

Estimasi Karbon Tersimpan di Lahan-lahan Pertanian di DAS Konto, Jawa Timur **RACSA (Rapid Carbon Stock Appraisal)**

*Syahrul Kurniawan, Cahyo Prayogo, Widiyanto, M. Thoha Zulkarnain,
Nina Dwi Lestari, Fitri Khusyu Aini, dan Kurniatun Hairiah*

Southeast Asia



Estimasi Karbon Tersimpan di Lahan- lahan Pertanian di DAS Konto, Jawa Timur **RACSA (Rapid Carbon Stock Appraisal)**

Syahrul Kurniawan, Cahyo Prayogo, Widiyanto, M. Thoha Zulkarnain,
Nina Dwi Lestari, Fitri Khusyu Aini, Kurniatun Hairiah

Working Paper 120



World Agroforestry Centre
TRANSFORMING LIVES AND LANDSCAPES

Correct citation:

Kurniawan S, Prayogo C, Widiyanto, Zulkarnain MT, Lestari ND, Aini FK, Hairiah K. 2010. *Estimasi Karbon Tersimpan di Lahan-lahan Pertanian di DAS Konto, Jawa Timur: RACSA (Rapid Carbon Stock Appraisal)*. Working paper 120. World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia Program.

Titles in the Working Paper Series aim to disseminate interim results on agroforestry research and practices and stimulate feedback from the scientific community. Other publication series from the World Agroforestry Centre include: Agroforestry Perspectives, Technical Manuals and Occasional Papers.

Published by
World Agroforestry Centre
ICRAF Southeast Asia Regional Office
PO Box 161, Bogor 16001, Indonesia

Tel: +62 251 8625415
Fax: +62 251 8625416
Email: icraf-indonesia@cgiar.org
<http://www.worldagroforestrycentre.org/sea>

© World Agroforestry Centre 2010
Working Paper 120

The views expressed in this publication are those of the author(s) and not necessarily those of the World Agroforestry Centre.

Articles appearing in this publication may be quoted or reproduced without charge, provided the source is acknowledged.

All images remain the sole property of their source and may not be used for any purpose without written permission of the source.

About the authors

Syahrul Kurniawan, SP, MP

Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Universitas Brawijaya, Malang

Cahyo Prayogo, SP, MP

Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Universitas Brawijaya, Malang

Ir. Widiyanto, MSc

Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Brawijaya, Malang

M. Thoha Zulkarnain

Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Brawijaya, Malang

Nina Dwi Lestari

Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Brawijaya, Malang

Fitri Khusyu Aini, SP, MP

Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Brawijaya, Malang

Prof. Dr. Kurniatun Hairiah

Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Brawijaya, Malang

Abstract

The carbon (C) sequestration of vegetation can be rapidly estimated by measuring the C stored in aboveground biomass (trees and understory), necromass (dead standing trees, stump, fallen branch, leaf, twig, flowers and fruits), and soil organic matter and roots. The total C stored in all components of aboveground and belowground biomass and necromass, technically called as C stock. The total C stock varies among land cover depending on land management i.e. plant species composition, age and population density. Consequently, changing in land use management will affect total C stock at the whole landscape.

Analysis was done using local land use maps of 1990 and 2000 of Kali Konto watershed (Malang regency, East Java), the result showed that forest area reduced and followed by increasing total area of 'belukar' (bush fallow) and plantation. The common land cover found were agroforestry coffee based system, plantation (Hutan Tanaman Industri) such as pine (*Pinus merkusii*), mahogany (*Swietenia mahogany*) and 'damar' (*Agatis* sp.) which potentially able to store a big amount of C for longer time. Unfortunately the availability of land cover (agricultural) maps and its potential as C sequestered in Kalikonto is very limited. Various versions of land use maps are available locally with various land use classification lead to confusing rather than clarification creating difficulties on detecting land cover change. More accurate estimation of areas per land cover in Kali Konto watershed is needed for calculating C stored at watershed level. This research was done to answer four research question such as:

- How much carbon stored (C stock) in aboveground biomass of each land cover in Kali Konto watershed?
- How much the C stocks that are actually present on each cover, averaged over the lifecycle of each land cover (time-averaged of carbon stock)?
- How big forest areas in 1990 were converted into agricultural land?
- How much C stock lost after forest converted into agricultural land?

Assessment of aboveground C stock at plot level were made in June –December 2008 in up-stream of Kali Konto watershed covered various land use system in Ngantang and Pujon district (near Malang, East Java). There were eight LUS commonly found in the study area i.e. degraded natural forest, bamboo forest, pine plantation, mahogany plantation, multistrata shade coffee, single shade coffee (mostly *Gliricidia* used as shade tree), annual cropping system. Extrapolation of C stock at plot level to watershed level were done by multiplying the area of each land cover with its time-averaged aboveground C stock. Land cover change was detected by using satellite images Landsat 7TM of 1990 and Landsat 7ETM+ of 2005, using hierarchical classification there were five types i.e. degraded natural forest, mix system or agroforestry (either multistarata or simple agroforestry), tree plantation, annual crop and herbaceous or fallow system.

The natural forest in Kali Konto area had been severely disturbed, it shown by a low aboveground C stock about 136 Mg/ha. Aboveground C stock in Agroforestry coffee based system was lower c.a. 44 Mg C/ha with its time averaged-C stock was about 43 Mg/ha (about 50% lower than its found in tree plantation). Tree plantations (pine, mahogany, and agatis are 25

– 40 old years) sequesters carbon approximately 117 Mg/ha with time averaged carbon stock 85 Mg/ha. While time averaged-C stock in annual crop was estimated 2 Mg/ha only.

Land cover change in Kali Konto catchment over the 1990 - 2005 period indicates forest conversion. Within fifteen years, all tree based land cover were replaced by annual crops and settlements. The remaining natural forest (2417.67 ha) reduced by 33%, tree plantation (636.57 ha) decreased 10%, bush fallow (545.67 ha) decreased 76%, and agroforestry reduced by 12% of total area (288.9 ha). The annual crop area increased 45 % of its area in 1990 (6251.49 ha) with equivalent yearly relative increment was about 3%. The total area of settlements (30.24 ha) increased about 18%, mainly occurred closed to road.

The C lost from the hole Kalikonto watershed (about 23810 ha) was about 352963 Mg C/yr or about 1.03 Mg C/ha/yr or equivalent to 3.76 Mg CO₂/ha/yr. The average of C loss from degraded forest was about 25924 Mg/yr due to biomass export out of plot. Decreasing plantation area lead to C loss of about 5879 Mg, from agroforestry was about 2135 Mg, and in bush fallow was about 4299 Mg. In annual land use system C stock increased about 31485 Mg, however, it was still much lower than the total amount of C lost through forest conversion. Planting more trees (damar, pinus, mahogany) in the landscape through Reforestation Program of Perum PERHUTANI in the 1990-2005 period increased C stored about 30421.82 Mg. Through process photosynthesis trees absorbed C in the atmosphere and accumulated in biomass for longer period is very effective strategy to maintain landscape function as C sequester. Planting more tree in plantation system was not enough to keep the C balance, C lost was still higher than C stored. Selecting more diverse in species composition and age of shade trees in coffee gardens with litter of varied 'quality' may be expected to improve soil fertility and tree growth, and resulting higher C sequestration.

Keywords

Aboveground, carbon, C stock, C sequestration, C stored,

Acknowledgement

Working paper ini disusun oleh Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya bekerja sama dengan ICRAF SEA dalam Proyek Trees in multi-Use Landscapes in Southeast Asia (TUL-SEA) yang didanai oleh Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (BMZ) Germany, serta beberapa dana pengukuran cadangan karbon di lapangan diperoleh dari dua kegiatan penelitian Universitas Brawijaya terdahulu yang didanai oleh DIKTI (Program Hibah Insentif Riset Dasar) dan ICRAF-SEA (Program ADSB).

Content

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Pendahuluan | 1 |
| 1.1. Mengapa kita harus mengukur karbon tersimpan di DAS Konto? | 1 |
| 2. Tujuan dan Output yang Diharapkan | 4 |
| 3. Metode Umum | 5 |
| 3.1. Lokasi | 5 |
| 3.2. Pengukuran | 5 |
| 3.3. Tahapan kegiatan | 6 |
| 4. Kondisi Biofisik Wilayah DAS Kali Konto | 8 |
| 4.1. Geologi | 9 |
| 4.2. Geomorfologi (Landform dan Lereng) | 10 |
| 4.3. Tanah | 12 |
| 4.4. Penggunaan Lahan | 13 |
| 4.5. Kondisi iklim | 14 |
| 5. Perubahan Tutupan Lahan di DAS Kali Konto Hulu | 16 |
| 5.1. Pendahuluan | 16 |
| 5.2. Tujuan | 16 |
| 5.3. Metode | 16 |
| 5.4. Hasil | 20 |
| 5.5. Kesimpulan | 29 |
| 6. Cadangan Karbon di atas permukaan tanah pada berbagai sistem penggunaan lahan di DAS Kali Konto | 30 |
| 6.1. Pendahuluan | 30 |
| 6.2. Tujuan | 31 |
| 6.3. Metode | 31 |
| 6.4. Hasil | 44 |
| 6.5. Kesimpulan | 51 |
| 7. Estimasi Cadangan Karbon di DAS Kali Konto Hulu | 53 |
| 7.1. Pendahuluan | 53 |
| 7.2. Tujuan | 54 |
| 7.3. Metode | 54 |
| 7.4. Hasil | 55 |
| 7.5. Kesimpulan | 58 |
| Daftar Pustaka | 60 |

1. Pendahuluan

1.1. Mengapa kita harus mengukur karbon tersimpan di DAS Konto?

Pada tahun 2007, Indonesia didaulat sebagai salah satu negara penghasil emisi gas rumah kaca (GRK) terbesar ketiga di dunia, yang terdiri dari CO₂, CH₄ dan N₂O. Gas-gas tersebut secara alami terdapat di udara (atmosfer), tetapi akhir-akhir ini jumlahnya berlebihan yang menyebabkan pemanasan global (Watson *et al.*, 1995). Pemanasan global adalah kejadian terperangkapnya radiasi gelombang panjang matahari (gelombang panas / inframerah) yang dipancarkan bumi oleh gas-gas rumah kaca, sehingga suhu bumi meningkat (http://www.grida.no/climate/ipcc/land_use/). Menurut laporan penelitian LSM Wetland International (WI) dan Delft Hydraulics bahwa Indonesia adalah negara penghasil emisi CO₂ ketiga dunia setelah Amerika Serikat dan China (<http://www.wetlands.org/news.aspx?ID=2817de3d-7f6a-4eec-8fc4-7f9eb9d58828>). Setiap tahunnya Indonesia melepaskan CO₂ sebesar 2000 juta ton, dimana 600 juta ton adalah berasal dari dekomposisi gambut karena adanya pengeringan lahan (proses tersebut akan terus berlanjut hingga gambut habis) dan 1400 juta ton berasal dari pembakaran hutan. Melalui kegiatan tersebut Indonesia telah menyumbangkan sekitar 10% dari total emisi CO₂ dunia.

Pembakaran hutan banyak dilakukan untuk mengubah fungsi hutan menjadi lahan pertanian. Alih guna lahan hutan menjadi lahan pertanian baik monokultur maupun polikultur menyebabkan hilangnya sebagian dari fungsi hutan yaitu fungsi hidrologi, penyerap CO₂ di atmosfer, mempertahankan biodiversitas, dan mempertahankan produktivitas tanah (Van Noordwijk *et al.*, 2002). Hutan alami merupakan penyimpan karbon (C) tertinggi bila dibandingkan dengan sistem penggunaan lahan (SPL) pertanian, dikarenakan keragaman pohonnya yang tinggi, dengan tumbuhan bawah dan seresah di permukaan tanah yang banyak. Namun pada saat ini sudah sulit menjumpai hutan alami di daerah Jawa Timur.

Kawasan DAS Konto memiliki luasan sekitar 23.700 ha, termasuk dalam dua daerah kecamatan, yaitu Pujon dan Ngantang. Kecamatan Pujon merupakan bagian dari wilayah timur DAS Konto. Luasan yang tergolong DAS Konto di daerah Pujon adalah sekitar 12.505 ha. Sedangkan untuk wilayah barat DAS Konto meliputi luasan 11.195 ha di Kecamatan Ngantang. Peningkatan kepadatan penduduk di DAS Konto (dari 587 jiwa/km² pada tahun 1990 menjadi 657 jiwa/km² di tahun 2000) disinyalir mendorong peningkatan aktivitas manusia di dalam menggunakan lahan. Akibatnya terjadi alih fungsi hutan menjadi lahan pertanian. Dalam kurun waktu 1990 – 2000, terjadi penurunan luasan hutan yang diiringi meningkatnya luasan semak belukar dan perkebunan. Hutan yang awalnya seluas 9000 ha menurun hingga 7000 ha (Tabel 1.1.). Penurunan luas 2000 ha tersebut, seiring dengan meningkatnya luasan semak belukar sekitar 1700 ha dan perkebunan sekitar 200 ha. Penggunaan lahan lainnya juga mengalami peningkatan, namun tidak terlalu nyata yaitu padang rumput, ladang, dan pemukiman.

