



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**POTENSI DAN PERUBAHAN STOK KARBON HUTAN DI  
DAERAH ALIRAN SUNGAI BATANG NATAL DAN  
SEKITARNYA, MANDAILING NATAL, SUMATERA UTARA**

**TESIS**

**HENDI SUMANTRI**

**0906576170**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM PASCASARJANA  
PROGRAM STUDI BIOLOGI  
DEPOK  
JULI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**POTENSI DAN PERUBAHAN STOK KARBON HUTAN DI  
DAERAH ALIRAN SUNGAI BATANG NATAL DAN  
SEKITARNYA, MANDAILING NATAL, SUMATERA UTARA**

**TESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Magister Sains**

**HENDI SUMANTRI**

**0906576170**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM PASCASARJANA  
PROGRAM STUDI BIOLOGI  
DEPOK  
JULI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Hendi Sumantri

NPM : 0906576170

Tanda Tangan :



Tanggal : 9 Juli 2012



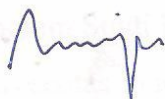
JUDUL : POTENSI DAN PERUBAHAN STOK KARBON HUTAN DI  
DAERAH ALIRAN SUNGAI BATANG NATAL DAN  
SEKITARNYA, MANDAILING NATAL,  
SUMATERA UTARA

Nama : HENDI SUMANTRI

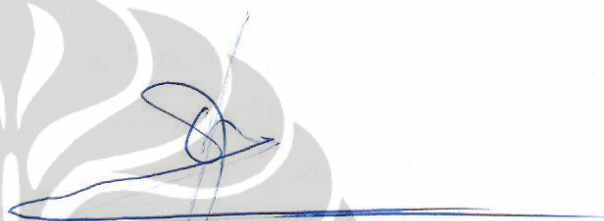
NPM : 0906576170

Menyetujui:

**1. Komisi Pembimbing**

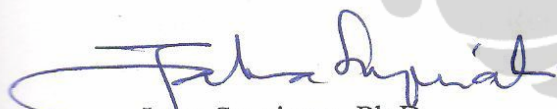


Dr. Nisyawati, MS.  
Pembimbing I

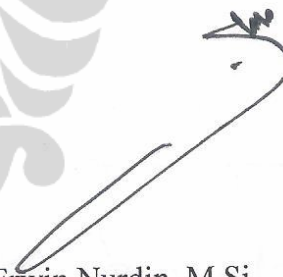


Dr. Rokhmatuloh, S.Si., M.Eng.  
Pembimbing II

**2. Penguji**



Jathna Supriatna, Ph.D.  
Penguji I



Drs. Erwin Nurdin, M.Si.  
Penguji II

**3. Ketua Program Studi Biologi  
Program Pascasarjana FMIPA – UI**



Dr. Luthfiralda Sjahfirdi, M.Biomed.

**4. Ketua Program Pascasarjana  
FMIPA – UI**



Dr. Adi Basukriadi, M.Sc.

Tanggal Lulus: 16 Juli 2012

## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh:

Nama : Hendi Sumantri  
NPM : 0906576170  
Program Studi : Biologi  
Judul Tesis : Potensi dan Perubahan Stok Karbon Hutan di Daerah  
Aliran Sungai Batang Natal dan Sekitarnya,  
Mandailing Natal, Sumatera Utara

Telah berhasil saya pertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dr. Nisyawati, MS. (.....)

Pembimbing II : Dr. Rokhmatuloh, S.Si., M.Eng. (.....)

Penguji I : Jatna Supriatna, Ph.D. (.....)

Penguji II : Drs. Erwin Nurdin, M.Si. (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 16 Juli 2012

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS  
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademika Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hendi Sumantri  
NPM : 0906576170  
Program Studi : Biologi  
Departemen : Biologi  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**Potensi dan Perubahan Stok Karbon Hutan di Daerah Aliran Sungai Batang Natal dan Sekitarnya, Mandailing Natal, Sumatera Utara**

Beserta perangkatnya yang ada jika diperlukan. Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengolah dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal 9 Juli 2012  
Yang Menyatakan



(Hendi Sumantri)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena dengan rahmat dan hidayahNya penulis dapat menyusun tesis. Tesis yang berjudul **“Potensi dan Perubahan Stok Karbon Hutan di Daerah Aliran Sungai Batang Natal dan Sekitarnya, Mandailing Natal, Sumatera Utara”** ditulis untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar Magister Sains di Program Studi Biologi, Program Pascasarjana, FMIPA, Universitas Indonesia, Depok.

Penulis menyadari, tesis ini tidak akan tersusun dengan baik tanpa bantuan, dukungan dan kerjasama yang baik dari berbagai pihak yang terkait baik langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, perkenankanlah penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dr. Nisyawati, MS. dan Dr. Rokhmatuloh, S.Si., M.Eng. yang telah memberikan kepercayaan, motivasi, arahan, bimbingan, serta dukungannya selama penulis melakukan penelitian dan penyusunan tesis. Dr. Luthfiralda Sjahfirdi, M.Biomed. sebagai Ketua Program Studi Biologi atas perhatian dan yang terus menerus mengingatkan penulis untuk menyelesaikan studi tepat waktu.

Secara khusus, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Jatna Supriatna, Ph.D. dan Drs. Erwin Nurdin, M.Si. sebagai penguji tesis dengan masukan membangun mulai dari proses seminar proposal sampai sidang tertutup tesis.
2. Bapak Bambang Hardjanto (Kepala Taman Nasional Batang Gadis), Bapak Nadzrun Jamil, Ihsan Zaki Siregar, Saiman, Bincar, Leo Sembiring, Dendi Rustandi dan staf Taman Nasional Batang Gadis atas kerjasama dan bantuan selama pengambilan data di lapangan.
3. Bapak Asep Ferry, Mulyawan, Thamrin Pulungan dan Irwan Pulungan dari Dinas Kehutanan dan Perkebunan Kabupaten Mandailing Natal atas arahan dan pendampingan selama pengambilan data di lapangan.
4. Bapak Kepala Desa Sibanggor Julu, Kepala Desa Sopotinjak, Kepala Desa Kunkun atas perkenan izin yang diberikan kepada peneliti selama melakukan kegiatan di lapangan.

5. Angga Prathama Putra, M.Si. yang dengan ketulusan hati dan kesabarannya membantu penulis selama kegiatan pengambilan data lapangan.
6. Mbak Evi dan Mbak Fenti atas kesabaran dan bantuan dalam urusan administrasi selama proses perkuliahan dan penyusunan tesis.
7. Rekan-rekan mahasiswa Program Pascasarjana Biologi angkatan 2009 dan 2010 atas kebersamaan dan diskusi selama menempuh pendidikan di Program Pascasarjana Biologi, FMIPA, Universitas Indonesia.
8. Rekan-rekan Conservation International Indonesia yang selalu memberikan motivasi dan dukungan kepada penulis untuk melanjutkan studi S-2 dan menyelesaikan tesis ini.
9. Istri dan anak-anak tercinta R. Syarifah Djamilah, Hanifah Syafitri dan Andes Fadhillah yang senantiasa selalu memberikan pengertian, dukungan dan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan pendidikan di Program Pascasarjana Biologi, FMIPA, Universitas Indonesia.
10. Keluarga besar E. Maman Supratman (alm) dan R. Uyat Suningrat yang telah sabar dan ikhlas memberikan ketulusan doa hingga penulis dapat melanjutkan studi di Program Pascasarjana Biologi, FMIPA, Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran untuk penyempurnaan tesis ini. Penulis juga berharap agar tesis ini dapat bermanfaat dan menambah wawasan serta dapat menjadi referensi penting dalam dunia konservasi di Indonesia.

Depok, 9 Juli 2012

Penulis



## DAFTAR ISI

|  |           |
|--|-----------|
| HALAMAN JUDUL.....   | i         |
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....   | iii       |
| HALAMAN PENGESAHAN.....  | v         |
| LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....   | vi        |
| KATA PENGANTAR.....  | vii       |
| DAFTAR ISI.....  | ix        |
| DAFTAR GAMBAR.....   | x         |
| DAFTAR TABEL.....  | xi        |
| DAFTAR LAMPIRAN.....   | xii       |
| SUMMARY .....  | xv        |
| <b>PENGANTAR PARIPURNA.....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>MAKALAH I: POTENSI BIOMASSA ATAS PERMUKAAN<br/>(ABOVEGROUND BIOMASS) DAN SIMPANAN KARBON<br/>BERDASARKAN TIPE HUTAN DI DAERAH ALIRAN<br/>SUNGAI BATANG NATAL DAN SEKITARNYA,<br/>MANDAILING NATAL, SUMATERA UTARA</b> | <b>5</b>  |
| Abstrak .....  | 5         |
| Pendahuluan .....  | 6         |
| Bahan dan Cara Kerja.....  | 7         |
| Hasil dan Pembahasan.....  | 15        |
| Kesimpulan.....  | 25        |
| Saran .....  | 26        |
| Ucapan Terima Kasih.....   | 27        |
| Daftar Acuan.....  | 27        |
| <b>MAKALAH II: PERUBAHAN HUTAN DAN EMISI KARBONDIOKSIDA<br/>(CO<sub>2</sub>) DI DAERAH ALIRAN SUNGAI BATANG NATAL<br/>DAN SEKITARNYA, MANDAILING NATAL,<br/>SUMATERA UTARA</b>   | <b>40</b> |
| Abstrak .....  | 40        |
| Pendahuluan .....  | 41        |
| Bahan dan Cara Kerja.....  | 43        |
| Hasil dan Pembahasan .....   | 50        |
| Kesimpulan.....  | 58        |
| Saran .....  | 59        |
| Ucapan Terima Kasih.....   | 59        |
| Daftar Acuan.....  | 60        |
| <b>DISKUSI PARIPURNA.....</b>  | <b>75</b> |
| <b>RANGKUMAN KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>  | <b>79</b> |
| <b>DAFTAR ACUAN .....</b>  | <b>81</b> |

## DAFTAR GAMBAR

| Gambar |  | Halaman |
|--------|--|---------|
| I.1.   | Proses kegiatan penghitungan biomassa hutan di DAS Batang Natal dan sekitarnya .....   | 8       |
| I.2.   | Lokasi penelitian di DAS Batang Natal dan Kunkun.....  | 11      |
| I.3.   | Biomassa atas permukaan (BAP) dan stok karbon berdasarkan lokasi plot contoh .....   | 15      |
| I.4.   | Biomassa atas permukaan (BAP) dan stok karbon berdasarkan tipe hutan .....   | 17      |
| I.5.   | Sebaran jumlah individu pohon berdasarkan kelas diameter untuk setiap tipe hutan.....  | 21      |
| I.6.   | Sebaran biomassa atas permukaan berdasarkan kelas diameter pohon untuk setiap tipe hutan.....  | 22      |
| I.7.   | Luas bidang dasar (LBD) pohon untuk 5 spesies tertinggi (a) hutan lahan kering, (b) hutan rawa, dan (c) hutan mangrove .....   | 23      |
| I.8.   | Indeks Nilai Kepentingan (INK) pohon untuk 5 spesies tertinggi (a) hutan lahan kering, (b) hutan rawa, dan (c) hutan mangrove .....                                    | 24      |
| II.1.  | Peta cakupan wilayah penelitian.....   | 44      |
| II.2.  | Proses interpretasi citra satelit untuk pemetaan perubahan hutan di DAS Batang Natal dan sekitarnya (modifikasi Gaveau <i>et al.</i> 2007) .....                       | 45      |
| II.3.  | Proses <i>gap-filled</i> citra Landsat-7 ETM+. Citra (a) tanggal 11 Februari 2011, citra (b) tanggal 5 Juli 2011, dan citra (c) setelah proses <i>gap-filled</i> ..... | 46      |
| II.4.  | Dua citra satelit dengan area yang sama. Citra (a) belum dipertajam kontras warna, dan citra (b) kontras warna telah dipertajam .....                                  | 47      |
| II.5.  | Peta perubahan hutan di DAS Batang Natal dan sekitarnya (a) periode 1990-2000, dan (b) periode 2000-2011 .....   | 52      |

## DAFTAR TABEL

| Tabel |   | Halaman |
|-------|---|---------|
| I.1.  | Nama lokasi penelitian, total luas plot contoh dan fisiografi lokasi.....   | 11      |
| I.2.  | Publikasi biomassa atas permukaan (BAP) untuk tipe hutan lahan kering di Indonesia .....                                    | 18      |
| II.1. | Hasil uji <i>overall</i> , <i>producer</i> dan <i>user accuracy</i> untuk hasil klasifikasi peta tahun 2011.....            | 51      |
| II.2. | Perubahan hutan dan emisi karbon berdasarkan tipe hutan periode tahun 1990-2000 dan 2000-2011.....                          | 52      |
| II.3. | Perubahan hutan dan emisi karbon berdasarkan tipe hutan pada setiap fungsi hutan periode tahun 1990-2000 dan 2000-2011..... | 54      |
| II.4. | Perubahan hutan dan emisi karbon berdasarkan tipe hutan pada setiap DAS periode tahun 1990-2000.....                        | 56      |
| II.5. | Perubahan hutan dan emisi karbon berdasarkan tipe hutan pada setiap DAS periode tahun 2000-2011.....                        | 56      |

## DAFTAR LAMPIRAN

| Lampiran |  | Halaman |
|----------|--|---------|
| I.1.     | Biomassa atas permukaan (BAP) dan stok karbon berdasarkan lokasi plot contoh.....  | 34      |
| I.2.     | Biomassa atas permukaan (BAP) dan stok karbon berdasarkan tipe hutan.....  | 34      |
| I.3.     | Perhitungan biomassa total dan uji akurasi untuk tipe hutan lahan kering di DAS Batang Natal dan sekitarnya .....  | 35      |
| I.4.     | Perhitungan biomassa total dan uji akurasi untuk tipe hutan mangrove di DAS Batang Natal dan sekitarnya .....  | 35      |
| I.5.     | Perhitungan biomassa total dan uji akurasi untuk tipe hutan rawa di DAS Batang Natal dan sekitarnya .....  | 36      |
| I.6.     | Jumlah individu (N), kerapatan relative (KR), frekuensi relative (FR), dominansi relative (DR), Indeks Nilai Kepentingan (INK) dan Luas Bidang Dasar (LBD) setiap spesies..... | 36      |
| I.7.     | Kondisi hutan lahan kering di blok hutan Sopotinjak.....   | 38      |
| I.8.     | Kondisi hutan rawa di Tabuyung .....   | 39      |
| I.9.     | Kondisi hutan mangrove di muara Sungai Kunkun .....  | 39      |
| II.1.    | Sub kelas tutupan lahan pada saat proses interpretasi citra satelit untuk penyusunan peta perubahan hutan 2000-2011 .....  | 67      |
| II.2.    | Titik hasil <i>groundcheck</i> peta perubahan hutan 2000-2011 di DAS Batang Natal dan sekitarnya .....   | 68      |
| II.3.    | Konversi hutan rawa menjadi perkebunan sawit di Kecamatan Sinunukan .....  | 74      |

## ABSTRAK

Nama : Hendi Sumantri  
Program Studi : Pascasarjana Biologi  
Judul Tesis : Potensi dan Perubahan Stok Karbon Hutan di Daerah Aliran Sungai Batang Natal dan Sekitarnya, Mandailing Natal, Sumatera Utara

Sumber karbon utama di ekosistem hutan terdiri dari biomassa pohon, tumbuhan bawah, serasah, kayu mati dan bahan organik tanah. Karbon hutan yang tersimpan pada biomassa atas permukaan (BAP) atau *aboveground biomass* (AGB) merupakan sumber terbesar dan paling terkena dampak deforestasi dan degradasi hutan. Deforestasi dan degradasi hutan merupakan penyumbang kedua terbesar emisi karbon ke atmosfer yang menyebabkan perubahan iklim, setelah penggunaan bahan bakar fosil oleh industri dan transportasi. Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk mengkaji potensi BAP dan stok karbon berdasarkan tipe-tipe hutan, serta mengetahui pengaruh deforestasi terhadap perubahan stok karbon hutan di DAS Batang Natal dan sekitarnya, Mandailing Natal, Sumatera Utara. Pengukuran potensi biomassa pohon dilakukan dalam plot ukur berbentuk persegi panjang dengan ukuran 20 m x 125 m sebanyak 15 plot ukur. Sebanyak 8 plot dibuat di hutan lahan kering, 4 plot di hutan mangrove dan 3 plot di hutan rawa. Total area hutan yang disurvei mencapai 3,75 ha. Pohon dengan *Diameter at Breast Height* (DBH)  $\geq 2$  cm diidentifikasi dan diukur diameternya. Penghitungan biomassa dilakukan melalui persamaan alometrik yang sudah ada untuk hutan tropis. Analisis deforestasi dilakukan melalui pendekatan penginderaan jauh. Data citra satelit Landsat tahun 2000 dan 2011 dianalisis dengan metode klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) *Maximum Likelihood Classifier* (MLC). Analisis perubahan biomassa dan stok karbon dilakukan melalui *Stock-Difference Method*. Perubahan biomassa dan stok karbon total untuk setiap tipe hutan dilakukan melalui perkalian  $\text{Mg ha}^{-1}$  dengan luas hutan. Hasil penelitian menunjukkan rerata biomassa pohon hutan lahan kering  $364,99 \pm 39,32 \text{ Mg ha}^{-1}$ , hutan rawa memiliki rerata biomassa pohon  $643,95 \pm 177,71 \text{ Mg ha}^{-1}$ , dan rerata biomassa pohon hutan mangrove  $387,37 \pm 31,10 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Pada tahun 2000, DAS Batang Natal dan sekitarnya memiliki total luas tutupan hutan mencapai 93.396, dan tahun 2011 menurun dengan luas 67.961 ha. Dengan demikian, selama periode 2000-2011, luas tutupan hutan yang hilang mencapai 25.435 ha dengan rerata deforestasi 6,26% tahun<sup>-1</sup> atau setara dengan 2.312 ha tahun<sup>-1</sup>. Rerata deforestasi hutan lahan kering mencapai 1,78% tahun<sup>-1</sup> dengan emisi karbon sekitar 756.710  $\text{Mg CO}_2\text{e tahun}^{-1}$ . Hutan rawa memiliki rerata deforestasi 4,48% tahun<sup>-1</sup> dengan emisi 747.115  $\text{Mg CO}_2\text{e tahun}^{-1}$ .

**Kata kunci:** biomassa, deforestasi, emisi karbon, penginderaan jauh, perubahan iklim

## ABSTRACT

Name : Hendi Sumantri  
Program Study : Magister Biology  
Thesis Title : Potency and Change of Forest Carbon Stock in Batang Natal  
Watershed and Surrounding Area, Mandailing Natal, North Sumatra

The main source of biomass and carbon in the forest ecosystem are coming from trees, litter, dead wood and soil organic matter. Forest carbon stored in the above ground biomass (AGB) is the largest source; however it is also the most affected by deforestation and forest degradation. Deforestation and forest degradation is the second largest contributor of carbon emissions into the atmosphere which caused the climate change issue, after the use of fossil fuels by industry and transportation. This research was conducted with the aim to assess the potential of AGB and carbon stocks based on forest tipology, as well as to determine the impact of deforestation on change of forest carbon stock in Batang Natal watershed and the surrounding area, Mandailing Natal, North Sumatra. Biomass of trees measurement performed through 15 rectangular sample plots with 20 m x 125 m in size. A total of 8 plots were established in the dryland forest, 4 plots in the mangrove forest and 3 plots in the swamp forest. The total sampled area was around 3.75 ha. All trees with Diameter at Breast Height (DBH)  $\geq 2$  cm were recorded and measured. In the absence of destructive sampling measurements, biomass calculated using the existing allometric equations for the tropical forest. Analysis of the deforestation was carried out using remote sensing approach. Two-dates image pair for 2000 and 2011 were classified using a supervised maximum likelihood classifier (MLC). Analysis of biomass and carbon stock changes was carried out using stock-difference method. The difference in carbon stocks is multiplied by the area of each forest type to obtain the total carbon emissions. The results showed that average of tree biomass for dryland forest is  $364.99 \pm 39.32$  Mg ha<sup>-1</sup>, the swamp forest has an average of around  $643.95 \pm 177.71$  Mg ha<sup>-1</sup>, and for mangrove forests is  $387.37 \pm 31.10$  Mg ha<sup>-1</sup>. In 2000, the total forest cover of study area reached to 93396 ha, while in 2011 the forest cover decreased to 67961 ha. Thus, during the period 2000-2011, forest cover with total 25435 ha have been converted with rate of 6.26% year<sup>-1</sup> or equivalent to 2312 ha year<sup>-1</sup>. The deforestation rate in the dryland forest reached 1.78% year<sup>-1</sup> with carbon emissions estimated at 756710 Mg CO<sub>2e</sub> year<sup>-1</sup>. The swamp forest deforestation rate was approximately at 4.48% year<sup>-1</sup>, equivalent to 747115 Mg CO<sub>2e</sub> year<sup>-1</sup> of carbon emissions.

**Keywords:** biomass, carbon emission, climate change, deforestation, remote sensing

Name : Hendi Sumantri (0906576170) Date: 9 Juli 2012  
Title : POTENCY AND CHANGE OF FOREST CARBON STOCK IN BATANG NATAL WATERSHED AND SURROUNDING AREA, MANDAILING NATAL, NORTH SUMATRA  
Thesis Supervisors : Dr. Nisyawati, MS. ; Dr. Rokhmatuloh, S.Si., M.Eng.

---

## SUMMARY

Deforestation of tropical forests became one of the greatest contributor of carbon dioxide emissions to the atmosphere which caused the climate change issue (Kanninen *et al.* 2007). Indonesia is one pertinent example of the devastating effects of massive deforestation, particularly in Sumatra and Kalimantan (Holmes 2002; Kinnaird *et al.* 2003; Gaveau *et al.* 2007; Hansen *et al.* 2009). The Batang Natal watershed and the surrounding areas in Mandailing Natal, North Sumatra had increasingly been recognized as being of global biodiversity importance, due to the high rate of species endemism. More than 47 species of mammals, 184 species of trees, and 247 species of birds with 13 of birds are endemic species to Sumatra recorded in the area (Kartawinata *et al.* 2004; Conservation International *et al.* 2007). Rates of forest loss are similar to those of other Sumatra regions such as Riau and Jambi, resulting in an increasing level of threat for the biological values within the remaining forest and potentially significant source of CO<sub>2</sub> emissions.

The main source of biomass and carbon in the forest ecosystem are trees, litter, dead wood and soil organic matter. Forest carbon stored in aboveground biomass (AGB) is the largest source and the most affected by deforestation and forest degradation. Therefore, providing the baseline carbon stock and changes data based forest types is very important step in designing the Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD+) scheme. The research focus is to assess the potential of AGB and carbon stocks based on the forest types, as well as to determine the impact of deforestation on change of

forest carbon stock in Batang Natal watershed and the surrounding area, Mandailing Natal, North Sumatra.

The field measurement revealed that each forest types in Batang Natal watershed and surrounding area have a very high biomass and carbon stocks. Average of tree biomass for the dryland forest is  $364.99 \pm 39.32 \text{ Mg ha}^{-1}$ . The swamp forest has an average of trees biomass around  $643.95 \pm 177.71 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Approximately, the average of trees biomass for mangrove forests is  $387.37 \pm 31.10 \text{ Mg ha}^{-1}$ . The class distribution of tree diameter measurement in the forest structure plays an important role in determining the forest biomass. More than 50% from total AGB and carbon for all forest types are concentrated in the trees with  $\text{DBH} \geq 35 \text{ cm}$ .

In addition, basal area (BA) of tree species had a positive relationship with the species biomass content itself. The results prove that each species with the highest BA, has the highest biomass than other species. Ie. *Litsea elliptica* has the highest BA with  $46.49 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  in the dryland forest type, *Gluta reinghas*  $38.12 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  for swamp forest, and *Xylocarpus granatum* with  $60.55 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  for mangrove forest. One species has a very low BA, close to zero, because it is only represented by one individual trees with a small diameter. In terms of importance value index (IVI), *Litsea elliptica* and *Xylocarpus granatum* have the highest IVI with 52.57% and 146.92% respectively.

In 2011, forest area in Batang Natal, Kunkun, Sinunukan and Tabuyung watersheds covered an area of 54433 ha in the dryland forest, 12569 ha of swamp forest and 958 ha of mangrove forest, with a total of 67961 ha. In 2000, total forest cover in the region covered an area of 93396 ha. Thus, during the period 2000-2011, forest cover with total 25435 ha have been converted with rate  $6.26\% \text{ year}^{-1}$  or equivalent to  $2312 \text{ ha year}^{-1}$ . The deforestation rate in dryland forest reached  $1.78\% \text{ year}^{-1}$  with carbon emissions estimated to  $756710 \text{ Mg CO}_2\text{e year}^{-1}$ . The swamp forest has deforestation rate approximately  $4.48\% \text{ year}^{-1}$ , equivalent to  $747115 \text{ Mg CO}_2\text{e year}^{-1}$  of carbon emissions. There was no change for mangrove forest.

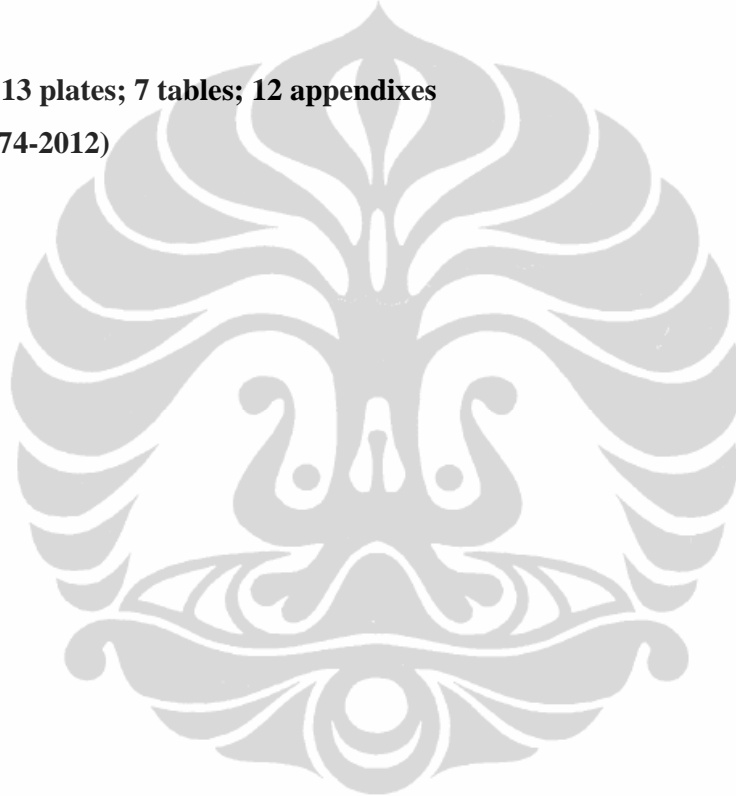
Kunkun and Tabuyung watersheds are the most impacted area by deforestation compared to other area in the research focus from 2000-2011. The



total annual deforestation rates for both watersheds are approximately 755 ha year<sup>-1</sup> and 879 ha year<sup>-1</sup> respectively. These were equivalent to 567970 Mg CO<sub>2e</sub> year<sup>-1</sup> and 756682 Mg CO<sub>2e</sub> year<sup>-1</sup>.

Compared to the 1990-2000 forest changes map developed by Gaveau *et al.* (2007) for the same area, the 2000-2011 deforestation rates were significantly increased. In 1990-2000 periods, the rate was 2.62% year<sup>-1</sup>, or 1,244 ha year<sup>-1</sup>. Overall for whole study area, the carbon emissions increased from 803478 Mg of CO<sub>2e</sub> to 1.5 million Mg of CO<sub>2e</sub> within two decades.

**xvii + 86 pp.; 13 plates; 7 tables; 12 appendixes**  
**Bilb.: 118 (1974-2012)**



## PENGANTAR PARIPURNA

Indonesia memiliki hutan tropis terluas ketiga di dunia setelah Brasil dan Kongo, akan tetapi memiliki tingkat deforestasi yang tinggi (Achard *et al.* 2002; Forest Watch Indonesia & Global Forest Watch 2002; Hansen *et al.* 2009), sehingga Indonesia memiliki peran yang penting dalam konteks kegiatan *Reducing Emissions from Deforestation and Degradation* (REDD+). Hutan tropis Indonesia memiliki kekayaan keanekaragaman hayati dan memberikan jasa pelayanan ekosistem (*ecosystem services*) seperti perlindungan daerah aliran sungai dan pencegahan erosi. Hutan tropis juga berperan penting bagi kehidupan masyarakat setempat dan ekonomi nasional (Forest Watch Indonesia & Global Forest Watch 2002; Curran *et al.* 2004). Tutupan hutan Indonesia telah menurun dalam beberapa dekade terakhir (Whitten *et al.* 2001; Hansen *et al.* 2010; Miettinen *et al.* 2011). Hansen *et al.* (2009) menyatakan bahwa 17,8 juta ha hutan Indonesia telah hilang dalam kurun waktu 1990-2000, dengan rerata laju deforestasi tahunan 1,78 juta ha. Forest Watch Indonesia (2011) menyatakan bahwa dari 88,17 juta ha hutan tersisa di Indonesia, sekitar 73,29 juta ha (83,12%) tersebar di tiga pulau utama yaitu Sumatera, Kalimantan, dan Papua.

Sumatera, pulau terbesar kedua di Indonesia, mengalami deforestasi paling cepat (Holmes 2002) dan pulau dengan pembukaan lahan skala besar paling intensif (Hansen *et al.* 2008; Broich *et al.* 2011; Miettinen *et al.* 2011). Dalam periode tahun 1990-2000, Sumatera telah mengalami kehilangan hutan yang mencapai 5 juta ha (Gaveau *et al.* 2007) dan 3,7 juta ha pada periode tahun 2000-2009 (Forest Watch Indonesia 2011). Kehilangan hutan Sumatera disebabkan beberapa faktor, antara lain penebangan kayu (legal dan illegal), pembangunan hutan tanaman, perkebunan sawit, dan konversi menjadi lahan pertanian (Gaveau *et al.* 2007; Gaveau *et al.* 2009). Kehilangan hutan di Sumatera secara terus menerus merupakan ancaman yang serius bagi kehidupan keanekaragaman hayati (Buchanan *et al.* 2008; Sodhi & Brook 2008), khususnya beberapa mamalia besar yang terancam punah (Kinnaird *et al.* 2003). Oleh karena itu, peran kawasan konservasi sangat penting dalam menekan laju deforestasi dibandingkan kawasan

yang belum terlindungi (Gaveau *et al.* 2007; Andam *et al.* 2008; Gaveau *et al.* 2009).

Kabupaten Mandailing Natal terbentuk pada tanggal 23 November 1999 berdasarkan Undang-undang Nomor 12 tahun 1998 tentang Pembentukan Pemerintahan Kabupaten Mandailing Natal menjadi daerah otonom. Kabupaten Mandailing Natal dalam konstelasi regional berada di bagian selatan wilayah Provinsi Sumatera Utara pada lokasi geografis 0°10' - 1°50' Lintang Utara dan 98°50' - 100°10' Bujur Timur dengan ketinggian tempat antara 0 – 2.145 m di atas permukaan laut. Dari aspek hidrologi, di Kabupaten Mandailing Natal terdapat 8 daerah aliran sungai (DAS) terdiri dari DAS Batang Gadis, DAS Batang Natal, DAS Batang Toru, DAS Siriam, DAS Batahan, DAS Tabuyung, DAS Kunkun, dan DAS Sinunukan. Sedangkan, keunikan dan variasi geomorfologis menyebabkan kabupaten tersebut memiliki habitat yang beragam (Perbatakusuma *et al.* 2006) dengan luas tutupan hutan lebih dari 50% dari total wilayah kabupaten (Biro Pusat Statistik 2009).

Ekosistem hutan DAS Batang Natal dan sekitarnya terdiri dari hutan lahan kering dataran rendah, hutan lahan kering pegunungan, hutan rawa, dan hutan mangrove (Perbatakusuma *et al.* 2006). Hutan-hutan tersebut membentang dari pegunungan Bukit Barisan sampai pesisir barat Sumatera (Samudera Hindia). Hutan di bagian hulu DAS Batang Natal telah ditetapkan sebagai Taman Nasional Batang Gadis (TNBG) yang menjadi habitat spesies satwa dan tumbuhan khas Sumatera. Inisiatif pembentukan TNBG oleh Pemerintah Kabupaten Mandailing Natal merupakan langkah awal yang baik dalam upaya melindungi keanekaragaman hayati di Sumatera Utara (Perbatakusuma *et al.* 2006).

Berdasarkan survei yang dilaksanakan oleh tim Conservation International, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) dan Pusat Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, tercatat sekitar 183 spesies dari 41 genus tumbuhan di TNBG (Kartawinata *et al.* 2004). Dua spesies baru dari famili Balsaminaceae juga ditemukan di TNBG (Utami 2005). Taman Nasional Batang Gadis menjadi habitat beberapa spesies satwa di antaranya harimau (*Panthera tigris*), tapir (*Tapirus indicus*), siamang (*Symphalangus syndactylus*) dan owa (*Hylobates agilis*). Dari TNBG pula, orangutan Sumatra (*Pongo abelii*) pertama kali

dideskripsikan dalam dunia ilmu pengetahuan modern pada tahun 1641 (Wich *et al.* 2003).

