown
18	Tolonsop	<i>Pterocymbium tinctorium</i>	Sterculiaceae
19	Ulin	<i>Eusideroxylon zwageri</i>	Lauraceae

Lampiran 3. Daftar titik-titik contoh yang digunakan dalam regresi cadangan karbon di atas permukaan tanah terhadap NDVI

No.	Easting	Northing	Location	Landcover	Carbon density measured (Mg ha-1)*	NDVI03
1	498670	457071	Kalun Sayan	Imperata	2.06	44
2	497447	422652	Manuk Bungkul	2-yr-old abandoned jakaw	2.32	45
3	497436	422662	Manuk Bungkul	2-yr-old abandoned jakaw	2.32	45
4	496304	436179	Kunyit	2-yr cropped jakaw, rice	2.27	52
5	498191	422694	Manuk Bungkul	3-yr cropped jakaw, rice	2.40	59
6	497419	422649	Manuk Bungkul	2-yr-old abandoned jakaw	8.82	64
7	485760	419370	Tanjung Harapan	6-10-yr old abandoned jakaw	58.75	65
8	496957	421936	Manuk Bungkul	3-yr-old abandoned jakaw	8.02	66
9	496957	421854	Manuk Bungkul	3-yr-old abandoned jakaw	8.02	66
10	480505	417490	Tanjung Harapan	5-yr-old abandoned jakaw	16.28	66
11	480414	417590	Tanjung Harapan	5-yr-old abandoned jakaw	16.78	66
12	498527	451997	Sekikilan	1-yr-old abandoned jakaw	4.18	67
13	480985	418710	Tanjung Harapan	6-10-yr cropped jakaw	5.41	67
14	497235	422041	Manuk Bungkul	3-yr-old abandoned jakaw	12.06	67
15	498603	451246	Sekikilan	4-10-yr logged over area	104.78	67
16	503632	427741	Atap	11-30-yr logged over area	205.12	68
17	499463	451897	Sekikilan	> 10-yr old abandoned jakaw	48.03	69
18	499390	451863	Sekikilan	> 10-yr old abandoned jakaw	77.38	69
19	503625	427654	Atap	11-30-yr logged over area	176.78	69
20	479509	436626	Sujau	0-3-yr logged over area	222.25	69
21	503594	427669	Atap	11-30-yr logged over area	227.89	69
22	479475	436480	Sujau	0-3-yr logged over area	232.49	70
23	497686	423021	Manuk Bungkul	Agroforest 11 - 20 yrs	34.45	71
24	497725	422993	Manuk Bungkul	Agroforest 11 - 20 yrs	62.83	71
25	497694	423055	Manuk Bungkul	Agroforest 11 - 20 yrs	87.21	71
26	485993	419545	Tanjung Harapan	6-10-yr old abandoned jakaw	42.05	72

* c-stock measured from tree biomass and understorey



Laporan ini mendeskripsikan RaCSA (Rapid Carbon Stock Appraisal) yang terbentuk dari 4 unsur: 1. Survei sosial ekonomi pada tingkat rumah tangga yang bertujuan untuk mengetahui pola penggunaan lahan saat ini dan alternatif lain yang memungkinkan. 2. Pengukuran cadangan pada skala plot yang mewakili tiap-tiap kategori penggunaan lahan. 3. Analisis penggunaan lahan dan perubahan penutupan lahan yang terjadi saat ini dengan menggunakan analisa penginderaan jauh. 4. Simulasi model lanskap untuk menggali informasi bagaimana skenario perubahan berpengaruh terhadap penggunaan lahan dan bagaimana perubahan penggunaan lahan berpengaruh terhadap peluang kehidupan dan cadangan karbon pada skala lanskap.

Kesimpulan utama di Kabupaten Nunukan, Kalimantan Timur adalah belum ada alternatif untuk pembalakan ilegal yang dapat menyediakan penghasilan; hanya dengan meningkatkan keuntungan secara substansial maka agroforestri akan menjadi sistem penggunaan lahan yang mampu bersaing. Penghentian penebangan yang merupakan pelestarian cadangan karbon dianggap menurunkan penghasilan untuk jangka pendek oleh karena itu diperlukan pembayaran kompensasi secara nyata.