Tabel 1.1. Alih Guna Lahan di Kawasan DAS Konto 1990-2000

| No | Penggunaan Lahan | Luasan (ha) 1990 | Luasan (ha) 2000 |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1 | Hutan | 9590.02 | 7622.81 |
| 2 | Padang Rumput | 315.34 | 316.90 |
| 3 | Pemukiman | 1153.45 | 1153.45 |
| 4 | Perairan | 343.80 | 337.04 |
| 5 | Perkebunan | 3421.83 | 3662.61 |
| 6 | Rawa | - | 2.48 |
| 7 | Sawah | 4280.62 | 4280.62 |
| 8 | Semak Belukar | 1208.16 | 2935.23 |
| 9 | Tanah Ladang | 3387.45 | 3385.26 |
| 10 | Tanggul Pasir | - | 4.28 |
| Luas DAS Konto | | 23700.68 | 23700.68 |

Perubahan fungsi hutan dalam hal ini terjadinya penebangan pohon berakibat pada hilangnya karbon yang tersimpan di atas tanah dalam bentuk biomasa tumbuhan. Hutan alami merupakan gudang (cadangan) C tertinggi bila dibandingkan dengan lahan pertanian. Hairiah *et al.* (1997), melaporkan bahwa konversi hutan alami di Jambi menjadi hutan sekunder menyebabkan kehilangan C sekitar 200 Mg/ha, dimana kehilangan terbesar terjadi di atas permukaan tanah karena banyak pohon yang dibakar. Sedang di dalam tanah kehilangan C hanya terjadi dalam jumlah yang relatif kecil. Bila hutan sekunder dikonversi menjadi lahan pertanian intensif (tanaman semusim monokultur), maka kehilangan C di atas permukaan tanah bertambah lagi menjadi sekitar 400 Mg C/ha dan di dalam tanah kehilangan sekitar 25 Mg C/ha. Dalam jangka waktu sekitar 25 tahun, jumlah C yang diserap dan diakumulasikan dalam biomasa pohon dan tanaman lainnya hanya sekitar 5-60 Mg C/ha (Tomich *et al.*, 1998). Jadi, untuk memulihkan kembali cadangan C seperti yang ditemui semula di hutan membutuhkan pengelolaan yang cermat dan waktu yang lama. Hasil pengukuran jumlah C yang tersimpan di lahan, yang secara teknis disebut juga “cadangan C” dilakukan di Sumberjaya (Hairiah *et al.*, 2006) pada lima sistem penggunaan lahan (SPL) yang berbeda yaitu hutan alami, semak belukar, agroforestri kopi dengan berbagai jenis pohon penaung (kopi multistrata), agroforestri kopi dengan penaung *Gliricidia* (kopi naungan) dan kopi monokultur (tanpa pohon penaung). Hasil pengukuran menunjukkan bahwa agroforestri berbasis kopi (umur 10 tahun) di Sumberjaya cukup berpotensi dalam mempertahankan cadangan C, walaupun besarnya cadangan C yang diperoleh pada sistem tersebut masih jauh lebih rendah dari pada yang dicapai di hutan alami. Besarnya cadangan C di atas tanah pada SPL hutan sekitar 195 Mg/ha sekitar 50% lebih rendah dari pada cadangan C yang dijumpai di hutan alami di Jambi. Cadangan C pada SPL semak belukar dan SPL kopi multistrata rata-rata sekitar 18 hingga 21 Mg/ha, sedang pada agroforestri sederhana (SPL kopi naungan dan SPL kopi monokultur) hanya berkisar antara (10 Mg/ha). Cadangan C dalam tanah antar SPL tidak berbeda nyata, namun cadangan C pada tanah lapisan atas di hutan dua kali lebih tinggi (64 Mg/ha) dari pada tanah-tanah di SPL lainnya (rata-rata 30 Mg/ha).

Pohon naungan pada agroforestri kopi multistrata memberikan sumbangan cukup besar terhadap cadangan C antara 40 - 45 % dari total cadangan C per SPL. Peningkatan cadangan C per tahun untuk SPL multistrata diestimasikan sekitar 0.9 Mg/ha, dan SPL kopi naungan sekitar 0.6 Mg/ha. Data jumlah C yang tersimpan di lahan tersebut penting untuk penghitungan C

tersimpan di seluruh kawasan DAS, dan informasi tersebut sangat diperlukan untuk negosiasi perdagangan C.

Daerah aliran sungai (DAS) Kalikonto memiliki beberapa sistem penggunaan lahan, diantaranya agroforestri berbasis tanaman kopi dan hutan tanaman industri berbasis pinus, berpeluang besar sebagai penyimpan karbon. Namun demikian ketersediaan data luasan lahan-lahan pertanian dan potensinya sebagai penyimpan karbon di daerah tersebut masih belum tersedia. Untuk itu pengukuran karbon yang tersimpan pada setiap sistem penggunaan lahan di tingkat DAS Konto ini masih sangat diperlukan.

2. Tujuan dan Output yang Diharapkan

Penelitian ini dilakukan untuk menjawab 4 pertanyaan utama, yaitu:

- Berapa banyak C yang tersimpan pada setiap sistem penggunaan lahan (SPL) pertanian yang termasuk dalam DAS Konto?
- Seberapa besar rata-rata C tersimpan per siklus tanam dari masing-masing SPL?
- Berapa besar perubahan tutupan lahan yang terjadi di DAS Konto bila dibandingkan dengan tutupan lahan tahun 1990?
- Berapa besar perubahan karbon tersimpan akibat perubahan tutupan lahan di DAS Konto ?

3. Metode Umum

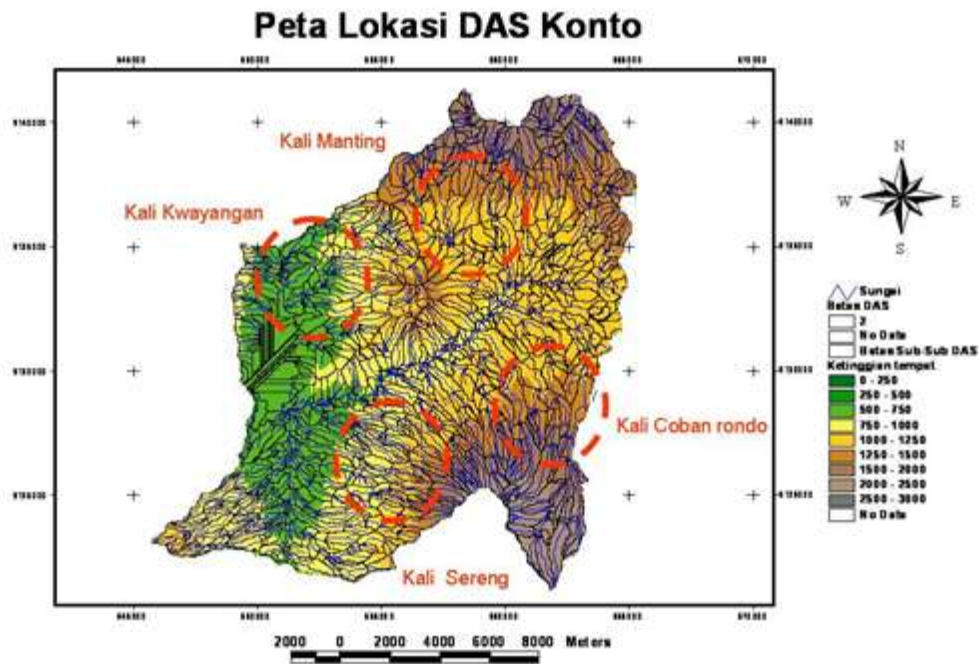
3.1. Lokasi

Penelitian dilakukan di berbagai sistem penggunaan lahan (SPL) yang ada di DAS Konto yang mencakup Kecamatan Ngantang dan Pujon. Sejak tahun 2007 Tim peneliti UB telah melakukan pengukuran C tersimpan (cadangan C) di beberapa lahan pertanian yaitu di 2 desa Tulungrejo dan Sumberagung yang terletak di Kecamatan Ngantang (Laporan Hibah Insentif Riset Dasar, Menristek, 2008). Kedua desa tersebut termasuk dalam sub-DAS Sayang dan Kwayangan. Pada kegiatan tersebut, pengukuran cadangan C hanya dilakukan pada lahan-lahan pertanian berbasis pepohonan (Agroforestri). Ada 8 SPL yang telah diukur yaitu Hutan Terganggu, Hutan Bambu, Hutan Pinus, Hutan Mahoni, Kopi Multistrata, Kopi Naungan Giliricidia.

3.2. Pengukuran

Beberapa parameter pengukuran yang masih dibutuhkan untuk penelitian ini adalah :

- a. Perluasan daerah pengukuran jumlah C tersimpan. Hal ini ditujukan untuk meningkatkan akurasi data input jumlah C tersimpan di seluruh DAS Konto yang selama ini hanya dilakukan di Sub-sub DAS Kwayangan dan sedikit di Sub-sub DAS Sayang (Tulungrejo, Sumberagung dan Banturejo, Kecamatan Ngantang) (Gambar 3.1). Pengukuran jumlah C tersimpan diperluas ke sub-DAS Manting dan sub-DAS Sereng. Pemilihan lokasi untuk perluasan tempat penelitian adalah didasarkan pada perbedaan geologi dan bahan induk tanah yang akan berpengaruh pada sifat-sifat tanah dan tipe penggunaan lahannya.
- b. Pengukuran peningkatan rata-rata C tersimpan per siklus tanam (time average C stock) setiap SPL di DAS Konto sangat dibutuhkan untuk menjelaskan besarnya C tersimpan pada berbagai SPL yang berbeda-beda sejarah penggunaan lahannya, baik ditinjau dari umur pohon maupun umur lahan setelah konversi hutan.
- c. Mengestimasi besarnya luasan masing-masing SPL di DAS Konto dengan menggunakan citra satelit tahun 1990 dan 2005.
- d. Mempelajari dinamika penyerapan C (C-sequestration) dan pelepasan C (C- emission) berdasarkan dinamika perubahan lahan pertanian menggunakan peta tutupan lahan dari citra Landsat 7TM tahun 1990 dan Landsat 7ETM+ tahun 2005.



Gambar 3.1. Lokasi penelitian pengukuran jumlah C yang tersimpan. (Keterangan : Kali Kwayangan sudah dilakukan pengukuran karbon tersimpan di atas tanah; DAS Manting, Coban Rondo, dan Sereng)

3.3. Tahapan kegiatan

Untuk mencapai tujuan penelitian ini, kegiatan dilakukan dalam 5 tahap yaitu: (1) persiapan data sekunder (peta topografi, land-use, dan hasil survei tanah Kalikonto tahun 1984, dan lain-lain), (2) survei pendahuluan untuk ground check land cover, (3) penentuan titik pengamatan, pengukuran lapangan, analisis data, (4) Estimasi perubahan C pada tingkat lansekap menggunakan citra satelit, (5) penulisan laporan. Keterkaitan antara pertanyaan penelitian, aktivitas dan luaran disajikan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Keterkaitan antara kegiatan penelitian dengan pertanyaan dan luaran

| No | Pertanyaan | Aktivitas | Luaran |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Berapa banyak C yang tersimpan pada setiap sistem penggunaan lahan (SPL) yang ada? | Pengukuran total C tersimpan di tingkat pohon dan pada setiap SPL | Database C tersimpan aktual dari berbagai SPL dan umur pohon |
| 2 | Seberapa besar time averaged C-stock pada masing-masing-masing SPL? ~ | <ul style="list-style-type: none"> • Pengukuran total C tersimpan pada beberapa jenis pohon utama pada berbagai umur • Pengukuran total C tersimpan pada beberapa jenis SPL yang berbeda umur | <ul style="list-style-type: none"> • Database C tersimpan aktual pada berbagai umur pohon (pohon utama) • Database C tersimpan aktual dari berbagai umur pohon pohon |
| 3 | Berapa banyak perubahan tutupan lahan di DAS Konto selama kurun waktu 1990 dan 2005 ? | Pengecekan Lapangan macam-macam SPL dari peta land cover yang ada | Perubahan luasan penggunaan lahan (tahun 1990 dan 2005) |
| | | Penghitungan luasan masing-masing SPL berdasarkan peta land cover yang ada | |
| 4 | Berapa besar perubahan cadangan karbon akibat perubahan tutupan lahan di DAS Konto ? | Estimasi perubahan cadangan karbon berdasarkan tutupan lahan tahun 1990 dan 2005 | Database emisi / sequestrasi C untuk dasar perdagangan karbon |

4. Kondisi Biofisik Wilayah DAS Kali Konto

Daerah Aliran Sungai (DAS) Kali Konto merupakan salah satu daerah hulu dari sungai Brantas. Sungai Konto memiliki mata air yang terletak diantara lereng Gunung Kawi, Anjasmoro, Butak, dan Kelud. Aliran sungai ini langsung menuju ke utara, bermuara dan bertemu dengan Kali Brantas di Kabupaten Jombang. Seringkali DAS Kali Konto dibagi menjadi dua bagian, yaitu bagian hulu dan bagian hilir, keduanya dipisahkan oleh adanya Bendungan Selorejo. DAS Kali Konto Hulu luasnya sekitar 23.804 ha, termasuk dalam dua wilayah kecamatan, yaitu Kecamatan Pujon dan Kecamatan Ngantang (Kabupaten Malang), yang di dalamnya terdapat 20 desa. Desa-desanya yang termasuk di dalam wilayah DAS Konto disajikan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Desa-desanya di Kecamatan Pujon dan Ngantang yang masuk ke dalam wilayah DAS Konto

| No | Nama Desa | Kecamatan |
|----|-------------|-----------|
| 1 | Pandesari | Pujon |
| 2 | Pujon Lor | Pujon |
| 3 | Pujon Kidul | Pujon |
| 4 | Wiyurejo | Pujon |
| 5 | Madiredo | Pujon |
| 6 | Ngroto | Pujon |
| 7 | Sukomulyo | Pujon |
| 8 | Bendosari | Pujon |
| 9 | Tawangsari | Pujon |
| 10 | Ngabab | Pujon |
| 11 | Purworejo | Ngantang |
| 12 | Banjarejo | Ngantang |
| 13 | Sidodadi | Ngantang |
| 14 | Pagersari | Ngantang |
| 15 | Ngantru | Ngantang |
| 16 | Pandansari | Ngantang |
| 17 | Kaumrejo | Ngantang |
| 18 | Sumberagung | Ngantang |
| 19 | Tulungrejo | Ngantang |
| 20 | Waturejo | Ngantang |

Bagian atas dari DAS Kali Konto Hulu terletak sebelah timur berada di wilayah Kecamatan Pujon pada ketinggian antara 850 – 2.600 m diatas permukaan laut, meliputi luasan sekitar 12.500 (14.105) ha. Sebagian besar berupa kawasan pertanian dengan komoditas utama sayur-sayuran terutama wortel, kubis dan kentang. Kondisi yang ada saat ini, tanaman sayuran banyak yang diusahakan di lahan Perhutani. Selain pertanian, usaha ternak sapi perah skala kecil juga banyak dikembangkan di kawasan ini.