Dengan topografi perbukitan dan lereng curam, ekosistem hutan di DAS Batang Natal dan sekitarnya berperan penting dalam mengatur fungsi hidrologi, habitat satwa dan memberikan perlindungan dari bencana alam seperti banjir dan longsor (Midora & Anggraeni 2006) akibat perubahan curah hujan. Hutan mangrove di pesisir barat DAS Batang Natal dan DAS lain memberikan fungsi perlindungan dari bencana abrasi akibat perubahan arus dan gelombang laut (Ellison 2008). Fungsi yang tidak kalah penting dari ekosistem hutan adalah sebagai penyimpan karbon, tetapi berapa besar simpanan karbon di setiap tipe hutan belum banyak diketahui (Murdiyarso *et al.* 2009). Padahal, saat ini ekosistem hutan di DAS Batang Natal dan sekitarnya sangat rentan dikonversi menjadi penggunaan lahan lain, sehingga karbon yang tersimpan akan terlepas ke atmosfer. Oleh karena itu, ekosistem hutan di DAS Batang Natal dan sekitarnya memiliki peranan penting dalam upaya mitigasi dan adaptasi perubahan iklim.

Dengan tingkat perubahan hutan yang tinggi, konservasi hutan yang tersisa merupakan salah satu pilihan yang paling murah (Murdiyarso *et al.* 2009) dalam upaya mitigasi perubahan iklim. Program *Reduced Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD+)* muncul sebagai salah satu komponen dari kebijakan internasional untuk merespon masalah emisi karbon hutan dan perubahan iklim di negara berkembang (Kanninen *et al.* 2007). Keberhasilan program tersebut sangat tergantung dengan data dan informasi akurat tentang simpanan karbon di beberapa tipe hutan dan berapa banyak karbon yang terlepas (emisi karbon) ketika hutan dikonversi. Penelitian tentang karbon hutan di DAS Batang Natal dan sekitarnya belum pernah dilakukan, sehingga data dan informasi stok dan emisi karbon hutan penting untuk dikaji.

Berdasarkan latar belakang di atas, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengkaji potensi biomassa atas permukaan (*aboveground biomass*) dan stok karbon berdasarkan tipe-tipe hutan, serta mengetahui penyebab dan pengaruh deforestasi terhadap simpanan biomassa dan karbon hutan di DAS Batang Natal dan sekitarnya. Penghitungan potensi biomassa dan karbon hutan dilakukan melalui pengukuran di lapangan dengan plot contoh ukuran 20 m x 125 m.

Sedangkan pemetaan perubahan hutan dilakukan melalui interpretasi citra satelit Landsat tahun 2000 dan 2011.

Hasil penelitian disusun dalam dua makalah dengan tema peranan ekosistem hutan dalam menjaga keseimbangan stok karbon. Makalah pertama membahas potensi biomassa atas permukaan (*aboveground biomass*) dan stok karbon berdasarkan tipe-tipe hutan. Makalah kedua membahas tentang pengaruh perubahan hutan (deforestasi) terhadap stok karbon hutan di DAS Batang Natal dan sekitarnya, Mandailing Natal, Sumatera Utara. Hasil penelitian ini diharapkan bermanfaat sebagai salah satu sumber data untuk merancang desain dan strategi kegiatan REDD+ di Kabupaten Mandailing Natal.



## Makalah I

# POTENSI BIOMASSA ATAS PERMUKAAN (*ABOVEGROUND BIOMASS*) DAN SIMPANAN KARBON BERDASARKAN TIPE HUTAN DI DAERAH ALIRAN SUNGAI BATANG NATAL DAN SEKITARNYA, MANDAILING NATAL, SUMATERA UTARA

**Hendi Sumantri**

Program Studi Pascasarjana Biologi,  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia  
[hendi\\_sumantri@yahoo.com](mailto:hendi_sumantri@yahoo.com)

## ABSTRACT

Forest carbon stored in aboveground biomass of trees (AGB) is the largest source and the most affected by deforestation and forest degradation. Estimation of above-ground biomass (AGB) is an essential aspect of studies of carbon stocks and the effects of deforestation and carbon sequestration on the global carbon balance and also provides valuable information for many global climate change issues. Estimation of forest AGB is an important step in measuring carbon storage and became the focus of this research. Forest cover within the study area was stratified using 2011 Landsat images through remote sensing technology. Forest biomass and carbon measurements were conducted in 15 sampled plots, of which 8 plots established in the dryland forest, 3 plots in the swamp forest and 4 plots in the mangrove forest. Total forest area surveyed was 3.75 hectares. The research aims to assess the potential of the aboveground biomass of trees based on forest types in Batang Natal watershed and the surrounding areas. Based on the image interpretation, the total area of dryland forest, swamp forest and mangrove forest in 2011 was 54433 ha, 12569 ha, and 958 ha respectively. The result showed that the content of AGB for the dryland forest type had an average of  $364.99 \pm 39.32 \text{ Mg ha}^{-1}$ , the swamp forest of  $643.95 \pm 177.71 \text{ Mg ha}^{-1}$ , and mangrove forest with an average of  $387.37 \pm 31.10 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Using a simple equation, by multiplying the forest area and the average biomass, total AGB for the whole study area reached up to 19.87 million Mg for dryland forest, 8.09 million Mg for swamp forest and 0.37 million Mg for mangrove forests. More than 50% of the total AGB and carbon for all forest types are concentrated in the trees with  $\text{DBH} \geq 35 \text{ cm}$ . In addition, basal area (BA) of tree species has a positive relationship with the species of biomass content. The research proves that each species with the higher BA, has a higher biomass than other species.

**Keywords:** basal area, biomass, carbon stock, climate change, REDD+

## PENDAHULUAN

Hutan menyediakan benda dan jasa ekosistem, habitat bagi tumbuhan dan satwa yang beragam serta menyimpan cadangan karbon yang luar biasa di bumi. Total karbon hutan dunia diperkirakan mencapai 638 Gt (FAO 2005) dan menurut Pan *et al.* (2011) total karbon hutan dunia mencapai 795927 Gt (termasuk karbon atas permukaan dan tanah). Berdasarkan penelitian Saatchi *et al.* (2011), total karbon hutan di Indonesia diperkirakan 19 Gt dengan asumsi 30% tutupan kanopi hutan telah terbuka.

Hutan menyerap dan menyimpan karbon lebih banyak dibandingkan dengan ekosistem darat lain dan berperan penting untuk menekan perubahan iklim. Saat hutan ditebang atau terdegradasi, karbon akan terlepas ke atmosfer menjadi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Perubahan hutan (deforestasi) dan degradasi hutan, terutama di hutan tropis, menyumbangkan 1-2 milyar ton atau 12-20% emisi gas rumah kaca global antara periode tahun 1990 dan awal 2000 (Houghton 2005; van der Werf *et al.* 2009).

Sumber karbon utama di ekosistem hutan yaitu biomassa pohon, tumbuhan bawah, serasah, kayu mati dan bahan organik tanah (Pearson *et al.* 2005; IPCC 2006; Gibbs *et al.* 2007). Karbon hutan yang tersimpan pada biomassa atas permukaan (BAP) atau *aboveground biomass* (AGB) merupakan sumber terbesar dan paling terkena dampak perubahan hutan (deforestasi) dan degradasi hutan (Gibbs *et al.* 2007). Penghitungan BAP merupakan aspek penting dalam studi stok karbon dan dampak perubahan hutan terhadap keseimbangan karbon global (Ketterings *et al.* 2001) dan juga merupakan informasi berharga untuk isu global lain (Brown *et al.* 1999).

Kawasan Daerah Aliran Sungai (DAS) Batang Natal dan sekitarnya memiliki habitat yang beragam, terdiri dari hutan lahan kering dataran rendah, hutan lahan kering pegunungan, hutan rawa, dan hutan mangrove (Perbatakusuma *et al.* 2006). Hutan-hutan tersebut membentang dari pegunungan Bukit Barisan sampai pesisir barat Sumatera (Samudera Hindia). Kawasan hutan di bagian hulu DAS Batang Natal telah ditetapkan sebagai Taman Nasional Batang Gadis (TNBG) yang menjadi habitat spesies satwa dan tumbuhan khas Sumatera.

Sekitar 184 spesies dari 41 famili tumbuhan (Kartawinata *et al.* 2004) dan 47 spesies mamalia (Perbatakusuma *et al.* 2006) diidentifikasi di kawasan tersebut.

Dengan topografi perbukitan dan lereng curam, hutan di DAS Batang Natal dan sekitarnya berperan penting dalam mengatur fungsi hidrologi dan memberikan perlindungan dari bencana alam seperti banjir dan longsor (Midora & Anggraeni 2006) akibat perubahan curah hujan. Hutan mangrove di pesisir barat DAS Batang Natal dan DAS lain memberikan fungsi perlindungan dari bencana abrasi akibat perubahan arus dan gelombang laut (Ellison 2008). Oleh karena itu, ekosistem hutan di DAS Batang Natal dan sekitarnya memiliki peranan penting dalam upaya mitigasi dan adaptasi perubahan iklim.

Salah satu upaya mitigasi perubahan iklim adalah melalui program *Reduced Emissions from Deforestation and Forest Degradation* (REDD+). Program REDD+ menawarkan insentif ekonomi untuk perlindungan hutan sebagai pengganti pengembangan kegiatan ekonomi yang cenderung merusak hutan. Keberhasilan program tersebut sangat tergantung pada data dan informasi yang akurat tentang potensi karbon (Murdiyarso *et al.* 2009) yang dihasilkan dari penelitian mandiri (Kanninen *et al.* 2007; Angelsen *et al.* 2009).

Setiap tipe hutan memiliki potensi simpanan biomassa berbeda-beda. Penghitungan biomassa di DAS Batang Natal dan sekitarnya belum pernah dilakukan. Penghitungan biomassa atas permukaan di ekosistem hutan merupakan tahapan penting dalam mengukur simpanan karbon dan menjadi fokus dari penelitian ini. Penelitian bertujuan untuk mengkaji potensi biomassa atas permukaan (*aboveground biomass*) dan simpanan karbon berdasarkan tipe-tipe hutan di DAS Batang Natal dan wilayah sekitarnya. Hasil penelitian tersebut diharapkan menjadi salah satu pertimbangan yang penting dalam merancang skema program REDD+ di Kabupaten Mandailing Natal.

## **BAHAN DAN CARA KERJA**

### **A. Alat dan Bahan**

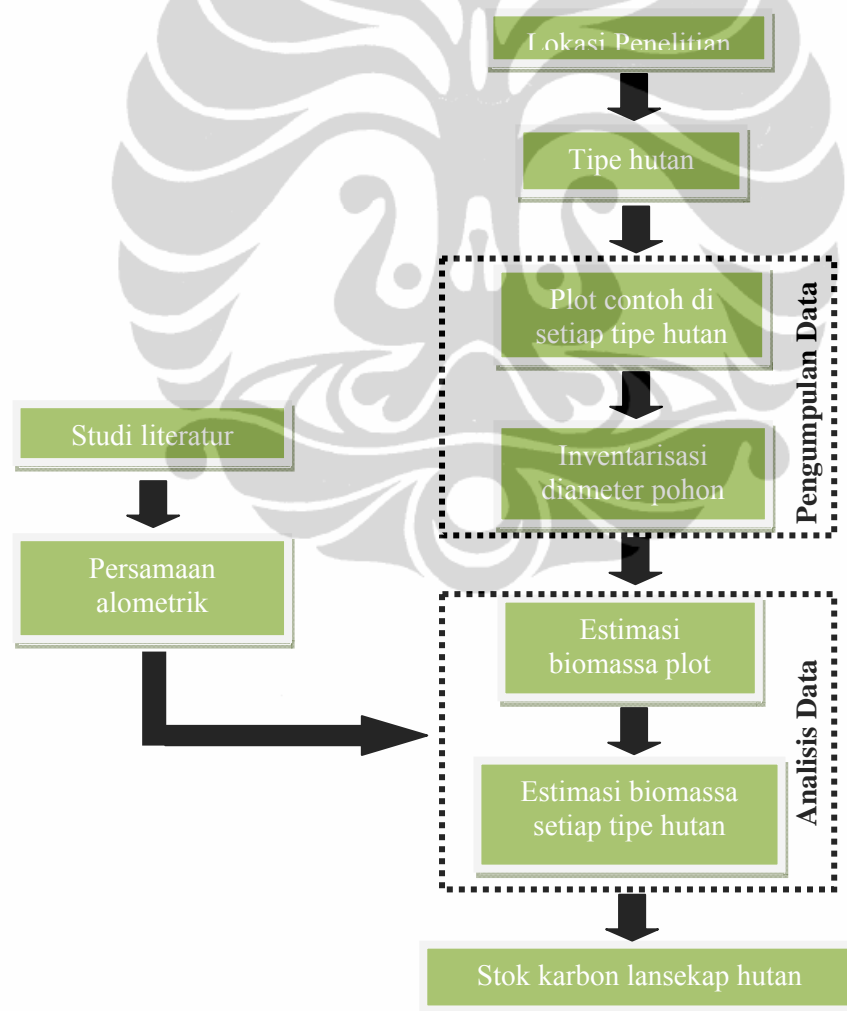
Alat-alat yang digunakan dalam penelitian terdiri dari *Global Positioning System* (GPS), kompas, altimeter, kamera, pengukur diameter pohon (*phi-band*),



timbangan, meteran 20 m untuk mengukur panjang dan lebar plot, gergaji, tali tambang dan gunting kecil. Alat pendukung survei antara lain parang dan perlengkapan pribadi (jas hujan, topi, dan sepatu lapangan). Bahan yang digunakan *tally sheet*, buku saku beserta alat tulis, pita warna untuk menandai titik awal dan batas sub plot, serta peta.

## B. Metodologi Penelitian

Secara umum, kegiatan penghitungan biomassa hutan terdiri dari tahap persiapan, pengumpulan data di lapangan dan analisis data. Proses kegiatan yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar I.1. Penjelasan setiap kegiatan diuraikan secara detail pada sub-sub bagian di bawah ini.



Gambar I.1. Proses kegiatan penghitungan biomassa hutan di DAS Batang Natal dan sekitarnya.

### Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di kawasan hutan di sekitar wilayah DAS Batang Natal dan sekitarnya, Kabupaten Mandailing Natal, Provinsi Sumatera Utara (Gambar I.2 dan Tabel I.1). Penelitian dilaksanakan pada bulan Mei 2012. Secara geografis, lokasi penelitian terletak antara koordinat  $0^{\circ} 35' - 0^{\circ} 50'$  Lintang Utara dan  $99^{\circ} 03' - 99^{\circ} 33'$  Bujur Timur dengan ketinggian antara 0 – 2.145 meter di atas permukaan laut.

Secara umum, topografi lokasi penelitian bervariasi dari datar (kelerengan 0-8%) sampai berbukit (kelerengan >40%). Lokasi penelitian di Sibanggor Julu dan Sopotinjak mewakili tipe hutan lahan kering pegunungan rendah (Whittmore 1984; Whitten *et al.* 2001) dengan ketinggian antara 1.331 m dpl – 1.472 m dpl. Lokasi penelitian untuk hutan rawa dan hutan mangrove bertopografi datar dengan ketinggian masing-masing 28 m dpl – 36 m dpl dan 3 m dpl – 26 m dpl.

### Klasifikasi Tipe Tutupan Hutan

Plot ukur dirancang mewakili bentang alam yang luas dengan keragaman tipe hutan, jenis tanah dan topografi. Dalam pengukuran biomassa atau karbon hutan, penempatan plot di lapangan dapat dilakukan dengan metode *stratified sampling* dan *simple sampling*. Metode *stratified sampling* menempatkan plot-plot ukur berdasarkan tipe tutupan hutan sehingga dapat meningkatkan ketelitian dengan jumlah plot yang sedikit. Sedangkan metode *simple sampling* tidak mengelompokkan lokasi penelitian berdasarkan tipe tutupan hutan sehingga variasi antar plot menjadi lebih besar.

Penelitian ini menempatkan plot ukur dengan metode *stratified systematic sampling* dengan mempertimbangkan keterwakilan variasi geologi dan ketinggian (Laumonier *et al.* 2010). Tutupan hutan di lokasi penelitian diklasifikasi menjadi kelas hutan lahan kering, hutan rawa dan hutan mangrove menggunakan citra satelit Landsat tahun 2011. Klasifikasi hutan mengacu pada sistem klasifikasi Direktorat Jenderal Planologi, Kementerian Kehutanan (Kementerian Kehutanan 2008). Proses klasifikasi tipe tutupan hutan menggunakan teknologi penginderaan jauh diuraikan secara detail pada bagian metodologi makalah kedua. Berdasarkan peta klasifikasi hutan tersebut, plot contoh ditempatkan di setiap tipe hutan.

## Pengumpulan Data

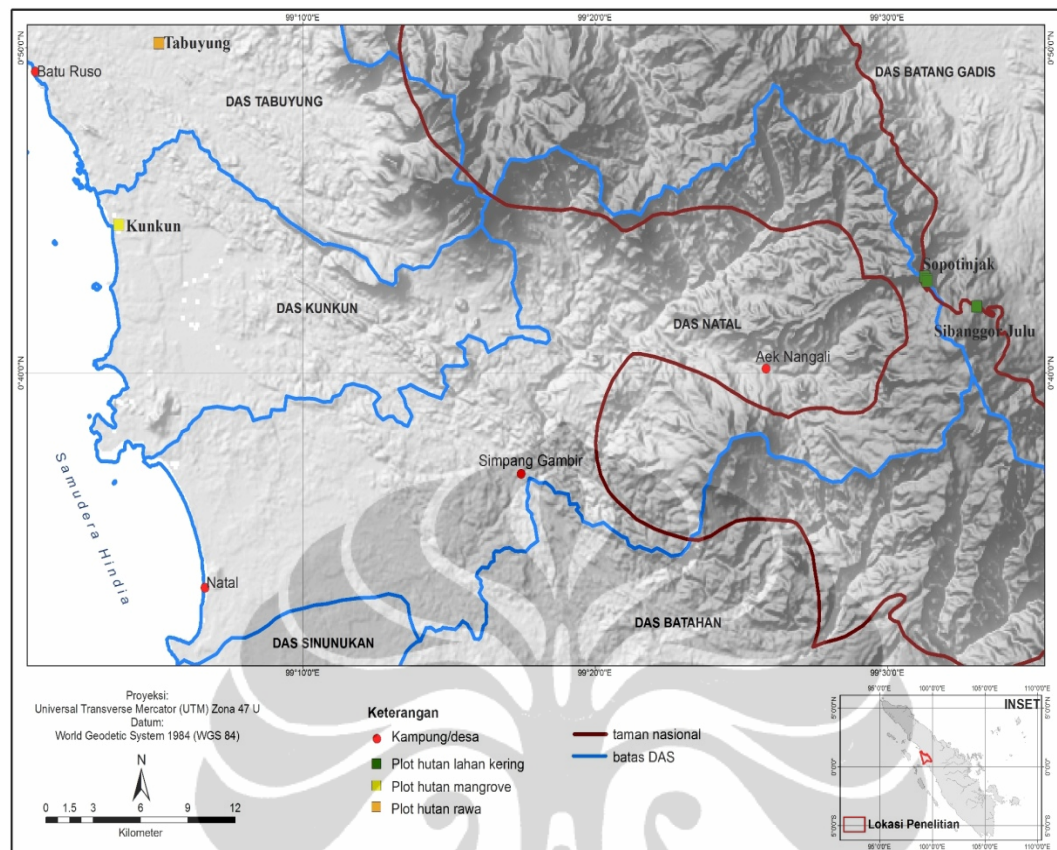
Dalam pengukuran karbon, plot ukur yang digunakan dapat berbentuk bujur sangkar atau persegi panjang (Hairiah *et al.* 2011; Manuri *et al.* 2011) dan lingkaran (Murdiyarso *et al.* 2009; Kauffman & Donato 2012). Plot ukur bujur sangkar atau persegi panjang lebih banyak digunakan karena kemudahan dalam menentukan pohon-pohon yang masuk plot. Sedangkan plot ukur lingkaran juga sering dipakai dalam kegiatan pengukuran karbon, tetapi sulit digunakan di lokasi luas dengan topografi yang miring.

Dalam penelitian ini, survei lapangan untuk pengukuran karbon dilakukan pada areal hutan dengan total luas 3,75 ha, yang tersebar di 4 lokasi yaitu pada hutan lahan kering, hutan rawa dan hutan mangrove (Gambar I.2 dan Tabel I.1). Di setiap lokasi, dibuat 3-4 plot ukur (PU) berbentuk persegi panjang dengan ukuran 20 m x 125 m (Manuri *et al.* 2011). Parameter yang diukur adalah tumbuhan mulai tingkat semai, pancang, tiang, dan pohon. Oleh karena itu, di dalam PU dibuat sub plot 2 m x 2 m untuk tingkat tumbuhan bawah dan semai dengan DBH (*Diameter at Breast Height*) kurang dari 2 cm dan tinggi kurang dari 5 m, 5 m x 5 m untuk tingkat pancang ( $2 \text{ cm} \leq \text{DBH} < 10 \text{ cm}$ ), 10 m x 10 m untuk tingkat pancang ( $10 \text{ cm} \leq \text{DBH} < 20 \text{ cm}$ ), dan 20 m x 20 m untuk tingkat pohon ( $20 \text{ cm} \leq \text{DBH} < 35 \text{ cm}$ ) dan 20 m x 125 m untuk pohon dengan  $\geq 35 \text{ cm}$ .

Plot ukur ditempatkan secara sistematis berjarak 50 m dengan PU pertama diletakkan secara acak. Setiap individu tingkat pohon yang terdapat di dalam PU diidentifikasi, dan diukur diameter batangnya. Diameter diukur pada ketinggian 1,3 m dari permukaan tanah untuk pohon tidak berbanir dan pada ketinggian 20 cm di atas banir tertinggi untuk pohon berbanir. Data yang dikumpulkan yaitu:

1. **No Pohon** : nomor urut pengukuran pohon
2. **Nama Pohon** : nama lokal pohon (sesuaikan dengan daftar nama lokal)
3. **Diameter** : diameter pohon setinggi dada (DBH) dalam centimeter (cm).
4. **Keterangan** : diisi semua informasi terkait dengan kondisi pohon, misalnya mati, berbanir 2 meter atau memiliki akar nafas setinggi 70 cm.

Pengukuran DBH dilakukan dengan menggunakan phi-band.



Gambar I.2. Lokasi penelitian di DAS Batang Natal dan sekitarnya.

Tabel I.1. Nama lokasi penelitian, total luas plot contoh dan fisiografi lokasi

| No Lokasi | Tipe hutan                           | Lintang     | Bujur       | Luas plot (ha) | Ketinggian (m dpl) | Geologi*        |
|-----------|--------------------------------------|-------------|-------------|----------------|--------------------|-----------------|
| 1         | Sibanggor Julu<br>Hutan lahan kering | 00°42'02,8" | 99°33'04,4" | 1,00           | 1.433-1.452        | Andesit, basalt |
| 2         | Sopotinjak<br>Hutan lahan kering     | 00°42'57,8" | 99°31'15,5" | 1,00           | 1.331-1.472        | Andesit, basalt |
| 3         | Kunkun<br>Hutan mangrove             | 00°44'33,5" | 99°03'42,9" | 1,00           | 3-26               | Alluvium        |
| 4         | Tabuyung<br>Hutan rawa               | 00°50'08,9" | 99°05'05,4" | 0,75           | 28-36              | Alluvium        |

\*: Laumonier *et al.* (1986)

## Analisis Data

### 1. Struktur Vegetasi

Berdasarkan data lapangan, kemudian dihitung kerapatan (K), kerapatan relatif (KR), frekuensi (F), frekuensi relatif (FR), dominansi (D), dominansi relatif (DR) dan indeks nilai kepentingan (INK) setiap spesies pohon yang dijumpai

dalam plot. Persamaan-persamaan yang dipakai mengacu Soerianegara dan Indrawan (2002):

$$K = \Sigma \text{ individu suatu spesies} / \text{luas seluruh plot} \quad (\text{I.1}).$$

$$KR = (K \text{ suatu spesies} / K \text{ seluruh spesies}) \times 100\% \quad (\text{I.2}).$$

$$F = \Sigma \text{ plot suatu spesies} / \Sigma \text{ seluruh plot} \quad (\text{I.3}).$$

$$FR = (K \text{ suatu spesies} / K \text{ seluruh spesies}) \times 100\% \quad (\text{I.4}).$$

$$D = \text{Luas bidang dasar suatu spesies} / \text{luas seluruh plot} \quad (\text{I.5}).$$

$$DR = (D \text{ suatu spesies} / D \text{ seluruh spesies}) \times 100\% \quad (\text{I.6}).$$

$$\text{INK} = KR + FR + DR \quad (\text{I.7}).$$

Sedangkan luas bidang dasar (LBD) suatu spesies dihitung dengan persamaan (Small *et al.* 2004; Hedl *et al.* 2009):

$$\text{LBD} = \pi \times (\text{DBH}/2)^2 \times 10^{-4} \quad (\text{I.8}).$$

## 2. Pendugaan Biomassa dan Karbon

Pendugaan kandungan biomassa dan karbon pohon dilakukan dengan menggunakan persamaan alometrik. Persamaan alometrik adalah hubungan antara salah satu parameter pohon, misalnya diameter atau tinggi, dengan jumlah total biomassa atau karbon yang terkandung dalam pohon tersebut. Penyusunan persamaan alometrik lokal merupakan kegiatan yang memakan waktu dan biaya, serta dilakukan secara destruktif atau ditebang. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan persamaan alometrik yang sudah ada untuk hutan tropis.

Biomassa pohon (B) di atas permukaan tanah pada tipe hutan lahan kering dihitung dengan persamaan umum dari Brown (1997), yang diperbaharui oleh Pearson *et al.* (2005):

$$B = 0,118 \times \text{DBH}^{2,53} \quad (\text{I.9}).$$

Persamaan tersebut banyak digunakan dalam kegiatan pengukuran karbon di Indonesia dengan hasil yang konsisten dan baik (Onrizal *et al.* 2008; Laumonier *et al.* 2010). Untuk biomassa pada tipe hutan rawa dihitung dengan persamaan dari Manuri *et al.* (2011) berdasarkan pengukuran di kawasan hutan Merang, Sumatera Selatan:

$$B = 0,206284 \times \text{DBH}^{2,4511} \quad (\text{I.10}).$$

Persamaan alometrik dari Merang tersebut merupakan satu-satunya persamaan alometrik yang sudah disusun untuk hutan rawa Sumatera. Sedangkan biomassa di tipe hutan mangrove dihitung menggunakan persamaan Komiyama *et al.* (2005):

$$B = 0,251 \times \rho \times \text{DBH}^{2,46} \quad (\text{I.11}).$$

dimana B adalah biomassa per pohon (kg), DBH adalah diameter setinggi dada (cm) dan  $\rho$  adalah kerapatan kayu ( $\text{g/cm}^3$ ). Sampai saat ini, belum ada persamaan alometrik lokal untuk hutan mangrove di Indonesia yang disusun.

Biomassa pohon dihitung totalnya dalam masing-masing sub plot dan diekstrapolasi ke dalam satuan Mg (ton) per hektar ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ). Proses ekstrapolasi harus mempertimbangkan luasan sub plot. Penghitungan total biomassa dalam sebuah plot digunakan persamaan berikut (Manuri *et al.* 2011):

$$\text{BP plot} = ((\text{BP subplot B}) * 10/\text{subplot B}) + ((\text{BP subplot C}) * 10/\text{subplot C}) + ((\text{BP subplot D}) * 10/\text{subplot D}) + ((\text{BP subplot E}) * 10/\text{subplot E}) \quad (\text{I.12}).$$

dimana:

BPplot : Total biomassa pohon dalam plot ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )

BP subplot B : Total biomassa pohon pada subplot B (kg)

BP subplot C : Total biomassa pohon pada subplot C (kg)

BP subplot D : Total biomassa pohon pada subplot D (kg)

BP subplot E : Total biomassa pohon pada subplot E (kg)

subplot B : Luas Subplot B ( $\text{m}^2$ )

subplot C : Luas Subplot C ( $\text{m}^2$ )

subplot D : Luas Subplot D ( $\text{m}^2$ )

subplot E : Luas Subplot E ( $\text{m}^2$ )

Karbon (C) yang tersimpan dalam pohon adalah setengah (50%) dari biomassa pohon tersebut (Brown 1999; IPCC 2003). Berdasarkan IPCC (2006), angka *carbon fraction* yang digunakan yaitu 0,47. Oleh karena belum ada angka *carbon fraction* untuk tipe hutan lahan kering dan hutan rawa, maka pendugaan simpanan karbon untuk kedua tipe hutan tersebut dihitung dengan persamaan (IPCC 2006):

$$C = 0,47 \times \text{biomassa} \quad (\text{I.13}).$$

Sedangkan pendugaan simpanan karbon (C) untuk hutan mangrove dihitung dengan persamaan (Kauffman *et al.* 2011):

$$C = 0,46 \times \text{biomassa} \quad (\text{I.14}).$$

### Uji Nilai Akurasi Pengukuran Biomassa

Uji statistik dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi hasil pengukuran biomassa setiap tipe hutan di lapangan. Uji statistik terdiri dari penghitungan *standard deviation* (s), *standard error* ( $S\bar{y}$ ) dan *coefficient of variation* (CV).

Penghitungan *standard deviation* (s) dilakukan dengan menggunakan persamaan:

$$s = \sqrt{\frac{\sum y^2 - (\sum y)^2/n}{n-1}} \quad (\text{I.15}).$$

dimana y adalah nilai per plot dan  $\bar{y}$  adalah nilai rata-rata potensi, sedangkan n adalah jumlah plot. Sedangkan *standard error* ( $S\bar{y}$ ) dihitung dengan persamaan :

$$S\bar{y} = \sqrt{\frac{s^2}{n}} \quad (\text{I.16}).$$

Selanjutnya selang kepercayaan dapat dihitung dengan cara:

$$\text{Nilai rata-rata} + t * (\text{standard error}) \text{ atau } \bar{y} + tS\bar{y} \quad (\text{I.17}).$$

dimana nilai t digunakan angka 2. Persentase *standard error* dihitung dengan persamaan:

$$SE\% = \frac{tS\bar{y}}{\bar{y}} * 100 \quad (\text{I.18}).$$

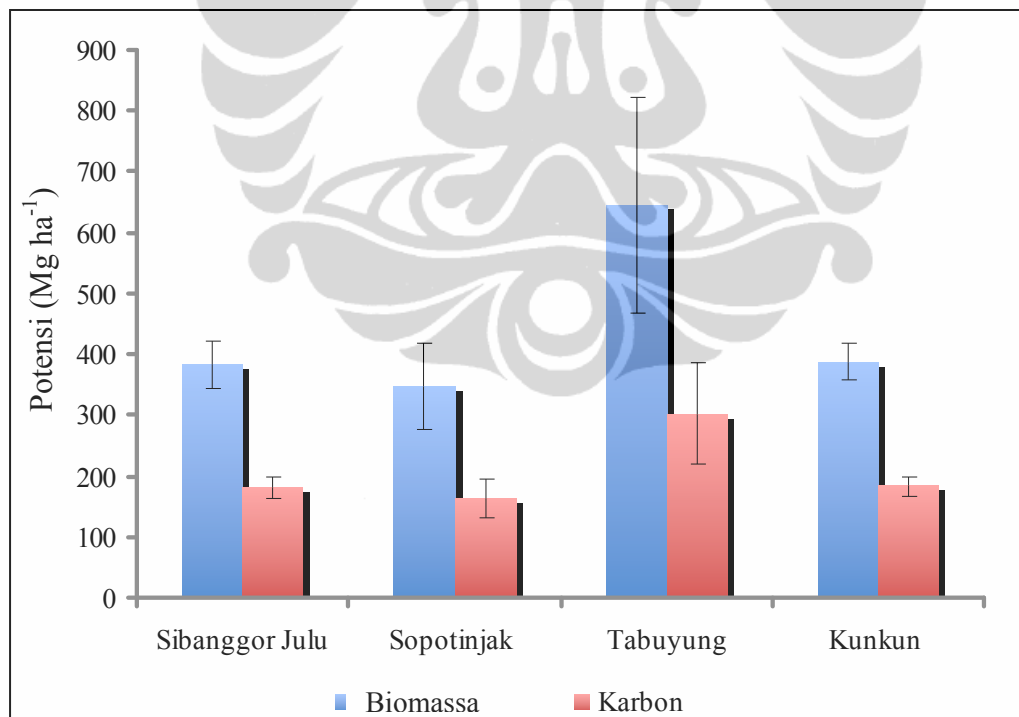
Untuk menghitung variasi antar plot (*Coefficient of Variation* - CV) dapat menggunakan persamaan di bawah:

$$CV\% = \frac{S\bar{y} * 100}{\bar{y}} \quad (\text{I.19}).$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Biomassa Atas Permukaan (*Aboveground Biomass*) dan Stok Karbon Berdasarkan Tipe Hutan

Hutan lahan kering yang menjadi lokasi penelitian umumnya masih merupakan hutan primer karena plot penelitian Sibanggor Julu dan Sopotinjak berada di dalam kawasan Taman Nasional Batang Gadis (TNBG). Biomassa atas permukaan (BAP) atau *aboveground biomass* (AGB) untuk tipe hutan lahan kering dari plot ukur dibuat berkisar antara 331,84 dan 423,89 Mg ha<sup>-1</sup>, dengan rerata  $382,26 \pm 38,06$  Mg ha<sup>-1</sup> di blok hutan Sibanggor Julu (Gambar I.3 dan Lampiran I.1). Sedangkan BAP untuk tipe hutan lahan kering di blok hutan Sopotinjak, menunjukkan simpanan biomassa berkisar antara 273,97 dan 438,82 Mg ha<sup>-1</sup>, dengan rerata  $347,71 \pm 70,50$  Mg ha<sup>-1</sup>. Perbedaan potensi biomassa dari kedua lokasi tersebut disebabkan jumlah individu pohon kelas diameter  $\geq 35$  cm di Sopotinjak lebih sedikit dibandingkan Sibanggor Julu. Selain itu, terdapat sub



Gambar I.3. Biomassa atas permukaan (BAP) dan stok karbon berdasarkan lokasi plot contoh.



plot kosong (tidak ditemukan individu pohon dengan diameter yang ditentukan) di Sopotinjak.

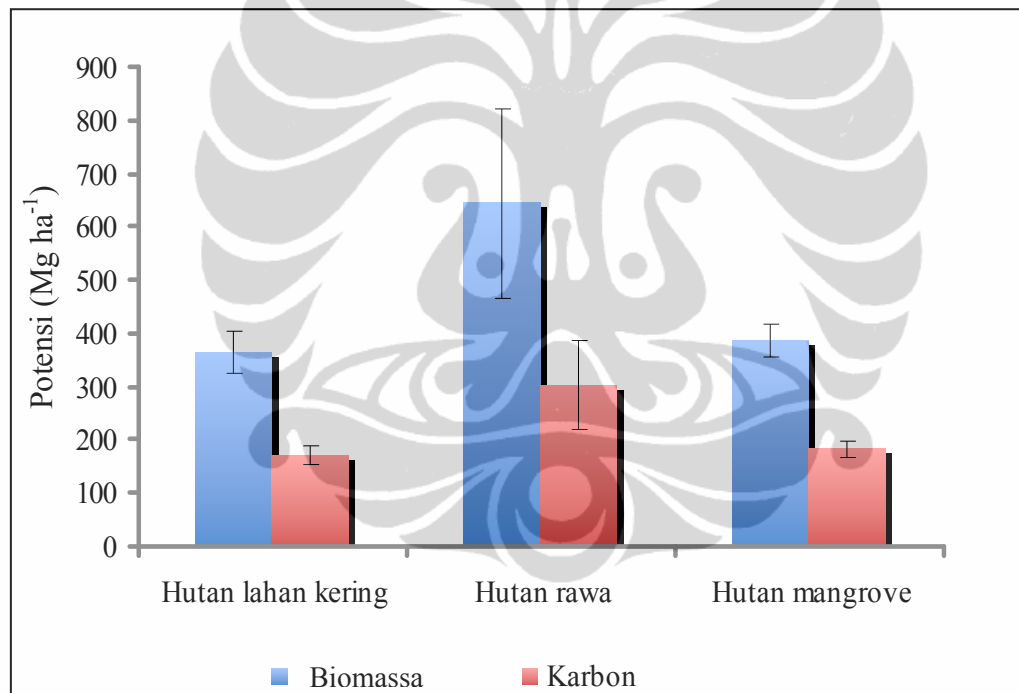
Dibandingkan dengan potensi biomassa hutan lahan kering dataran tinggi Taman Nasional Gunung Gede Pangrango seksi Nagrak, Sukabumi (Masripatin *et al.* 2010) dengan rerata  $206,32 \text{ Mg ha}^{-1}$ , hasil penelitian menunjukkan simpanan biomassa yang jauh lebih tinggi. Sedangkan jika dibandingkan dengan simpanan biomassa hutan lahan kering dataran rendah di Malinau, Kalimantan Timur (Samsuedin *et al.* 2009) yang mencapai antara  $460,20$  dan  $529,40 \text{ Mg ha}^{-1}$ , hasil penelitian menunjukkan nilai potensi yang lebih rendah. Hal tersebut mengindikasikan bahwa simpanan biomassa hutan lahan kering pegunungan lebih rendah dibandingkan dengan hutan lahan kering dataran rendah.

Biomassa untuk tipe hutan rawa yang berlokasi di Tabuyung memiliki kandungan berkisar antara  $469,32$  dan  $759,78 \text{ Mg ha}^{-1}$ , dengan rerata  $643,95 \pm 177,71 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Hasil tersebut jauh lebih tinggi dibandingkan dengan biomassa hutan rawa gambut primer di areal PT. Diamond Raya Timber, Riau (Istomo *et al.* 2009) yang mencapai  $252,00 \text{ Mg ha}^{-1}$  dan hutan rawa gambut Merang, Sumatera Selatan (Manuri *et al.* 2011) yang mencapai  $254 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Untuk tipe hutan mangrove di Kunkun, simpanan biomassa berkisar antara  $347,43$  dan  $419,37 \text{ Mg ha}^{-1}$ , dengan rerata  $387,37 \pm 31,10 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Secara berurutan, rerata stok karbon di blok hutan Sibanggor Julu, Sopotinjak, Tabuyung, dan Kunkun adalah  $179,66 \pm 17,89 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ,  $163,42 \pm 33,13 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ,  $302,66 \pm 83,52 \text{ Mg C ha}^{-1}$  dan  $178,19 \pm 14,31 \text{ Mg C ha}^{-1}$  (Gambar I.3 dan Lampiran I.1).

Berdasarkan tipe hutan yang ada di DAS Batang Natal dan sekitarnya (Gambar I.4 dan Lampiran I.2), kandungan biomassa untuk tipe hutan lahan kering berkisar antara  $273,97$  dan  $438,82 \text{ Mg ha}^{-1}$ , dengan rerata  $364,99 \pm 39,32 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Biomassa hutan rawa memiliki kandungan biomassa berkisar antara  $469,32$  dan  $759,78 \text{ Mg ha}^{-1}$ , dengan rerata  $643,95 \pm 177,71 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Untuk tipe hutan mangrove, biomassa berkisar antara  $347,43$  dan  $419,37 \text{ Mg ha}^{-1}$ , dengan rerata  $387,37 \pm 31,10 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Walaupun pengukuran biomassa dilakukan pada 8 plot, rerata biomassa hutan lahan kering lebih rendah dibandingkan biomassa hutan rawa yang diukur hanya dari 3 plot. Hal tersebut disebabkan karena di

hutan rawa ditemukan pohon berdiameter  $\geq 1$  m lebih banyak dibandingkan dengan hutan lahan kering sehingga berpengaruh nyata terhadap total biomassa.

Rerata stok karbon di tipe hutan lahan kering berdasarkan data pengukuran lapangan sebesar  $171,54 \pm 18,48$  Mg C ha<sup>-1</sup>. Tipe hutan rawa memiliki stok karbon sebesar  $302,66 \pm 83,52$  Mg C ha<sup>-1</sup>. Sedangkan tipe hutan mangrove memiliki stok karbon sebesar  $178,19 \pm 14,31$  Mg C ha<sup>-1</sup> (Gambar I.4 dan Lampiran I.2). Menurut Murdiyarso dan Wasrin (1995), stok karbon hutan tropis Indonesia berkisar antara 161-300 Mg C ha<sup>-1</sup>. Sedangkan Lasco (2002) menyatakan bahwa cadangan karbon di hutan tropik Asia berkisar antara 40-250 Mg C ha<sup>-1</sup>. Sehingga hasil penelitian kurang lebih sesuai dengan apa yang dinyatakan kedua referensi tersebut.



Gambar I.4. Biomassa atas permukaan (BAP) dan stok karbon berdasarkan tipe hutan.

Penghitungan biomassa dan karbon pada tipe hutan lahan kering pegunungan belum pernah dilakukan sebelumnya. Sebagian besar publikasi penghitungan biomassa untuk hutan lahan kering lebih banyak dilakukan di daerah dataran rendah (Hairiah & Sitompul 2000; Samalca 2007; Onrizal *et al.* 2008; Laumonier *et al.* 2010). Berdasarkan penelitian yang telah dipublikasikan

(Tabel I.2), hutan lahan kering dataran rendah Sumatera memiliki rerata biomassa 406 Mg ha<sup>-1</sup> (Hairiah & Sitompul 2000), 544,4 – 613,6 Mg ha<sup>-1</sup> (Onrizal *et al.* 2008) dan 360,6 Mg ha<sup>-1</sup> (Laumonier *et al.* 2010). Hasil penelitian menunjukkan hutan lahan kering pegunungan memiliki simpanan biomassa 364,99 Mg ha<sup>-1</sup>.

Tabel I.2. Publikasi biomassa atas permukaan (BAP) untuk tipe hutan lahan kering dataran rendah di Indonesia

| Lokasi                                    | Jumlah Plot | Ukuran Plot (ha) | Rerata BAP (Mg ha <sup>-1</sup> ) | Diameter (cm) | Acuan                          |
|---|-------------|------------------|-----------------------------------|---------------|--------------------------------|
| Pasirmayang, Jambi                        | 2           | 0,02             | 406                               | ≥ 5           | Hairiah & Sitompul (2000)      |
| Berau, Kalimantan Timur                   | 143         | 0,05             | 328                               | ≥ 10          | Samalca (2007)                 |
| Batang Toru, Sumatera Utara               | 20          | 0,04             | 586,4                             | ≥ 10          | Onrizal <i>et al.</i> (2008)   |
| Sumatera Tengah dan Selatan               | 702         | 0,1              | 360,6                             | ≥ 10          | Laumonier <i>et al.</i> (2010) |
| Batang Gadis-Batang Natal, Sumatera Utara | 8           | 0,25             | 364,99                            | ≥ 2           | Penelitian ini                 |

Secara umum, biomassa hutan tropis pegunungan lebih rendah dibandingkan dengan hutan tropis dataran rendah. Hal tersebut menunjukkan bahwa ketinggian berpengaruh terhadap komposisi jenis dan kelas diameter (Kuswanda & Antoko 2008; Onrizal *et al.* 2008). Selain itu, kondisi topografi, geologi dan jenis tanah berpengaruh terhadap variasi kandungan biomassa dan karbon (Laumonier *et al.* 2010).

Perbedaan hasil penelitian di atas kemungkinan disebabkan oleh perbedaan metode dan pendekatan yang diterapkan setiap peneliti. Perbedaan antara lain terkait dengan persamaan alometrik yang dipakai, jumlah dan ukuran plot, serta kondisi hutan (sekunder dan primer). Persamaan alometrik yang dipakai ada yang bersifat generik (Brown 1997; Komiyama *et al.* 2005) dan lokal (Ketterings *et al.* 2001; Manuri *et al.* 2011), ada yang menggunakan hanya variabel diameter pohon (Brown 1997; Samalca 2007; Manuri *et al.* 2011) dan ada juga yang menambahkan dengan variabel kepadatan kayu (Ketterings *et al.* 2001; Chave *et al.* 2005). Penelitian ini sendiri menggunakan persamaan alometrik generik yang disusun Brown (1997) karena belum ada persamaan lokal yang disusun.

Batasan diameter pohon yang diukur dari penelitian yang telah dipublikasikan di atas juga berbeda-beda (Tabel I.2). Pengukuran biomassa oleh Hairiah dan Sitompul (2000) dilakukan pada pohon dengan diameter  $\geq 5$  cm, sedangkan Samalca (2007), Onrizal *et al.* (2008) dan Laumonier *et al.* (2010) fokus pada pohon diameter  $\geq 10$  cm. Walaupun hampir 60% total biomassa hutan terkonsentrasi pada kelas diameter 20 cm -70 cm (Laumonier *et al.* 2010), tetapi biomassa pohon diameter  $\leq 5$  cm tetap mempengaruhi total potensi biomassa hutan di suatu lokasi.

Penelitian biomassa hutan banyak dilakukan pada tipe hutan sekunder (Ketterings *et al.* 2001; van Noordwijk *et al.* 2002; Samalca 2007), dan hanya beberapa yang dilakukan pada hutan primer (Onrizal *et al.* 2008; Basuki *et al.* 2009; Laumonier *et al.* 2010). Hasil pengukuran karbon di areal hutan HPH (Hak Pengusahaan Hutan) yang dilakukan Samalca (2007) lebih kecil dibandingkan dengan biomassa hutan primer (Onrizal *et al.* 2008; Laumonier *et al.* 2010). Hal tersebut menunjukkan bahwa kegiatan penebangan kayu dan pembukaan hutan oleh HPH berdampak pada penurunan potensi biomassa hutan (Lasco 2002).

Pada tipe hutan rawa, jika dibandingkan dengan hasil penelitian Murdiyarso *et al.* (2009) di kawasan rawa gambut Taman Nasional Tanjung Puting dengan rerata  $400 \text{ Mg ha}^{-1}$ , hasil penelitian menunjukkan data yang hampir sama. Sedangkan dibandingkan dengan hasil studi Onrizal *et al.* (2010) di kawasan Suaka Margasatwa Rawa Singkil dengan rerata  $175,48 \text{ Mg ha}^{-1}$ , hasil analisis menunjukkan kandungan biomassa di lokasi penelitian jauh lebih tinggi. Sebagian besar biomassa hutan rawa, khususnya rawa gambut, berasal dari biomassa bawah permukaan (*belowground biomass*). Biomassa bawah permukaan (tanah dan gambut) berkontribusi lebih dari 60% dari total biomassa hutan rawa (Murdiyarso *et al.* 2009; Onrizal *et al.* 2010). Tetapi dalam penelitian ini, biomassa tanah dan gambut tidak dihitung. Sehingga perlu dilakukan pengukuran karbon bawah permukaan sebagai tindak lanjut dari penelitian ini.

Untuk hutan mangrove, biomassa di wilayah penelitian menunjukkan nilai lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian yang dilakukan Komiyama *et al.* (1988) di Halmahera. Hutan mangrove di Halmahera memiliki kandungan BAP antara  $406,6$  dan  $436,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Hal tersebut dimungkinkan karena hutan

mangrove di Halmahera masih hutan primer, sedangkan hutan mangrove di lokasi penelitian pernah dieksploitasi untuk industri kayu arang. Tetapi kandungan BAP mangrove di lokasi penelitian lebih tinggi dibandingkan hutan mangrove di pesisir timur Sumatera (Kusmana *et al.* 1992) dengan biomassa  $279 \text{ Mg ha}^{-1}$  dan Taman Nasional Tanjung Puting serta Taman Nasional Bunaken (Murdiyarso *et al.* 2009) dengan biomassa masing-masing mencapai  $285,8 \text{ Mg ha}^{-1}$  dan  $207,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Perbedaan biomassa disebabkan karena perbedaan jenis vegetasi dan tingkat perambahan hutan yang terjadi. Hutan mangrove di Taman Nasional Tanjung Puting telah dikonversi menjadi areal tambak (Murdiyarso *et al.* 2009) dan mangrove di pesisir timur Sumatera telah dieksploitasi oleh perusahaan HPH (Kusmana *et al.* 1992).

## **B. Nilai Akurasi Pengukuran Biomassa**

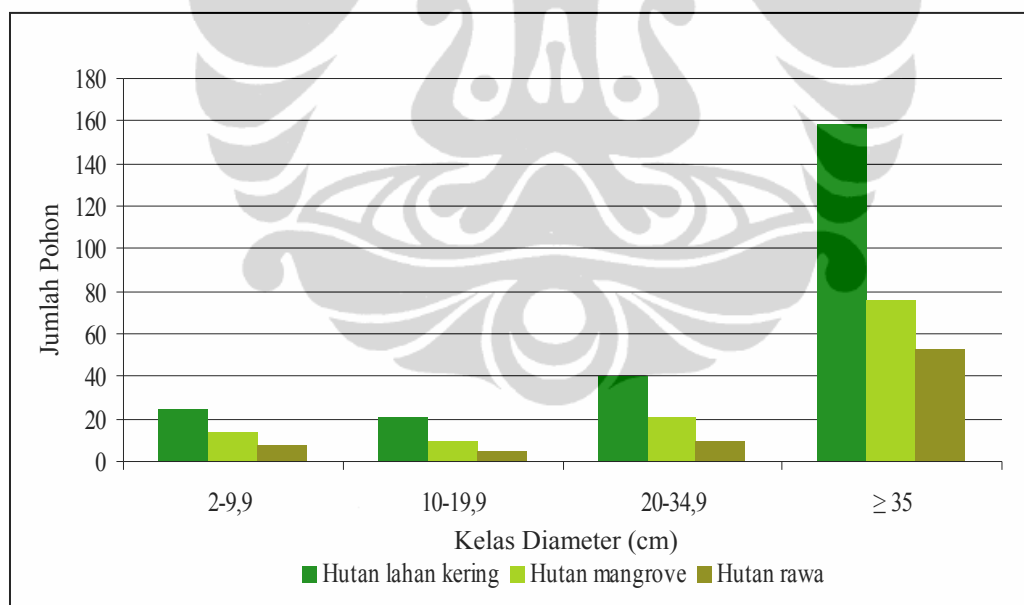
Kesalahan di dalam pengukuran karbon terjadi pada berbagai tingkatan kegiatan, mulai saat desain sampling, pengukuran lapangan, penggunaan model alometrik (Chave *et al.* 2004; Manuri *et al.* 2011). Pengukuran karbon menggunakan bentuk dan jumlah plot yang berbeda untuk tipe hutan yang sama akan menghasilkan tingkat akurasi yang berbeda pula. Kesalahan pada saat pengukuran lapangan dapat terjadi akibat dari kesalahan alat, kesalahan pencatatan dan kesulitan pengukuran diameter batang berbanir (Chave *et al.* 2004). Oleh karena itu, IPCC (2003) menyarankan pentingnya penghitungan nilai *uncertainty* pengukuran karbon.

Hasil uji nilai akurasi penghitungan biomassa untuk setiap tipe hutan disajikan pada lampiran I.3, I.4 dan I.5. Kesalahan standar (*standard error*) untuk tipe hutan lahan kering sebesar 10,7%, hutan mangrove sebesar 8,5% dan hutan rawa dengan nilai akurasi 27,6%. Hutan rawa memiliki *standard error* yang tinggi karena kemungkinan disebabkan oleh jumlah plot sedikit (3 plot). Kesalahan dalam penghitungan biomassa dan karbon hutan terjadi pada saat pengukuran di lapangan dan penggunaan alometrik yang berbeda (Samalca 2007; Laumonier *et al.* 2010; Manuri *et al.* 2011). Selain itu, Laumonier *et al.* (2010) menyatakan bahwa jumlah dan ukuran plot contoh juga memberikan pengaruh terhadap tingkat akurasi penghitungan.

Berdasarkan GOFC-GOLD (2010), batasan *standard error* yang diharapkan dalam pengukuran karbon berkisar antara 0% sampai 20%. Dengan demikian, *standard error* pengukuran biomassa untuk hutan lahan kering dan hutan mangrove sesuai dengan rentang standar yang ditetapkan tersebut. Sedangkan untuk hutan rawa, nilai akurasi melebihi dari ketentuan GOFC-GOLD (2010), sehingga perlu ditingkatkan akurasi dengan kegiatan pengukuran lanjutan.

### C. Keragaman, Struktur dan Komposisi Vegetasi Berdasarkan Tipe Hutan

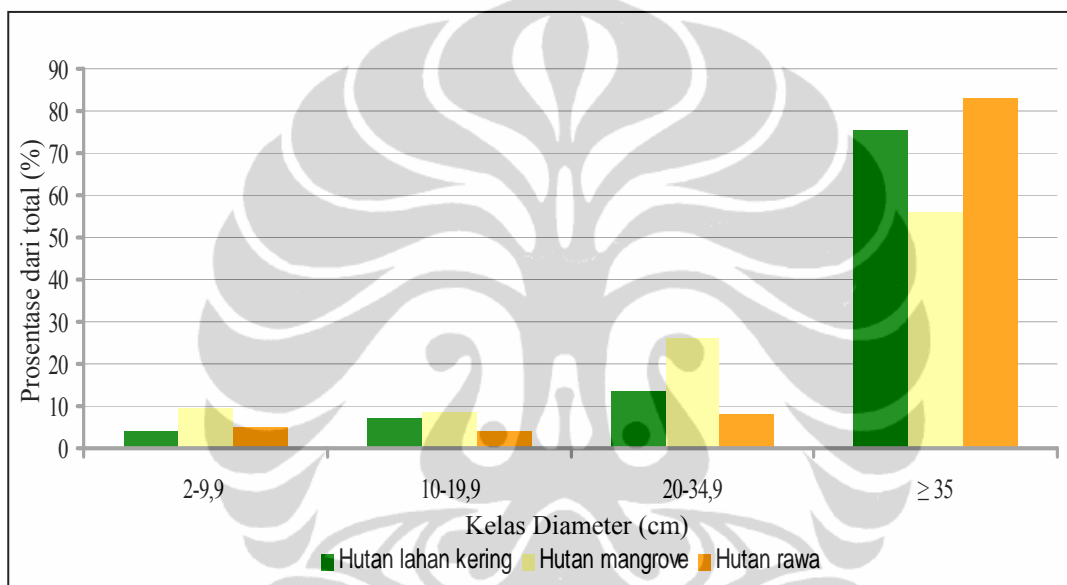
Dari 15 plot contoh yang dibuat di ketiga tipe hutan di DAS Batang Natal dan sekitarnya, berhasil dihitung sebanyak 419 individu pohon, terdiri dari 57 spesies. Sebaran jumlah individu pohon berdasarkan kelas diameter disajikan pada Gambar I.5. Lebih dari 60% dari total individu pohon yang dihitung memiliki diameter lebih dari 35 cm. Oleh karena itu, sebagian besar biomassa hutan berasal dari pohon dengan diameter besar.



Gambar I.5. Sebaran jumlah pohon berdasarkan kelas diameter untuk setiap tipe hutan.

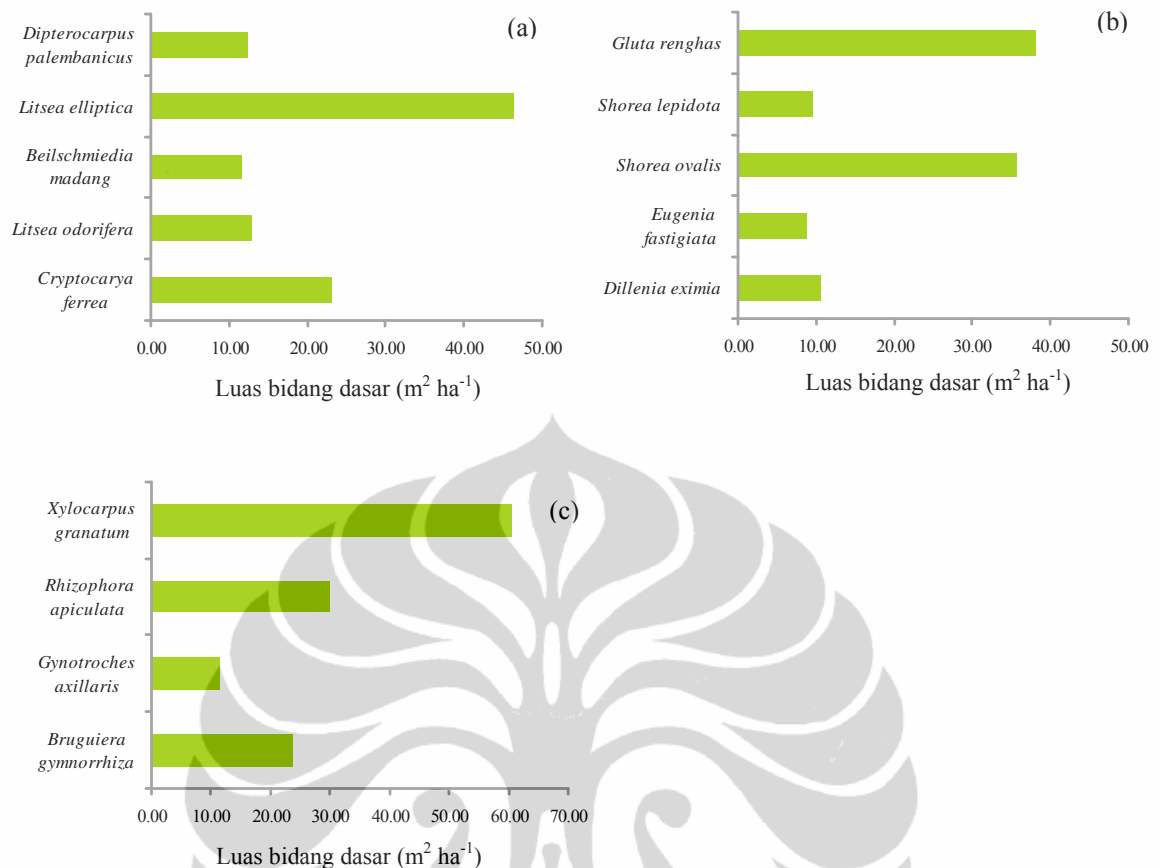
Secara keseluruhan, baik untuk tipe hutan lahan kering, hutan rawa dan hutan mangrove, sebagian besar BAP terpusat di kelas diameter  $\geq 35$  cm (Gambar I.6). Tipe hutan lahan kering, pohon dengan diameter  $\geq 35$  cm berkontribusi

75,62% dari total BAP. Pohon dengan kelas diameter 20 - < 35 cm berkontribusi 13,28% dari total BAP dan sisanya sekitar 11,10% dari total BAP terkonsentrasi di pohon kelas diameter < 20 cm. Pada tipe hutan rawa, pohon dengan diameter  $\geq$  35 cm berkontribusi sekitar 83,16% dari total BAP dan 16,84% biomassa berasal dari pohon dengan diameter < 35 cm. Demikian pula dengan tipe hutan mangrove, sekitar 55,88% dari total BAP diperoleh dari pohon dengan kelas diameter  $\geq$  35 cm, 26,10% dari kelas diameter 20 - < 35 cm, dan 18,02% berasal dari pohon dengan diameter < 20 cm (Gambar I.6).



Gambar I.6. Sebaran biomassa di atas permukaan tanah berdasarkan kelas diameter pohon untuk setiap tipe hutan.

*Litsea elliptica* memiliki luas bidang dasar (LBD) atau *basal area* (BA) tertinggi, 46,49 m<sup>2</sup>/ha, dari seluruh spesies hutan lahan kering (Gambar I.7 dan Lampiran I.6). Dibandingkan hasil penelitian Kartawinata *et al.* (2004) pada tipe hutan lahan kering dataran rendah Taman Nasional Batang Gadis, *Shorea gibbosa* merupakan spesies dengan LBD dominan. *Xylocarpus granatum* merupakan spesies dengan LBD tertinggi dengan 60,55 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> untuk tipe hutan mangrove. Sedangkan untuk hutan rawa, *Gluta renghas* memiliki LBD tertinggi yaitu 38,12 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>. Lima spesies dengan nilai LBD tertinggi untuk setiap tipe hutan disajikan pada Gambar I.7.

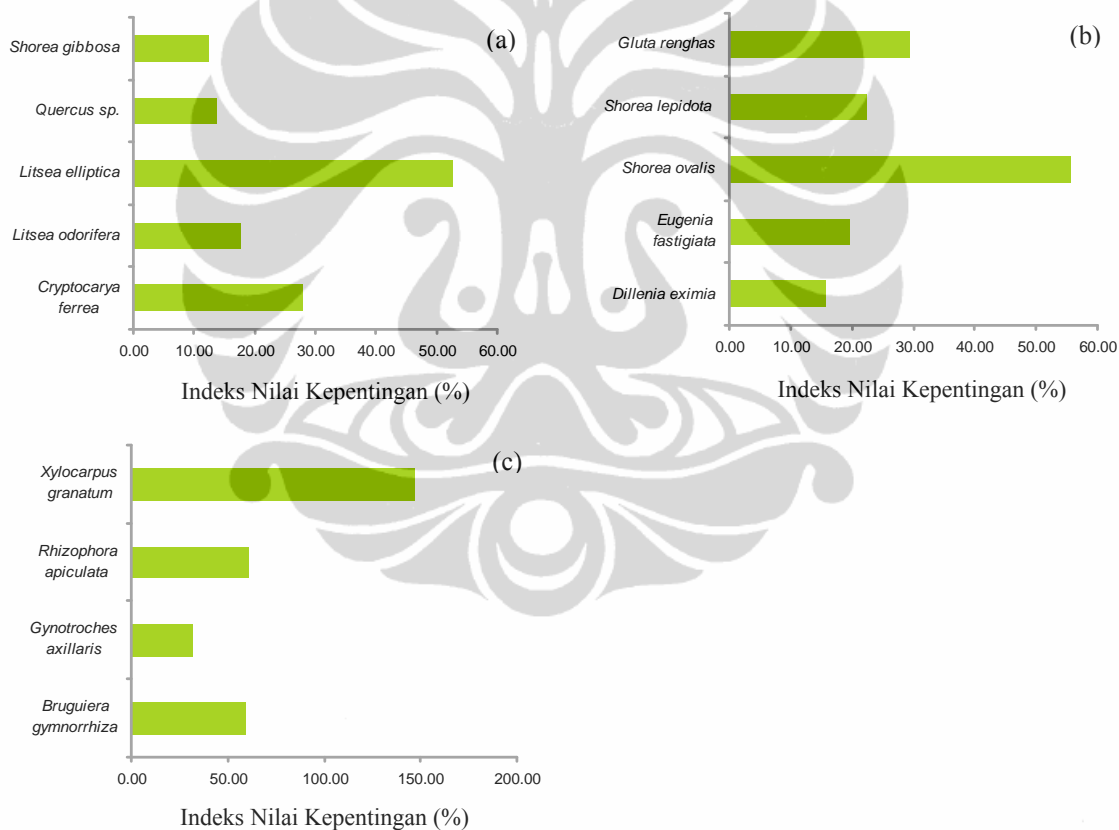


Gambar I.7. Luas bidang dasar (LBD) pohon untuk 5 spesies tertinggi (a) hutan lahan kering, (b) hutan rawa, dan (c) hutan mangrove. Hutan mangrove hanya teridentifikasi total 4 spesies.

Beberapa spesies memiliki nilai LBD sangat rendah, mendekati nol, karena hanya diwakili satu individu pohon dengan diameter kecil. Spesies-spesies tersebut antara lain *Calophyllum karoense* (0,42 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>), *Alstonia scholaris* (0,72 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>), *Litsea firma* (0,77 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>), dan *Artocarpus elasticus* (0,45 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) untuk hutan lahan kering, serta *Vatica wallichii* (0,45 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) dan *Dipterocarpus hasseltii* (0,55 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) untuk hutan rawa (Lampiran I.6). Tidak demikian dengan hutan mangrove, karena spesies yang tersurvei hanya 4 spesies dan semuanya terwakili lebih dari satu individu pohon. Variasi bentang alam harus dipertimbangkan dalam memahami struktur dan dinamika hutan. Kondisi topografi, geologi dan jenis tanah sangat mempengaruhi jumlah pohon, luas bidang dasar (*basal area*) dan biomassa suatu ekosistem hutan (Laumonier *et al.* 2010).



Berbanding lurus dengan LBD, *Litsea elliptica* juga merupakan spesies terpenting yang tersurvei dengan Indeks Nilai Kepentingan (INK) 52,57% untuk tipe hutan lahan kering (Gambar I.8), diikuti secara berturut-turut *Cryptocarya ferrea* (27,86), *Litsea odorifera* (17,77%), *Quercus sp.* (13,96%) dan *Shorea gibbosa* (12,38%). *Xylocarpus granatum* merupakan spesies dengan INK tertinggi pada tipe hutan mangrove. Sedangkan untuk hutan rawa, spesies dengan INK tertinggi adalah *Shorea ovalis* dengan INK 55,73%, diikuti oleh *Gluta renghas* (29,33%), *Shorea lepidota* (22,28%), *Eugenia fastigiata* (19,63%) dan *Dillenia eximia* (15,66%). Lima spesies dengan INK tertinggi untuk ketiga tipe hutan disajikan pada Gambar I.8.



Gambar I.8. Indeks Nilai Kepentingan (INK) pohon untuk 5 spesies tertinggi (a) hutan lahan kering, (b) hutan rawa, dan (c) hutan mangrove. Hutan mangrove hanya teridentifikasi total 4 spesies.