Bagian bawah DAS Kali Konto hulu terletak di sebelah barat yang termasuk wilayah Kecamatan Ngantang, pada ketinggian antara 600 – 1.400 m diatas permukaan laut, meliputi luasan sekitar 10.800 (9044) ha. Kawasan pertanian terbagi menjadi dua bagian, yakni daerah yang memperoleh irigasi untuk padi sawah dan daerah tadah hujan untuk kebun campuran berbasis kopi (agroforestri).

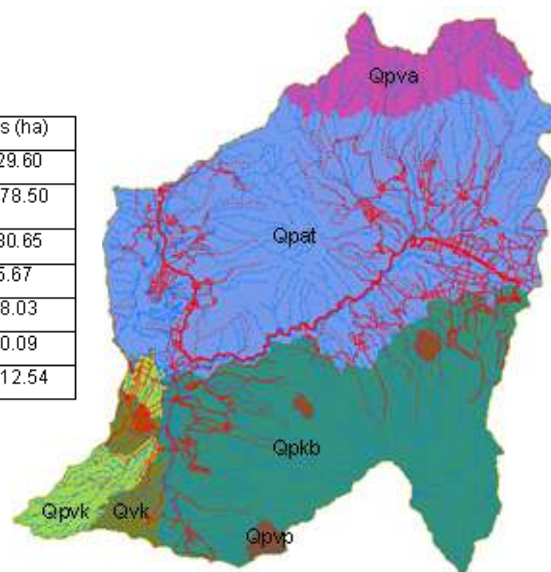
4.1. Geologi

Berdasarkan peta Daerah Proyek Kali Konto (1984), dalam kawasan DAS Kali Konto hulu dijumpai beberapa keragaman geologi. Meskipun secara umum geologi yang membentuk wilayah ini sama (volkanik), namun secara spesifik terdapat beberapa keragaman (Gambar 4.1), misalnya terdapat bahan dominan yang terkandung di dalam batuan induknya, atau dapat juga berupa jenis bahan piroklastis tertentu dari hasil letusan. Sebaran bahan induk yang terluas di kawasan DAS Konto adalah Qpat (11.978,5 ha) dan Qpkb (7.880,65 ha), yaitu Batuan gunung api Anjasmoro Tua dan Endapan Gunung Api Butak. Keduanya memiliki kondisi yang berbeda meski sama-sama merupakan bahan induk volkanik. Batuan gunung api Anjasmara Tua (Qpat), tersusun atas bahan breksi gunung api, tuf breksi, tuf dan lava. Satuan ini diduga sebagai alas dari batuan gunung api Kuartar Bawah dan diperkirakan berumur Plistosen Awal – Tengah. Hal itu berdasarkan adanya singkapan dari batuan gunung api Anjasmara Tua yang tertindih tak selaras langsung oleh batuan gunung api Arjuna-Welirang yang berumur Plistosen Akhir. Batuan gunung api ini tertindih oleh batuan gunung api Anjasmara Muda dan batuan gunung api Panderman.

Batuan gunung api Kawi-Butak (Qpkb), satuan ini termasuk dalam batuan gunung api kuartar tengah yang tersusun atas bahan breksi gunung api, tuf lava, aglomerat dan lahar. Batuan gunung api ini diperkirakan berumur Plistosen Akhir bagian awal, tertindih oleh Batuan Gunung api Kuartar yang lebih muda dan Tuf Malang.

Batuan Gunungapi Anjasmara Muda (Qpva), dengan luasan 1.829,60 ha merupakan batuan gunung api kuartar bawah yang tersusun atas bahan breksi gunung api, tuf breksi, lava, tuf dan aglomerat. Lava yang menyusun merupakan sisipan melidah dalam breksi dengan tebal beberapa meter. Batuan gunung api ini diperkirakan berumur Plistosen Tengah, berdasarkan kedudukan stratigrafinya yang tertindih oleh batuan gunung api Kuartar Tengah.

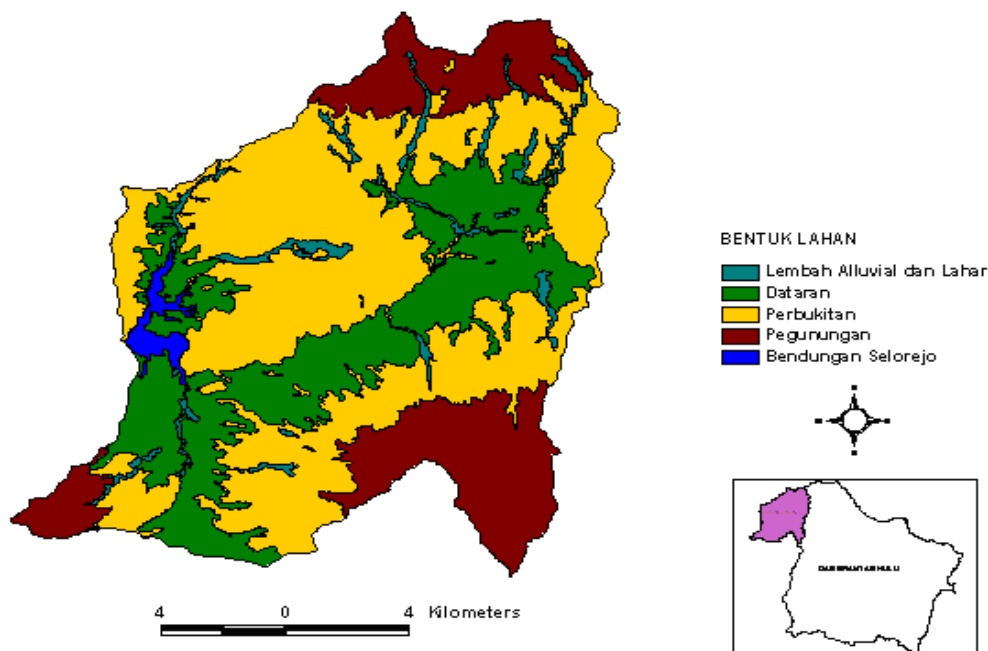
| No | Simbol | Satuan batuan | Luas (ha) |
|----|--------|---------------------------------|-----------|
| 1 | Qpva | Endapan gunung api Anjasmara | 1829.60 |
| 2 | Qpat | Batuan gunung api Anjasmara tua | 11978.50 |
| 3 | Qpkb | Endapan gunung api Butak | 7880.65 |
| 4 | Qpvp | Batuan gunungapi Parasit Tua | 75.67 |
| 5 | Qpvk | Batuan gunung api Kelud Tua | 228.03 |
| 6 | Qvk | Endapan gunung api Kelud | 720.09 |
| | Total | | 22712.54 |



Gambar 4.1. Peta geologi DAS Konto

4.2. Geomorfologi (Landform dan Lereng)

Bentuk lahan (landform) yang terdapat di DAS Kali Konto hulu meliputi Perbukitan, Pegunungan, dataran, dan lembah alluvial atau lahar. Sebagian besar wilayah DAS Kali Konto hulu memiliki landform berbukit (11.554 ha atau 48.75 % luas wilayah) dan bergunung (4631 ha atau 19.54 %). Landform dataran (termasuk yang tertoreh) seluas 6227 ha atau 26.27 %, sisanya 955 ha atau 4 % berupa lembah alluvial dan atau lahar (Gambar 4.2). Variasi bentuk lahan (landform) yang ada di DAS Kali Konto hulu berpotensi terhadap perbedaan penggunaan lahan yang ada, seperti landform lembah alluvial dan lahar, dan dataran yang dominan untuk sawah dan kebun sayuran. Sedangkan pada landform perbukitan banyak digunakan untuk hutan produksi dan kebun campuran, serta kebun sayuran (terutama di daerah Pujon baik di Perbukitan lereng Gunung Anjasmara maupun Gunung Kawi dan Gunung Keled). Kondisi ini berpotensi terhadap penurunan cadangan karbon yang ada di DAS Kali Konto hulu.



Gambar 4.2. Sebaran Landform di DAS Kali Konto hulu

Lereng yang ada di DAS Kali Konto hulu sangat bervariasi (Tabel 4.2.). Pada wilayah lereng pegunungan dan perbukitan serta lereng-lereng tererosi memiliki kemiringan berkisar dari 25-40 %, 40-60% atau lebih curam. Luas lahan yang memiliki kemiringan lebih besar dari 25 % mencapai 9.225 ha atau 38.82 % dari luas wilayah. Kawasan kaki bukit memiliki lereng 8-15 % dan 15-25 % dengan luas 2587 ha atau 36 % dari luas wilayah. Sisanya seluas 5331 ha atau 22.5 % merupakan kawasan datar sampai landai.

Hampir sebagian besar wilayah DAS Kali Konto hulu (39 %) memiliki kemiringan lebih besar dari 25 %, artinya bahwa sebagian besar wilayah DAS Kali Konto hulu seharusnya digunakan untuk sistem berbasis pepohonan baik monokultur maupun polikultur untuk mencegah kehilangan tanah akibat erosi dan longsor serta penyerap karbon di udara. Namun kondisi aktual menunjukkan bahwa di lahan-lahan yang memiliki kemiringan > 25 %, banyak hutan yang dikonversi menjadi kebun sayuran (sebagian besar di wilayah Pujon), disajikan di Gambar 4.3. Akibatnya, banyak cadangan karbon yang hilang setelah alih fungsi lahan.

Tabel 4.2. Luasan kelas lereng yang ada di DAS Kali Konto hulu

| No | Klas Kelerengan | Luas (ha) |
|-------|-----------------|-----------|
| 1 | 0 – 3 | 2622.12 |
| 2 | 3 – 8 | 2709.01 |
| 3 | 8 – 15 | 3504.22 |
| 4 | 15 – 25 | 5022.35 |
| 5 | 25 – 40 | 6873.31 |
| 6 | 40 – 60 | 2277.86 |
| 7 | > 60 | 73.61 |
| TOTAL | | 23700.68 |



Gambar 4.3. Kawasan perbukitan di DAS Kali Konto hulu dengan kemiringan > 25 % yang mengalami alih fungsi lahan.

4.3. Tanah

Tanah yang ada di kawasan DAS Konto tergolong tanah-tanah yang muda, antara lain : Entisols (Litosol), Andisols (Andosol), dan Inceptisols (Cambisol), Mollisols dan Alfisols. Tanah-tanah tersebut umumnya berkembang dari bahan piroklastika (bahan jatuhan hasil erupsi gunung api) berupa abu dan pasir vulkanik. Bahan piroklastika berbahan kasar berupa pumise (batu apung) dijumpai di lereng Gunung Kelud. Batuan beku hasil pembekuan lava umumnya dijumpai pada kedalaman yang cukup dalam dan hanya dijumpai di dasar sungai dan atau tebing yang cukup tinggi.

Tanah-tanah yang termasuk dalam ordo **Entisols** merupakan tanah-tanah yang belum berkembang. Pada umumnya memiliki solum yang dangkal dengan bentukan struktur yang belum terlihat. Termasuk dalam ordo tanah ini adalah tanah-tanah yang berada pada lereng curam pegunungan, daerah endapan dan luapan sungai dan aliran lembah lahar. Di DAS Kali Konto hulu, Entisols dengan luasan 2.071 Ha (8.86 % dari luas wilayah) dijumpai pada lereng-lereng terjal dimana tanah tidak sempat terbentuk karena selalu terangkut oleh aliran air hujan, di lereng Gunung Kawi dan Anjasmara. Entisols di DAS Kali Konto hulu memiliki solum tanah yang dangkal (< 60 cm) hingga agak dalam (60 – 90 cm).

Tanah ordo **Andisols** memiliki sifat yang beragam. Sifat dan ciri utama yang terlihat adalah memenuhi sifat tanah andik (bobot isi $\leq 0,90 \text{ g/cm}^3$, Jumlah $\text{Al}_2\text{O}_3 + 1/2 \text{ Fe}_2\text{O}_3 \geq 2,0 \%$, dan retensi fosfat $\geq 85 \%$) bertekstur debu dengan variasi sifat di dalam penampang tanah, di antaranya berbatu atau berkerikil. Sebagian besar telah menunjukkan perkembangan dengan ditemukannya horison penciri Kambik. Tanah-tanah yang termasuk dalam ordo Andisol tersebar di daerah sekitar kawasan pegunungan dan perbukitan vulkanik di sekitar pegunungan. Tidak jarang sebaran tanah ini ditemukan juga pada daerah lembah dan dataran tinggi plato. Di DAS Kali Konto hulu, Andisols merupakan tanah yang paling dominan, dengan total luasan sekitar 11.314 Ha (48.42 % dari luas wilayah DAS Konto) dan memiliki solum tanah yang dalam (> 120 cm). Tanah ini berkembang dari bahan abu vulkanik yang terdapat di lereng Gunung Kawi, Anjasmara dan Kelud.

Inceptisols dengan luas 5.235 ha atau 22.4 % luas wilayah umumnya dijumpai pada kaki perbukitan dan dataran antar gunung api seperti di dataran Pujon dan Selorejo, dengan solum tanah bervariasi mulai agak dalam (60 – 90 cm) hingga dalam (90 – 120 cm). Inceptisols memiliki sifat dan karakter yang beragam, terutama berkaitan dengan bahan induk dan faktor perkembangan yang mempengaruhinya. Tingkat perkembangan yang berbeda juga mempengaruhi sifat dan karakter tanahnya, namun secara umum Inceptisols yang ditemukan telah mengalami perkembangan dengan penciri adanya horison Kambik.

Mollisols dan **Alfisols** seluas 4747.08 ha atau 20.3 % luas wilayah dijumpai di kaki perbukitan dengan penggunaan berupa hutan dan dataran antar vulkanik. Tanah-tanah yang termasuk dalam ordo tanah Mollisols merupakan tanah-tanah yang lapisan atasnya memiliki epipedon Mollik (berwarna gelap karena mengandung bahan organik minimal 0,6%, dengan kejenuhan basa sama atau lebih dari 50% dalam pelarut NH_4OAc). Mollisol dijumpai pada daerah kolumial kaki bukit dan plato sehingga merupakan daerah sedimentasi endapan pergerakan tanah yang berasal dari lereng maupun punggung perbukitan. Sedangkan tanah-tanah yang termasuk dalam ordo Alfisols adalah tanah yang telah mengalami proses lessivage sehingga terjadi peningkatan kandungan liat halus pada horison bawah yang sering dicirikan oleh adanya selaput liat pada

penampang tanah lapisan bawah, dan kejenuhan basa > 35%. Pada umumnya, tanah yang diidentifikasi sebagai Alfisols di daerah survei memiliki kandungan liat yang cukup tinggi dan agak keras.