Indeks Nilai Kepentingan (INK) merupakan indikator untuk mengetahui komposisi tumbuhan pada suatu tipe hutan (Mueller-Dombois & Ellenberg 1974;

Odum 1996). Hutan lahan kering pegunungan dan dataran rendah di sekitar kawasan TN Batang Gadis didominasi oleh kelompok *Dipterocarpaceae* (Kartawinata *et al.* 2004; Kuswanda & Antoko 2008; Kuswanda 2010). *Shorea gibbosa* merupakan spesies paling dominan di kawasan hutan TN Batang Gadis dan sekitarnya. Menurut Kartawinata *et al.* (2004), spesies *Dipterocarpaceae* mencakup 18,4% dari semua spesies tumbuhan yang ditemukan di TN Batang Gadis. Berdasarkan penelitian Soemarno (2001) dan Priatna *et al.* (2004), spesies dari family *Dipterocarpaceae* mendominasi di areal bekas tebangan Sekundur, Taman Nasional Gunung Leuser. Abdulhadi *et al.* (1987) menyebutkan spesies tumbuhan dari famili *Dipterocarpaceae* di hutan Sumatera sangat beragam meskipun jumlahnya lebih sedikit dibandingkan dengan hutan di Kalimantan dan Semenanjung Malaya.

## KESIMPULAN

Rerata simpanan biomassa di atas permukaan tanah (BAP) di DAS Batang Natal dan sekitarnya untuk tipe hutan lahan kering mencapai  $364,99 \text{ Mg ha}^{-1}$ , hutan rawa  $643,95 \text{ Mg ha}^{-1}$  dan hutan mangrove  $387,37 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Apabila dikalikan dengan luas masing-masing tipe hutan tahun 2011 yaitu 54.433 ha untuk hutan lahan kering, 12.569 ha untuk hutan rawa dan 958 ha untuk hutan mangrove, maka total simpanan biomassa untuk hutan lahan kering, hutan rawa dan hutan mangrove berturut-turut mencapai 19,87 juta Mg, 8,09 juta Mg dan 0,37 juta Mg. Angka tersebut mengindikasikan bahwa lokasi penelitian memiliki potensi karbon hutan yang tinggi.

Potensi biomassa tersebut di atas setara dengan 36,46 juta  $\text{Mg CO}_2\text{e}$  untuk hutan lahan kering, 14,85 juta  $\text{Mg CO}_2\text{e}$  untuk hutan rawa dan 0,68 juta  $\text{Mg CO}_2\text{e}$  untuk hutan mangrove. Secara total, DAS Batang Natal dan sekitarnya memiliki potensi 51,98 juta  $\text{Mg CO}_2\text{e}$ . Dengan harga kredit karbon menurut Smith *et al.* (2000) sekitar  $\text{US\$}5\text{--}23/\text{Mg CO}_2\text{e}$  dan Bowen (2011) sekitar  $\text{£} 30 /\text{Mg CO}_2\text{e}$ , dana yang dapat diperoleh dari kredit karbon untuk konservasi hutan sangat besar. Dengan menggunakan harga karbon konservatif sekitar  $\text{US\$} 5/\text{Mg CO}_2\text{e}$  saja, maka

kurang lebih sekitar US\$ 259,92 juta dapat diperoleh program REDD+ di DAS Batang Natal dan sekitarnya.

Dari aspek struktur hutan, sebaran kelas diameter merupakan parameter yang berperan penting dalam menentukan biomassa hutan. Sebagian besar (lebih dari 50%) biomassa dan karbon hutan terkonsentrasi pada kelas diameter  $\geq 35$  cm. Oleh karena itu, upaya perlindungan hutan tropis yang masih tersisa di kawasan DAS Batang Natal dan sekitarnya menjadi sangat penting, tidak hanya untuk perlindungan habitat satwa dan pengaturan tata air, tetapi juga peran hutan dalam menyimpan karbon sebagai upaya mitigasi perubahan iklim.

## **SARAN**

Daerah Aliran Sungai (DAS) Batang Natal dan sekitarnya memiliki potensi karbon hutan yang tinggi, sehingga upaya konservasi hutan di daerah tersebut penting dilakukan. Bentuk pengelolaan yang baik terhadap hutan dengan menghindari konversi dan degradasi hutan memberikan peluang yang baik dalam mempertahankan simpanan karbon di DAS Batang Natal dan sekitarnya. Bentuk pengelolaan yang dapat dilakukan untuk mempertahankan karbon yang ada antara lain: mengelola hutan lindung dan taman nasional, mengendalikan deforestasi, mencegah degradasi lahan gambut dan menerapkan praktek silvikultur yang baik.

Dengan potensi karbon hutan yang tinggi, program REDD+ menjadi salah satu pilihan dalam upaya mempertahankan karbon hutan di Kabupaten Mandailing Natal. Sebagai tindak lanjut dari penelitian ini, perlu dilakukan kajian kelayakan (*feasibility study*) REDD+ secara menyeluruh meliputi aspek kesiapan para pihak, pengaturan sistem kelembagaan, potensi pasar dan kebijakan lokal. Selain itu, program REDD+ akan berhasil apabila mendapatkan dukungan semua pihak baik pemerintah daerah, pemerintah pusat, lembaga swadaya masyarakat, swasta dan masyarakat yang tinggal di sekitar kawasan hutan. Oleh karena itu, sebagai bagian dari persiapan REDD+, pemahaman dan kapasitas para pihak tersebut perlu ditingkatkan melalui kegiatan pelatihan dan bentuk kegiatan *capacity building* lainnya.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini sepenuhnya didanai oleh Conservation International Indonesia sehingga dapat terlaksana dengan baik. Penulis mengucapkan terima kasih terutama kepada Dr. Nisyawati, MS. dan Dr. Rokhmatuloh S.Si., M.Eng. selaku pembimbing dalam penelitian ini. Ucapan terima kasih disampaikan juga kepada Jatna Supriatna, Ph.D. dan Drs. Erwin Nurdin, M.Si. selaku penguji tesis yang telah memberikan masukan membangun untuk penyempurnaan naskah. Kepada Angga Prathama Putra, M.Si. yang dengan kesabaran dan kerja kerasnya telah membantu penulis selama pengambilan data di lapangan. Ucapan terima kasih disampaikan juga kepada Bapak Bambang Hardjanto (Kepala Taman Nasional Batang Gadis) beserta jajaran staf Taman Nasional Batang Gadis, Pak Asep Ferry dan rekan-rekan dari Dinas Kehutanan dan Perkebunan Kabupaten Mandailing Natal, serta Kepala Desa dan masyarakat Desa Sibanggor Julu, Sopotinjak, dan Kunkun atas kerjasama dan bantuannya selama pengambilan data di lapangan.

## DAFTAR ACUAN

- Abdulhadi, R., E. Mirmanto & K. Kartawinata. 1987. A lowland dipterocarp forest in Sekundur, North Sumatra, Indonesia: five years after mechanized logging. In Kostermans, A.J.G.H. (eds), *Proceedings of the Third Round Table Conference on Dipterocarps*, UNESCO/ ROSTSEA, Jakarta. pp. 255–273.
- Angelsen, A. 1999. Agricultural expansion and deforestation: modeling the impact of population, market forces and property rights. *Journal of Development Economics* **58**: 185–218.
- Basuki, T.M., P.E. van Laake, A.K. Skidmore & Y.A. Hussin. 2009. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. *Forest Ecology and Management* **257**: 1684–1694.
- Bowen, A. 2011. *The case for carbon pricing*. Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment and Center for Climate Change Economics and Policy. UK: 36 hlm.

- Brown, S., 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. *FAO Forestry Paper No. 134*. Rome (Italy): 87 hlm.
- Brown, S. 1999. *Guidelines for inventorying and monitoring carbon offsets in forest-based projects*. Forest Carbon Monitoring Program. Winrock International, Arlington (USA): 14 hlm.
- Brown, S.L., P. Schroeder & J.S. Kern. 1999. Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA. *Forest Ecology and Management* **123**:81–90.
- Chave, J., Condit R, Aguilar S, Hernandez A, Lao S, Perez R. 2004. Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* **359**: 409–420.
- Chave, J., C. Andalo, S. Brown & M.A. Cairns. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in the tropical forest. *Oecologia* **145**: 87-99.
- Ellison, A.M. 2008. Mangrove ecology—applications in forestry and coastal zone management. *Aquatic Botany* **89**: 77.
- Food and Agriculture Organization. 2005. Global Forest Resources Assessment 2005. *FAO Forestry Paper No. 147*. Rome.
- Gibbs, H.K., S. Brown, J.O. Niles & J.A. Foley. 2007. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: Making REDD a reality. *Environmental Research Letters* **2**:1–13.
- GOFC-GOLD. 2010. *Reducing greenhouse gas emissions from deforestation and degradation in developing countries: a sourcebook of methods and procedures for monitoring, measuring and reporting*. GOFC-GOLD Report version COP14-2. GOFC GOLD Project Office, Natural Resources Canada, Alberta, Canada: vii + 203 hlm.
- Hairiah, K. & S.M. Sitompul. 2000. *Assessment and simulation of aboveground and belowground carbon dynamics*. Report to Asia Pacific Network (APN). Brawijaya University, Faculty of Agriculture, Malang, Indonesia: 40 hlm.
- Hairiah, K., A. Ekadinata, R.R. Sari & S. Rahayu. 2011. *Pengukuran cadangan karbon dari tingkat lahan ke bentang alam*. Petunjuk Praktis. Edisi

- Kedua. World Agroforestry Centre, Bogor, University of Brawijaya Malang (Indonesia): xiii + 48 hlm.
- Hedl, R., M. Svatek, M. Dancak, A.W. Rodzay, A.B.M. Salleh & A.S. Kamariah. 2009. A new technique for inventory of permanent plots in tropical forests: a case study from lowland dipterocarp forest in Kuala Belalong, Brunei Darussalam. *Blumea* **54**: 124–130.
- Houghton, R.A. 2005. Aboveground forest biomass and the global carbon balance. *Global Change Biology* **11**: 945–958.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2003. *Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry*. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japan: x + 301 hlm.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. & Tanabe K. (eds.) Published: IGES, Japan: v + 556 hlm.
- Istomo, C. Wibowo & I.T.C. Wibisono. 2009. *Plant diversity and biomass content in relation to wise use of tropical peatland*. Proceedings of Bogor Symposium and Workshop on Tropical Peatland Management, Bogor: pp 57–66.
- Kanninen, M., D. Murdiyarso, F. Seymour, A. Angelsen, S. Wunder & L. German. 2007. *Do trees grow on money? The implications of deforestation research for policies to promote REDD*. CIFOR, Bogor, Indonesia. pp 35.
- Kartawinata, K., I. Samsedin, M. Heriyanto & J.J. Afriastini. 2004. A tree species inventory in a one-hectare plot at the Batang Gadis National Park, North Sumatra, Indonesia. *Reinwardtia* **12**(2): 145–157.
- Kauffman, J.B., C. Heider, T.G. Cole, K.A. Dwire & D.C. Donato. 2011. Ecosystem carbon stocks of Micronesian mangrove forests. *Wetlands* **31**: 343–352.

- Kauffman, J.B. & D.C. Donato. 2012. *Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests*. Working Paper 86. CIFOR, Bogor, Indonesia. 40 hlm.
- Kementerian Kehutanan. 2008. *Statistik Kehutanan Indonesia*. Jakarta: xi + 193 hlm.
- Ketterings, Q.M., R. Coe, M. van Noordwijk, Y. Ambagau & C.A. Palm. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting aboveground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management* **146**: 199–209.
- Komiyama, A., H. Moriya, S. Prawiroatmodjo, T. Toma & K. Ogino. 1988. Forest primary productivity. In: Ogino, K., Chihara, M. (Eds.). *Biological System of Mangrove*. Ehime University, pp. 97–117.
- Komiyama, A., S. Pongpan & S. Kato. 2005. Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of Tropical Ecology* **21**:471–477.
- Kusmana, C., S. Sabiham, K. Abe & H. Watanabe. 1992. An estimation of above ground tree biomass of a mangrove forest in east Sumatra, Indonesia. *Tropics* **1**: 243–257.
- Kuswanda, W. 2010. Pengaruh komposisi tumbuhan terhadap populasi burung di Taman Nasional Batang Gadis, Sumatera Utara. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* **7**(2): 193–213.
- Kuswanda, W & B.S. Antoko. 2008. Keanekaragaman jenis tumbuhan pada berbagai tipe hutan untuk mendukung pengelolaan zona rimba di Taman Nasional Batang Gadis. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* **5**(4): 337–354.
- Lasco, R.D. 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* **45**:76–86.
- Laumonier, Y., Purnadjaja, Setiabudi. 1986. *International Map of the Vegetation Central Sumatra (1:1.000.000)*. Institut de la Carte Internationale de la Vegetation (ICIV), Toulouse and BIOTROP SEAMEO Center, Bogor. pp 1.

- Laumonier, Y., A. Edin, M. Kanninen & A.W. Munandar. 2010. Landscape-scale variation in the structure and biomass of the hill dipterocarp forest of Sumatra: Implications for carbon stock assessments. *Forest Ecology and Management* **259**: 505–513.
- Manuri, S., C.A.S. Putra & A.D. Saputra. 2011. *Tehnik Pendugaan Cadangan Karbon Hutan*. Merang REDD Pilot Project, German International Cooperation – GIZ. Palembang: x + 91 hlm.
- Masripatin, N., K. Ginoga, G. Pari, I.W.S Dharmawan, C.A. Siregar, A. Wibowo, D. Puspasari, A.S. Utomo, N. Sakuntaladewi, M. Lugina, Indartik, W. Wulandari, S. Darmawan, I. Heryansyah, N.M. Heriyanto, H.H. Siringoringo, R. Damayanti, D. Anggraeni, H. Krisnawati, R. Maryani, D. Apriyanto & B. Subekti. 2010. *Cadangan karbon pada berbagai tipe hutan dan jensi tanaman di Indonesia*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim dan Kebijakan. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Bogor: iv + 43 hlm.
- Midora, L. & D. Anggraeni. 2006. *Economic valuation of watershed services Batang Gadis National Park, Mandailing Natal, North Sumatra, Indonesia*. Conservation International Indonesia. Jakarta: iv + 62 hlm.
- Mueller-Dombois, D. & H. Ellenberg. 1974. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. John Wiley & Sons, New York. 547 hlm.
- Murdiyarmo, D. & U.R. Wasrin. 1995. Estimating land use change and carbon release from tropical forests conversion using remote sensing technique. *Journal of Biogeography* **22**: 715–721.
- Murdiyarmo, D., D. Donato, J.B. Kauffman, S. Kurnianto, M. Stidham & M. Kanninen. 2009. *Carbon storage in mangrove and peatland ecosystems: A preliminary account from plots in Indonesia*. CIFOR, Bogor, Indonesia. pp 37.
- Odum, E. P. 1996. *Dasar-dasar Ekologi*. Terjemahan Tjahjono Samingan. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. 625 hlm.
- Onrizal, Ismail, E.A. Perbatakusuma, H. Sudjito, J. Supriatna & I.H. Wijayanto. 2008. Struktur vegetasi dan simpanan karbon hutan hujan tropika primer di Batang Toru, Sumatera Utara. *Jurnal Biologi Indonesia* **5(2)**: 187–199.



- Onrizal, E.A. Perbatakusuma & N. Sulistiyono. 2010. Kandungan karbon Rawa Singkil di Nanggroe Aceh Darussalam dan potensi pengembangan produk jasa lingkungan. *Prosiding Seminar Nasional Hasil-hasil Penelitian Bidang Kehutanan dan Hasil Hutan*. Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara. Medan: 136–154.
- Pan, Y., R.A. Birdsey, J. Fang, R. Houghton, P.E. Kauppi, W.A. Kurz, O.L. Phillips, A. Shvidenko, S.L. Lewis, J.G. Canadell, P. Ciais, R.B. Jackson, S. Pacala, A.D. McGuire, S. Piao, A. Rautiainen, S. Sitch & D. Hayes. 2011. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Scienceexpress* **10**: 1–10.
- Pearson, T., S. Walker & S. Brown. 2005. *Sourcebook for Land Use, Land-Use Change and Forestry Projects*. Winrock International. Arlington (USA): vi + 57 hlm.
- Perbatakusuma, E.A., J. Supriatna, D. Wurjanto, Supriadi, B. Ismoyo, A.H. Wiratno, L. Sihombing, I. Wijayanto, C.S. Widodo, B.O. Manullang, S. Siregar, A.H. Damanik & A.H. Lubis. 2006. *Kolaborasi pengelolaan ekosistem Taman Nasional Batang Gadis*. Naskah Kebijakan Tim Inisiator Pemerintah Provinsi Sumatera Utara, Pemerintah Kabupaten Mandailing Natal dan Conservation International Indonesia. Jakarta (Indonesia): 127 hlm.
- Priatna, D., K. Kartawinata & R. Abdulhadi. 2004. Recovery of lowland Dipterocarp forest twenty years after selective logging at Sekundur, Gunung Leuser National Park, North Sumatra, Indonesia. *Reinwardtia* **12** (3): 237–251.
- Saatchi, S.S., N.L. Harris, S. Brown, M. Lefsky, E.T.A. Mitchard, W. Salas, B.R. Zutta, W. Buermann, S.L. Lewis, S. Hagen, S. Petrova, L. White, M. Silman & A. Morel. 2011. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **1**: 1–6.
- Samalca, I.K. 2007. *Estimation of forest biomass and its error: A case in Kalimantan, Indonesia*. MSc thesis, ITC, Enschede (Belanda): 74 hlm.

- Samsuedin, I., I. W. S. Dharmawan & C. A. Siregar. 2009. Potensi biomasa karbon pada hutan alam dan hutan bekas tebangan setelah 30 tahun di Hutan Penelitian Malinau, Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* **6**(1): 47–56.
- Small A., T.G. Martin, R.L. Kitching & K.M. Wong. 2004. Contribution of tree species to the biodiversity of a 1 ha Old World rainforest in Brunei, Borneo. *Biodiversity and Conservation* **13**: 2067–2088.
- Smith, J., K. Mulongoy, R. Persson, & J. Sayer. 2000. Harnessing carbon markets for tropical forest conservation: Towards a more realistic assessment. *Environment Conservation* **27**(3): 300–311.
- Soemarno, S. 2001. *Struktur dan komposisi vegetasi pada petak tebang dan pola pemulihan tapak prasarana pasca pembalakan mekanis di Sekundur, Taman Nasional Gunung Leuser*. Tesis Program Pascasarjana Biologi. Universitas Indonesia. Depok: 90 hlm.
- Soerianegara, I. & A. Indrawan. 1982. *Ekologi hutan Indonesia*. Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor. Bogor: 120 hlm.
- van der Werf, G.R., D.C. Morton, R.S. DeFries, J.G.J Olivier, P.S. Kasibhatla, R.B. Jackson, G.J. Collatz & J.T. Randerson. 2009. CO<sub>2</sub> emissions from forest loss. *National Geoscience* **2**: 737–738.
- van Noordwijk, M., S. Rahayu, K. Hairiah, Y.C. Wulan, A. Farida & B. Verbist. 2002. Carbon stock assessment for a forest to coffee conversion landscape in Sumber Jaya (Lampung, Indonesia): from allometric equations to land use change analysis. *Science in China* **45**: 75–86.
- Whitten, T., D. Holmes & K. MacKinnon. 2001. Conservation biology: a displacement behavior for academia. *Conservation Biology* **15**:1–3.
- Whittmore, T.C. 1984. *Tropical rainforest of the far east*. 2<sup>nd</sup> Edition. Oxford University Press, Oxford: xvi + 352 hlm.

Lampiran I.1. Biomassa atas permukaan (BAP) dan stok karbon berdasarkan lokasi plot contoh

| No | Lokasi            | Rerata total pohon DBH $\geq$ 10 cm (individu ha <sup>-1</sup> ) | Kisaran total BAP (Mg ha <sup>-1</sup> ) | Rerata total BAP $\pm$ SE (Mg ha <sup>-1</sup> ) | Rerata total karbon $\pm$ SE (Mg C ha <sup>-1</sup> )* |
|----|-------------------|--|--|--|--|
| 1  | Sibanggor<br>Julu | 424,50   | 331,84-423,89                            | 382,26 $\pm$ 38,06                               | 179,66 $\pm$ 17,89                                     |
| 2  | Sopotinjak        | 508,50   | 273,97-438,82                            | 347,71 $\pm$ 70,50                               | 163,42 $\pm$ 33,13                                     |
| 3  | Tabuyung          | 320,67   | 469,32-759,78                            | 643,95 $\pm$ 177,71                              | 302,66 $\pm$ 83,52                                     |
| 4  | Kunkun            | 457,25   | 347,43-419,37                            | 387,37 $\pm$ 31,10                               | 178,19 $\pm$ 14,31                                     |

Keterangan: \* Simpanan karbon dihitung dengan rumus:  $C = 0,47 \times \text{Biomassa}$  (Brown 1999, IPCC 2003). 1 Mg = 10<sup>6</sup> g = 1 ton

Lampiran I.2. Biomassa atas permukaan (BAP) dan stok karbon berdasarkan tipe hutan

| No | Tipe hutan         | Rerata total pohon DBH $\geq$ 10 cm (individu ha <sup>-1</sup> ) | Kisaran total BAP (Mg ha <sup>-1</sup> ) | Rerata total BAP $\pm$ SE (Mg ha <sup>-1</sup> ) | Rerata total karbon $\pm$ SE (Mg C ha <sup>-1</sup> )* |
|----|--------------------|--|--|--|--|
| 1  | Hutan lahan kering | 466,50   | 273,97-438,82                            | 364,99 $\pm$ 39,32                               | 171,54 $\pm$ 18,48                                     |
| 2  | Hutan rawa         | 320,67   | 469,32-759,78                            | 643,95 $\pm$ 177,71                              | 302,66 $\pm$ 83,52                                     |
| 3  | Hutan mangrove     | 457,25   | 347,43-419,37                            | 387,37 $\pm$ 31,10                               | 178,19 $\pm$ 14,31                                     |

Keterangan: \* Simpanan karbon dihitung dengan rumus:  $C = 0,47 \times \text{Biomassa}$  (Brown 1999, IPCC 2003). 1 Mg = 10<sup>6</sup> g = 1 ton

Lampiran I.3. Perhitungan biomassa total dan uji akurasi untuk tipe hutan lahan kering di DAS Batang Natal dan sekitarnya

| Nama Plot               | Biomassa per plot (Mg ha <sup>-1</sup> ) |        |        |                              | Biomassa total (Mg ha <sup>-1</sup> ) |
|-------------------------|--|--------|--------|------------------------------|---------------------------------------|
|                         | SP-B                                     | SP-C   | SP-D   | SP-E                         |                                       |
| Plot 1 (Napa Ni Atayas) | 6,49                                     | 16,62  | 35,42  | 332,20                       | 390,73                                |
| Plot 2 (Napa Ni Atayas) | 33,39                                    | 35,96  | 47,99  | 306,55                       | 423,89                                |
| Plot 3 (Napa Ni Atayas) | 6,95                                     | 18,45  | 0,80   | 305,65                       | 331,84                                |
| Plot 4 (Napa Ni Atayas) | 58,28                                    | 18,25  | 83,38  | 222,69                       | 382,60                                |
| Plot 1 (Sopotinjak)     | 6,28                                     | 60,86  | 81,12  | 213,33                       | 361,60                                |
| Plot 2 (Sopotinjak)     | 0,00                                     | 11,43  | 59,13  | 245,88                       | 316,43                                |
| Plot 3 (Sopotinjak)     | 0,43                                     | 18,00  | 22,72  | 232,82                       | 273,97                                |
| Plot 4 (Sopotinjak)     | 2,12                                     | 30,67  | 57,23  | 348,81                       | 438,82                                |
| Total                   | 113,94                                   | 210,24 | 387,78 | 2.207,93                     | 2.919,88                              |
|                         |  |        |        | $\bar{y}$                    | 364,99                                |
|                         |  |        |        | s                            | 55,61                                 |
|                         |  |        |        | S $\bar{y}$                  | 19,66                                 |
|                         |  |        |        | CV (%)                       | 5,39                                  |
|                         |  |        |        | $\bar{y} + t \cdot S\bar{y}$ | 364,99 + 39,32                        |
|                         |  |        |        | SE (%)                       | 10,77                                 |

Lampiran I.4. Perhitungan biomassa total dan uji akurasi untuk tipe hutan mangrove di DAS Batang Natal dan sekitarnya

| Nama Plot       | Biomassa per plot (Mg ha <sup>-1</sup> ) |        |        |                              | Biomassa total (Mg ha <sup>-1</sup> ) |
|-----------------|--|--------|--------|------------------------------|---------------------------------------|
|                 | SP-B                                     | SP-C   | SP-D   | SP-E                         |                                       |
| Plot 1 (Kunkun) | 42,60                                    | 97,79  | 178,35 | 61,68                        | 380,41                                |
| Plot 2 (Kunkun) | 28,60                                    | 20,07  | 138,52 | 215,08                       | 402,27                                |
| Plot 3 (Kunkun) | 68,16                                    | 17,57  | 54,07  | 279,56                       | 419,37                                |
| Plot 4 (Kunkun) | 21,80                                    | 0,00   | 54,43  | 271,20                       | 347,43                                |
| Total           | 161,16                                   | 135,43 | 425,37 | 827,52                       | 1.549,49                              |
|                 |  |        |        | $\bar{y}$                    | 387,37                                |
|                 |  |        |        | s                            | 31,03                                 |
|                 |  |        |        | S $\bar{y}$                  | 15,52                                 |
|                 |  |        |        | CV (%)                       | 4,01                                  |
|                 |  |        |        | $\bar{y} + t \cdot S\bar{y}$ | 387,37 + 31,03                        |
|                 |  |        |        | SE (%)                       | 8,01                                  |

Lampiran I.5. Perhitungan biomassa total dan uji akurasi untuk tipe hutan rawa di DAS Batang Natal dan sekitarnya

| Nama Plot         | Biomassa per plot (Mg ha <sup>-1</sup> ) |       |        |                              | Biomassa total (Mg ha <sup>-1</sup> ) |
|-------------------|--|-------|--------|------------------------------|---------------------------------------|
|                   | SP-B                                     | SP-C  | SP-D   | SP-E                         |                                       |
| Plot 1 (Tabuyung) | 23,31                                    | 15,75 | 10,07  | 653,64                       | 702,76                                |
| Plot 2 (Tabuyung) | 3,41                                     | 27,56 | 62,14  | 376,22                       | 469,32                                |
| Plot 3 (Tabuyung) | 65,95                                    | 35,47 | 81,66  | 576,69                       | 759,78                                |
| Total             | 92,67                                    | 78,77 | 153,87 | 1.606,54                     | 1.931,86                              |
|                   |  |       |        | $\bar{y}$                    | 643,95                                |
|                   |  |       |        | s                            | 153,90                                |
|                   |  |       |        | S $\bar{y}$                  | 88,85                                 |
|                   |  |       |        | CV (%)                       | 13,80                                 |
|                   |  |       |        | $\bar{y} + t \cdot S\bar{y}$ | 643,95 + 177,71                       |
|                   |  |       |        | SE (%)                       | 27,60                                 |

Lampiran I.6. Jumlah individu (N), kerapatan relative (KR), frekuensi relative (FR), dominansi relative (DR), Indeks Nilai Kepentingan (INK) dan Luas Bidang Dasar (LBD) setiap spesies

| No. | Nama Spesies   | Famili        | N | KR (%) | FR (%) | DR (%) | INK (%) | LBD (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> ) |
|-----|--|---------------|---|--------|--------|--------|---------|--|
| 1   | <i>Calophyllum karoense</i><br>Beum                    | Guttaceae     | 1 | 0,45   | 0,97   | 0,29   | 1,70    | 0,42                                   |
| 2   | <i>Endospermum diadenum</i><br>(Miq.) Airy Shaw.       | Euphorbiaceae | 4 | 1,79   | 0,97   | 0,27   | 3,04    | 3,16                                   |
| 3   | <i>Litsea</i> sp.                                      | Lauraceae     | 1 | 0,45   | 0,97   | 0,04   | 1,46    | 1,65                                   |
| 4   | <i>Alstonia scholaris</i> R. Br.                       | Apocynaceae   | 1 | 0,45   | 0,97   | 0,49   | 1,91    | 0,72                                   |
| 5   | <i>Cryptocarya nitens</i><br>(Blume) Koord. & Val.     | Lauraceae     | 4 | 1,79   | 1,94   | 0,54   | 4,28    | 8,19                                   |
| 6   | <i>Durio zibethinus</i> Murr.                          | Bombacaceae   | 8 | 3,59   | 2,91   | 2,17   | 8,66    | 7,37                                   |
| 7   | <i>Actinodaphne glabra</i><br>Blume                    | Lauraceae     | 4 | 1,79   | 1,94   | 0,34   | 4,07    | 5,91                                   |
| 8   | <i>Syzygium</i> sp.                                    | Myrtaceae     | 8 | 3,59   | 3,88   | 4,40   | 11,87   | 11,20                                  |
| 9   | <i>Styrax benzoin</i> Dryand.                          | Styracaceae   | 7 | 3,14   | 3,88   | 1,95   | 8,98    | 5,54                                   |
| 10  | <i>Canarium littorale</i><br>Blume                     | Burseraceae   | 6 | 2,69   | 3,88   | 0,26   | 6,83    | 8,15                                   |
| 11  | <i>Glochidion rubrum</i><br>Blume                      | Euphorbiaceae | 6 | 2,69   | 2,91   | 1,61   | 7,21    | 5,89                                   |
| 12  | <i>Dehaasia</i> sp.                                    | Lauraceae     | 3 | 1,35   | 2,91   | 0,24   | 4,50    | 3,25                                   |
| 13  | <i>Litsea brachystachys</i><br>(Laur.) L.              | Lauraceae     | 3 | 1,35   | 1,94   | 0,86   | 4,14    | 2,38                                   |
| 14  | <i>Alseodaphne peduncularis</i> (Wall. Ex Nees) Meissn | Lauraceae     | 1 | 0,45   | 0,97   | 1,15   | 2,57    | 1,70                                   |
| 15  | <i>Cryptocarya tomentosa</i>                           | Lauraceae     | 1 | 0,45   | 0,97   | 0,38   | 1,80    | 0,56                                   |

| No. | Nama Spesies  | Famili           | N  | KR (%) | FR (%) | DR (%) | INK (%) | LBD (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> ) |
|-----|---|------------------|----|--------|--------|--------|---------|--|
|     | Blume   |                  |    |        |        |        |         |  |
| 16  | <i>Cryptocarya ferrea</i> (Blume) Bijdr.              | Lauraceae        | 17 | 7,62   | 5,82   | 14,41  | 27,86   | 23,14                                  |
| 17  | <i>Litsea odorifera</i> Valetton                      | Lauraceae        | 15 | 6,73   | 5,82   | 5,22   | 17,77   | 12,82                                  |
| 18  | <i>Litsea resinosa</i> Blume                          | Lauraceae        | 2  | 0,90   | 1,94   | 0,69   | 3,53    | 1,02                                   |
| 19  | <i>Beilschmiedia madang</i> Blume                     | Lauraceae        | 4  | 1,79   | 2,91   | 7,10   | 11,81   | 11,62                                  |
| 20  | <i>Justicia gendarusa</i> L.                          | Acanthaceae      | 1  | 0,45   | 0,97   | 0,01   | 1,43    | 1,86                                   |
| 21  | <i>Litsea firma</i> (Blume) Hook. f.                  | Lauraceae        | 1  | 0,45   | 0,97   | 0,52   | 1,94    | 0,77                                   |
| 22  | <i>Artocarpus elasticus</i> Reinw.                    | Moraceae         | 1  | 0,45   | 0,97   | 0,31   | 1,73    | 0,45                                   |
| 23  | <i>Symplocos fasciculata</i> Zoll.                    | Symplocaceae     | 2  | 0,90   | 0,97   | 0,06   | 1,93    | 2,77                                   |
| 24  | <i>Glochidion arborences</i> Blume                    | Euphorbiaceae    | 1  | 0,45   | 0,97   | 0,31   | 1,73    | 0,46                                   |
| 25  | <i>Litsea elliptica</i> (Blume) Mus.                  | Lauraceae        | 53 | 23,77  | 7,76   | 21,04  | 52,57   | 46,49                                  |
| 26  | <i>Lithocarpus elegans</i> (Blume) Hatus. ex Soepadmo | Fagaceae         | 2  | 0,90   | 1,94   | 0,93   | 3,77    | 1,37                                   |
| 27  | <i>Quercus</i> sp.                                    | Fagaceae         | 9  | 4,04   | 4,85   | 5,07   | 13,96   | 8,24                                   |
| 28  | <i>Podocarpus</i> sp.                                 | Podocarpaceae    | 1  | 0,45   | 0,97   | 1,31   | 2,72    | 1,93                                   |
| 29  | <i>Castanopsis</i> sp.                                | Fagaceae         | 4  | 1,79   | 1,94   | 3,62   | 7,36    | 5,36                                   |
| 30  | <i>Dysoxylum cauliflorum</i> Hiern                    | Meliaceae        | 3  | 1,35   | 1,94   | 0,57   | 3,86    | 3,88                                   |
| 31  | <i>Dacrydium junghuhnii</i> Miq.                      | Podocarpaceae    | 1  | 0,45   | 0,97   | 3,92   | 5,34    | 5,79                                   |
| 32  | <i>Cinnamomum porectum</i> (Roxb.) Kosterm.           | Lauraceae        | 1  | 0,45   | 0,97   | 0,34   | 1,76    | 0,50                                   |
| 33  | <i>Aporosa falcifera</i> Hook. f.                     | Euphorbiaceae    | 2  | 0,90   | 1,94   | 0,97   | 3,81    | 1,44                                   |
| 34  | <i>Dipterocarpus palembanicus</i> Slooten             | Dipterocarpaceae | 10 | 4,48   | 3,88   | 1,35   | 9,71    | 12,34                                  |
| 35  | <i>Shorea acuminata</i> Dyer                          | Dipterocarpaceae | 6  | 2,69   | 1,94   | 1,38   | 6,01    | 4,28                                   |
| 36  | <i>Shorea parvifolia</i> Dyer                         | Dipterocarpaceae | 4  | 1,79   | 1,94   | 0,47   | 4,20    | 5,02                                   |
| 37  | <i>Santiria tomentosa</i> Blume                       | Burseraceae      | 2  | 0,90   | 1,94   | 0,03   | 2,87    | 1,67                                   |
| 38  | <i>Hopea beccariana</i> Burck                         | Dipterocarpaceae | 7  | 3,14   | 3,88   | 2,59   | 9,61    | 5,53                                   |
| 39  | <i>Shorea gibbosa</i> Brandis                         | Dipterocarpaceae | 4  | 1,79   | 2,91   | 7,67   | 12,38   | 11,35                                  |
| 40  | <i>Endiandra</i> sp.                                  | Lauraceae        | 9  | 4,04   | 3,88   | 3,76   | 11,67   | 6,46                                   |
| 41  | <i>Macaranga lowii</i> King ex Hook.f.                | Euphorbiaceae    | 3  | 1,35   | 2,91   | 1,37   | 5,62    | 2,02                                   |
| 42  | <i>Bruguiera gymnorhiza</i> (L.) Lamk.                | Rhizophoraceae   | 23 | 19,01  | 21,43  | 19,50  | 59,94   | 23,71                                  |
| 43  | <i>Gynotroches axillaris</i> (Blume) Bijdr.           | Rhizophoraceae   | 10 | 8,26   | 21,43  | 2,62   | 32,31   | 11,44                                  |
| 44  | <i>Rhizophora apiculata</i> Blume                     | Rhizophoraceae   | 25 | 20,66  | 28,57  | 11,60  | 60,83   | 29,84                                  |

| No. | Nama Spesies                            | Famili           | N  | KR (%) | FR (%) | DR (%) | INK (%) | LBD (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> ) |
|-----|---|------------------|----|--------|--------|--------|---------|--|
| 45  | <i>Xylocarpus granatum</i> Koen         | Meliaceae        | 63 | 52,07  | 28,57  | 66,28  | 146,92  | 60,55                                  |
| 46  | <i>Dillenia eximia</i> Miq.             | Dilleniaceae     | 3  | 4,00   | 11,53  | 0,13   | 15,66   | 10,54                                  |
| 47  | <i>Vatica wallichii</i> Dyer            | Dipterocarpaceae | 1  | 1,33   | 3,84   | 0,00   | 5,18    | 0,45                                   |
| 48  | <i>Dillenia excelsa</i> (Jack) Martelli | Dilleniaceae     | 1  | 1,33   | 3,84   | 0,00   | 5,18    | 1,77                                   |
| 49  | <i>Eugenia fastigiata</i> Miq.          | Myrtaceae        | 6  | 8,00   | 11,53  | 0,10   | 19,63   | 8,74                                   |
| 50  | <i>Eugenia</i> sp.                      | Myrtaceae        | 1  | 1,33   | 3,84   | 0,00   | 5,18    | 1,13                                   |
| 51  | <i>Sindora bruggemanii</i> De Wits      | Caesalpiniaceae  | 3  | 4,00   | 11,53  | 0,01   | 15,54   | 5,66                                   |
| 52  | <i>Dipterocarpus hasseltii</i> Blume    | Dipterocarpaceae | 1  | 1,33   | 3,84   | 0,01   | 5,18    | 0,55                                   |
| 53  | <i>Terminalia copelandii</i> Elmer      | Combretaceae     | 2  | 2,67   | 7,69   | 0,01   | 10,36   | 1,38                                   |
| 54  | <i>Shorea ovalis</i> (Korth.) Blume     | Dipterocarpaceae | 33 | 44,00  | 11,53  | 0,20   | 55,73   | 35,68                                  |
| 55  | <i>Shorea lepidota</i> (Korth.) Blume   | Dipterocarpaceae | 8  | 10,67  | 11,53  | 0,08   | 22,28   | 9,45                                   |
| 56  | <i>Gluta renghas</i> L.                 | Anacardiaceae    | 13 | 17,33  | 11,53  | 0,46   | 29,33   | 38,12                                  |
| 57  | <i>Xylopia altissima</i> Blume          | Annonaceae       | 3  | 4,00   | 7,69   | 0,01   | 11,70   | 4,73                                   |

Lampiran I.7. Kondisi hutan lahan kering di blok hutan Sopotinjak



Lampiran I.8. Kondisi hutan rawa di Tabuyung



Lampiran I.9. Kondisi hutan mangrove di muara Sungai Kunkun





## Makalah II

# PERUBAHAN HUTAN DAN EMISI KARBONDIOKSIDA (CO<sub>2</sub>) DI DAERAH ALIRAN SUNGAI BATANG NATAL DAN SEKITARNYA, MANDAILING NATAL, SUMATERA UTARA

Hendi Sumantri

Program Studi Pascasarjana Biologi,

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

[hendi\\_sumantri@yahoo.com](mailto:hendi_sumantri@yahoo.com)

### ABSTRACT

The coastal forests of west Batang Natal and surrounding areas had increasingly been recognized as being of global biodiversity importance, due to high rate of species endemism. More than 47 species of mammals, 184 species of trees, and 247 species of birds with 13 of bird species are endemic to Sumatra recorded in the area. Rates of forest loss are similar to those of other Sumatra regions, resulting in an increasing level of threat for the biological values within the remaining forest and potentially significant source of CO<sub>2</sub> emissions. This study estimated the change of carbon stock and the CO<sub>2</sub> emissions due to forest loss between year 2000 – 2011, compared 1990-2000 based on previous study conducted by Gaveau *et al.* (2007). Analysis of the deforestation was carried out using remote sensing approach. Two-dates image pair for 2000 and 2011 were classified using a supervised maximum likelihood classifier (MLC). In 2000, the total forest cover of study area reached to 93396 ha, while in 2011 the forest cover decreased to 67961 ha. Thus, during the period 2000-2011, forest cover with total 25435 ha have been converted with rate of 6.26% year<sup>-1</sup> or equivalent to 2312 ha year<sup>-1</sup>. The deforestation rate in the dryland forest reached 1.78% year<sup>-1</sup> with carbon emissions estimated at 756710 Mg CO<sub>2e</sub> year<sup>-1</sup>. The swamp forest deforestation rate was approximately at 4.48% year<sup>-1</sup>, equivalent to 747115 Mg CO<sub>2e</sub> year<sup>-1</sup> of carbon emissions.

**Keywords:** carbon dioxide, carbon emission, deforestation, climate change, remote sensing

## PENDAHULUAN

Hutan tropis Indonesia memainkan peran penting bagi kehidupan masyarakat setempat dan ekonomi nasional (Forest Watch Indonesia & Global Forest Watch 2002; Curran *et al.* 2004). Tetapi, tutupan hutan Indonesia mengalami penurunan dalam beberapa dekade terakhir (Whitten *et al.* 2001; Hansen *et al.* 2010; Miettinen *et al.* 2011). Hansen *et al.* (2009) menyatakan bahwa 17,80 juta ha hutan Indonesia telah hilang dalam kurun waktu 1990-2000, dengan rerata laju perubahan hutan (deforestasi) tahunan 1,78 juta ha. Forest Watch Indonesia (2011) menyatakan bahwa dari 88,17 juta ha hutan tersisa di Indonesia, sekitar 73,29 juta ha (83,12%) tersebar di tiga pulau utama yaitu Sumatera, Kalimantan, dan Papua.

Sumatera, pulau terbesar kedua di Indonesia, mengalami perubahan hutan paling cepat (Holmes 2002) dan pulau dengan pembukaan lahan skala besar paling intensif (Hansen *et al.* 2008; Broich *et al.* 2011; Miettinen *et al.* 2011). Dalam kurun waktu tahun 1990-2000, Sumatera telah kehilangan hutan mencapai 5 juta ha (Gaveau *et al.* 2009) dan 3,70 juta ha pada periode tahun 2000-2009 (Forest Watch Indonesia 2011). Kehilangan hutan di Sumatera secara terus menerus merupakan ancaman yang serius bagi keberlangsungan hidup keanekaragaman hayati (Buchanan *et al.* 2008; Sodhi & Brook 2008).

Tipe hutan dataran rendah baik hutan lahan kering dan hutan rawa di Sumatera telah dikonversi menjadi lahan pertanian dan transmigrasi sejak era tahun 1970 dan 1980 (Sunderlin & Resosudarmo 1997; FWI & GFW 2002). Hutan lahan kering juga telah banyak dieksploitasi melalui kegiatan penebangan kayu komersial oleh perusahaan Hak Pengusahaan Hutan (HPH). Selain itu, pola perladangan berpindah (*shifting cultivation*) tradisional di Sumatera berkontribusi terhadap perubahan hutan lahan kering (Angelsen 1995; Tomich & van Noordwijk 1995). Untuk hutan rawa, khususnya hutan rawa gambut saat ini telah banyak dikonversi menjadi areal perkebunan sawit (Mya 2010; FWI 2011) seperti terjadi di Riau, Jambi dan Sumatera Utara. Sedangkan hutan mangrove, banyak diubah menjadi areal persawahan dan usaha *aquaculture* (FWI & GFW 2002; FAO 2007) seperti tambak udang dan ikan.

Konversi hutan menjadi penggunaan lahan lain merupakan penyebab utama terhadap perubahan iklim (Foley *et al.* 2005; IPCC 2007) selain konsumsi bahan bakar fosil untuk industri dan transportasi. Penghitungan emisi gas rumah kaca dari perubahan hutan membutuhkan informasi luasan hutan hilang dan stok karbon dari lahan yang telah dibuka (Houghton 2005; Gibbs *et al.* 2007). Informasi kehilangan tutupan hutan yang lemah secara waktu dan keruangan berdampak pada buruknya pengelolaan dan tata kelola hutan (Fuller 2006; Hansen *et al.* 2009), dan menjadi tantangan untuk mencapai tujuan program *Reducing Emissions from Deforestation and Degradation* (REDD+).

Pemahaman tentang arah dan pola perubahan hutan di sekitar kawasan Daerah Aliran Sungai (DAS) Batang Natal dan sekitarnya sangat penting dalam desain strategi adaptasi dan mitigasi perubahan iklim untuk melindungi hutan yang tersisa. Solusi praktis untuk mengetahui pola perubahan hutan pada skala lansekap adalah dengan menggunakan data penginderaan jauh (Hansen *et al.* 2008; Hansen *et al.* 2009; Broich *et al.* 2011). Monitoring perubahan hutan berbasis data citra satelit dapat dilakukan secara konsisten dengan biaya murah dibandingkan pemantauan langsung di lapangan. Teknologi penginderaan jauh telah banyak diaplikasikan untuk pemetaan perubahan hutan tropis (Hansen & DeFries 2004) dan dikombinasikan dengan informasi stok karbon untuk menghitung emisi karbon (Achard *et al.* 2002; DeFries *et al.* 2002; Godoy *et al.* 2011).

Penelitian ini dilakukan berdasarkan penelitian sebelumnya tentang pola dan laju perubahan hutan selama periode 1990-2000 (Gaveau *et al.* 2007; Gaveau *et al.* 2009). Tujuan penelitian ini adalah untuk (1) mengkaji laju perubahan hutan pada tipe-tipe hutan di DAS Batang Natal dan sekitarnya periode 2000-2011, dan (2) menghitung emisi karbon yang diakibatkan perubahan hutan di DAS Batang Natal dan sekitarnya periode 2000-2011. Dalam konteks perubahan iklim, informasi dasar yang dihasilkan penelitian ini menjadi acuan dalam menilai keberhasilan suatu kegiatan *Reducing Emissions from Deforestation and Degradation* (REDD+).

## **BAHAN DAN CARA KERJA**

### **A. Alat dan Bahan**

Dalam kegiatan pemetaan perubahan tutupan hutan, alat yang digunakan seperangkat komputer dengan software Erdas Imagine 9.1, ArcGIS 9.3 dan ArcView 3.2. Bahan yang digunakan citra satelit Landsat 5 TM dan 7 ETM+ path/row 128/59 dan 128/60 tahun 2000 dan 2011. Peta pendukung antara lain peta jenis tanah, curah hujan dan ketinggian tempat dikumpulkan dari berbagai sumber. Peta perubahan hutan tahun 1990-2000 keseluruhan Pulau Sumatera yang disusun Gaveau *et al.* (2007) digunakan sebagai data pembanding dalam analisis data.

### **B. Metodologi Penelitian**

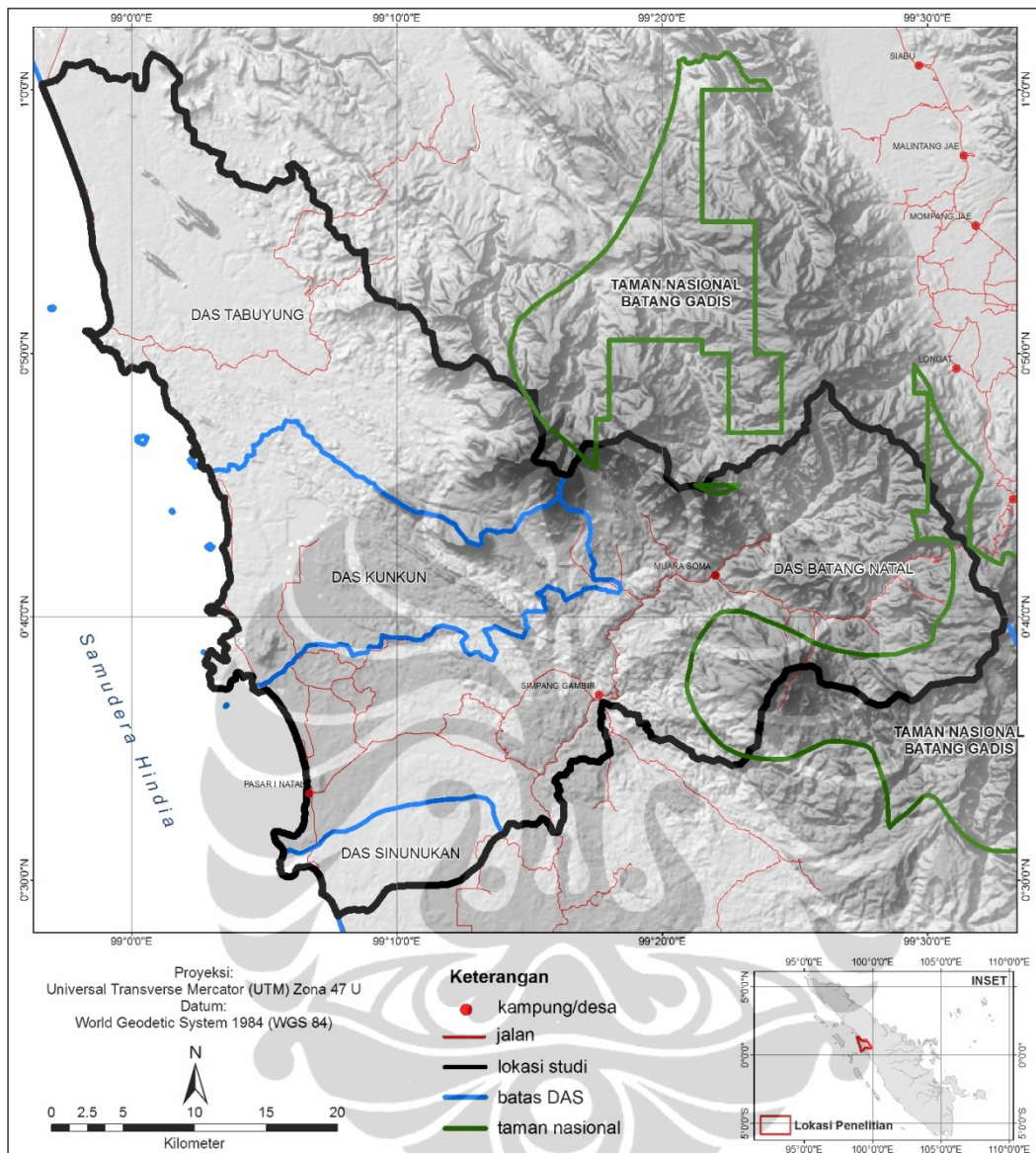
#### **Lokasi Penelitian**

Lokasi penelitian difokuskan pada ekosistem hutan di sekitar DAS Batang Natal, Kunkun, Sinunukan dan Tabuyung. Secara administratif, keempat DAS tersebut masuk di wilayah Kabupaten Mandailing Natal (Gambar II.1). Secara geografis, lokasi penelitian terletak antara koordinat  $0^{\circ} 10' - 1^{\circ} 50'$  Lintang Utara dan  $98^{\circ} 10' - 100^{\circ} 10'$  Bujur Timur dengan ketinggian antara 0 – 2.145 meter di atas permukaan laut. Penelitian dilakukan bulan Maret-Mei 2012.

#### **Interpretasi Citra Satelit**

Interpretasi citra satelit untuk klasifikasi tutupan dan perubahan hutan dalam penelitian ini mengikuti metode yang dikembangkan oleh Gaveau *et al.* (2007), Harper *et al.* (2007), Tabor *et al.* (2010) dan Godoy *et al.* (2011). Metode tersebut menggabungkan (*layer stack*) keenam band dari dua citra yang berbeda tahun ke dalam satu file dengan 12 band, kemudian diinterpretasi secara bersamaan. Dengan demikian, konsistensi hasil klasifikasi untuk kedua tahun data dapat dijaga.

Pemetaan menggunakan citra satelit Landsat-5 *orthorectified* untuk tanggal akuisisi 9 Juli 2000 dan *gap-filled* Landsat-7 ETM+ SLC-off untuk tanggal akuisisi 11 Februari 2011. Kedua citra tersebut diunduh melalui website <http://glovis.usgs.gov/>. Secara umum, proses pengolahan data citra secara digital terdiri dari tahapan *pre-processing* (*gap-filled* citra, koreksi radiometrik, koreksi

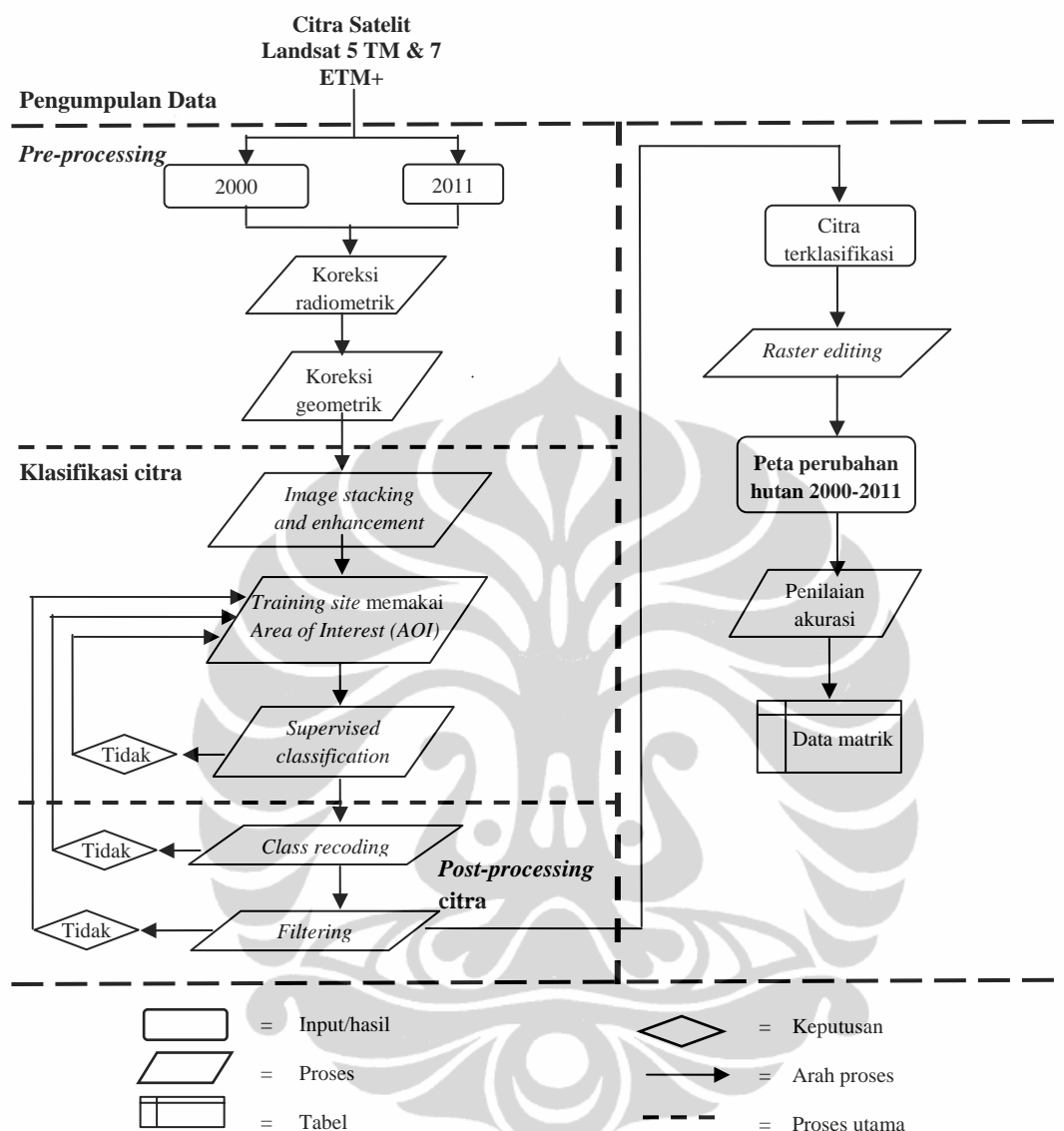


Gambar II.1. Peta cakupan wilayah penelitian

geometrik), klasifikasi citra (penajaman citra, *training site*, *supervised classification*) dan *post-processing* (*class recoding*, *filtering*). Alur proses interpretasi citra diuraikan pada Gambar II.2.

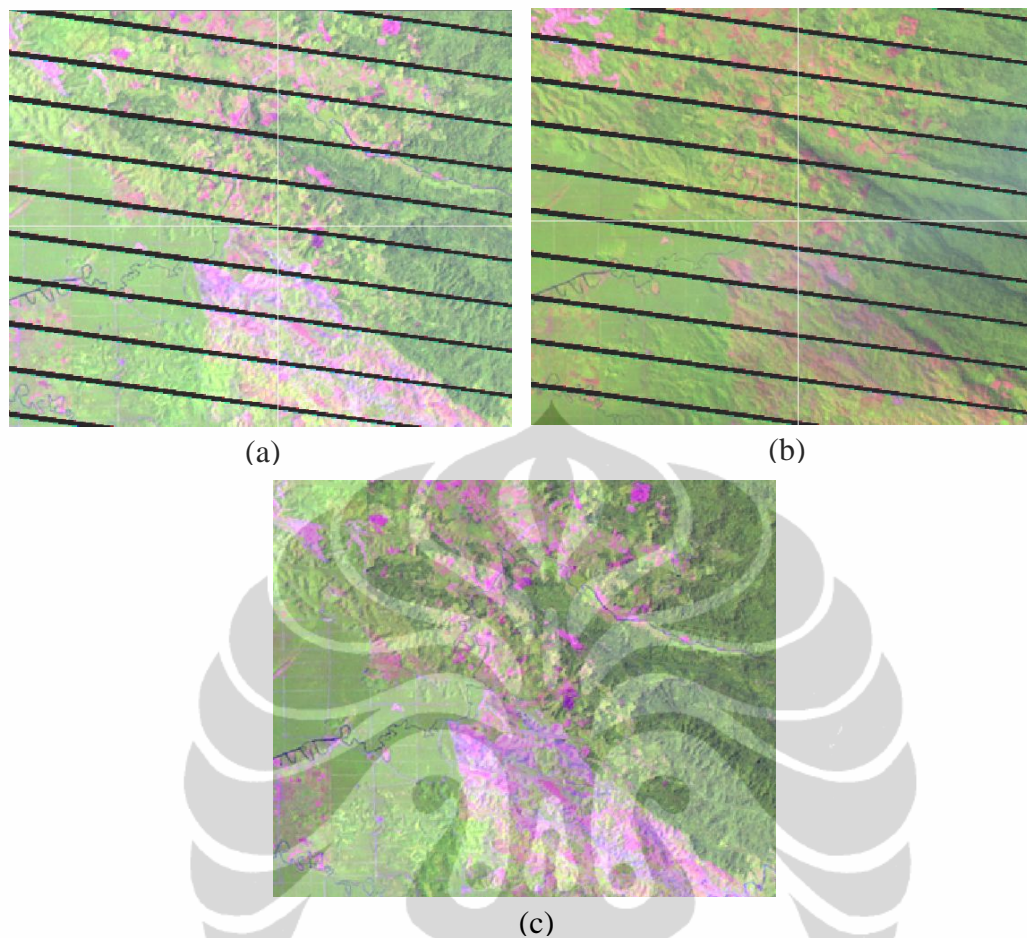
### 1. Pre-Processing Citra

Citra Landsat-7 tahun 2011 mengalami gangguan celah *striping* (Gambar II.2) akibat kerusakan sensor *Scan Line Corrector* (SLC), sehingga perlu dilakukan proses *gap-filled* dengan citra tanggal akuisisi 5 Juli 2011. Sebelum



Gambar II.2. Proses interpretasi citra satelit untuk pemetaan perubahan hutan di DAS Batang Natal dan sekitarnya (modifikasi Gaveau *et al.* 2007)

proses *gap-filled*, dilakukan *co-register* citra tahun 2011 dengan citra *orthorectified* tahun 2000 sebagai referensi dari *NASA's geocover database* (Tucker *et al.* 2004) dan koreksi histogram (*histogram correction*). Kemudian dilakukan proses *gap-filled* menggunakan software IDL ver7.0 yang disusun oleh NASA seperti diilustrasikan pada Gambar II.3 di bawah ini.



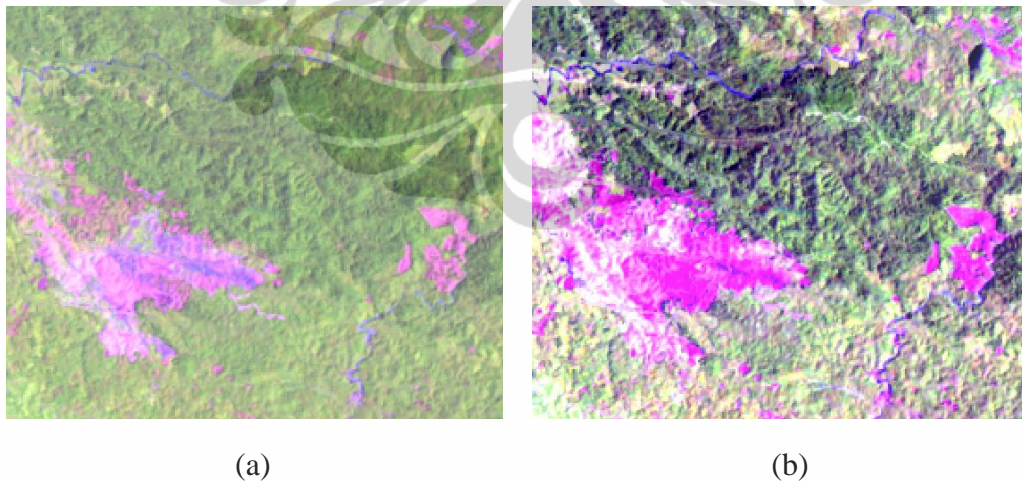
Gambar II.3. Proses *gap-filled* citra Landsat-7 ETM+ komposit RGB band 5, 4, dan 3. Citra (a) tanggal 11 Februari 2011, citra (b) tanggal 5 Juli 2011, dan citra (c) setelah proses *gap-filled*.

## 2. Klasifikasi Citra

Dalam penginderaan jauh, klasifikasi nilai pixel citra dapat dilakukan dengan metode klasifikasi terbimbing (*supervised classification*), klasifikasi tak terbimbing (*unsupervised classification*) dan kombinasi keduanya. Metode klasifikasi terbimbing dilakukan oleh panduan interpreter dengan mengelompokkan nilai pixel berdasarkan informasi tutupan lahan aktual di permukaan bumi. Sedangkan klasifikasi tak terbimbing, proses klasifikasi dilakukan oleh komputer secara otomatis berdasarkan pada informasi gugus-gugus spektral yang tidak bertumpang susun dengan ambang jarak (*threshold distance*) tertentu dari band yang digunakan.

Penelitian ini menggunakan metode klasifikasi terbimbing. Klasifikasi berfokus pada kelas tutupan hutan, non hutan, awan, bayangan awan dan air (Gaveau *et al.* 2007; Tabor *et al.* 2010; Godoy *et al.* 2011). Kelas hutan dibagi menjadi hutan lahan kering, hutan rawa dan hutan mangrove mengacu pada sistem klasifikasi hutan dari Direktorat Planologi, Kementerian Kehutanan (Kementerian Kehutanan 2008). Berdasarkan teknik penginderaan jauh, luas minimal hutan yang dipertimbangkan dalam analisis adalah blok hutan dengan luas lebih dari 2 ha atau setara dengan  $\pm 22$  pixel Landsat (Tabor *et al.* 2010; Godoy *et al.* 2011). Semak belukar, rumput, perkebunan, dan hutan sekunder dikategorikan sebagai kelas "non hutan" karena citra satelit Landsat tidak cukup untuk melihat tipe-tipe tutupan lahan secara detail.

Keenam band dari dua citra tahun 2000 dan 2011 digabung (*layer stack*) ke dalam satu file dengan 12 band. Citra ditampilkan dalam *viewer* ERDAS dengan komposit saluran Red, Green, dan Blue (RGB) band 5, 4, dan 3 untuk tahun 2000 dan RGB band 11, 10 dan 9 untuk tahun 2011. Penajaman citra dilakukan dengan pengaturan *color stretch* menggunakan fungsi *general contrast* agar kedua citra memiliki tampilan warna yang lebih jelas (Gambar II.4).



Gambar II.4. Dua citra satelit komposit RGB band 5, 4, dan 3 dengan area yang sama. Citra (a) belum dipertajam kontras warna, dan citra (b) kontras warna telah dipertajam

Tahapan klasifikasi dilakukan dengan menentukan *training area* berdasarkan penampakan obyek yang sama di atas citra. Setiap hasil penandaan



*training area* diberi kode dan nama sesuai obyek. *Training area* diletakkan pada setiap sub kelas yang telah ditentukan seperti detail pada Lampiran II.1. Sub kelas “hutan lahan kering-hutan lahan kering” mengindikasikan hutan lahan kering pada tahun 2000 dan tetap hutan lahan kering pada tahun 2011. Sedangkan sub kelas “hutan lahan kering-non hutan” mengindikasikan telah terjadi perubahan hutan antara tahun 2000 dan 2011. Setiap *training area* diberi warna sesuai dengan kelas tutupan lahan dan disimpan dalam *signature file*.

Interpretasi tutupan lahan dari citra satelit dibantu dengan pengetahuan lokal dan data lapangan. Setelah itu klasifikasi dilakukan dengan beberapa *iteration* menggunakan metode klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) dengan jenis *classifier*-nya yaitu *maximum likelihood classifier* (MLC). Setiap hasil *iteration* dievaluasi, ditambahkan atau dimodifikasi *training site* sampai hasil akhir klasifikasi sesuai dengan yang diharapkan. Klasifikasi dilakukan sebanyak 5 *iteration* dengan 107 poligon *training sites*.

### **3. Post-Processing Citra**

Selanjutnya dilakukan *post-processing* dalam rangka untuk mendapatkan peta final. Tujuan *post-processing* adalah agar peta secara keseluruhan kelihatan lebih seragam dan individu-individu pixel yang salah klasifikasi dihilangkan. Tahapan *post-processing* terdiri dari *recoding* nilai sub kelas, *clumping* pixel dengan fungsi *majority filter* dan *eliminate* (menghapus) kelompok pixel kecil dengan ukuran < 2 ha.