4.4. Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan yang ada di kawasan DAS Kali Konto hulu secara umum meliputi Hutan (Hutan alami terganggu), Perkebunan, Tegalan, Sawah, dan Pemukiman. Wilayah hutan hanya di jumpai pada daerah-daerah bagian lereng atas yang curam, di utara dan selatan sungai Konto. Hutan alami terganggu (HT) atau hutan terdegradasi adalah hutan alami yang telah mengalami kerusakan yang cukup parah dikarenakan adanya aktifitas masyarakat seperti penebangan vegetasi. Hutan alami terganggu terletak pada ketinggian lebih dari 1000 m dari permukaan laut. Vegetasi didominasi oleh pohon-pohon dengan berbagai macam umur, semak belukar, bambu serta tanaman bawah.

Perkebunan umumnya dibedakan menjadi dua menurut kepemilikan lahannya yaitu: (1) Perkebunan milik Perhutani yang digunakan untuk kebun monokultur (Pinus, Mahoni, Damar) dan atau agroforestri sederhana (Pinus, Mahoni, Damar (tumpangsari dengan rumput gajah atau jagung) merupakan pertanaman pepohonan jenis timber, yang ditanam secara teratur dengan jenis pohon yang seragam, dan (2) Perkebunan milik rakyat yang digunakan untuk kebun campuran berbasis kopi. Kebun monokultur (Pinus dan Damar) umumnya banyak terdapat di wilayah Kecamatan Pujon, sedangkan kebun campuran dominan dijumpai di wilayah kecamatan Ngantang.

Kawasan budidaya tanaman semusim baik tegalan maupun sawah banyak dijumpai di lereng tengah ke bawah, meskipun ada sebagian yang dijumpai di daerah lereng atas terutama di Kecamatan Pujon. Kawasan budidaya didominasi oleh tanaman sayuran untuk daerah Pujon, seperti kentang, wortel, kubis, tomat, serta tanaman palawija. Jagung biasanya ditanam bergilir dengan cabe, ditanam secara tumpangsari dengan tanaman semusim lainnya. Pemupukan dilakukan setiap musim tanam, biasanya digunakan pupuk buatan dan kotoran ternak. Kondisi umum penggunaan lahan yang dijumpai di DAS Kali Konto Hulu disajikan dalam Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Kondisi penggunaan lahan di DAS Konto (A = Sawah, B = Tegalan, C = Kebun monokultur pinus, D = Kebun Monokultura Damar, E = Hutan

4.5. Kondisi iklim

DAS Kali Konto hulu termasuk beriklim muson tropis, yang dicirikan oleh adanya musim hujan dan musim kemarau yang tegas dan suhu udara yang selalu panas sepanjang tahun. Sifat iklim tersebut dapat dipelajari dengan lebih baik melalui data unsur iklim yang dikumpulkan dari stasiun Selorejo (Ngantang) dan stasiun Pujon, terutama data curah hujan, penguapan dan suhu udara.

Wilayah kecamatan Ngantang termasuk kawasan basah dengan curah hujan tahunan berkisar antara 2.200 mm sampai 3.850 mm dan rata-rata 3.000 mm per tahun. Sedangkan kecamatan Pujon memiliki curah hujan tahunan berkisar antara 1620 mm sampai dengan 2756 mm. Dari

curah hujan tahunan sebesar itu ternyata lebih dari 90% jatuh hanya selama 6 bulan, antara bulan Nopember sampai dengan April, dan kurang dari 10 % tersebar antara bulan Mei sampai dengan Oktober. Terdapat perbedaan sifat yang jelas antara musim hujan dan musim kemarau.

Neraca air tahunan yang merupakan selisih antara curah hujan dan penguapan selama setahun di kawasan ini menunjukkan surplus sebesar 1.745 mm untuk kecamatan Ngantang dan 1.301 mm (kecamatan Pujon). Hal ini berarti bahwa terjadi kelebihan air yang masuk kedalam sistem kawasan ini. Namun bila dipelajari lebih mendalam, ternyata bahwa surplus itu terjadi selama 6 bulan yakni antara Nopember sampai dengan April, sedangkan selama empat bulan (Juni sampai dengan September) terjadi defisit. Sementara itu pada bulan Mei dan bulan Oktober tidak menentu di mana bisa terjadi surplus atau defisit dengan peluang yang sama besar (Tabel 4.3 dan Tabel 4.4).

Tabel 4.3. Neraca air umum di kecamatan Pujon

| Unsur | Bulan | | | | | | | | | | | |
|---------|-------|------|-------|------|-----|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | (mm) | Jan | Peb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov |
| CH (mm) | 419 | 467 | 309.1 | 195 | 97 | 49.1 | 23.8 | 17 | 22.3 | 129.9 | 295.4 | 321.1 |
| Eto | 105 | 92.8 | 117.8 | 123 | 130 | 129 | 127 | 162 | 142.6 | 138 | 105.4 | 81 |
| CH-Eto | 314 | 374 | 191.3 | 71.5 | -33 | -79.9 | -103 | -145 | -120 | -8.1 | 190 | 240.1 |
| APWL | - | - | - | - | 33 | 112.9 | 216 | 360.9 | 480.9 | 489 | - | -- |
| Surplus | 314 | 374 | 191.3 | 71.5 | - | - | - | - | - | - | 190 | 240.1 |
| Defisit | - | - | - | - | 33 | 112.9 | 216 | 360.9 | 480.9 | 489 | - | - |

Keterangan : - CH : curah hujan - Eto : evapotransirasi potensial

Tabel 4.4. Data Iklim Bulanan Stasiun Ngantang

| | Jan | Peb | Mar | Apr | Mei | Jun | Jul | Agu | Sep | Okt | Nop | Des | Total |
|-----------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Curah Hujan Bulanan Rata-rata (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| Rata2 | 607 | 626 | 439 | 277 | 126 | 64 | 44 | 22 | 32 | 112 | 283 | 416 | 3048 |
| Minimum | 314 | 261 | 126 | 35 | 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 63 | 113 | 2217 |
| Maksimum | 1018 | 1042 | 694 | 546 | 304 | 226 | 266 | 68 | 170 | 524 | 495 | 855 | 3837 |
| Penguapan (Evaporasi) Bulanan Rata-rata (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| Rata2 | 75 | 75 | 90 | 98 | 127 | 99 | 123 | 138 | 127 | 107 | 116 | 128 | 1303 |
| Minimum | 58 | 58 | 62 | 57 | 80 | 63 | 59 | 65 | 57 | 71 | 90 | 59 | 779 |
| Maksimum | 95 | 95 | 114 | 125 | 155 | 131 | 186 | 186 | 186 | 124 | 150 | 186 | 1733 |
| Suhu Udara Harian Rata-rata (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| Rata2 | 23.4 | 23.0 | 23.4 | 23.4 | 23.3 | 22.7 | 21.9 | 22.1 | 23.0 | 23.2 | 23.2 | 23.3 | 23.0 |
| Minimum | 23.1 | 22.3 | 23.2 | 22.6 | 22.8 | 21.9 | 21.1 | 20.9 | 21.9 | 22.6 | 22.4 | 22.6 | 22.3 |
| Maksimum | 23.6 | 23.7 | 23.6 | 23.8 | 23.8 | 23.2 | 22.8 | 22.9 | 24.2 | 23.7 | 24.3 | 24.3 | 23.7 |

5. Perubahan Tutupan Lahan di DAS Kali Konto Hulu

5.1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara yang banyak mengalami degradasi hutan. Sekitar 50 persen area hutan (dari 162 juta ha menjadi 98 juta ha) telah dikonversi ke bentuk penggunaan lain karena ada aktivitas manusia (Matthews E, 2002). Disebutkan pula bahwa di tahun 1980an laju degradasi hutan terus meningkat dari 1 juta/ha/th menjadi 1.7 juta/ha/th di awal tahun 1990an, dan terakhir setelah tahun 1996 menjadi 2 juta ha per tahun. Di Jawa khususnya di DAS Kali Konto hulu terjadi penurunan luas tutupan hutan sebanyak 2000 ha dalam kurun waktu 1990 – 2000 (Sudarto *et al.*, 2004). Penurunan luas 2000 ha seiring dengan meningkatnya luasan semak belukar (1700 ha) dan perkebunan (200 ha), sedangkan sisanya adalah tegalan dan pemukiman.

Deforestasi yang terjadi di wilayah DAS Kali Konto hulu mengakibatkan terjadinya perubahan tutupan lahan. Pemahaman tentang tutupan lahan sangat penting dalam kaitannya dengan perencanaan pengembangan wilayah, perbaikan kualitas lingkungan, dan penurunan nilai lahan pertanian (Andersson *et al.*, 2001). Berkenaan dengan upaya pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK) di tingkat internasional melalui pencegahan deforestasi dan degradasi hutan, maka informasi perubahan tutupan lahan dan jumlah karbon yang tersimpan di suatu kawasan sangat dibutuhkan. Sayangnya ketersediaan informasi tersebut masih sangat terbatas, sehingga penelitian ini perlu dilakukan.

5.2. Tujuan

- Mengklasifikasikan tutupan lahan yang ada di Daerah Aliran Sungai (DAS) Kali Konto hulu dengan menggunakan citra satelit Landsat 7TM tahun 1990 dan Landsat 7ETM+ tahun 2005
- Menganalisis perubahan tutupan lahan di DAS Kali Konto hulu
- Memetakan kerapatan vegetasi melalui analisis Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) yang dihasilkan melalui pengolahan data penginderaan jauh.

5.3. Metode

a. Persiapan Peta Dasar

Peta dasar yang disiapkan adalah peta rupa bumi dan layout citra satelit Landsat 7TM tahun 1990 dan Landsat 7ETM+ tahun 2005 untuk Daerah Aliran Sungai (DAS) Kali Konto hulu. Peta rupa bumi diperlukan untuk memperoleh data spasial administratif sebagai acuan dalam melakukan survey lapangan. Sedangkan layout citra satelit diperlukan untuk pembuatan peta

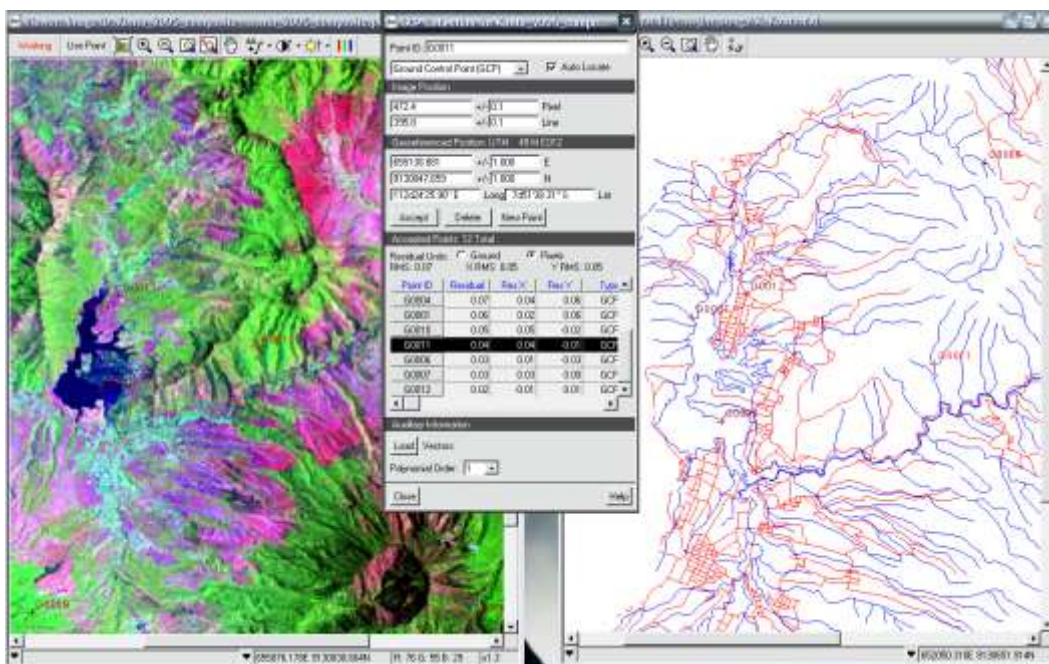
digital tutupan lahan dan sebagai pembanding kenampakan di citra satelit dengan keadaan di lapangan sebagai acuan dalam melakukan klasifikasi citra satelit.

b. Survei Lapangan

Survei lapangan dilakukan untuk menentukan titik kontrol dan mengecek validitas tutupan lahan yang dibuat melalui citra satelit. Titik kontrol digunakan sebagai sampel yang akan digunakan dalam metode "Hierarchical Classification" pada citra satelit Landsat 7ETM+ tahun 2005. Titik akurasi digunakan untuk validasi hasil klasifikasi ("Hierarchical Classification") tutupan lahan citra satelit Landsat 7ETM+ tahun 2005. Pengambilan titik kontrol dilakukan bersama masyarakat sekitar, sekaligus untuk memperoleh informasi umur pohon dan umur lahan yang nantinya digunakan sebagai dasar untuk menentukan plot pengukuran cadangan karbon di lapangan.