#### **Penilaian ketelitian (*accuracy assessment*)**

Untuk menguji tingkat akurasi hasil klasifikasi citra satelit, dilakukan survei lapangan (*ground check*). Survei lapangan dilakukan untuk membandingkan kebenaran hasil klasifikasi dengan kondisi sebenarnya di lapangan pada sampel yang sama. Penentuan lokasi yang akan disurvei dilakukan dengan kriteria sebagai berikut :

- a. lokasi yang mengalami perubahan tutupan hutan (dari hutan ke bukan hutan)
- b. lokasi dengan klasifikasi yang meragukan karena penampakan warna pixel yang sama dengan tipe tutupan lahan lain

- c. lokasi yang mengalami perubahan kondisi berdasarkan musim
- d. lokasi dekat dengan akses jalan atau pemukiman penduduk

Lokasi survei kemudian dipetakan dan posisi koordinat dimasukkan ke dalam GPS untuk dipakai sebagai acuan tim survei menuju lokasi yang diinginkan. Survei lapangan dilaksanakan melalui jalur darat dengan mengunjungi setiap lokasi titik sampel yang telah ditentukan. Adapun data yang akan diambil pada setiap titik sampel adalah titik GPS, informasi kondisi lapangan (topografi, tipe tutupan lahan) dan foto. Data hasil survei lapangan direkapitulasi seperti tercantum pada Lampiran II.2.

Dalam penelitian ini, uji akurasi yang digunakan adalah uji akurasi berdasarkan nilai *overall accuracy*, nilai omisi (*user's accuracy*), dan nilai komisi (*producer's accuracy*) yang dihitung dari matrik *confusion* uji. Ketiga nilai akurasi dihitung dengan ketentuan sebagai berikut:

- *Producer's accuracy* – yaitu jumlah sampel yang diklasifikasi secara benar dibagi dengan jumlah total titik sampel *groundcheck* pada setiap kelas tutupan lahan.
- *User's accuracy* – yaitu jumlah sampel yang diklasifikasi secara benar dibagi dengan jumlah total titik sampel hasil interpretasi citra pada setiap kelas tutupan lahan.
- *Overall accuracy* – yaitu jumlah total sampel yang diklasifikasi secara benar dibagi dengan jumlah total sampel.

### **Penghitungan Tutupan Hutan, Perubahan Hutan dan Emisi Karbon**

Statistik tutupan hutan 1990 (Gaveau *et al.* 2007), 2000 dan 2011 serta perubahan hutan dihitung berdasarkan tipe hutan, fungsi kawasan hutan dan batas wilayah DAS menggunakan fungsi *spatial analyst* dan *grid analyst extensions* di ArcView 3.2 dan ArcGIS 9.3. Tipe hutan dibedakan menjadi hutan lahan kering, hutan rawa dan hutan mangrove berdasarkan hasil interpretasi citra satelit di atas. Data fungsi kawasan hutan dan DAS tahun 2009 diperoleh dari Kementerian Kehutanan. Fungsi kawasan hutan terdiri dari hutan lindung, hutan konservasi, hutan produksi, hutan produksi terbatas, hutan produksi konversi dan areal penggunaan lain.

Seluruh hutan yang terpetakan dari citra satelit didefinisikan sebagai “Tutupan hutan yang teramati” dengan luas minimum 2 ha. Hutan pada citra tahun 2000 tertutup awan, tetapi pada citra tahun 2011 teramati hutan didefinisikan sebagai “Tutupan hutan yang diketahui” (Tabor *et al.* 2010; Godoy *et al.* 2011). Laju perubahan hutan untuk setiap tipe hutan dihitung menggunakan fungsi akumulasi yang ditetapkan oleh Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO 1995), yang diperbaharui oleh Narendra (1998) dan Puyravaud (2003) :

$$Q = \frac{1}{(time2-time1)} \times (A2-A1/A1) \quad (II.1).$$

dimana A1 adalah tutupan hutan tahun pertama dan A2 adalah tutupan hutan tahun kedua (terbaru).

Penghitungan stok dan emisi karbon dilakukan dengan menggunakan simpanan biomassa hutan ( $Mg\ ha^{-1}$ ) dari pengukuran lapangan untuk setiap tipe hutan. Kandungan karbon (C) adalah 50% dari biomassa (Brown 1999; IPCC 2003). Total stok karbon untuk setiap tipe hutan dihitung berdasarkan perkalian sederhana antara stok karbon per hektar ( $Mg\ C\ ha^{-1}$ ) dengan luas tutupan hutan (ha). Perubahan luas tutupan hutan antara tahun 2000-2011 digunakan untuk menghitung emisi karbon selama kurun waktu tersebut. Emisi karbon ( $CO_{2e}$ ) dihitung dengan persamaan Mirbach (2000):

$$CO_{2e} = C \times 3,67 \quad (II.2).$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Statistik Tutupan Hutan dan Perubahan Hutan

Uji akurasi hasil klasifikasi citra satelit tahun 2011 untuk wilayah penelitian, secara keseluruhan akurasi mencapai 89% . *Producer's accuracy* (mengindikasikan kesalahan komisi) berkisar antara 50% dan 97% dan *user's accuracy* (mengindikasikan kesalahan omisi) berkisar antara 80% dan 100%. Hasil uji akurasi dapat dilihat pada Tabel II.1.

Tabel II.1. Hasil uji *overall*, *producer* dan *user accuracy* untuk hasil klasifikasi peta tahun 2011.

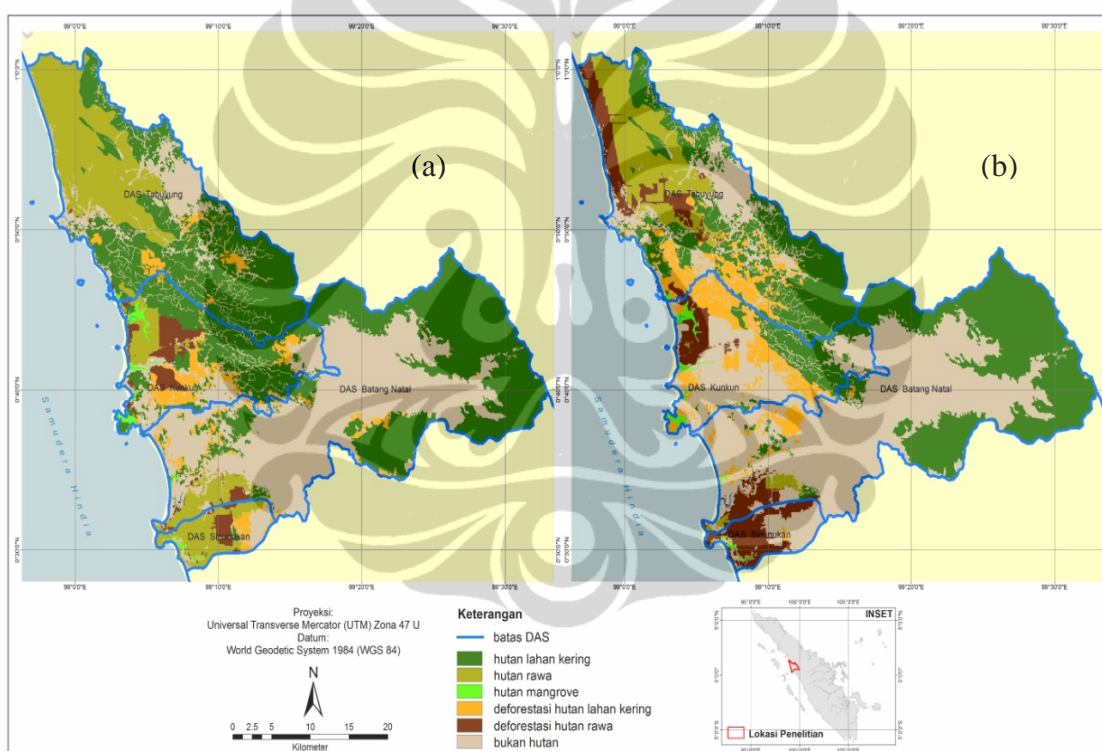
|                      |                    | Hasil Klasifikasi  |            |                |           |       | Producer's Accuracy |
|----------------------|--------------------|--------------------|------------|----------------|-----------|-------|---------------------|
|                      |                    | Hutan Lahan Kering | Hutan Rawa | Hutan Mangrove | Non Hutan | Total |                     |
| Data Survei Lapangan | Hutan Lahan Kering | 7                  | 0          | 0              | 7         | 14    | 0,50                |
|                      | Hutan Rawa         | 0                  | 3          | 0              | 1         | 4     | 0,75                |
|                      | Hutan Mangrove     | 0                  | 0          | 4              | 1         | 5     | 0,80                |
|                      | Non Hutan          | 1                  | 0          | 1              | 73        | 75    | 0,97                |
|                      | <b>Total</b>       | <b>8</b>           | <b>3</b>   | <b>5</b>       | <b>82</b> | 0,89  |                     |
|                      | User's Accuracy    | 0,88               | 1,00       | 0,80           | 0,86      |       |                     |

Nilai akurasi keseluruhan (*overall accuracy*) 89% mengindikasikan bahwa hasil klasifikasi peta dikategorikan baik. Menurut Congalton (1991), akurasi keseluruhan untuk interpretasi citra menggunakan metode *supervised* dan *unsupervised classification* berkisar antara 84% dan 88%. Dengan metode yang sama, Tabor *et al.* (2010) dan Godoy *et al.* (2011) melakukan pemetaan perubahan hutan di Tanzania dengan akurasi keseluruhan mencapai 88%.

Berdasarkan hasil interpretasi citra satelit tahun 2011, luas total tutupan hutan di kawasan DAS Batang Natal dan sekitarnya mencapai 67.961 ha (Tabel II.2 dan Gambar II.5). Dari luas total tutupan hutan tersebut, hutan lahan kering merupakan tipe hutan paling dominan dengan luas mencapai 80,1% (54.433 ha), diikuti hutan rawa dengan luas 18,5 % (12.569 ha) dan hutan mangrove dengan luas 1,4% (958 ha). Dibandingkan dengan tutupan hutan tahun 2000, luas hutan di keempat DAS tersebut menurun dengan rerata laju perubahan hutan 6,26% per tahun. Laju perubahan hutan tersebut meningkat dibandingkan pada periode tahun 1990-2000 sebesar 2,62%.

Tabel II.2. Perubahan hutan dan emisi karbon berdasarkan tipe hutan periode tahun 1990-2000 dan 2000-2011

| Tipe Hutan         | Luas Total (ha) |               |               | Perubahan hutan 1990-2000 |                     | Perubahan hutan 2000-2011 |                     | Emisi karbon (Mg CO <sub>2e</sub> thn <sup>-1</sup> ) |                  |
|--------------------|-----------------|---------------|---------------|---------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------|---|------------------|
|                    | 1990            | 2000          | 2011          | ha thn <sup>-1</sup>      | % thn <sup>-1</sup> | ha thn <sup>-1</sup>      | % thn <sup>-1</sup> | 1990-2000   | 2000-2011        |
| Hutan lahan kering | 75.399          | 67.655        | 54.433        | 774                       | -1,03               | 1.201                     | -1,78               | 487.514   | 756.710          |
| Hutan rawa         | 29.482          | 24.782        | 12.569        | 469                       | -1,59               | 1.110                     | -4,48               | 316.233   | 747.115          |
| Hutan mangrove     | 958             | 958           | 958           | 0                         | 0                   | 0                         | 0                   | 0   | 0                |
| <b>Total</b>       | <b>105.840</b>  | <b>93.396</b> | <b>67.961</b> | <b>1.244</b>              | <b>-2,62</b>        | <b>2.312</b>              | <b>-6,26</b>        | <b>803.748</b>  | <b>1.503.826</b> |



Gambar II.5. Peta perubahan hutan di DAS Batang Natal dan sekitarnya (a) periode tahun 1990-2000, dan (b) periode tahun 2000-2011

Laju perubahan hutan dari penelitian lebih tinggi dibandingkan dengan rerata perubahan hutan di Taman Nasional Kerinci Seblat dengan rerata perubahan hutan 1,1% per tahun (Linkie *et al.* 2004) dan Taman Nasional Bukit Barisan Selatan dengan rerata perubahan hutan 1,64% per tahun (Gaveau *et al.* 2007). Hasil tersebut juga tidak sejalan dengan hasil kajian Hansen *et al.* (2009)

menyatakan rerata perubahan hutan Sumatera periode 2000-2005 mencapai 1,4% per tahun. Bahkan dibandingkan dengan rerata perubahan hutan di Madagaskar (Alnutt *et al.* 2008) dan Papua New Guinea (Shearman *et al.* 2009) yang masing-masing mencapai 0.8% per tahun dan 1.1% per tahun, laju perubahan hutan di lokasi penelitian jauh lebih tinggi.

Perubahan hutan tertinggi terjadi pada hutan rawa dengan rerata 1,59% per tahun dan 4,48% per tahun untuk berturut-turut periode tahun 1990-2000 dan 2000-2011. Sedangkan rerata perubahan hutan tahunan hutan lahan kering pada tahun 1990-2000 dan 2000-2011 berturut-turut 1,03% dan 1,78% (Tabel II.2). Hutan rawa merupakan salah satu tipe ekosistem hutan yang mendominasi di daerah dataran rendah. Ekosistem hutan dataran rendah menjadi ekosistem yang paling rentan dikonversi (Linkie *et al.* 2004; Hansen *et al.* 2009) untuk mendukung kegiatan ekonomi ((Rudel & Roper 1997; Mertens *et al.* 2000; Mya 2010). Ekosistem hutan dataran rendah di pesisir barat Sumatera menghadapi ancaman perubahan hutan seperti di pesisir timur, khususnya di Provinsi Riau (Mya 2010). Oleh karena itu, Holmes (2002) memperkirakan ekosistem hutan dataran rendah Sumatera di luar kawasan konservasi akan habis pada tahun 2005. Tetapi prediksi tersebut tidak terbukti karena hutan dataran rendah Sumatera masih ada walaupun terus mengalami penurunan luasan.

Hasil analisis menunjukkan hutan mangrove tidak mengalami penurunan luas, tetapi bukan berarti tidak mengalami gangguan. Hutan mangrove pernah mengalami degradasi akibat eksploitasi untuk industri kayu arang. Tetapi proses degradasi hutan tidak dapat diidentifikasi dengan menggunakan citra satelit resolusi menengah seperti Landsat (Brown 2002; Lorena & Lambin 2002; Broich *et al.* 2011). Walaupun luasan hutan mangrove di lokasi penelitian kecil dibandingkan tipe hutan lain, tetapi dari aspek fungsi ekologis, hutan mangrove memiliki peranan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem pesisir dan pantai. Beberapa peranan penting hutan mangrove diantaranya sebagai sumber makanan (ikan, kepiting, dan lain-lain), kayu, dan melindungi dari bencana alam seperti topan dan tsunami (Giesen *et al.* 2006).

Berdasarkan fungsi kawasan hutan yang ditetapkan Kementerian Kehutanan (Tabel II.3), perubahan hutan sebagian besar terjadi di kawasan yang

ditetapkan sebagai Areal Penggunaan Lain (APL). Di kawasan APL, Hutan lahan kering yang dibuka sekitar 524,97 ha per tahun pada periode 1990-2000 dan 777,83 ha per tahun pada periode 2000-2011. Sedangkan hutan rawa yang dibuka pada kawasan APL lebih luas dibandingkan hutan lahan kering yaitu mencapai 471,29 ha per tahun periode 1990-2000 dan 1.005,66 ha per tahun periode 2000-2011.

Tabel II.3. Perubahan hutan dan emisi karbon berdasarkan tipe hutan pada setiap fungsi hutan periode tahun 1990-2000 dan 2000-2011

| Tipe Hutan         | Fungsi Hutan | Luas Total (ha) |        |        | Perubahan hutan 1990-2000 |                     | Perubahan hutan 2000-2011 |                     | Emisi karbon (Mg CO <sub>2e</sub> thn <sup>-1</sup> ) |           |
|--------------------|--------------|-----------------|--------|--------|---------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------|---|-----------|
|                    |              | 1990            | 2000   | 2011   | ha thn <sup>-1</sup>      | % thn <sup>-1</sup> | ha thn <sup>-1</sup>      | % thn <sup>-1</sup> | 1990-2000   | 2000-2011 |
| Hutan lahan kering | HL           | 3.502           | 3.475  | 3.357  | 2,71                      | -0,08               | 10,66                     | -0,31               | 1.703   | 6.713     |
|                    | HK           | 14.626          | 14.448 | 14.448 | 17,79                     | -0,12               | 0,00                      | 0,00                | 11.198  | 0         |
|                    | HPT          | 29.745          | 27.668 | 23.126 | 207,70                    | -0,70               | 412,88                    | -1,49               | 130.759   | 259.930   |
|                    | HP           | 4.114           | 3.904  | 3.904  | 21,02                     | -0,51               | 0,00                      | 0,00                | 13.234  | 0         |
|                    | HPK          | 0               | 0      | 0      | 0,00                      | 0,00                | 0,00                      | 0,00                | 0   | 0         |
|                    | APL          | 23.399          | 18.149 | 9.593  | 524,97                    | -2,24               | 777,83                    | -4,29               | 330.498   | 489.681   |
| Hutan rawa         | HL           | 167             | 47     | 0      | 12,05                     | -7,20               | 4,25                      | -9,09               | 13.379  | 4.725     |
|                    | HK           | 0               | 0      | 0      | 0,00                      | 0,00                | 0,00                      | 0,00                | 0   | 0         |
|                    | HPT          | 1.520           | 1.116  | 37     | 40,43                     | -2,66               | 98,05                     | -8,79               | 44.903  | 108.906   |
|                    | HP           | 0               | 0      | 0      | 0,00                      | 0,00                | 0,00                      | 0,00                | 0   | 0         |
|                    | HPK          | 0               | 0      | 0      | 0,00                      | 0,00                | 0,00                      | 0,00                | 0   | 0         |
|                    | APL          | 27.757          | 23.584 | 12.522 | 417,29                    | -1,50               | 1.005,66                  | -4,26               | 463.506   | 1.117.050 |
| Hutan mangrove     | HL           | 42              | 42     | 42     | 0,00                      | 0,00                | 0,00                      | 0,00                | 0   | 0         |
|                    | HK           | 0               | 0      | 0      | 0,00                      | 0,00                | 0,00                      | 0,00                | 0   | 0         |
|                    | HPT          | 288             | 288    | 288    | 0,00                      | 0,00                | 0,00                      | 0,00                | 0   | 0         |
|                    | HP           | 0               | 0      | 0      | 0,00                      | 0,00                | 0,00                      | 0,00                | 0   | 0         |
|                    | HPK          | 0               | 0      | 0      | 0,00                      | 0,00                | 0,00                      | 0,00                | 0   | 0         |
|                    | APL          | 576             | 576    | 576    | 0,00                      | 0,00                | 0,00                      | 0,00                | 0   | 0         |

Keterangan: HL = Hutan Lindung; HK = Hutan Konservasi; HPT = Hutan Produksi Terbatas; HP = Hutan Produksi; HPK = Hutan Produksi Konversi; dan APL = Areal Penggunaan Lain

Fakta yang lain, perubahan hutan terjadi juga di hutan lindung dan kawasan konservasi. Hutan lahan kering yang dikonversi di kawasan hutan lindung meningkat dari 0,08% per tahun pada periode 1990-2000 menjadi 0,31% per tahun pada periode 2000-2011. Untuk hutan rawa, telah terjadi konversi hutan di kawasan lindung sekitar 7,2% per tahun pada periode 1990-2000 dan 9,09% per tahun pada periode 2000-2011. Hutan lindung berada dibawah pengawasan dan pengelolaan pemerintah daerah (kabupaten dan provinsi). Kondisi tersebut mengindikasikan lemahnya upaya pengelolaan kawasan hutan lindung oleh pemerintah daerah.

Selain itu, perubahan hutan juga terjadi di kawasan konservasi. Pada periode tahun 1990-2000, terjadi perubahan hutan di kawasan Taman Nasional Batang Gadis (TNBG) sebesar 0,12% per tahun. Situasi yang sama terjadi di beberapa taman nasional di antaranya Taman Nasional Bukit Barisan Selatan (Gaveau *et al.* 2007), Taman Nasional Tanjung Puting (Murdiyarsa *et al.* 2009) dan Taman Nasional Bukit Baka Bukit Raya (Budiman *et al.* 2011). Tetapi pada periode tahun 2000-2011, tidak terjadi perubahan hutan lagi di kawasan TNBG. Hal tersebut mengindikasikan peranan kawasan konservasi memberikan dampak positif dalam menekan perubahan hutan (Linkie *et al.* 2004; Gaveau *et al.* 2007; Andam *et al.* 2008; Linkie *et al.* 2010).

Berdasarkan wilayah DAS dan total luas hutan di setiap DAS, secara persentase, perubahan hutan lahan kering tertinggi terjadi di DAS Sinunukan yang mencapai 8,91% per tahun dari total luas hutan DAS periode 1990-2000 dan 9,09% per tahun periode 2000-2011 (Tabel II.4 dan Tabel II.5). Dari sisi luasan, perubahan hutan lahan kering tertinggi terjadi di DAS Kunkun dengan luas mencapai 340 ha per tahun periode 1990-2000 dan 563 ha per tahun untuk periode 2000-2011. Perubahan hutan lahan kering terendah terjadi di DAS Batang Natal sebesar 0,58% per tahun untuk periode 1990-2000 dan 0,55% per tahun periode 2000-2011. Hal tersebut disebabkan karena sebagian besar hutan lahan kering masuk ke kawasan taman nasional dan memiliki topografi tinggi. Aksesibilitas dalam hal ini topografi sangat berpengaruh terhadap kejadian perubahan hutan (Linkie *et al.* 2004; Linkie *et al.* 2010).

Pada periode 1990-2000, perubahan hutan rawa tertinggi terjadi di DAS Kunkun yang mencapai 297 ha (5,8%) per tahun dari total luas hutan rawa di DAS tersebut. Sedangkan untuk periode 2000-2011, perubahan hutan rawa tertinggi terjadi di DAS Sinunukan mencapai 8,95% per tahun dari total luas hutan rawa di DAS. Dari sisi luasan, hutan rawa di DAS Kunkun mengalami perubahan hutan tertinggi mencapai 297 ha per tahun periode 1990-2000 dan DAS Tabuyung dengan luas 421 ha per tahun periode 2000-2011.

Hutan rawa tropis merupakan gudang utama karbon dan berperan penting dalam melindungi ketersediaan air tawar bersih. Berdasarkan pengamatan di lapangan, hutan rawa banyak dikonversi menjadi perkebunan sawit. Permintaan



Tabel II.4. Perubahan hutan dan emisi karbon berdasarkan tipe hutan pada setiap DAS periode tahun 1990-2000

| Faktor  | Batang Natal |        |      | Kunkun  |         |      | Sinunukan |         |      | Tabuyung |        |      |
|---|--------------|--------|------|---------|---------|------|-----------|---------|------|----------|--------|------|
|   | HLK          | HR     | HM   | HLK     | HR      | HM   | HLK       | HR      | HM   | HLK      | HR     | HM   |
| Tutupan hutan 1990 (ha)                                       | 33.240       | 3.375  | 45   | 14.713  | 5.117   | 746  | 843       | 4.616   | 132  | 26.603   | 16.374 | 35   |
| Tutupan hutan 2000 (ha)                                       | 31.329       | 2.744  | 45   | 11.313  | 2.151   | 746  | 92        | 3.622   | 132  | 24.922   | 16.266 | 35   |
| Perubahan tutupan hutan tahunan (ha thn <sup>-1</sup> )       | 191          | 63     | 0    | 340     | 297     | 0    | 75        | 99      | 0    | 168      | 11     | 0    |
| Perubahan tutupan hutan tahunan (% thn <sup>-1</sup> )        | -0,58        | -1,87  | 0,00 | -2,31   | -5,80   | 0,00 | -8,91     | -2,15   | 0,00 | -0,63    | -0,07  | 0,00 |
| Emisi karbon tahunan (Mg CO <sub>2e</sub> thn <sup>-1</sup> ) | 120.342      | 70.129 | 0    | 214.047 | 329.516 | 0    | 47.254    | 110.413 | 0    | 105.870  | 11.954 | 0    |

Keterangan: HLK = Hutan Lahan Kering; HR = Hutan Rawa; dan HM = Hutan Mangrove

Tabel II.5. Perubahan hutan dan emisi karbon berdasarkan tipe hutan pada setiap DAS periode tahun 2000-2011

| Faktor  | Batang Natal |         |      | Kunkun  |         |      | Sinunukan |         |      | Tabuyung |         |      |
|---|--------------|---------|------|---------|---------|------|-----------|---------|------|----------|---------|------|
|   | HLK          | HR      | HM   | HLK     | HR      | HM   | HLK       | HR      | HM   | HLK      | HR      | HM   |
| Tutupan hutan 2000 (ha)                                       | 31.329       | 2.744   | 45   | 11.313  | 2.151   | 746  | 92        | 3.622   | 132  | 24.922   | 16.266  | 35   |
| Tutupan hutan 2011 (ha)                                       | 29.437       | 847     | 45   | 5.118   | 37      | 746  | 0         | 54      | 132  | 19.878   | 11.631  | 35   |
| Perubahan tutupan hutan tahunan (ha thn <sup>-1</sup> )       | 172          | 172     | 0    | 563     | 192     | 0    | 8         | 324     | 0    | 458      | 421     | 0    |
| Perubahan tutupan hutan tahunan (% thn <sup>-1</sup> )        | -0,55        | -6,29   | 0,00 | -4,98   | -8,93   | 0,00 | -9,09     | -8,95   | 0,00 | -1,84    | -2,59   | 0,00 |
| Emisi karbon tahunan (Mg CO <sub>2e</sub> thn <sup>-1</sup> ) | 108.240      | 191.533 | 0    | 354.554 | 213.416 | 0    | 5.272     | 360.296 | 0    | 288.645  | 468.037 | 0    |

Keterangan: HLK = Hutan Lahan Kering; HR = Hutan Rawa; dan HM = Hutan Mangrove

minyak sawit dan harga yang tinggi mengakibatkan perluasan perkebunan sawit terjadi besar-besaran di pesisir pantai barat Sumatera. Padahal, beberapa ekosistem hutan rawa di antaranya Rawa Singkil, Angkola dan Rawa Tripa diidentifikasi sebagai kawasan yang memiliki keanekaragaman hayati tinggi (Giesen *et al.* 1991; Conservation International *et al.* 2007).

Berdasarkan data Biro Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Mandailing Natal (2009), produksi kelapa sawit melonjak tajam yang semula hanya 14.171 ton pada tahun 2005 menjadi hampir 12 kali lipat yaitu mencapai 179.479 ton pada tahun 2008. Dari aspek luasan, luas perkebunan sawit rakyat di Mandailing Natal meningkat dari 12.257 ha pada tahun 2005 menjadi 14.320 ha pada tahun 2008. Sedangkan luas perkebunan sawit swasta mencapai 22.559 ha pada tahun 2008. Data-data tersebut membuktikan bahwa perkebunan kelapa sawit menjadi penyebab utama konversi hutan di DAS Batang Natal dan sekitarnya. Oleh karena itu, konversi hutan rawa terus menerus dikhawatirkan akan mengancam kelestarian keanekaragaman hayati dan jasa lingkungan yang tersedia dari ekosistem hutan.

## **B. Stok dan Emisi Karbon**

Secara umum, emisi karbon yang diakibatkan oleh perubahan hutan meningkat dari periode 1990-2000 dan 2000-2011. Emisi dari hutan lahan kering mencapai 487.514 Mg CO<sub>2e</sub> per tahun periode 1990-2000 dan 756.710 Mg CO<sub>2e</sub> per tahun periode 2000-2011 (Tabel II.2). Emisi karbon berasal dari hutan rawa mencapai 316.233 Mg CO<sub>2e</sub> per tahun periode 1990-2000 dan 747.115 Mg CO<sub>2e</sub> per tahun periode 2000-2011. Secara keseluruhan di wilayah penelitian, emisi karbon mencapai 803.478 Mg CO<sub>2e</sub> periode 1990-2000 dan meningkat menjadi 1,5 juta Mg CO<sub>2e</sub> periode 1990-2000 (Tabel II.2).

Emisi karbon tersebut di atas lebih tinggi dibandingkan dengan emisi karbon hutan di pantai timur Tanzania (Godoy *et al.* 2011). Hasil penelitian sejalan dengan pendapat Hooijer *et al.* (2006) dan Page *et al.* (2011) yang menyatakan penyumbang terbesar emisi karbon ialah pembukaan hutan skala besar. Perubahan hutan rawa, khususnya hutan rawa gambut telah meningkatkan emisi rumah kaca dari Indonesia (Murdiyarso & Lebel 2007; Murdiyarso *et al.* 2009).

Berdasarkan wilayah DAS dan total emisi karbon, untuk periode 1990-2000 emisi tertinggi terjadi di DAS Kunkun mencapai 543.563 Mg CO<sub>2e</sub> (Tabel II.4). Periode 2000-2011, emisi karbon tertinggi terjadi di DAS Tabuyung yang

mencapai 756.682 Mg CO<sub>2e</sub> (Tabel II.5). Padahal, pada periode 1990-2000, emisi karbon di DAS Tabuyung terendah dibandingkan DAS lainnya.

Emisi karbon hutan rawa belum termasuk emisi dari pembukaan lahan rawa gambut (*peatland*). Potensi karbon rawa gambut di DAS Batang Natal dan sekitarnya perlu diteliti lebih lanjut. Tetapi sebagai gambaran, dalam menjaga karbon gambut membutuhkan persediaan bahan organik dan air yang terus menerus. Pembuatan kanal air (*drainage*) dan penebangan hutan menyebabkan hilangnya kebutuhan fundamental dalam menjaga keseimbangan karbon gambut (Hooijer *et al.* 2010). Kanal-kanal untuk perkebunan sawit dibuat dengan kedalaman 60 cm dan 85 cm, bahkan seringkali kedalamannya lebih dari 1 m (Hooijer *et al.* 2006; Hooijer *et al.* 2010). Pembuatan kanal akan menurunkan volume air sehingga menyebabkan penurunan permukaan dan volume gambut. Pada saat itulah karbon gambut terlepas ke atmosfer.

Selain itu, perubahan hutan yang terjadi di daerah aliran sungai akan berpengaruh terhadap fungsi hidrologi. Penurunan tutupan vegetasi pada suatu kawasan DAS akan mengakibatkan perubahan distribusi musiman aliran sungai, erosi dan sedimentasi (Arrijani *et al.* 2006; Sayaka & Pasandaran 2006). Sehingga dampak yang nyata saat musim kemarau yaitu dengan minimnya sumber air baik dari mata air atau air sungai.

## **KESIMPULAN**

Periode tahun 2000-2011 luas hutan lahan kering menurun dari 67.655 ha menjadi 54.433 ha, dengan rerata perubahan hutan 1,78% (1.201 ha) per tahun. Rerata emisi karbon dari hutan lahan kering mencapai 756.710 Mg CO<sub>2e</sub> per tahun pada periode tersebut. Luas hutan rawa menurun dari 24.782 ha tahun 2000 menjadi 12.569 ha tahun 2011, dengan rerata perubahan hutan 4,48% (1.110 ha) per tahun. Rerata emisi karbon hutan rawa mencapai 747.115 Mg CO<sub>2e</sub> per tahun.

Perubahan hutan lahan kering tertinggi terjadi di DAS Kunkun dengan luas mencapai 2,31% (340 ha) per tahun periode 1990-2000 dan 4,98% (563 ha) per tahun untuk periode 2000-2011. Perubahan hutan lahan kering terendah terjadi di DAS Batang Natal sebesar 0,58% (191 ha) per tahun untuk periode 1990-2000

dan 0,55% (172 ha) per tahun periode 2000-2011. Dari sisi luasan, hutan rawa di DAS Kunkun mengalami perubahan hutan tertinggi mencapai 5,80% (297 ha) per tahun periode 1990-2000 dan DAS Tabuyung dengan 2,59% (421 ha) per tahun periode 2000-2011.

Periode tahun 2000-2011, DAS Kunkun dan Tabuyung merupakan DAS yang mengalami perubahan hutan tertinggi dibandingkan dengan DAS lain. Perubahan hutan di DAS Kunkun mencapai rerata 4,98% (563 ha) per tahun untuk hutan lahan kering dan 8,93% (192 ha) per tahun untuk hutan rawa. Sedangkan DAS Tabuyung mengalami perubahan hutan dengan rerata 1,84% (458 ha) per tahun untuk hutan lahan kering dan 2,59% (421 ha) per tahun untuk hutan rawa.

## **SARAN**

Upaya penelitian lebih lanjut pemetaan perubahan hutan dengan menggunakan analisis citra penginderaan jauh yang mempunyai resolusi spasial lebih tinggi perlu dilakukan untuk mendapatkan data luasan lebih akurat. Selain itu, untuk mengurangi kesalahan interpretasi, peta tutupan hutan tahun 2011 perlu diperbaharui dengan data citra Landsat 5 yang tidak mengalami kerusakan sensor seperti Landsat 7. Hasil penelitian juga perlu disosialisasikan kepada para pihak (*stakeholders*) yang berkepentingan di Kabupaten Mandailing Natal dan diintegrasikan dengan perencanaan tata ruang wilayah yang sedang disusun.