c. Pengolahan citra satelit

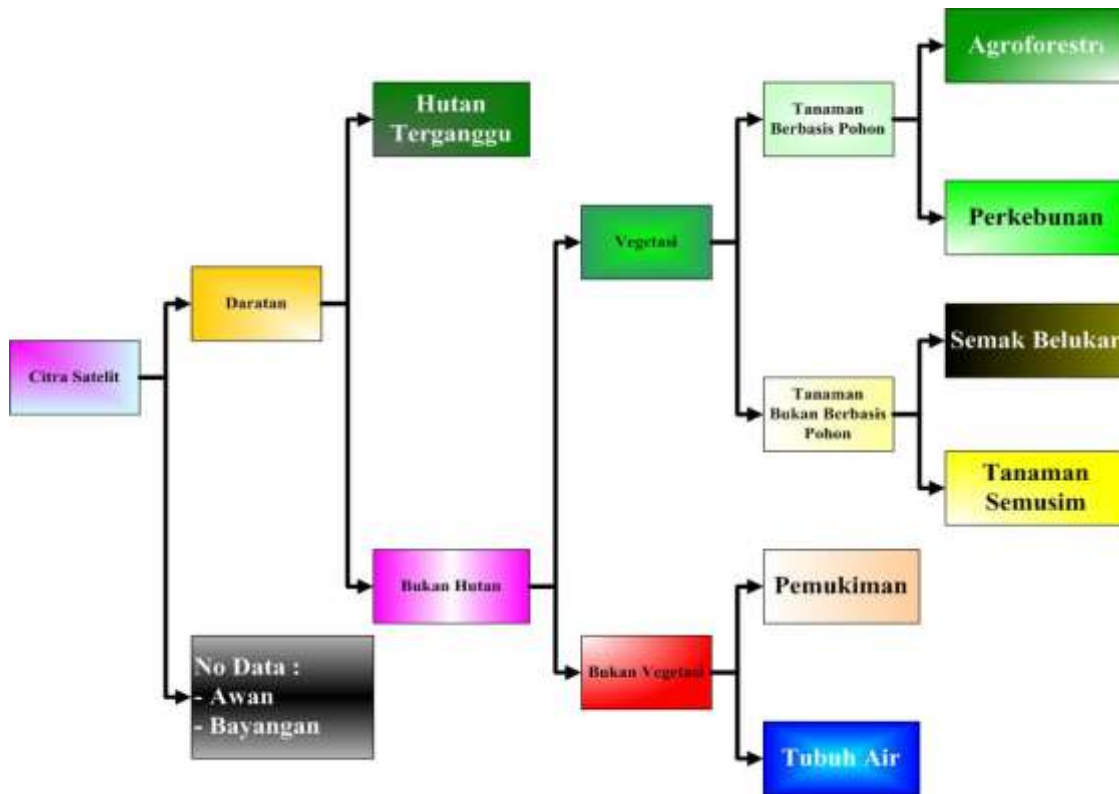
Pada tahapan ini dilakukan beberapa proses pengolahan data citra satelit. Pertama, dilakukan proses koreksi radiometrik dengan menggunakan metode DOS (dark object subtraction). Proses kedua, yaitu koreksi geometrik dengan menggunakan data vektor peta digital sebagai acuan. Koreksi geometrik pada citra satelit tidak berbeda dengan koreksi geometrik pada foto udara yaitu dengan membuat "GCP (Ground Control Point)". Koreksi geometrik dilakukan untuk memperbaiki citra satelit akibat kesalahan geometrik. Kesalahan geometrik pada citra satelit dapat diakibatkan oleh beberapa faktor seperti variasi ketinggian tempat, variasi ketinggian satelit, variasi kecepatan sensor, kesalahan panoramik, kelengkungan bumi, refraksi atmosfer, variasi bentuk relief permukaan bumi, dan ketidak-linieran cakupan sensor satelit (IFOV / Instantaneous Field of View) (Lillesand and Kiefer, 1994 dalam Lusiana *et.al.*, 2007). Koreksi geometrik yang dilakukan, ditunjukkan pada Gambar 5.1. Koreksi radiometrik dan geometrik dilakukan dengan menggunakan "software" PCI Geomatica 9.0.



Gambar 5.1. Koreksi geometrik dengan menggunakan PCI Geomatica 9.0

d. Klasifikasi Tutupan Lahan (Metode Hierarchical Classification)

Klasifikasi tutupan lahan pada citra satelit dilakukan dengan menggunakan metode Klasifikasi Hirarkis "Hierarchical Classification". Keuntungan menggunakan metode ini adalah selain kemampuan untuk menginterpretasi citra dengan menggunakan data spektral dapat juga melalui informasi spasial dari obyek image tersebut seperti, tekstur, bentuk, dan lain-lain (Nugroho *et al.*, 2008). Metode ini dilakukan berdasarkan pada struktur hirarkis yang ditunjukkan pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2. Struktur Klasifikasi Hirarki ("Hierarchical Classification") untuk DAS Konto

Analisis citra satelit tutupan lahan tahun 2005 dilakukan sampai dengan level 5. Setiap level terdapat kelas-kelas penutupan lahan yang harus dipisah untuk mendapatkan kelas penutupan lahan yang lebih detail. Tahapan klasifikasi pada setiap level antara lain :

- 1) *Level pertama*, merupakan proses klasifikasi dengan skala luas yang ditujukan untuk membedakan antara kelas 'bukan data' dan kelas daratan. Kelas 'bukan data' merupakan kelas informasi seperti awan, bayangan dan bukan informasi band "no data". Sedangkan kelas daratan merupakan kelas hasil tingkat pertama yang akan diklasifikasikan ke tahap berikutnya pada tingkat kedua dengan informasi yang lebih detail. Pada klasifikasi ini digunakan 6 band citra satelit.
- 2) *Level kedua*, merupakan proses klasifikasi yang didasarkan kelas daratan dan menurunkan hasil kelas tersebut menjadi 2 kelas utama, yaitu : hutan terganggu dan

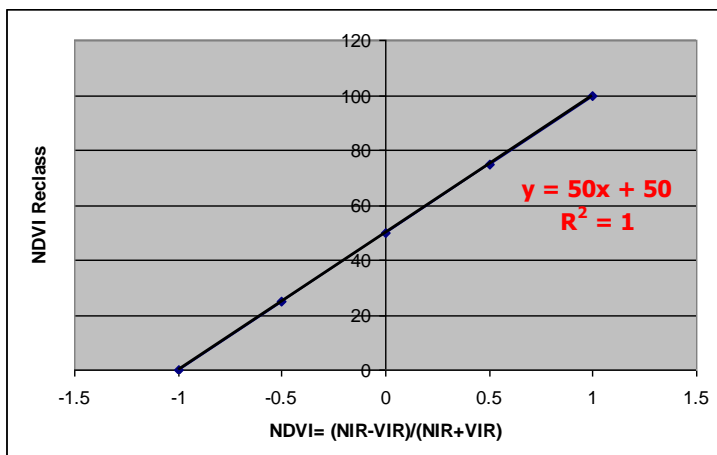
bukan hutan. Pada analisa ini selain menggunakan 6 band, juga diperjelas dengan titik survei pada hutan terganggu.

- 3) *Level ketiga*, merupakan proses klasifikasi yang didasarkan kelas bukan hutan. Kelas bukan hutan diturunkan menjadi kelas vegetasi dan kelas bukan vegetasi. Proses level ketiga selain menggunakan 6 band pada citra, juga menggunakan nilai NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) serta data topografi (keterkaitannya dengan pemukiman, jalan, dan sungai). Nilai NDVI ditunjukkan dalam persentase, dimana nilai terendah (-1) ditunjukkan dengan angka 0 dan nilai tertinggi (1) ditunjukkan dengan angka 100, yang disebut reclass NDVI. Reclass NDVI didasarkan pada asumsi bahwa estimasi tutupan lahan yang tertutup semua oleh vegetasi adalah 100 dan bukan vegetasi mendekati nilai 0 (nol). Reclass NDVI dapat dilakukan dengan cara membuat hubungan antara nilai NDVI (-1 sampai dengan 1) dengan nilai reclass NDVI (0 sampai dengan 100) untuk mendapatkan hubungan regresi seperti yang ditunjukkan Gambar 5.3. Berdasarkan hal tersebut diatas didapatkan persamaan regresi yang akan digunakan dalam pembuatan reclass NDVI pada citra satelit yaitu:

$$\text{Reclass NDVI} = 50 * (\text{NIR} - \text{VIS}) / (\text{NIR} + \text{VIS}) + 50$$

Berdasarkan persamaan regresi diatas dapat diaplikasikan pada citra satelit Landsat 7TM dengan menggunakan formula sebagai berikut:

$$\text{Reclass NDVI} = 50 * (\text{Band 4} - \text{Band 3}) / (\text{Band 4} + \text{Band 3}) + 50$$



Gambar 5.3. Hubungan antara NDVI dengan Reclass NDVI

Pembuatan NDVI "Normalized Difference Vegetation Index" pada citra dilakukan dengan menggunakan EASI Modelling pada "software" PCI Geomatica 9.0.

Level keempat, adalah mendetailkan hasil klasifikasi pada tingkat ketiga terutama kelas vegetasi dan kelas bukan vegetasi. Kelas vegetasi didetailkan menjadi kelas tanaman berbasis pohon dan tanaman bukan berbasis pohon. Sedangkan kelas bukan vegetasi didetailkan menjadi kelas pemukiman dan kelas tubuh air. Proses pendetailan selain menggunakan 6 band juga menggunakan 3 band tasseled-cap, titik survei lapangan serta data topografi (keterkaitannya dengan pemukiman, jalan, dan sungai). Tiga band tasseled-cap yang digunakan yaitu band kecerahan "brightness", band kehijauan "greenness" dan band kebasahan "wetness" untuk

membantu membedakan jenis vegetasi. Fungsi band tasseled-cap ini selain untuk bisa membedakan jenis vegetasi, juga dapat pula untuk mendeteksi sebaran perairan dan kelembaban.

Rumus tasseled-cap (King, 2000) yaitu :

$$\text{Brightness} = (0,3037 * (\text{band 1})) + (0,2793 * (\text{band 2})) + (0,4743 * (\text{band 3})) + (0,5585 * (\text{band 4})) + (0,5082 * (\text{band 5})) + (0,1863 * (\text{band 7}))$$

$$\text{Greenness} = (-0,2848 * (\text{band 1})) - (0,2435 * (\text{band 2})) - (0,5436 * (\text{band 3})) + (0,7243 * (\text{band 4})) + (0,0840 * (\text{band 5})) - (0,1800 * (\text{band 7}))$$

$$\text{Wetness} = (0,1509 * (\text{band 1})) + (0,1973 * (\text{band 2})) + (0,3279 * (\text{band 3})) + (0,3406 * (\text{band 4})) - (0,7112 * (\text{band 5})) - (0,4572 * (\text{band 7}))$$

Level kelima, adalah mendetailkan kelas tanaman berbasis pohon dan kelas tanaman bukan berbasis pohon. Kelas tanaman berbasis pohon didetailkan menjadi kelas agroforestri dan perkebunan. Sedangkan kelas tanaman bukan berbasis pohon didetailkan menjadi kelas semak belukar dan tanaman semusim. Proses pendetailan menggunakan 1) 6 band pada citra, 2) 3 band tasseled-cap, 3) titik survei lapangan, 4) data topografi (keterkaitannya dengan pemukiman, jalan, dan sungai).

Interpretasi citra untuk klasifikasi tutupan lahan menggunakan “software” PCI Geomatica 9.0. Setelah semua proses selesai, dilakukan validasi peta tutupan lahan hasil klasifikasi citra dengan menggunakan titik uji akurasi.

5.4. Hasil

5.4.1 Klasifikasi Tutupan lahan

Berdasarkan hasil analisis citra satelit 2005 dan pengecekan lapangan, tutupan lahan di DAS Kali Konto hulu dibagi menjadi 7 kelas tutupan (ditambah 2 kelas yaitu awan dan bayangan). Ketujuh kelas tutupan lahan tersebut meliputi Hutan terganggu, Agroforestri, Perkebunan, Tanaman semusim, Pemukiman, Semak belukar, dan Tubuh air. Dasar penetapan ketujuh kelas tersebut disajikan dalam Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Dasar dan ciri penetapan kelas tutupan lahan berdasarkan kenampakan pada citra satelite dan kenampakan di lapangan