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penelitian ini sepenuhnya didanai oleh Conservation International Indonesia sehingga dapat terlaksana dengan baik. Penulis mengucapkan terima kasih terutama kepada Dr. Nisyawati, MS. dan Dr. Rokhmatuloh S.Si., M.Eng. selaku pembimbing dalam penelitian ini. Ucapan terima kasih disampaikan juga kepada Jatna Supriatna, Ph.D. dan Drs. Erwin Nurdin, M.Si. selaku penguji tesis yang telah memberikan masukan membangun untuk penyempurnaan naskah. Kepada James Peters, Daniel Juhn dan Hedley Grantham dari Conservation International diucapkan terima kasih atas masukan teknis baik pada saat

penyusunan proposal dan selama penulis melakukan pengolahan dan analisis data peta.

## DAFTAR ACUAN

- Achard, F., H.D. Eva, H.J. Stibig, P. Mayaux, J. Gallego, T. Richards & J.P. Malingreau. 2002. Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. *Science* **297**: 999–1002.
- Allnutt, T.F., S. Ferrier, G. Manion, G.V.N. Powell, T.H. Ricketts, B.L. Fisher, G. J. Harper, M.E. Irwin, C. Kremen, J.N. Labat, D.C. Lees, T.A. Pearce & F. Rakotondrainibe. A method for quantifying biodiversity loss and its application to a 50-year record of deforestation across Madagascar. *Conservation Letter* **1**: 173–181.
- Andam, K.S., P.J. Ferraro, A. Pfaff, G.A. Sanchez-Azofeifa & J.A. Robalino. 2008. Measuring the effectiveness of protected area networks in reducing deforestation. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **105**:16089–16094.
- Angelsen, A. 1995. “Shifting cultivation and “deforestation”: A study from Indonesia.” *World Development* **23**(10): 1713–1729.
- Arrijani, D. Setiadi, E. Guhardja & I. Qayim. 2006. Vegetation analysis of the upstream Cianjur watersheds in Mount Gede Pangrango National Park. *Biodiversitas* **7**(2): 147–153.
- Badan Pusat Statistik. 2009. *Mandailing Natal dalam angka 2009*. Badan Pusat Statistik Kabupaten Mandailing Natal. Panyabungan: xlix + 436 hlm.
- Broich, M., M. Hansen, F. Stolle, P. Potapov, B.A. Margono & B. Adusei. 2011. Remotely sensed forest cover loss shows high spatial and temporal variation across Sumatera and Kalimantan, Indonesia 2000-2008. *Environmental Research Letters* **6**: 1–9.
- Brown, S. 1999. *Guidelines for inventorying and monitoring carbon offsets in forest-based projects*. Forest Carbon Monitoring Program. Winrock International, Arlington (USA): 14 hlm.

- Brown, S. 2002. Measuring, monitoring, and verification of carbon benefits for forest-based projects. *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Science* **360**(1797): 1669–1683.
- Buchanan, G.M., A. Nelson, P. Mayaux, A. Hartley & P.F. Donald. 2008. Delivering a global, terrestrial, biodiversity observation system through remote sensing. *Conservation Biology* **23**(2): 499–502.
- Budiman, A., A. Yahya & R. Zapariza. 2011. *Reference scenario on the development of CO<sub>2</sub> emissions through deforestation and forest degradation in Bukit Baka Bukit Raya National Park and buffer zone, West Kalimantan, Indonesia*. Technical Project Report. WWF Indonesia. Sintang: iii + 54 hlm.
- Congalton, R.G. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing Environment* **37**: 35–46.
- Conservation International Indonesia, Departemen Kehutanan Republik Indonesia, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Universitas Andalas, Universitas Syiah Kuala & Wildlife Conservation Society. 2007. *Priority sites for conservation in Sumatra: key biodiversity areas*. CII, Dephut RI, LIPI, Unand, Unsyiah, WCS. Jakarta, Indonesia: xix + 56 hlm.
- Curran, L.M., S.N. Trigg, A.K. McDonald, D. Astiani, Y.M. Hardiono, P. Siregar, I. Caniago & E. Kasischke. 2004. Lowland forest loss in protected areas of Indonesian Borneo. *Science* **303**: 1000–1003.
- DeFries, R.S., R.A. Houghton & M.C. Hansen. 2002. Carbon emissions from tropical deforestation and regrowth based on satellite observations for the 1980 and 1990. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **99**:14256–14261.
- Food and Agriculture Organization. 1995. *Forest Resources Assessment 1990*. Global Synthesis. Rome.
- Food and Agriculture Organization. 2007. *The world's mangroves 1980-2005*. *FAO Forestry Report No. 153*. Rome.
- Foley, J.A., R. DeFries, G.P. Asner, C. Barford, G. Bonan, S.R. Carpenter, F.S. Chapin, M.T. Coe, G.C. Daily, H.K. Gibbs, J.H. Helkowski, T. Holloway, E.A. Howard, C.J. Kucharik, C. Monfreda, J.A. Patz, I.C. Prentice, N.

- Ramankutty & P.K. Snyder. 2005. Global consequences of land use. *Science* **309**(5734): 570–574.
- Fuller, D.O. 2006. Tropical forest monitoring and remote sensing: a new era of transparency in forest governance? *Singapore Journal Tropical Geography* **27**: 15–29.
- Forest Watch Indonesia. 2011. *Potret keadaan hutan Indonesia periode tahun 2000-2009*. ForestWatch Indonesia. Bogor, Indonesia: vii + 53 hlm.
- Forest Watch Indonesia & Global ForestWatch. 2002. *The State of the Forest: Indonesia*. Bogor, Indonesia: ForestWatch Indonesia. Washington, DC: Global ForestWatch: xi + 103 hlm.
- Gaveau, D.L.A., B.A. Dewantara, J. Epting, I. Kumara, B. Suyikno & H. Sumantri. 2007. *Deforestation map 1990-2000 of Sumatra and Siberut at 150,000 scale*. Interactive CD-ROM, Bogor, Indonesia Wildlife Conservation Society Indonesia Program, Conservation International & Directorate General of Forest Protection and Nature Conservation. Bogor (Indonesia): 11 hlm.
- Gaveau, D.L.A., J. Epting, O. Lyne, M. Linkie, I. Kumara, M. Kanninen & N. Leader-Williams. 2009. Evaluating whether protected areas reduce tropical deforestation in Sumatra. *Journal of Biogeography* **36**:2165–2175.
- Gibbs, H.K., S. Brown, J.O. Niles & J.A. Foley. 2007. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: Making REDD a reality. *Environmental Research Letters* **2**:1–13.
- Giesen, W., B. van Balen, Sukotjo & P. Siregar. 1991. Singkil Barat Swamps (Aceh). In Giesen, W. & B. van Balen. 1991. *Several short surveys of Sumatran wetland*. Notes and observations. PHPA/AWB Sumatra Wetland Project Report No. 26. Bogor: 98 hlm.
- Giesen W, S. Wulffraat, M. Zieren & L. Scholten. 2006. *Mangrove guidebook for Southeast Asia*. FAO and Wetlands International. Dharmasarn Co., Ltd, Bangkok: 85 hlm.
- Godoy, F.L., K. Tabor, N.D. Burgess, B.P. Mbilinyi, J.J. Kashaigili & M.K. Steininger. 2011. Deforestation and CO<sub>2</sub> emissions in coastal Tanzania from 1990 to 2007. *Environmental Conservation* **39**(1): 1–10.

- Hansen, M.C. & R.S. DeFries. 2004. Detecting long term global forest change using continuous fields of tree cover maps from 8 km AVHRR data for the years 1982–1999. *Ecosystems* **7**: 695–716.
- Hansen, M.C., S.V. Stehman & P.V. Potapov. 2010. Quantification of global gross forest cover loss. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **107**(19): 8650–8655.
- Hansen, M.C., S.V. Stehman, P.V. Potapov, B. Arunarwati, F. Stolle & K. Pittman. 2009. Quantifying changes in the rates of forest clearing in Indonesia from 1990 to 2005 using remotely sensed data sets. *Environmental Research Letters* **4**: 1–12.
- Hansen, M.C., S.V. Stehman, P.V. Potapov, T.R. Loveland, J.R.G. Townshend, R.S. DeFries, K.W. Pittman, B. Arunarwati, F. Stolle, M.K. Steininger, M. Carroll & C. DiMiceli. 2008. Humid tropical forest clearing from 2000 to 2005 quantified using multi-temporal and multi-resolution remotely sensed data. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **105**(27): 9439–9444.
- Harper, G.J., M.K. Steininger, C.J. Tucker, D. Juhn & F. Hawkins. 2007. Fifty years of deforestation and forest fragmentation in Madagascar. *Environmental Conservation* **34**(4): 325–333.
- Holmes, D. A. 2002. The predicted extinction of lowland forests in Indonesia. Pages 7–13 in E. Wickramanayake, E. Dinerstein, C. J. Loucks, D. M. Olson, J. Morrison, J. Lamoreux, M. McKnight & P. Hedao (eds). *Terrestrial ecoregions of the Indo Pacific: a conservation assessment*. Island Press, Washington, D.C. (USA): 643 hlm.
- Hooijer, A., M. Silvius, H. Wösten & S. Page. 2006. *PEAT-CO<sub>2</sub>, Assessment of CO<sub>2</sub> emissions from drained peatlands in SE Asia*. Delft Hydraulics Report Q3943. Netherlands: iii + 36 hlm.
- Hooijer, A., S. Page, J.G. Canadell, M. Silvius, J. Kwadijk, H. Wösten & J. Jauhiainen. 2010. Current and future CO<sub>2</sub> emissions from drained peatlands in Southeast Asia. *Biogeosciences* **7**: 1505–1514.
- Houghton, R.A. 2005. Aboveground forest biomass and the global carbon balance. *Global Change Biology* **11**: 945–958.



- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2003. *Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry*. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japan: x + 301 hlm.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press [www document]. URL <http://www.meteo.bg/meteorology/SPM2feb07.pdf>. 5 Maret 2012, pk 14.00 WIB.
- Kementerian Kehutanan. 2008. *Statistik Kehutanan Indonesia*. Jakarta: xi + 193 hlm.
- Linkie, M., E. Rood & R.J. Smith. 2010. Modelling the effectiveness of enforcement strategies for avoiding tropical deforestation in Kerinci Seblat National Park, Sumatra. *Biodiversity and Conservation* **19**: 973–984.
- Linkie, M., R.J. Smith & N. Leader-Williams. 2004. Mapping and predicting deforestation patterns in the lowlands of Sumatra. *Biodiversity and Conservation* **13**: 1809–1818.
- Lorena, R.B. & E.F. Lambin. 2009. The spatial dynamics of deforestation and agent use in the Amazon. *Applied Geography* **29**: 171–181.
- Mertens, B., W.D. Sunderlin, O. Ndoye & E.F. Lambin. 2000. Impact of macroeconomic change on deforestation in South Cameroon: integration of household survey and remotely-sensed data. *World Development* **28**(6): 983–999.
- Miettinen, J., C. Shi & S.C. Liew. 2011. Deforestation rates in insular Southeast Asia between 2000 and 2010. *Global Change Biology* **17**: 2261–2270.
- Mirbach, Mv. 2000. *Carbon budget accounting at the forest management unit level: an overview of issues and methods*. Canada's Model Forest Program, Natural Resources Canada, Canadian Forest Service. Ottawa: viii + 76 hlm.
- Murdiyarso, D. & L. Lebel. 2007 Southeast Asian fire regimes and land development policy. In: Canadell, J., Pataki, D. and Pitelka, L. (eds.). *Terrestrial ecosystems in a changing world*. Springer, New York: 261–271.

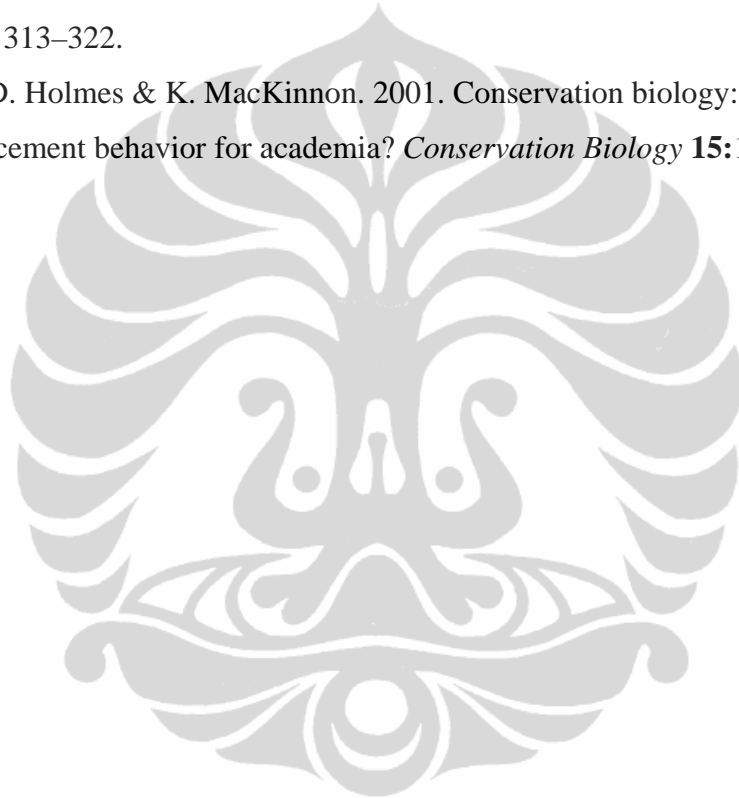
- Murdiyarso, D., D. Donato, J.B. Kauffman, S. Kurnianto, M. Stidham & M. Kanninen. 2009. Carbon storage in mangrove and peatland ecosystems: A preliminary account from plots in Indonesia. CIFOR. Bogor (Indonesia): 37 hlm.
- Mya, J. 2010. *Analysis of the forest cover change process using remote sensing and GIS: A case study in Sultan Syarif Hasyim Grand Forest Park, Riau Province, Indonesia*. Master thesis. Faculty of Geo-information Science and Earth Observation, University of Twente. Enschede: vii + 81 hlm.
- Narendra, P. S. 1998. Conservation planning for the Western Ghats of Kerala II: assessment of habitat loss and degradation. *Current Science* **75**: 228–235.
- Page, S.E., R. Morrison, C. Malins, A. Hooijer, J.O. Rieley & J. Jauhiainen. 2011. *Review of peat surface greenhouse gas emissions from oil palm plantations in Southeast Asia*. The International Council on Clean Transportation. Washington DC: ii + 77 hlm.
- Puyravaud, J.P. 2003. Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management* **177**: 593–596.
- Rudel, T. & J. Roper. 1997. The paths to rain forest destruction: crossnational patterns of tropical deforestation, 1975-1990. *World Development* **25**(1): 53–65.
- Sayaka, B. & E. Pasandaran. 2006. Stage of development in river basin management in Indonesia. *Analisis Kebijakan Pertanian* **4**(1): 69–82.
- Shearman, P.L., J. Ash, B. Mackey, J.E. Bryan & B. Lokes. 2009. Forest conversion and degradation in Papua New Guinea 1972-2002. *Biotropica* **41**(3): 379–390.
- Sodhi, N. & B.W. Brook. 2008. Fragile Southeast Asian biotas. *Biology Conservation* **141**:883–884.
- Sunderlin, W.D. & I.A.P. Resosudarmo. 1997. *Laju dan penyebab deforestasi di Indonesia: penelaahan kerancuan dan penyelesaiannya*. Occasional Paper No.9 (I). Bogor: 22 hlm.
- Tabor, K., N.D. Burgess, B.P. Mbilinyi, J.J. Kashaigili & M.K. Steininger. 2010. Forest and woodland cover and change in coastal Tanzania and Kenya,

circa 1990 to circa 2000. *The Journal of East Africa Natural History* **99**(1): 19–45.

Tomich, T.P. & M. van Noordwijk. 1995. *What drives deforestation in Sumatra?*. Paper presented at Regional Symposium on Montane Mainland Southeast Asia in Transition, Chiang Mai, Thailand. ASB-Indonesia Consortium Secretariat. Bogor: pp 1–14.

Tucker, C.J., D.M. Grant & J.D. Dykstra. 2004. NASA's global orthorectified Landsat data set. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **70**(3): 313–322.

Whitten, T., D. Holmes & K. MacKinnon. 2001. Conservation biology: a displacement behavior for academia? *Conservation Biology* **15**:1–3.



Lampiran II.1. Sub kelas tutupan lahan pada saat proses interpretasi citra satelit untuk penyusunan peta perubahan hutan 2000-2011

| No. | Sub Kelas                             | Kode    |
|-----|---------------------------------------|---------|
| 1.  | hutan lahan kering-hutan lahan kering | hlc-hlc |
| 2.  | hutan rawa-hutan rawa                 | hr-hr   |
| 3.  | hutan mangrove-hutan mangrove         | hm-hm   |
| 4.  | hutan lahan kering-non hutan*         | hlc-nh  |
| 5.  | hutan rawa- non hutan*                | hr-nh   |
| 6.  | hutan mangrove-non hutan*             | hm-nh   |
| 7.  | hutan lahan kering-air                | hlc-air |
| 8.  | hutan rawa-air                        | hr-air  |
| 9.  | hutan mangrove-air                    | hm-air  |
| 10. | hutan lahan kering-awan               | hlc-aw  |
| 11. | hutan rawa-awan                       | hr-aw   |
| 12. | hutan mangrove-awan                   | hm-aw   |
| 13. | hutan lahan kering-bayangan awan      | hlc-baw |
| 14. | hutan rawa-bayangan awan              | hr-baw  |
| 15. | hutan mangrove-bayangan awan          | hm-baw  |
| 16. | non hutan -non hutan                  | nh-nh   |
| 17. | non hutan-air                         | nh-air  |
| 18. | non hutan-awan                        | nh-aw   |
| 19. | non hutan-bayangan awan               | nh-baw  |
| 20. | air-air                               | air-air |
| 21. | air-non hutan                         | air-nh  |
| 22. | air-awan                              | air-aw  |
| 23. | air-bayangan awan                     | air-baw |
| 24. | awan-hutan lahan kering               | aw-hlc  |
| 25. | awan-hutan rawa                       | aw-hr   |
| 26. | awan-hutan mangrove                   | aw-hm   |
| 27. | awan-non hutan                        | aw-nh   |
| 28. | awan-awan                             | aw-aw   |
| 29. | awan-air                              | aw-air  |
| 30. | bayangan awan-hutan lahan kering      | baw-hlc |
| 31. | bayangan awan-hutan rawa              | baw-hr  |

| No. | Sub Kelas                    | Kode    |
|-----|------------------------------|---------|
| 32. | bayangan awan-hutan mangrove | baw-hm  |
| 33. | bayangan awan-non hutan      | baw-nh  |
| 34. | bayangan awan-awan           | baw-aw  |
| 35. | bayangan awan-air            | baw-air |
| 36. | bayangan awan-bayangan awan  | baw-baw |

Keterangan: \* = perubahan hutan (deforestasi)

Lampiran II.2. Titik hasil *groundcheck* peta perubahan hutan 2000-2011 di DAS Batang Natal dan sekitarnya

| No. | Kode GPS | Bujur     | Lintang  | Klasifikasi Citra  | Validasi Lapangan  | Tanggal                 | Keterangan   |
|-----|----------|-----------|----------|--------------------|--------------------|-------------------------|--|
| 1   | HLK1     | 561334.49 | 77459.79 | Hutan lahan kering | Hutan lahan kering | 22-MAY-2012<br>10:35:23 | Hutan pegunungan rendah primer di dalam kawasan taman nasional     |
| 2   | HLK1     | 557968.34 | 79148.37 | Hutan lahan kering | Hutan lahan kering | 23-MAY-2012<br>9:43:51  | Hutan pegunungan rendah primer di dalam kawasan taman nasional     |
| 3   | HLK1     | 558031.76 | 79129.59 | Hutan lahan kering | Hutan lahan kering | 23-MAY-2012<br>12:39:55 | Hutan pegunungan rendah primer di dalam kawasan taman nasional     |
| 4   | HLK1     | 558184.22 | 78993.65 | Hutan lahan kering | Hutan lahan kering | 23-MAY-2012<br>15:05:30 | Hutan pegunungan rendah primer di dalam kawasan taman nasional     |
| 5   | HLK1     | 558174.22 | 78883.11 | Hutan lahan kering | Hutan lahan kering | 23-MAY-2012<br>16:10:04 | Hutan pegunungan rendah primer di dalam kawasan taman nasional     |
| 6   | HLK1     | 561294.45 | 77363.62 | Hutan lahan kering | Hutan lahan kering | 22-MAY-2012<br>13:34:47 | Hutan pegunungan rendah primer di dalam kawasan taman nasional     |
| 7   | HLK1     | 561310.03 | 77305.04 | Hutan lahan kering | Hutan lahan kering | 22-MAY-12<br>14:43:02   | Hutan pegunungan rendah primer di dalam kawasan taman nasional     |
| 8   | HLK1     | 558068.49 | 79064.38 | Hutan lahan kering | Non hutan          | 23-MAY-2012<br>9:12:08  | Menara telkomsel sekitar 200 m dari jalan raya Panyabungan - Natal |
| 9   | DF1      | 508986.05 | 68602.78 | Non hutan          | Non hutan          | 29-MAY-2012<br>10:24:48 | Pemukiman penduduk campur dengan semak dan kebun kelapa            |

| No. | Kode GPS | Bujur     | Lintang  | Klasifikasi Citra | Validasi Lapangan | Tanggal                 | Keterangan   |
|-----|----------|-----------|----------|-------------------|-------------------|-------------------------|--|
| 10  | HR1      | 509271.57 | 92108.17 | Hutan rawa        | Hutan rawa        | 30-MAY-2012<br>12:21:00 | Hutan rawa di daerah Tabuyung                              |
| 11  | HR2      | 509311.62 | 92395.55 | Hutan rawa        | Hutan rawa        | 30-MAY-2012<br>14:48:32 | Hutan rawa di daerah Tabuyung                              |
| 12  | HR3      | 509281.58 | 92502.76 | Hutan rawa        | Hutan rawa        | 30-MAY-2012<br>15:29:46 | Hutan rawa di daerah Tabuyung                              |
| 13  | DF2      | 509440.69 | 92383.39 | Non hutan         | Hutan rawa        | 30-MAY-2012<br>13:07:31 | Hutan rawa di daerah Tabuyung                              |
| 14  | HM1      | 507009.82 | 76355.34 | Hutan mangrove    | Hutan mangrove    | 29-MAY-2012<br>10:36:12 | Hutan bakau didominasi Rhizopora apiculata di Desa Kunkun  |
| 15  | HM2      | 506772.74 | 82119.50 | Hutan mangrove    | Non hutan         | 29-MAY-2012<br>11:02:50 | Pemukiman penduduk Desa Kunkun                             |
| 16  | HM3      | 506890.68 | 82085.23 | Hutan mangrove    | Hutan mangrove    | 29-MAY-2012<br>12:17:27 | Hutan bakau didominasi Rhizopora apiculata di Desa Kunkun  |
| 17  | HM4      | 506899.58 | 82165.92 | Hutan mangrove    | Hutan mangrove    | 29-MAY-2012<br>14:05:37 | Hutan bakau didominasi Rhizopora apiculata di Desa Kunkun  |
| 18  | HM5      | 506920.72 | 82214.55 | Hutan mangrove    | Hutan mangrove    | 29-MAY-2012<br>14:33:48 | Hutan bakau didominasi Rhizopora apiculata di Desa Kunkun  |
| 19  | NH1      | 528715.53 | 60400.88 | Non hutan         | Non hutan         | 20-MAY-2012<br>16:02:14 | Kebun karet campur dengan semak belukar                    |
| 20  | NH2      | 502809.40 | 92299.29 | Non hutan         | Non hutan         | 30-MAY-2012<br>12:04:18 | Perkebunan sawit   |
| 21  | NH3      | 547956.72 | 73937.90 | Non hutan         | Non hutan         | 25-MAY-2012<br>11:03:01 | Pemukiman penduduk campur dengan sawah di Desa Aek Nangali |
| 22  | NH4      | 539603.51 | 76158.93 | Non hutan         | Non hutan         | 20-MAY-2012<br>12:19:13 | Pemukiman penduduk campur semak                            |
| 23  | NH5      | 506840.62 | 81591.16 | Non hutan         | Hutan mangrove    | 29-MAY-2012<br>10:43:56 | Hutan mangrove   |
| 24  | NH6      | 521562.88 | 65319.24 | Non hutan         | Non hutan         | 20-MAY-2012<br>13:39:02 | Pemukiman penduduk campur semak                            |
| 25  | NH7      | 546237.57 | 74115.71 | Non hutan         | Non hutan         | 20-MAY-2012<br>17:20:43 | Pemukiman penduduk campur semak dan kebun                  |

| No. | Kode GPS | Bujur     | Lintang  | Klasifikasi Citra | Validasi Lapangan  | Tanggal                 | Keterangan   |
|-----|----------|-----------|----------|-------------------|--------------------|-------------------------|--|
| 26  | NH8      | 501585.51 | 90770.66 | Non hutan         | Non hutan          | 30-MAY-2012<br>11:53:09 | Pemukiman penduduk campur semak dan kebun              |
| 27  | NH9      | 562072.19 | 77802.54 | Non hutan         | Non hutan          | 22-MAY-2012<br>9:05:50  | Kawasan belerang di Desa Sibanggor Julu                |
| 28  | NH10     | 563520.57 | 89114.94 | Non hutan         | Non hutan          | 20-MAY-2012<br>10:13:51 | Pemukiman penduduk dekat sungai Batang Gadis           |
| 29  | NH11     | 527362.64 | 56311.17 | Non hutan         | Non hutan          | 25-MAY-2012<br>12:38:31 | Pemukiman penduduk campur kebun coklat dan karet       |
| 30  | NH12     | 561824.05 | 77806.93 | Non hutan         | Hutan lahan kering | 22-MAY-2012<br>9:29:38  | Hutan lahan kering di Napa Ni Atayas                   |
| 31  | NH13     | 553386.50 | 76412.16 | Non hutan         | Non hutan          | 20-MAY-2012<br>11:40:57 | Pemukiman penduduk campur dengan sawah dan kebun karet |
| 32  | NH14     | 527917.66 | 61842.18 | Non hutan         | Non hutan          | 20-MAY-2012<br>16:06:12 | Pemukiman penduduk Desa Pulo Padang                    |
| 33  | NH15     | 524356.91 | 64164.29 | Non hutan         | Non hutan          | 20-MAY-2012<br>13:35:37 | Pemukiman campur dengan kebun karet, coklat dan sawah  |
| 34  | NH16     | 565898.89 | 77423.87 | Non hutan         | Non hutan          | 19-MAY-2012<br>12:58:19 | Pemukiman  |
| 35  | NH17     | 565553.87 | 77966.56 | Non hutan         | Non hutan          | 19-MAY-2012<br>13:02:12 | Pemukiman  |
| 36  | NH18     | 562466.94 | 96255.40 | Non hutan         | Non hutan          | 19-MAY-2012<br>15:42:18 | Pemukiman  |
| 37  | NH19     | 500876.75 | 92152.28 | Non hutan         | Hutan lahan kering | 30-MAY-2012<br>11:55:24 | Hutan lahan kering dataran rendah                      |
| 38  | NH20     | 564376.51 | 87166.31 | Non hutan         | Non hutan          | 20-MAY-2012<br>10:17:24 | Kebun karet campur dengan semak belukar                |
| 39  | NH21     | 561546.60 | 80979.26 | Non hutan         | Hutan lahan kering | 20-MAY-2012<br>10:33:58 | Hutan lahan kering dataran rendah                      |
| 40  | NH22     | 560695.45 | 80350.21 | Non hutan         | Hutan lahan kering | 20-MAY-2012<br>10:38:56 | Hutan lahan kering dataran rendah                      |
| 41  | NH23     | 563927.99 | 79534.86 | Non hutan         | Non hutan          | 19-MAY-2012<br>13:10:48 | Semak belukar campur dengan kebun karet masyarakat     |

| No. | Kode GPS | Bujur     | Lintang  | Klasifikasi Citra | Validasi Lapangan  | Tanggal                 | Keterangan   |
|-----|----------|-----------|----------|-------------------|--------------------|-------------------------|--|
| 42  | NH24     | 533798.00 | 67899.59 | Non hutan         | Non hutan          | 20-MAY-2012<br>12:52:38 | Semak belukar campur dengan kebun karet masyarakat |
| 43  | NH25     | 530347.66 | 64978.06 | Non hutan         | Non hutan          | 20-MAY-2012<br>13:17:23 | Semak belukar campur dengan kebun karet masyarakat |
| 44  | NH26     | 533841.24 | 70625.31 | Non hutan         | Non hutan          | 20-MAY-2012<br>16:42:55 | Semak belukar campur dengan kebun karet masyarakat |
| 45  | NH27     | 561161.68 | 80330.37 | Non hutan         | Hutan lahan kering | 20-MAY-2012<br>10:46:02 | Hutan lahan kering dataran rendah                  |
| 46  | NH28     | 561869.13 | 82217.30 | Non hutan         | Hutan lahan kering | 19-MAY-2012<br>13:25:59 | Hutan lahan kering dataran rendah                  |
| 47  | NH29     | 538428.48 | 76480.49 | Non hutan         | Non hutan          | 20-MAY-2012<br>12:21:06 | Jamburbaru   |
| 48  | NH30     | 529477.60 | 63510.16 | Non hutan         | Non hutan          | 20-MAY-2012<br>13:22:51 | Kebun karet campur dengan semak belukar            |
| 49  | NH31     | 527452.48 | 63261.38 | Non hutan         | Non hutan          | 20-MAY-2012<br>13:28:38 | Kebun karet campur dengan semak belukar            |
| 50  | NH32     | 562343.67 | 77944.05 | Non hutan         | Non hutan          | 22-MAY-2012 8:48:16     | Kebun karet campur dengan semak belukar            |
| 51  | NH33     | 564457.94 | 85681.83 | Non hutan         | Non hutan          | 20-MAY-2012<br>10:19:19 | Kebun campur (karet, sawah, kelapa)                |
| 52  | NH34     | 512353.18 | 61521.16 | Non hutan         | Non hutan          | 20-MAY-2012<br>13:54:46 | Pemukiman  |
| 53  | NH35     | 528885.67 | 62849.16 | Non hutan         | Non hutan          | 20-MAY-2012<br>13:25:07 | Pemukiman  |
| 54  | NH36     | 505122.56 | 92333.58 | Non hutan         | Non hutan          | 30-MAY-2012<br>12:19:26 | Pemukiman campur dengan kebun karet                |
| 55  | NH37     | 535632.41 | 74821.21 | Non hutan         | Non hutan          | 20-MAY-2012<br>12:30:45 | Pemukiman campur sawah                             |
| 56  | NH38     | 541097.85 | 76240.84 | Non hutan         | Non hutan          | 20-MAY-2012<br>12:16:18 | Pemukiman campur dengan kebun karet                |
| 57  | NH39     | 512037.11 | 64876.86 | Non hutan         | Non hutan          | 29-MAY-2012<br>10:14:16 | Pemukiman campur kebun kelapa                      |
| 58  | NH40     | 507008.74 | 73973.42 | Non hutan         | Non hutan          | 29-MAY-2012<br>10:33:12 | Pemukiman campur kebun kelapa                      |



| No. | Kode GPS | Bujur     | Lintang  | Klasifikasi Citra | Validasi Lapangan  | Tanggal                 | Keterangan  |
|-----|----------|-----------|----------|-------------------|--------------------|-------------------------|---|
| 59  | NH41     | 526763.70 | 63678.05 | Non hutan         | Non hutan          | 20-MAY-2012<br>13:30:04 | Pertanian lahan kering campur semak, sedikit hutan tanaman mahoni |
| 60  | NH42     | 556854.62 | 78230.81 | Non hutan         | Non hutan          | 20-MAY-2012<br>11:14:31 | NH65a   |
| 61  | NH43     | 553815.91 | 77327.42 | Non hutan         | Non hutan          | 20-MAY-2012<br>11:35:03 | Pertanian lahan kering campur sawah                               |
| 62  | NH44     | 533376.01 | 72725.38 | Non hutan         | Non hutan          | 20-MAY-2012<br>12:37:41 | Kebun karet campur dengan semak belukar                           |
| 63  | NH45     | 543718.31 | 75492.74 | Non hutan         | Non hutan          | 20-MAY-2012<br>12:07:51 | Pemukiman penduduk campur kebun karet dan sawah                   |
| 64  | NH46     | 519290.74 | 65570.06 | Non hutan         | Non hutan          | 20-MAY-2012<br>13:41:22 | Kebun kelapa campur coklat  |
| 65  | NH47     | 528330.44 | 62494.33 | Non hutan         | Non hutan          | 20-MAY-2012<br>15:43:57 | Pemukiman penduduk  |
| 66  | NH48     | 562660.68 | 95330.24 | Non hutan         | Non hutan          | 20-MAY-2012 9:53:42     | Pemukiman penduduk  |
| 67  | NH49     | 561300.00 | 77418.89 | Non hutan         | Hutan lahan kering | 22-MAY-2012<br>12:40:54 | Hutan lahan kering di dekat Desa Sibanggor Julu                   |
| 68  | NH50     | 520321.32 | 58588.98 | Non hutan         | Non hutan          | 25-MAY-2012<br>14:03:30 | Perkebunan sawit milik PT. Gruti                                  |
| 69  | NH51     | 563911.78 | 84379.64 | Non hutan         | Non hutan          | 19-MAY-2012<br>13:35:13 | Pemukiman penduduk  |
| 70  | NH52     | 535041.63 | 73894.91 | Non hutan         | Non hutan          | 20-MAY-2012<br>12:33:36 | Pemukiman penduduk  |
| 71  | NH53     | 548576.52 | 73609.67 | Non hutan         | Non hutan          | 20-MAY-2012<br>11:59:21 | Pemukiman penduduk  |
| 72  | NH54     | 523266.68 | 57837.46 | Non hutan         | Non hutan          | 25-MAY-2012<br>13:45:03 | Pemukiman penduduk  |
| 73  | NH55     | 508419.67 | 69951.24 | Non hutan         | Non hutan          | 29-MAY-2012<br>10:27:14 | Persawahan  |
| 74  | NH56     | 500966.88 | 92589.98 | Non hutan         | Non hutan          | 30-MAY-2012<br>16:35:14 | Perkebunan sawit  |
| 75  | NH57     | 530074.26 | 57831.09 | Non hutan         | Non hutan          | 20-MAY-2012<br>15:54:06 | Perkebunan sawit  |

| No. | Kode GPS | Bujur     | Lintang  | Klasifikasi Citra | Validasi Lapangan | Tanggal                 | Keterangan   |
|-----|----------|-----------|----------|-------------------|-------------------|-------------------------|--|
| 76  | NH58     | 528907.09 | 56163.12 | Non hutan         | Non hutan         | 25-MAY-2012<br>12:32:35 | Perkebunan sawit                                   |
| 77  | NH59     | 521202.60 | 57945.72 | Non hutan         | Non hutan         | 25-MAY-2012<br>13:52:53 | Perkebunan sawit                                   |
| 78  | NH60     | 506998.68 | 77358.96 | Non hutan         | Non hutan         | 29-MAY-2012<br>10:38:23 | Perkebunan sawit                                   |
| 79  | NH61     | 506328.78 | 83178.37 | Non hutan         | Non hutan         | 29-MAY-2012<br>11:15:49 | Perkebunan sawit                                   |
| 80  | NH62     | 501831.39 | 92809.94 | Non hutan         | Non hutan         | 30-MAY-2012<br>16:33:07 | Perkebunan sawit                                   |
| 81  | NH63     | 507499.46 | 71515.23 | Non hutan         | Non hutan         | 29-MAY-2012<br>10:29:07 | Perkebunan sawit                                   |
| 82  | NH64     | 514890.09 | 63186.91 | Non hutan         | Non hutan         | 20-MAY-2012<br>13:47:50 | Perkebunan sawit campur sedikit nipah              |
| 83  | NH65     | 528175.84 | 60964.57 | Non hutan         | Non hutan         | 20-MAY-2012<br>16:04:52 | Semak belukar campur dengan kebun karet masyarakat |
| 84  | NH66     | 512763.76 | 61469.22 | Non hutan         | Non hutan         | 20-MAY-2012<br>13:52:42 | Pemukiman campur dengan pertanian lahan kering     |
| 85  | NH67     | 564164.93 | 80096.41 | Non hutan         | Non hutan         | 19-MAY-2012<br>13:12:54 | Pemukiman campur dengan pertanian lahan kering     |
| 86  | NH68     | 563137.00 | 78275.76 | Non hutan         | Non hutan         | 19-MAY-2012<br>12:09:22 | Pemukiman campur dengan pertanian lahan kering     |
| 87  | NH69     | 534154.99 | 71029.87 | Non hutan         | Non hutan         | 20-MAY-2012<br>12:45:15 | Pemukiman campur dengan pertanian lahan kering     |
| 88  | NH70     | 527720.94 | 56052.55 | Non hutan         | Non hutan         | 25-MAY-2012<br>14:46:58 | Pemukiman campur dengan pertanian lahan kering     |
| 89  | NH71     | 563383.31 | 83863.37 | Non hutan         | Non hutan         | 19-MAY-2012<br>13:32:16 | Pemukiman campur dengan pertanian lahan kering     |
| 90  | NH72     | 524144.62 | 57743.54 | Non hutan         | Non hutan         | 25-MAY-2012<br>12:57:00 | Pemukiman campur dengan pertanian lahan kering     |
| 91  | NH73     | 532414.91 | 67973.57 | Non hutan         | Non hutan         | 20-MAY-2012<br>13:08:10 | Pemukiman campur dengan pertanian lahan kering     |
| 92  | NH74     | 555839.87 | 77858.20 | Non hutan         | Non hutan         | 20-MAY-2012<br>11:25:51 | Pemukiman campur dengan pertanian lahan kering     |
| 93  | NH75     | 528167.99 | 62372.74 | Non hutan         | Non hutan         | 20-MAY-2012<br>16:07:24 | Pemukiman campur dengan pertanian lahan kering     |

| No. | Kode GPS | Bujur     | Lintang  | Klasifikasi Citra | Validasi Lapangan | Tanggal                 | Keterangan                                     |
|-----|----------|-----------|----------|-------------------|-------------------|-------------------------|--|
| 94  | NH76     | 561930.42 | 81460.14 | Non hutan         | Non hutan         | 19-MAY-2012<br>13:23:09 | Persawahan campur kebun kelapa                 |
| 95  | NH77     | 563165.62 | 80788.24 | Non hutan         | Non hutan         | 19-MAY-2012<br>13:17:54 | Persawahan                                     |
| 96  | NH78     | 525693.28 | 63668.06 | Non hutan         | Non hutan         | 20-MAY-2012<br>13:34:09 | Pemukiman campur dengan pertanian lahan kering |
| 97  | NH79     | 551083.46 | 73612.11 | Non hutan         | Non hutan         | 20-MAY-2012<br>11:55:36 | Pemukiman campur dengan pertanian lahan kering |
| 98  | NH80     | 550949.93 | 73637.52 | Non hutan         | Non hutan         | 25-MAY-2012<br>10:57:35 | Pemukiman campur dengan pertanian lahan kering |
| 99  | NH81     | 563520.57 | 89114.94 | Non hutan         | Tubuh air         | 20-MAY-2012<br>10:13:51 | Sungai Batang Gadis                            |
| 100 | NH82     | 506772.74 | 82119.50 | Non hutan         | Tubuh air         | 29-MAY-2012<br>11:02:50 | Sungai Kunkun                                  |
| 101 | NH83     | 528167.99 | 62372.74 | Non hutan         | Tubuh air         | 20-MAY-2012<br>16:07:24 | Sungai Batang Natal                            |

Lampiran II.3. Konversi hutan rawa menjadi perkebunan sawit di Kecamatan Sinunukan



## DISKUSI PARIPURNA

Keunikan dan variasi geomorfologis di Kabupaten Mandailing Natal menyebabkan daerah ini memiliki habitat yang beragam, terdiri dari hutan mangrove, hutan rawa, hutan lahan kering dataran rendah dan hutan lahan kering pegunungan (Perbatakusuma *et al.* 2006). Inisiatif pembentukan Taman Nasional Batang Gadis (TNBG) oleh Pemerintah Kabupaten Mandailing Natal merupakan langkah awal yang baik dalam upaya melindungi keanekaragaman hayati di Sumatera Utara (Perbatakusuma *et al.* 2006). Selain itu, sekitar 8 daerah aliran sungai (DAS) terdapat di wilayah kabupaten tersebut, yaitu DAS Batang Gadis, DAS Batang Toru, DAS Siriam, DAS Batahan, DAS Batang Natal, DAS Kunkun, DAS Sinunukan dan DAS Tabuyung.

Hutan dalam kawasan daerah aliran sungai (DAS) memiliki fungsi penting mengatur persediaan air untuk mendukung aktivitas sehari-hari dan ekonomi masyarakat, terutama pertanian (Midora & Anggraeni 2006). Jasa lingkungan (*environmental services*) dari hutan yang sekarang menjadi perhatian global adalah simpanan dan serapan karbon. Penghitungan karbon hutan skala global dan regional telah banyak dilakukan (Hansen *et al.* 2010; Miettinen *et al.* 2011). Pada tingkat lokal, penghitungan karbon hutan telah dilakukan di beberapa lokasi di Sumatera dan Kalimantan (Samalca 2007; Basuki *et al.* 2009; Laumonier *et al.* 2010; Manuri *et al.* 2011). Upaya penghitungan karbon hutan skala lokal perlu terus ditingkatkan dalam rangka memperkaya ketersediaan, akurasi data dan informasi stok karbon hutan.

Setiap tipe hutan memiliki struktur vegetasi berbeda yang dipengaruhi oleh posisi topografi, geologi dan jenis tanah (Laumonier *et al.* 2010). Perbedaan struktur vegetasi menyebabkan simpanan biomassa dan karbon berbeda. Simpanan biomassa dan karbon untuk tipe hutan lahan kering, hutan rawa dan hutan mangrove di kawasan DAS Batang Gadis, Kunkun, Sinunukan dan Tabuyung berbeda-beda. Tipe hutan lahan kering memiliki rerata simpanan biomassa di atas permukaan tanah (BAP)  $364,99 \pm 39,32 \text{ Mg ha}^{-1}$ , hutan rawa  $643,95 \pm 177,71 \text{ Mg ha}^{-1}$  dan hutan mangrove  $387,37 \pm 31,10 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

Secara keseluruhan, rerata nilai biomassa tersebut di atas lebih rendah dibandingkan dengan Brown (1997) yang menyatakan bahwa potensi rerata BAP hutan Indonesia yang tidak terganggu sebesar  $533 \text{ Mg ha}^{-1}$ , tetapi lebih tinggi dibandingkan dengan BAP hutan tropis di Amazon yang berkisar antara  $356,2 - 376,6 \text{ Mg ha}^{-1}$  (Fearnside *et al.* 1999; Nascimento & Laurance 2002). Pada prinsipnya, perbedaan hasil penelitian tersebut tidak perlu diperdebatkan mengingat setiap penelitian dilakukan dengan pendekatan dan metode yang berbeda. Perbedaan antara lain terkait dengan persamaan alometrik yang dipakai, jumlah dan ukuran plot, serta kondisi hutan yang diteliti (sekunder dan primer).

Berdasarkan analisis citra satelit tahun 2011, DAS Batang Natal, Kunkun, Sinunukan dan Tabuyung memiliki luas hutan lahan kering mencapai 54.433 ha, hutan rawa 12.569 ha dan hutan mangrove 958 ha. Melalui perhitungan sederhana, jika dikalikan dengan luas setiap tipe hutan tersebut, maka simpanan biomassa total mencapai 19,87 juta Mg untuk hutan lahan kering, 8,09 juta Mg untuk hutan rawa dan 0,37 juta Mg untuk hutan mangrove. Menggunakan persamaan Brown (1999) dan IPCC (2003) yang menyatakan karbon pohon adalah 50% dari biomassa, maka potensi simpanan karbon hutan di keempat DAS tersebut mencapai  $\pm 9,94$  juta Mg C untuk hutan lahan kering, 4,05 juta Mg C untuk hutan rawa dan 0,19 juta Mg C untuk hutan mangrove. Dengan demikian, tidak dipungkiri bahwa hutan tropis memiliki peranan sangat penting dalam mengatur siklus karbon di bumi.

Permasalahan utama yang dihadapi dalam pengelolaan hutan tropis khususnya di Indonesia yaitu kegiatan eksploitasi hutan berupa penebangan kayu dan konversi hutan. Konversi hutan menjadi penggunaan lahan lain merupakan penyebab utama perubahan iklim (Foley *et al.* 2005; IPCC 2007) selain konsumsi bahan bakar fosil untuk industri dan transportasi. Saat hutan ditebang atau dikonversi, karbon akan terlepas ke atmosfer menjadi karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ). Perubahan hutan dan degradasi hutan, terutama di hutan tropis, menyumbangkan 1-2 milyar ton atau 12-20% emisi  $\text{CO}_2$  global antara periode tahun 1990 dan awal 2000 (Dixon *et al.* 1994; Houghton 2005; van der Werf *et al.* 2009).

Penghitungan emisi karbon dapat dilakukan dengan menghitung dua komponen data, yaitu data aktivitas (*activity data*) dan faktor emisi (*emission factor*) (IPCC 2006). Data aktivitas adalah data perubahan tutupan hutan yang terjadi pada periode sekarang hingga beberapa dekade ke belakang. Untuk memperoleh data ini disarankan untuk menggunakan pendekatan teknologi penginderaan jauh (Gibbs *et al.* 2007; IPCC 2006; GOFC-GOLD 2010), yang saat ini sudah sangat berkembang pesat. Faktor emisi dihasilkan dari penghitungan karbon di lapangan (*plot measurement*). Di Indonesia, informasi kehilangan tutupan hutan yang lemah secara waktu dan keruangan berdampak pada buruknya pengelolaan dan tata kelola hutan (Fuller 2006; Hansen *et al.* 2009), dan menjadi tantangan untuk mencapai tujuan program *Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation* (REDD+).

Kawasan daerah aliran sungai (DAS) Batang Natal, Kunkun, Sinunukan dan Tabuyung yang menjadi lokasi penelitian memiliki luas wilayah berturut-turut ± 75.971 ha, 27.389 ha, 7.047 ha dan 52.994 ha, dengan total mencapai 163.401 ha. Pada tahun 1990 (Gaveau *et al.* 2007), luas hutan pada keempat DAS tersebut mencapai 163.401 ha (64,77% dari total luas wilayah), menurun menjadi 105.840 ha (57,15% ) pada tahun 2000 dan 67.961 ha (41,59%) pada tahun 2011. Angka statistik tersebut menunjukkan bahwa telah terjadi penurunan luas hutan (deforestasi) sebesar 23,18% dari total wilayah keempat DAS dalam kurun waktu 20 tahun.

Berdasarkan tipe hutan, periode tahun 2000-2011 luas hutan lahan kering menurun dari 67.655 ha menjadi 54.433 ha, dengan rerata perubahan hutan 1.201 ha per tahun. Rerata emisi karbon dari hutan lahan kering mencapai 756.710 Mg CO<sub>2e</sub> per tahun pada periode tersebut. Luas hutan rawa menurun dari 24.782 ha tahun 2000 menjadi 12.569 ha tahun 2011, dengan rerata perubahan hutan 1.110 ha per tahun. Rerata emisi karbon hutan rawa mencapai 747.115 Mg CO<sub>2e</sub> per tahun. Sedangkan untuk hutan mangrove tidak terjadi penurunan luas hutan pada periode yang sama. Tetapi bukan berarti hutan mangrove tidak mengalami degradasi pada periode 2000-2011. Degradasi hutan mangrove terjadi akibat penebangan kayu selektif untuk industri kayu arang. Identifikasi degradasi hutan dengan citra satelit resolusi menengah seperti Landsat sulit dilakukan. Secara keseluruhan, rerata emisi karbon di

wilayah penelitian mencapai 1,5 juta Mg CO<sub>2e</sub> per tahun pada periode 2000-2011. Emisi karbon tersebut meningkat lebih dari 87% dibandingkan rerata emisi karbon 803.748 Mg CO<sub>2e</sub> per tahun pada periode 1990-2000.

Perubahan hutan di DAS Batang Natal, Kunkun, Sinunukan dan Tabuyung disebabkan oleh pengembangan perkebunan sawit secara besar-besaran. Kondisi ini mengindikasikan bahwa sawit menjadi faktor utama konversi hutan (khususnya hutan rawa) di Sumatera (Sunderlin & Resosudarmo 1997; Mya 2010). Pengembangan pemukiman baru melalui program transmigrasi juga menjadi penyebab lain pembukaan hutan di keempat DAS tersebut. Pada skala kecil, pembukaan hutan untuk kebun karet sangat dominan. Hal tersebut mengindikasikan bahwa kondisi ekonomi masyarakat yang hidup di sekitar hutan menjadi penyebab lain perubahan hutan (Mertens *et al.* 2000; Gaveau *et al.* 2007).

Berdasarkan fungsi kawasan hutan yang ditetapkan Kementerian Kehutanan perubahan hutan sebagian besar terjadi di kawasan yang ditetapkan sebagai Areal Penggunaan Lain (APL). Kondisi ini tidak mengherankan karena setiap hutan yang ditetapkan sebagai APL memang dialokasikan untuk mendukung kegiatan non kehutanan. Usulan perubahan fungsi kawasan hutan menjadi APL sering dilakukan oleh pemerintah daerah, khususnya kabupaten atau provinsi baru. Pemerintah kabupaten dan provinsi baru membutuhkan sumber pendapatan untuk mendukung roda ekonomi dan pembangunan daerah. Sehingga hutan menjadi salah satu sumberdaya alam paling mudah dieksploitasi. Oleh karena itu, desain tata ruang suatu wilayah baik pada tingkat kabupaten maupun provinsi sangat berperan penting dalam menekan laju perubahan hutan (Tomich & van Noordwijk 1995; Mya 2010).

Selain itu, perubahan hutan juga terjadi di kawasan konservasi. Pada periode tahun 1990-2000, terjadi perubahan hutan di kawasan Taman Nasional Batang Gadis (TNBG) sebesar 0,12% per tahun. Tetapi pada periode tahun 2000-2011, tidak terjadi perubahan hutan lagi di kawasan TNBG. Hal tersebut mengindikasikan peranan kawasan konservasi memberikan dampak positif dalam menekan perubahan hutan (Linkie *et al.* 2004; Gaveau *et al.* 2009; Andam *et al.* 2008; Linkie *et al.* 2010).

## RANGKUMAN KESIMPULAN DAN SARAN

### A. KESIMPULAN

1. Rerata simpanan biomassa di atas permukaan tanah (BAP) di kawasan DAS Batang Natal, Kunkun, Sinunukan dan Tabuyung untuk tipe hutan lahan kering mencapai  $364,99 \pm 39,32 \text{ Mg ha}^{-1}$ , hutan rawa  $643,95 \pm 177,71 \text{ Mg ha}^{-1}$  dan hutan mangrove  $387,37 \pm 31,10 \text{ Mg ha}^{-1}$ .
2. Dikalikan dengan luas masing-masing tipe hutan tahun 2011, simpanan biomassa total mencapai 19,87 juta Mg untuk hutan lahan kering, 8,09 juta Mg untuk hutan rawa dan 0,37 juta Mg untuk hutan mangrove.
3. Sebaran kelas diameter merupakan struktur hutan yang berperan penting menentukan biomassa hutan. Lebih dari 50% biomassa dan karbon dari plot contoh pada beberapa tipe hutan terkonsentrasi pada kelas diameter  $\geq 35 \text{ cm}$ . Demikian juga dengan individu pohon, lebih dari 60% dari total individu pohon yang disurvei berada pada kelas diameter  $\geq 35 \text{ cm}$ .
4. Periode tahun 2000-2011 luas hutan lahan kering menurun dari 67.655 ha menjadi 54.433 ha, dengan rerata perubahan hutan 1.201 ha per tahun. Rerata emisi karbon dari hutan lahan kering mencapai 756.710 ton  $\text{CO}_2\text{e}$  per tahun pada periode tersebut. Luas hutan rawa menurun dari 24.782 ha tahun 2000 menjadi 12.569 ha tahun 2011, dengan rerata perubahan hutan 1.110 ha per tahun. Rerata emisi karbon hutan rawa mencapai 747.115 ton  $\text{CO}_2\text{e}$  per tahun.
5. Periode tahun 2000-2011, DAS Kunkun dan Tabuyung merupakan DAS yang mengalami perubahan hutan tertinggi dibandingkan dengan DAS lain, dengan rerata perubahan hutan masing-masing 755 ha per tahun dan 879 ha per tahun.

### B. SARAN

1. Perlu dilakukan bentuk pengelolaan yang baik terhadap ekosistem hutan untuk mempertahankan simpanan karbon di DAS Batang Natal dan sekitarnya. Bentuk pengelolaan yang dapat dilakukan untuk mempertahankan karbon yang ada antara lain: mengelola hutan lindung dan taman nasional, mengendalikan



deforestasi, mencegah degradasi lahan gambut dan menerapkan praktek silvikultur yang baik.

2. Potensi karbon hutan yang tinggi di DAS Batang Natal dan sekitarnya belum menjamin bahwa lokasi tersebut layak dijadikan lokasi program REDD+. Perlu dilakukan kajian kelayakan (*feasibility study*) REDD+ secara menyeluruh meliputi aspek kesiapan para pihak, pengaturan sistem kelembagaan, potensi pasar dan kebijakan lokal.
3. Perlu dilakukan upaya penelitian lebih lanjut pemetaan perubahan hutan dengan menggunakan analisis citra penginderaan jauh yang mempunyai resolusi spasial lebih tinggi, untuk mendapatkan data luasan lebih akurat.
4. Perlu analisis pilihan (*trade-offs analysis*) antara konservasi dan pembangunan supaya keselarasan pemenuhan kebutuhan ekonomi dengan pelestarian alam dapat tercapai.
5. Hasil penelitian perlu disosialisasikan kepada para pihak (*stakeholders*) yang berkepentingan di Kabupaten Mandailing Natal dan diintegrasikan dengan perencanaan tata ruang wilayah yang sedang disusun.

## DAFTAR ACUAN

- Achard, F., H.D. Eva, H.J. Stibig, P. Mayaux, J. Gallego, T. Richards & J.P. Malingreau. 2002. Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. *Science* **297**: 999–1002.
- Andam, K.S., P.J. Ferraro, A. Pfaff, G.A. Sanchez-Azofeifa & J.A. Robalino. 2008. Measuring the effectiveness of protected area networks in reducing deforestation. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **105**:16089–16094.
- Badan Pusat Statistik. 2009. *Mandailing Natal dalam angka 2009*. Badan Pusat Statistik Kabupaten Mandailing Natal. Panyabungan: xlix + 436 hlm.
- Basuki, T.M., P.E. van Laake, A.K. Skidmore & Y.A. Hussin. 2009. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. *Forest Ecology and Management* **257**: 1684–1694.
- Broich, M., M. Hansen, F. Stolle, P. Potapov, B.A. Margono & B. Adusei. 2011. Remotely sensed forest cover loss shows high spatial and temporal variation across Sumatera and Kalimantan, Indonesia 2000-2008. *Environmental Research Letters* **6**: 1–9.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. *FAO Forestry Paper No. 134*. Rome (Italy): 87 hlm.
- Brown, S. 1999. *Guidelines for inventorying and monitoring carbon offsets in forest-based projects*. Forest Carbon Monitoring Program. Winrock International, Arlington (USA): 14 hlm.
- Buchanan, G.M., A. Nelson, P. Mayaux, A. Hartley & P.F. Donald. 2008. Delivering a global, terrestrial, biodiversity observation system through remote sensing. *Conservation Biology* **23**(2): 499–502.
- Curran, L.M., S.N. Trigg, A.K. McDonald, D. Astiani, Y.M. Hardiono, P. Siregar, I. Caniago & E. Kasischke. 2004. Lowland forest loss in protected areas of Indonesian Borneo. *Science* **303**: 1000–1003.

- Dixon, R.K., S. Brown, R.A. Houghton, A.M. Solomon, M.C. Trexler & J. Wisniewski. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* **263**: 185–190.
- Ellison, A.M. 2008. Mangrove ecology–applications in forestry and coastal zone management. *Aquatic Botany* **89**: 77.
- Fearnside, P.M., L.A. Graca, N.L. Filho, F.J.A. Rodrigues & J.M. Robinson. 1999. Tropical forest burning in Brazilian Amazonia: measurement of biomass loading, burning efficiency and charcoal formation at Altamira, Para. *Forest Ecology and Management* **123**: 35–79.
- Foley, J.A., R. DeFries, G.P. Asner, C. Barford, G. Bonan, S.R. Carpenter, F.S. Chapin, M.T. Coe, G.C. Daily, H.K. Gibbs, J.H. Helkowski, T. Holloway, E.A. Howard, C.J. Kucharik, C. Monfreda, J.A. Patz, I.C. Prentice, N. Ramankutty & P.K. Snyder. 2005. Global consequences of land use. *Science* **309**(5734): 570–574.
- Forest Watch Indonesia. 2011. *Potret keadaan hutan Indonesia periode tahun 2000-2009*. ForestWatch Indonesia. Bogor, Indonesia: vii + 53 hlm.
- Forest Watch Indonesia & Global ForestWatch. 2002. *The State of the Forest: Indonesia*. Bogor, Indonesia: ForestWatch Indonesia. Washington, DC: Global ForestWatch: xi + 103 hlm.
- Fuller, D.O. 2006. Tropical forest monitoring and remote sensing: a new era of transparency in forest governance? *Singapore Journal of Tropical Geography* **27**: 15–29.
- Gaveau, D.L.A., B.A. Dewantara, J. Epting, I. Kumara, B. Suyikno & H. Sumantri. 2007. *Deforestation map 1990-2000 of Sumatra and Siberut at 150,000 scale*. Interactive CD-ROM, Bogor, Indonesia Wildlife Conservation Society Indonesia Program, Conservation International & Directorate General of Forest Protection and Nature Conservation. Bogor (Indonesia): 11 hlm.
- Gaveau, D.L.A., J. Epting, O. Lyne, M. Linkie, I. Kumara, M. Kanninen & N. Leader-Williams. 2009. Evaluating whether protected areas reduce tropical deforestation in Sumatra. *Journal of Biogeography* **36**: 2165–2175.

- Gibbs, H.K., S. Brown, J.O. Niles & J.A. Foley. 2007. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: Making REDD a reality. *Environmental Research Letters* **2**:1–13.
- GOFC-GOLD. 2010. *A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals caused by deforestation, gains and losses of carbon stocks in remaining forests and forestation*. GOFC-GOLD Report version COP16-1. GOFC GOLD Project Office, Natural Resources Canada, Alberta, Canada: vii + 201 hlm.
- Hansen, M.C., S.V. Stehman & P.V. Potapov. 2010. Quantification of global gross forest cover loss. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **107**(19): 8650–8655.
- Hansen, M.C., S.V. Stehman, P.V. Potapov, B. Arunarwati, F. Stolle & K. Pittman. 2009. Quantifying changes in the rates of forest clearing in Indonesia from 1990 to 2005 using remotely sensed data sets. *Environmental Research Letters* **4**: 1–12.
- Hansen, M.C., S.V. Stehman, P.V. Potapov, T.R. Loveland, J.R.G. Townshend, R.S. DeFries, K.W. Pittman, B. Arunarwati, F. Stolle, M.K. Steininger, M. Carroll & C. DiMiceli. 2008. Humid tropical forest clearing from 2000 to 2005 quantified using multi-temporal and multi-resolution remotely sensed data. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **105**(27): 9439–9444.
- Holmes, D. A. 2002. The predicted extinction of lowland forests in Indonesia. Pages 7–13 in E. Wickramanayake, E. Dinerstein, C. J. Loucks, D. M. Olson, J. Morrison, J. Lamoreux, M. McKnight & P. Hedao (eds). *Terrestrial ecoregions of the Indo Pacific: a conservation assessment*. Island Press, Washington, D.C. (USA): 643 hlm.
- Houghton, R.A. 2005. Aboveground forest biomass and the global carbon balance. *Global Change Biology* **11**: 945–958.
- Houghton, R.A. 2007. Balancing the global carbon budget. *Annual Review of Earth and Planetary Science* **35**: 313–347.

- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2003. *Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry*. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japan: x + 301 hlm.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. & Tanabe K. (eds) Published: IGES, Japan: v + 556 hlm.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press [www document]. URL <http://www.meteo.bg/meteorology/SPM2feb07.pdf>. 5 Maret 2012, pk 14.00 WIB.
- Kanninen, M., D. Murdiyarso, F. Seymour, A. Angelsen, S. Wunder & L. German. 2007. *Do trees grow on money? The implications of deforestation research for policies to promote REDD*. CIFOR, Bogor, Indonesia. pp 35.
- Kartawinata, K., I. Samsudin, M. Heriyanto & J.J. Afriastini. 2004. A tree species inventory in a one-hectare plot at the Batang Gadis National Park, North Sumatra, Indonesia. *Reinwardtia* **12**(2): 145–157.
- Kinnaird, M.F., E.W. Sanderson, T.G. O'Brien, H.T. Wibisono & G. Woolmer. 2003. Deforestation trends in a tropical landscape and implications for endangered large mammals. *Conservation Biology* **17**: 245–257.
- Laumonier, Y., A. Edin, M. Kanninen & A.W. Munandar. 2010. Landscape-scale variation in the structure and biomass of the hill dipterocarp forest of Sumatra: Implications for carbon stock assessments. *Forest Ecology and Management* **259**: 505–513.
- Linkie, M., E. Rood & R.J. Smith. 2010. Modelling the effectiveness of enforcement strategies for avoiding tropical deforestation in Kerinci Seblat National Park, Sumatra. *Biodiversity and Conservation* **19**: 973–984.

- Linkie, M., R.J. Smith & N. Leader-Williams. 2004. Mapping and predicting deforestation patterns in the lowlands of Sumatra. *Biodiversity and Conservation* **13**: 1809–1818.
- Manuri, S., C.A.S. Putra & A.D. Saputra. 2011. *Teknik Pendugaan Cadangan Karbon Hutan*. Merang REDD Pilot Project, German International Cooperation – GIZ. Palembang: x + 91 hlm.
- Mertens, B., W.D. Sunderlin, O. Ndoye & E.F. Lambin. 2000. Impact of macroeconomic change on deforestation in South Cameroon: integration of household survey and remote-sensed data. *World Development* **28** (6): 983–999.
- Midora, L. & D. Anggraeni. 2006. *Economic valuation of watershed services Batang Gadis National Park, Mandailing Natal, North Sumatra, Indonesia*. Conservation International Indonesia. Jakarta: iv + 62 hlm.
- Miettinen, J., C. Shi & S.C. Liew. 2011. Deforestation rates in insular Southeast Asia between 2000 and 2010. *Global Change Biology* **17**: 2261–2270.
- Murdiyarto, D., D. Donato, J.B. Kauffman, S. Kurnianto, M. Stidham & M. Kanninen. 2009. *Carbon storage in mangrove and peatland ecosystems: A preliminary account from plots in Indonesia*. CIFOR, Bogor, Indonesia. pp 37.
- Mya, J. 2010. *Analysis of the forest cover change process using remote sensing and GIS: A case study in Sultan Syarif Hasyim Grand Forest Park, Riau Province, Indonesia*. Master thesis. Faculty of Geo-information Science and Earth Observation, University of Twente. Enschede: vii + 81 hlm.
- Nascimento, H.E.M. & W.F. Laurance. 2002. Total aboveground biomass in central Amazonian rainforests: a landscape-scale study. *Forest Ecology and Management* **168**: 311–321.
- Perbatakusuma, E.A., J. Supriatna, D. Wurjanto, Supriadi, B. Ismoyo, A.H. Wiratno, L. Sihombing, I. Wijayanto, C.S. Widodo, B.O. Manullang, S. Siregar, A.H. Damanik & A.H. Lubis. 2006. *Kolaborasi pengelolaan ekosistem Taman Nasional Batang Gadis*. Naskah Kebijakan Tim Inisiator Pemerintah Provinsi

- Sumatera Utara, Pemerintah Kabupaten Mandailing Natal dan Conservation International Indonesia. Jakarta (Indonesia): 127 hlm.
- Samalca, I.K. 2007. *Estimation of forest biomass and its error: A case in Kalimantan, Indonesia*. MSc thesis, ITC, Enschede (Belanda): 74 hlm.
- Sodhi, N. & B.W. Brook. 2008. Fragile Southeast Asian biotas. *Biology Conservation* **141**:883–884.
- Sunderlin, W.D & I.A.P. Resosudarmo. 1997. *Laju dan penyebab deforestasi di Indonesia: penelaahan kerancuan dan penyelesaiannya*. Occasional Paper No.9 (I). Bogor: 22 hlm.
- Tomich, T.P. & M. van Noordwijk. 1995. *What drivers deforestation in Sumatra?*. Paper presented at Regional Symposium on Montane Mainland Southeast Asia in Transition. ASB Indonesia Consortium Secretariat. Bogor: 14 hlm.
- Utami, N. 2005. Two new species of Impatiens (Balsaminaceae) from Batang Gadis National Park, North Sumatra, Indonesia. *Blume* **50**: 443–446.
- Van der Werf, G.R., D.C. Morton, R.S. DeFries, J.G.J Olivier, P.S. Kasibhatla, R.B. Jackson, G.J. Collatz & J.T. Randerson. 2009. CO<sub>2</sub> emissions from forest loss. *National Geoscience* **2**: 737–738.
- Whitten, T., D. Holmes, and K. MacKinnon. 2001. Conservation biology: a displacement behavior for academia? *Conservation Biology* **15**:1–3.
- Wich, S.A., I. Singleton, S.U. Atmoko, M.L. Geuters, H.D. Rijksen & C.P. van Schaik. 2003. The status of the Sumater Orangutan (*Pongo abelii*) and update. *Oryx* **37**(1): 49–54.