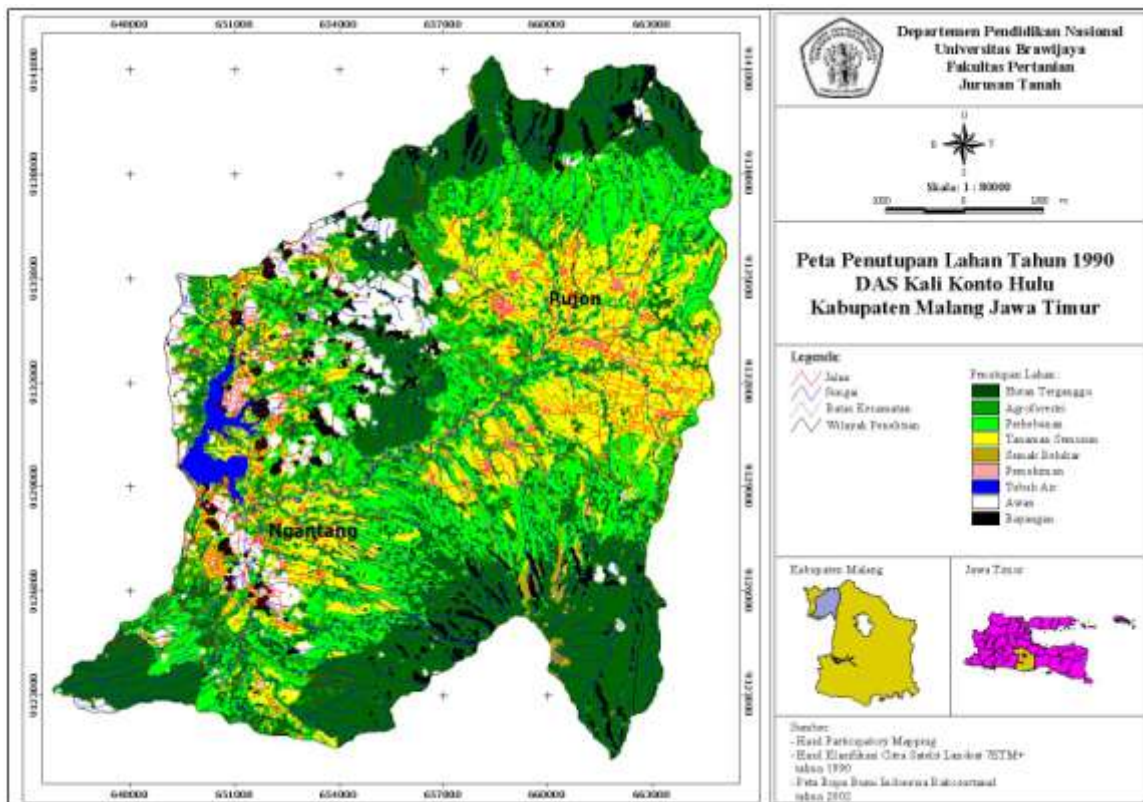
| No | Kelas tutupan lahan | Kenampakan di citra (kombinasi band 5,4,2) | Kenampakan di lapangan |
|----|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Hutan terganggu | Warna hijau tua, tekstur kasar, umumnya berada di puncak bukit | Hutan alami yang telah mengalami kerusakan yang cukup parah dikarenakan adanya aktifitas masyarakat seperti penebangan pohon, terletak pada puncak bukit dengan ketinggian lebih dari 1000 m dari permukaan laut (d.p.l), vegetasi didominasi oleh berbagai macam umur pepohonan, bambu serta tumbuhan bawah. |
| 2 | Agroforestri | Warna hijau muda, tekstur kasar, umumnya berada di dekat pemukiman atau lereng tengah ke bawah | Sistem penggunaan lahan dengan kopi sebagai tanaman utama, terdapat pohon penayang seperti pohon leguminose (<i>Gliricidia</i> atau dadap atau petai Cina), buah-buahan seperti : nangka, pisang, kelapa, durian, alpukat dan timber (kayu afrika, waru, sengon dan suren). |
| 4 | Perkebunan | Warna hijau muda sampai hijau tua, tekstur halus, umumnya berbentuk blok yang terletak pada lereng tengah ke bawah | Sistem penggunaan lahan yang berada di lahan milik Perhutani, Tanaman yang ditanam seperti Pinus, Damar, Mahoni. Selain itu juga sistem penggunaan lahan yang didominasi oleh bambu |
| 5 | Tanaman semusim | Warna hijau muda kebiruan, ungu, merah muda (warna terang), tekstur kasar, umumnya berada pada dataran hingga berbukit | Sistem penggunaan lahan yang komponen penyusunnya hanya tanaman semusim (jagung, sayur-sayuran atau rumput gajah) berumur antara 3-9 bulan saja |
| 6 | Pemukiman | Warna ungu, tekstur kasar, umumnya berada pada dataran dan di pinggir jalan | Sistem penggunaan lahan yang didalamnya berisi bangunan baik rumah maupun fasilitas umum lainnya |
| 7 | Semak belukar | Warna merah muda terang, tekstur kasar, umumnya berada di puncak gunung | Umumnya tersebar di puncak bukit yang merupakan bentuk lebih lanjut dari kerusakan hutan alami. Tanaman yang tumbuh meliputi krinyu, sentekan, tepus, liana, dan tanaman perdu lainnya |

Uraian lebih detail mengenai karakteristik tutupan lahan berdasarkan pengamatan di lapangan disajikan dalam Bab V.

Tutupan Lahan di DAS Konto berdasarkan citra satelit tahun 1990

Hasil klasifikasi citra satelit Landsat 7TM tahun 1990 disajikan dalam Gambar 6.4. Tutupan awan dan bayangan pada citra ini masing-masing sebesar 150.44 ha (6.47 %) dan 1202.31 ha (5.05 %). Secara keseluruhan tutupan awan dan bayangan mencapai 11.52 % dari luas DAS Kali Konto Hulu. Tutupan awan dan bayangan relatif agak tinggi dan kemungkinan dapat mengurangi keakuratan data yang ditampilkan. Luasan masing-masing tutupan lahan di DAS Kali Konto hulu disajikan dalam Tabel 5.2. Tutupan lahan pemukiman di DAS Kali Konto hulu memiliki luasan sebesar 166.50 ha (0.70 %), merupakan tutupan lahan terkecil di DAS Kali

Konto hulu. Sedangkan tutupan lahan tubuh air adalah waduk selorejo dengan luasan sebesar 258.93 ha (1.09 %).



Gambar 5.4. Penutupan lahan DAS Kali Konto hulu berdasarkan citra satelit Landsat 7TM tahun 1990

Hutan terganggu dan Perkebunan (pinus, damar, mahoni, bambu, eucalyptus) memiliki luasan yang hampir sama yaitu sebesar 7269.93 ha dan 5983.29 ha (atau sekitar 30.53 % dan 25.13 %). Apabila dibandingkan dengan kelas tutupan lahan yang lain, kelas tutupan lahan Hutan terganggu dan Perkebunan (pinus, damar, mahoni, bambu, eucalyptus) memiliki luasan yang lebih tinggi. Tingginya tutupan lahan hutan terganggu dan Perkebunan disebabkan karena interaksi antara petani dengan lahan hutan dan perkebunan (milik Perhutani) masih belum intensif sehingga belum banyak pohon yang ditebang. Wilayah hutan terganggu banyak terdapat di lereng bagian atas terutama di bagian puncak, baik di wilayah Pujon maupun Ngantang terutama di wilayah Tahura R. Soerjo maupun lahan Perhutani yang masuk ke dalam kelas lindung. Tutupan lahan Perkebunan (pinus, damar, mahoni, bambu, eucalyptus) banyak dijumpai di wilayah Pujon terutama di lahan milik Perhutani terutama yang masuk ke dalam kelas hutan produksi (kelas Perhutani), dan sebagian kecil juga dijumpai di Ngantang. Tingginya tutupan pohon di kelas Perkebunan disebabkan umur pohon yang masih belum termasuk waktu tebang dan sedikit/rendahnya penjarahan pohon yang dilakukan oleh masyarakat.

Tutupan lahan Agroforestry baik sederhana maupun multistrata memiliki luasan sebaran 2356.83 ha atau sebesar 9.9 % dari luasan DAS Kali Konto hulu. Tutupan lahan agroforestry relatif masih rendah karena agroforestry belum banyak diminati oleh masyarakat, atau karena masyarakat belum banyak yang mendapat ijin untuk mengolah lahan milik Perhutani. Hampir

sebagian besar tutupan lahan agroforestry dijumpai di Ngantang. Luasan masing-masing tutupan lahan disajikan dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.2. Luasan masing-masing kelas tutupan lahan di DAS Kali Konto hulu berdasarkan citra satelit Landsat 7TM tahun 1990

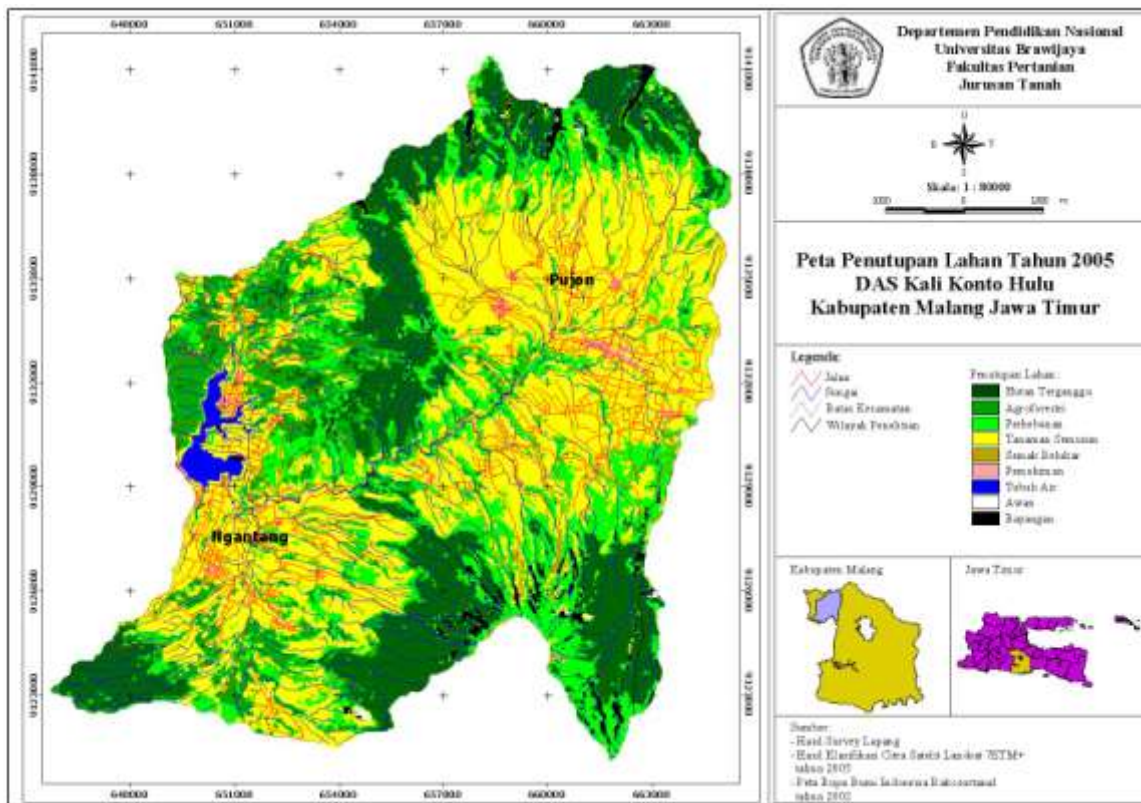
| Landcover | Luas (ha) | Persen (%) |
|-----------------|-----------|------------|
| Hutan Terganggu | 7269.93 | 30.53 |
| Agroforestri | 2356.83 | 9.90 |
| Perkebunan | 5983.29 | 25.13 |
| Tanaman Semusim | 4317.66 | 18.13 |
| Semak Belukar | 714.24 | 3.00 |
| Pemukiman | 166.50 | 0.70 |
| Tubuh Air | 258.93 | 1.09 |
| Awan | 1540.44 | 6.47 |
| Bayangan | 1202.31 | 5.05 |
| Total | 23810.13 | 100.0 |

Tutupan lahan berupa tanaman semusim baik yang di tanam di sistem tegalan maupun sawah menempati urutan ke-3 setelah Hutan terganggu dan Perkebunan, dengan luasan mencapai 4317.66 ha (atau sekitar 18.13 %) (Tabel 5.2). Tingginya tutupan lahan tanaman semusim disebabkan karena sudah ada pertanian yang dilakukan juga di lahan milik Perhutani yang telah ditebang oleh Perhutani terutama di daerah Pujon baik Pandesari, Pujon kidul maupun Tawangsari. Selain itu, mayoritas petani Pujon adalah petani sayur sehingga semua lahan milik (selain pemukiman) digunakan untuk sistem pertanian sayur.

Tutupan lahan semak belukar memiliki luasan 714.24 ha (3 %) dari seluruh wilayah DAS Kali Konto hulu. Lahan semak belukar pada umumnya dijumpai di bagian puncak gunung dan merupakan sisa-sisa hutan yang sudah rusak dan tidak diolah oleh penduduk karena lokasinya yang berada di puncak maupun tebing dengan kemiringan yang curam. Tanaman yang tumbuh dalam kelas tutupan semak belukar umumnya tanaman perdu seperti krinyu, sentekan, dll.

Tutupan Lahan di DAS Konto berdasarkan citra satelit tahun 2005 dan pengecekan lapangan

Hasil klasifikasi citra satelit Landsat 7ETM+ tahun 2005 disajikan dalam Gambar 6.5. Tutupan awan dan bayangan pada citra ini masing-masing sebesar 23.40 ha (0.10 %) dan 362.52 ha (1.52 %). Luasan masing-masing tutupan lahan di DAS Kali Konto hulu disajikan dalam Tabel 6.3. Secara keseluruhan, tutupan awan dan bayangan mencapai 385.92 ha (1.62 %) dari seluruh lokasi DAS Kali Konto hulu. Tutupan lahan pemukiman di DAS Kali Konto hulu memiliki luasan sebesar 196.74 ha (0.83 %), merupakan tutupan lahan terkecil di DAS Kali Konto hulu. Sedangkan tutupan lahan tubuh air adalah waduk selorejo dengan luasan sebesar 222.84 ha (0.94 %).



Gambar 5.5. Penutupan lahan DAS Kali Konto hulu berdasarkan citra satelit Landsat 7ETM+ tahun 2005

Hutan terganggu dan Perkebunan (pinus, damar, mahoni, bambu, eucalyptus) memiliki luasan yang hampir sama (di bawah tanaman semusim) yaitu sebesar 4852.26 ha dan 5346.72 ha (atau sekitar 20.38 % dan 22.46 %), dengan tingkat akurasi data 70 % dan 68 %. Wilayah hutan terganggu banyak terdapat di lereng bagian atas terutama di bagian puncak, baik di wilayah Pujon maupun Ngantang terutama Tahura R. Soerjo. Tutupan lahan perkebunan umumnya sudah berumur lebih dari 10 tahun yang tersebar di wilayah Coban rondo, Sereng, Manting, hingga Ngantang mulai dari lereng tengah hingga lereng bawah. Tutupan lahan perkebunan yang ada merupakan wilayah Perhutani yang termasuk kelas hutan lindung maupun hutan produksi yang masih belum ditebang. Kelas tutupan lahan Perkebunan dengan tanaman bambu umumnya terdapat di dekat pemukiman penduduk maupun di pinggir-pinggir sungai.

Kelas tutupan lahan agroforestry baik sederhana maupun multistrata memiliki luasan sebesar 2067.93 ha atau 8.69 % dari luas keseluruhan DAS Kali Konto hulu, dengan tingkat akurasi 70 %. Tutupan lahan Agroforestri (sederhana) banyak dijumpai di wilayah Pujon terutama di lahan-lahan bekas penjarahan / penebangan pohon di hutan milik Perhutani, dan sebagian kecil juga dijumpai di Ngantang. Sedangkan tutupan lahan agroforestri (multistrata) banyak dijumpai di wilayah Ngantang. Sistem agroforestry yang diusahakan oleh masyarakat umumnya berbasis kopi. Luasan masing-masing kelas tutupan lahan disajikan dalam Tabel 5.3.

Tabel 5.3. Luasan masing-masing kelas tutupan lahan di DAS Kali Konto hulu berdasarkan citra satelit Landsat 7ETM+ tahun 2005

| Landcover | Luas (ha) | Persen (%) |
|-----------------|-----------|------------|
| Hutan Terganggu | 4852.26 | 20.38 |
| Agroforestri | 2067.93 | 8.69 |
| Perkebunan | 5346.72 | 22.46 |
| Tanaman Semusim | 10569.15 | 44.39 |
| Semak Belukar | 168.57 | 0.71 |
| Pemukiman | 196.74 | 0.83 |
| Tubuh Air | 222.84 | 0.94 |
| Awan | 23.4 | 0.10 |
| Bayangan | 362.52 | 1.52 |
| Grand total | 23810.13 | 100.00 |

Tutupan lahan yang berupa tanaman semusim baik yang di tanam di sistem tegalan maupun sawah mendominasi wilayah DAS Kali Konto hulu dengan luasan mencapai 10569.15 ha (atau sekitar 44.39 %), dengan tingkat akurasi data 78 % (Tabel 5.4). Tingginya tutupan lahan tanaman semusim disebabkan karena adanya alih guna hutan dan kurang berhasilnya program reboisasi. Selain itu, program penanaman kembali (reboisasi) di wilayah Perhutani yang baru berjalan sekitar 1 – 3 tahun masih tertangkap sebagai tanaman semusim (tampilan citra satelit). Hal ini disebabkan karena tutupan kanopi pohon masih belum rapat sehingga yang dominan adalah tanaman semusim yang ada di bawahnya. Pemangkasan yang dilakukan oleh petani terhadap pohon milik Perhutani (pinus, damar) juga menjadi salah satu faktor yang menyebabkan lahan perkebunan teridentifikasi sebagai lahan pertanian tanaman semusim.

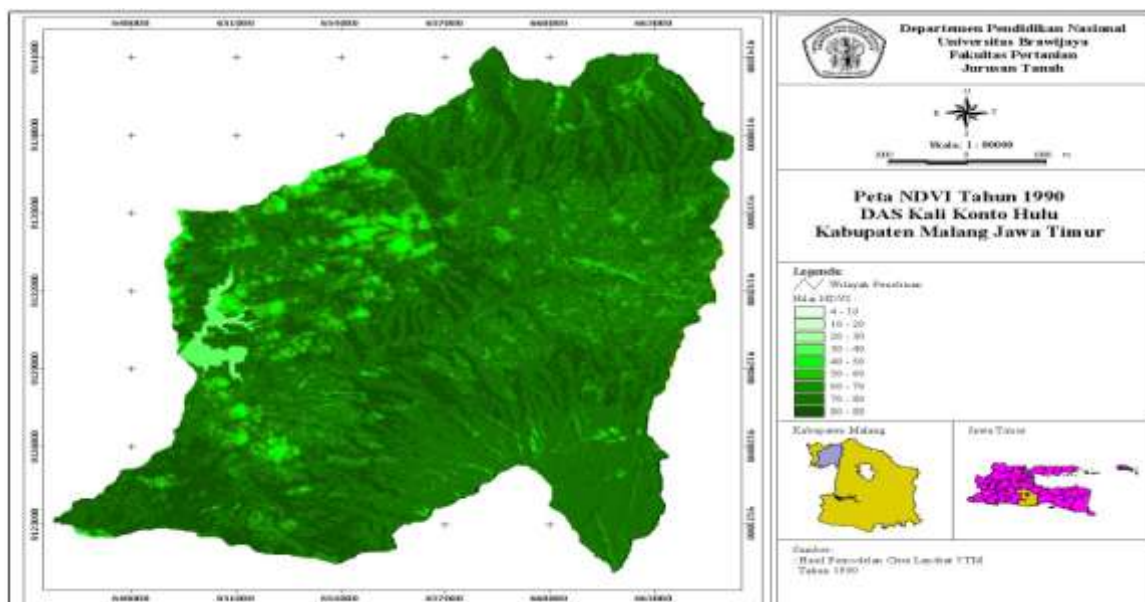
Tutupan lahan semak belukar memiliki luasan 168.57 ha (0.71 %) dari seluruh wilayah DAS Kali Konto hulu, dengan akurasi data 100 %. Tingginya akurasi data (100%) dapat disebabkan : 1) Lahan semak belukar pada umumnya dijumpai di bagian puncak gunung dan merupakan sisa-sisa hutan yang sudah rusak dan tidak diolah oleh penduduk, 2) warna tampilan di citra (data dasar) terlihat jelas berbeda dengan kelas tutupan hutan. Namun demikian, tingkat akurasi data yang mencapai 100 % juga dapat terjadi kesalahan dalam interpretasi yang kemungkinan disebabkan jumlah titik akurasi yang diambil terlalu sedikit. Secara keseluruhan, tingkat akurasi data dari kelas tutupan lahan berdasarkan pengolahan citra satelit Landsat 7ETM+ tahun 2005 sebesar 77 %.

Tabel 5.4. Akurasi hasil pengolahan citra satelit Landsat 7ETM+ tahun 2005 untuk masing-masing kelas tutupan lahan

| Tutupan Lahan | Hutan Terganggu | Agroforestri | Perkebunan | Tanaman Semusim | Semak Belukar | Pemukiman | Tubuh Air | Awan | Bayangan | Akurasi |
|---------------------------------|-----------------|--------------|------------|-----------------|---------------|-----------|-----------|------|----------|---------|
| Hutan Terganggu | 7 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.7 |
| Agroforestri | 1 | 16 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.7 |
| Perkebunan | 2 | 4 | 19 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.68 |
| Tanaman Semusim | 0 | 1 | 2 | 29 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0.78 |
| Semak Belukar | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Pemukiman | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Tubuh Air | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 1 |
| Awan | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Bayangan | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Keandalan (tingkat kepercayaan) | 0.7 | 0.76 | 0.63 | 0.97 | 0.67 | 0.64 | 1 | | | |

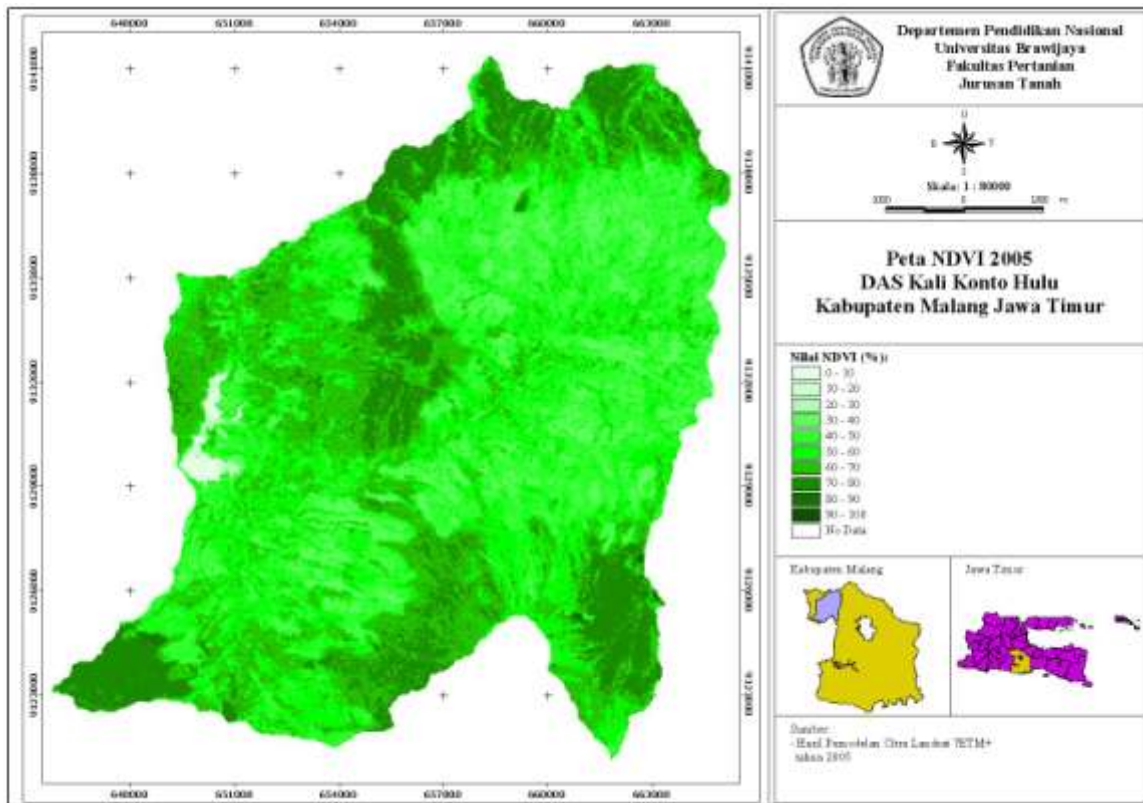
5.4.2. Kerapatan Vegetasi

Proses penghitungan Normalized Difference Vegetation index (NDVI) menghasilkan peta NDVI DAS Kali Konto hulu tahun 1990 dan 2005 (Gambar 5.6 dan 5.7). Nilai NDVI digunakan untuk mendetailkan kelas bukan hutan menjadi kelas vegetasi dan bukan vegetasi (level ke-3). Nilai NDVI yang dihasilkan bervariasi antara 1 sampai 100. Pada citra satelit tahun 1990, sebagian besar wilayah DAS Kali Konto hulu memiliki nilai NDVI antara > 50 (> 70 %) dan hanya sebagian kecil (30 % dari seluruh luas DAS Kali Konto hulu) bernilai kurang dari 50 terutama untuk awan, bayangan, tubuh air, pemukiman. Semakin rendah nilai NDVI menunjukkan bahwa lahan tersebut didominasi oleh bukan vegetasi.



Gambar 5.6. Indeks kerapatan vegetasi DAS Kali Konto hulu berdasarkan citra satelit Landsat 7TM tahun 1990

Berdasarkan hasil pengolahan citra satelit 7ETM+ tahun 2005 (Gambar 5.7) menunjukkan bahwa wilayah DAS Kali Konto hulu memiliki nilai NDVI antara 30 - 80 (21.371, 85 ha atau 800 %) dan hanya sebagian kecil (20 % dari seluruh luas DAS Kali Konto hulu) bernilai kurang dari 30 terutama untuk awan, bayangan, tubuh air, pemukiman, dan > 80 terutama untuk wilayah puncak gunung terutama yang masih ditutupi hutan terganggu dan lahan-lahan bambu yang tumbuh di tepi jalan atau sungai dekat dengan pemukiman. Semakin tinggi nilai NDVI menunjukkan bahwa lahan tersebut didominasi oleh vegetasi.



Gambar 5.7. Indeks kerapatan vegetasi DAS Kali Konto hulu berdasarkan citra satelit Landsat 7ETM+ tahun 2005

5.4.3. Analisis Perubahan Tutupan Lahan di DAS Kali Konto Hulu menggunakan data citra satelit tahun 1990 dan 2005

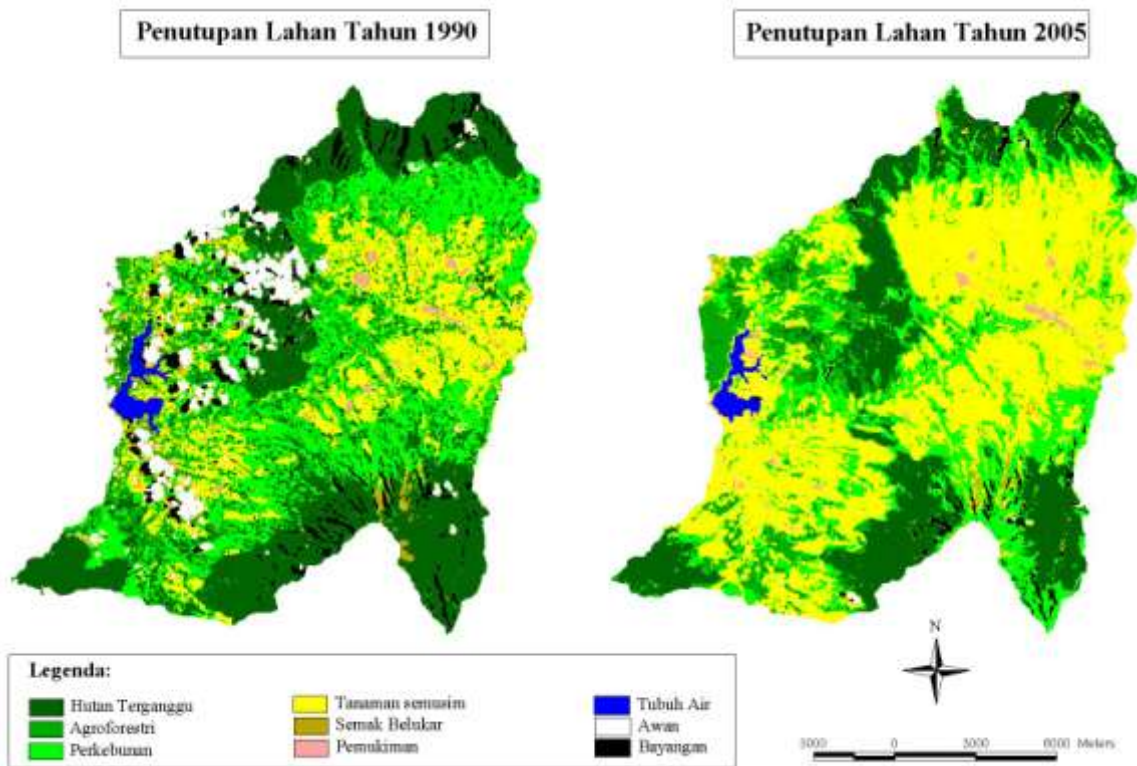
Berdasarkan indentifikasi kelas tutupan lahan menggunakan citra satelit tahun 1990 dan 2005 telah terjadi perubahan di hampir semua kelas tutupan lahan (Gambar 5.8). Kelas hutan terganggu mengalami penurunan terbesar yaitu 2417.67 ha, diikuti Perkebunan (636.57 ha), semak belukar (545.67 ha), dan agroforestri (288.9 ha). Penurunan tersebut diikuti oleh peningkatan luas tutupan lahan tanaman semusim sebesar 6251.49 ha dan pemukiman (30.24 ha). Namun demikian, tingginya tutupan awan dan bayangan pada citra tahun 1990 (lebih besar 2356.83 ha dibandingkan citra satelit tahun 2005) kemungkinan dapat mengurangi validitas / akurasi perubahan tutupan lahan tersebut.



Gambar 5.8. (A) Perubahan luasan tutupan lahan berdasarkan citra satelit tahun 1990 dan 2005, (B) Persentase perubahan luasan lahan (*Keterangan: tanda negative (-) menunjukkan adanya peningkatan luasan pada tahun 2005*)

Tingginya perubahan kelas tutupan lahan hutan terganggu (Gambar 5.9) lebih disebabkan karena perkebunan terutama di daerah lereng gunung Anjasmara dan gunung Kawi terutama wilayah Pujon kidul dan Bendosari. Perubahan lahan hutan terganggu menjadi kelas tutupan lahan perkebunan kemungkinan disebabkan oleh penyulaman yang dilakukan pihak Perum Perhutani di kawasan yang termasuk Kelas Hutan Lindung (Klasifikasi Perhutani) maupun Kelas Hutan Produksi ataupun Penanaman kembali pohon-pohon yang telah ditebang. Selain itu beberapa wilayah hutan terganggu telah dikonversi menjadi lahan tanaman semusim terutama rumput gajah dan lahan semak belukar.

Dari Gambar 5.9 diketahui bahwa kelas tutupan lahan perkebunan (damar, pinus, mahoni, eucalyptus, dan bambu) di tahun 2005 telah bergeser ke wilayah yang semakin tinggi (lereng atas gunung Anjasmara maupun gunung Kawi). Hal ini disebabkan karena banyaknya wilayah perkebunan yang dialihfungsikan menjadi lahan pertanian. Implementasi program penanaman kembali di lahan-lahan Perhutani, terutama hampir di seluruh wilayah Pujon (Pandesar, Pujon lor, Tawang Sari, Bendosari) yang termasuk dalam sub DAS Manting dan Sereng dan beberapa wilayah di Ngantang masih belum menunjukkan penutupan kanopi pohon yang rapat karena baru berjalan kurang dari 5 tahun. Dengan demikian daerah-daerah tersebut masih teridentifikasi sebagai lahan tanaman semusim. Pemangkasan yang dilakukan oleh petani terhadap pohon utama milik Perhutani (Pinus, Damar, dll) dengan tujuan agar sinar matahari dan hujan banyak yang mengenai tanaman semusim yang ditanamnya berdampak terhadap hasil klasifikasi citra.



Gambar 5.9. Perubahan tutupan lahan di DAS Kali Konto hulu berdasarkan citra satelit tahun 1990 dan 2005

5.5. Kesimpulan

- Berdasarkan citra satelit tahun 1990 dan 2005, terlihat jelas adanya perubahan kelas tutupan lahan pada lahan hutan terganggu, perkebunan, agroforestri, tanaman semusim, semak belukar dan pemukiman,
- Penurunan luasan tutupan lahan, terbesar terjadi pada lahan hutan terganggu yaitu sekitar 33% (2417.67 ha) dari total luasan hutan yang ada di tahun 1990, diikuti perkebunan sekitar 10% (636.57 ha), semak belukar sekitar 76% (545.67 ha), dan agroforestri sekitar 12% (288.9 ha). Di sisi lain terjadi peningkatan luasan lahan tanaman semusim sebesar 45 % (6251.49 ha) dan pemukiman sebesar 18% (30.24 ha),
- Terdapat perbedaan luasan tutupan awan dan bayangan pada kedua citra satelit yang digunakan (1990 dan 2005), tutupan awan dan bayangan pada citra satelit 1990 lebih besar (2356.83 ha) dari citra satelit 2005 turut mempengaruhi hasil akhir perubahan luasan tutupan lahan.

6. Cadangan Karbon di atas permukaan tanah pada berbagai sistem penggunaan lahan di DAS Kali Konto

6.1. Pendahuluan

Berbagai macam aktivitas manusia telah menghasilkan gas rumah kaca yang mengakibatkan terjadinya pemanasan global (global warming). Karbon dioksida (CO₂) merupakan salah satu emisi gas rumah kaca yang memberikan kontribusi cukup besar dalam pemanasan global. Siklus karbon di lingkungan merupakan siklus 2 arah yaitu pengikatan CO₂ oleh vegetasi dan pelepasan CO₂ ke atmosfer melalui berbagai kegiatan dekomposisi dan pembakaran. IPCC memprediksi telah terjadi peningkatan karbon dalam kurun waktu 250 tahun, dari 280 ppm (sebelum era industri) hingga saat ini telah mencapai 380 ppm. Apabila tidak ada kegiatan pengendalian pelepasan CO₂ di udara maka diprediksi pada tahun 2100 kandungan C di atmosfer akan mencapai 26 Gt (Houghton, 1997) yang akan berdampak serius terhadap kehidupan dan lingkungan.

Upaya mengurangi emisi CO₂ di udara adalah meningkatkan penyerapan karbon di udara oleh ekosistem daratan dan menyimpannya lebih lama. Tingkat serapan karbon oleh ekosistem daratan tergantung dari tiga aspek yaitu 1) vegetasi (komposisi jenis, struktur, dan umur tanaman), 2) kondisi tempat (variasi iklim, tanah, dan gangguan alam seperti kebakaran hutan), 3) pengelolaan dan adanya respon ekosistem daratan terhadap peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer yang tadinya hanya sebagai "pemupukan" CO₂ (Hairiah, 2007). Dari ketiga aspek tersebut, upaya yang paling tepat dalam mengurangi karbon di udara yaitu melalui pengelolaan vegetasi terutama pohon.

Pengikatan CO₂ dari atmosfer oleh pohon dan menyimpannya dalam bentuk karbohidrat dalam biomasa merupakan salah satu langkah praktis yang dapat digunakan untuk mengendalikan jumlah CO₂ di atmosfer. Pohon sebagai bagian dari komponen cadangan karbon di atas permukaan tanah memberikan sumbangan yang terbesar sebagai 'sink' karbon di daratan bila dibandingkan dengan komponen vegetasi yang lain seperti vegetasi bawah, nekromass, dan seresah. Namun demikian, masih banyak pihak yang belum memahami peran pohon dalam menyerap karbon di udara sehingga penebangan pohon dan sistem pertanian intensif dengan penanaman semusim masih banyak dilakukan di berbagai daerah.

Daerah Aliran Sungai (DAS) Konto memiliki luasan sekitar 23.700 ha mencakup kecamatan Pujon dan Ngantang, merupakan salah satu DAS yang memiliki kondisi penutupan lahan yang kontras. Di Kecamatan Pujon, banyak pohon yang ditebang dan diganti dengan tanaman semusim. Upaya Perum Perhutani sebagai pengelola hutan untuk mengembalikan hutan melalui penanaman pohon kurang berjalan dengan baik karena petani lebih memilih menanam sayur. Sebaliknya di kecamatan Ngantang, sistem penggunaan lahan Agroforestri telah menjadi andalan petani setempat. Petani lebih suka menanam berbagai jenis pohon di dalam petak lahannya. Banyak hasil penelitian melaporkan bahwa sistem agroforestri tidak hanya

menguntungkan dari segi ekonomi (Budidarsono dan Kusuma, 2004) tetapi juga dari segi lingkungan (Van Noordwijk, 2007). Pengukuran cadangan C pada lahan-lahan agroforestri berbasis kopi di Ngantang sudah pernah dilakukan oleh Arifin (1999), namun sayangnya untuk ekstrapolasi ke tingkat DAS masih belum pernah dilakukan sehingga belum bisa diketahui potensi DAS Konto sebagai penyerap karbon. Untuk itu pengukuran cadangan karbon di berbagai tempat di kawasan DAS Konto masih perlu dilakukan.

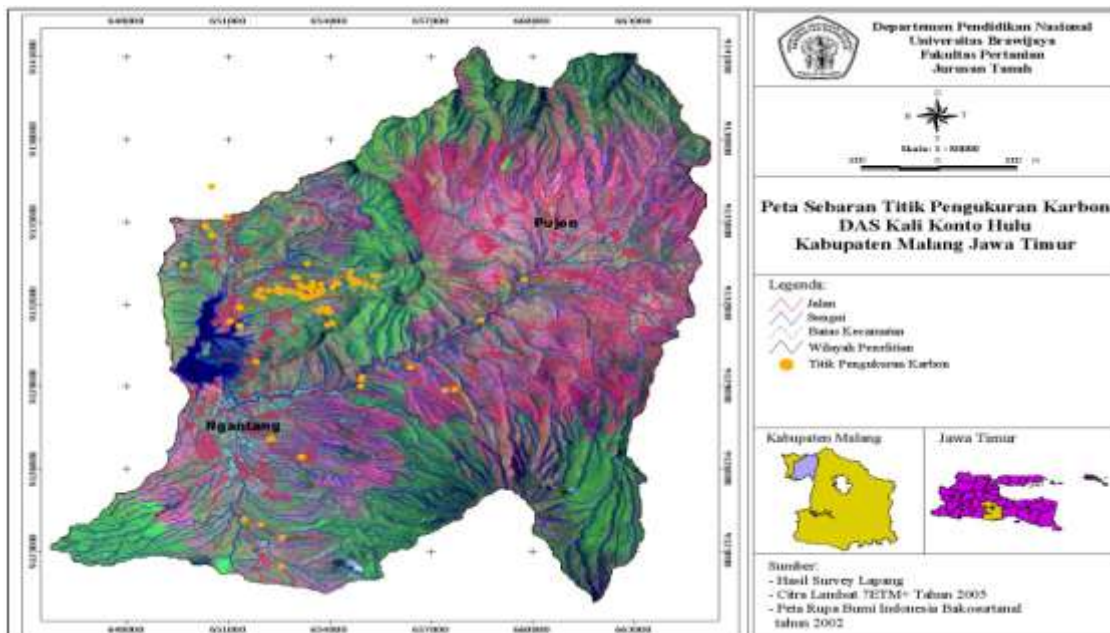
6.2. Tujuan

Mengukur cadangan karbon di setiap jenis penggunaan lahan dan mengestimasi peningkatan karbon per tahun pada berbagai sistem penggunaan lahan di DAS Konto

6.3. Metode

6.3.1. Penentuan titik pengamatan

Penentuan titik pengamatan diawali dengan survei pendahuluan yang dilakukan pada tahun 2007 (melalui kegiatan Hibah Insentif Riset Dasar, HIRD) dan tahun 2008 (melalui penelitian ADSB). Pada kegiatan tersebut telah dilakukan inventarisasi seluruh sistem penggunaan lahan (SPL) yang berada dalam satu transek di kecamatan Ngantang khususnya di Desa Sumberagung dan Tulungrejo. Di lokasi tersebut diketahui ada tujuh SPL yang paling umum dijumpai / dominan (lihat Bab 5) sehingga dipilih untuk pengukuran. Petak pengukuran yang dipilih meliputi 1) Hutan terganggu, 2) Agroforestri multistrata (umumnya berbasis kopi), 3) Agroforestri sederhana, 4) Perkebunan bambu, 5) perkebunan mahoni, 6) perkebunan pinus, 7) perkebunan damar dan 8) tanaman semusim. Titik-titik pengukuran lapangan disajikan dalam Gambar 6.1.



Gambar 6.1. Titik-titik lokasi plot pengukuran cadangan karbon di atas permukaan tanah di DAS Kali Konto hulu

6.3.2. Deskripsi penggunaan lahan

Kriteria dan karakteristik lahan yang dipilih untuk pengukuran, adalah sebagai berikut:

1. Hutan alami terganggu (HT) atau hutan terdegradasi adalah hutan alami yang telah mengalami kerusakan yang cukup parah dikarenakan adanya aktifitas masyarakat seperti penebangan pohon. Hutan alami terletak pada puncak bukit dengan ketinggian lebih dari 1000 m dari permukaan laut (d.p.l). Vegetasi didominasi oleh berbagai macam umur pepohonan, bambu serta tumbuhan bawah.
2. Hutan bambu (HB) adalah lahan yang hanya ditanami bambu saja. Merupakan lahan milik negara yang diusahakan dan dikelola oleh masyarakat. Di beberapa tempat terdapat tumbuhan bawah, dengan tingkat kerapatan yang bervariasi.
3. Agroforestri kompleks berbasis kopi atau kopi multistrata (KM) adalah sistem penggunaan lahan dengan kopi sebagai tanaman utama dan sebagai pohon penayang selain pohon leguminose (*Gliricidia* atau dadap atau petai Cina) ditanam pula berbagai macam jenis pepohonan, seperti nangka, pisang, kelapa, durian, alpukat.
4. Kopi naungan *Gliricidia* (KG) adalah sistem penggunaan lahan dimana kopi sebagai tanaman utama dan pohon leguminosa (*Gliricidia*) sebagai penayang. Pengelolaan pada sistem ini umumnya berupa pemupukan yang menggunakan pupuk kandang, pemangkasan cabang pohon dan kadang-kadang dilakukan penyemprotan pestisida.
5. Pertanaman pinus+ rumput gajah (PP) adalah lahan milik PERHUTANI yang awalnya ditanami pinus, tetapi pada lahan tersebut masyarakat diijinkan untuk mengelolanya. Tanaman yang ditanam masyarakat adalah pisang dan rumput gajah untuk pakan ternak yang sangat dibutuhkan oleh peternak sapi di daerah tersebut.

6.3.3. Sejarah penggunaan lahan

a. Hutan Alami Terdegradasi

Lahan ini sejak jaman Belanda merupakan hutan rimba yang dipertahankan fungsinya sebagai kawasan lindung DAS Konto. Pada tahun 1945-an kondisi hutan tersebut masih belum terganggu, tetapi sekitar tahun 1950-an kayu-kayu yang berkualitas tinggi diambil oleh masyarakat setempat. Sejak tahun 1972 aktivitas manusia di dalam hutan semakin meluas dan semakin terbuka hingga hutan rimba mulai berkurang dan rusak. Selanjutnya, Jawatan Kehutanan memulihkan vegetasi alami yang tersisa di kawasan lindung tersebut dengan menyisipkan tanaman bambu di sepanjang DAS Kali Konto hulu. Pada tahun 1997, kembali terjadi penjarahan bahkan semakin parah merusak hutan.

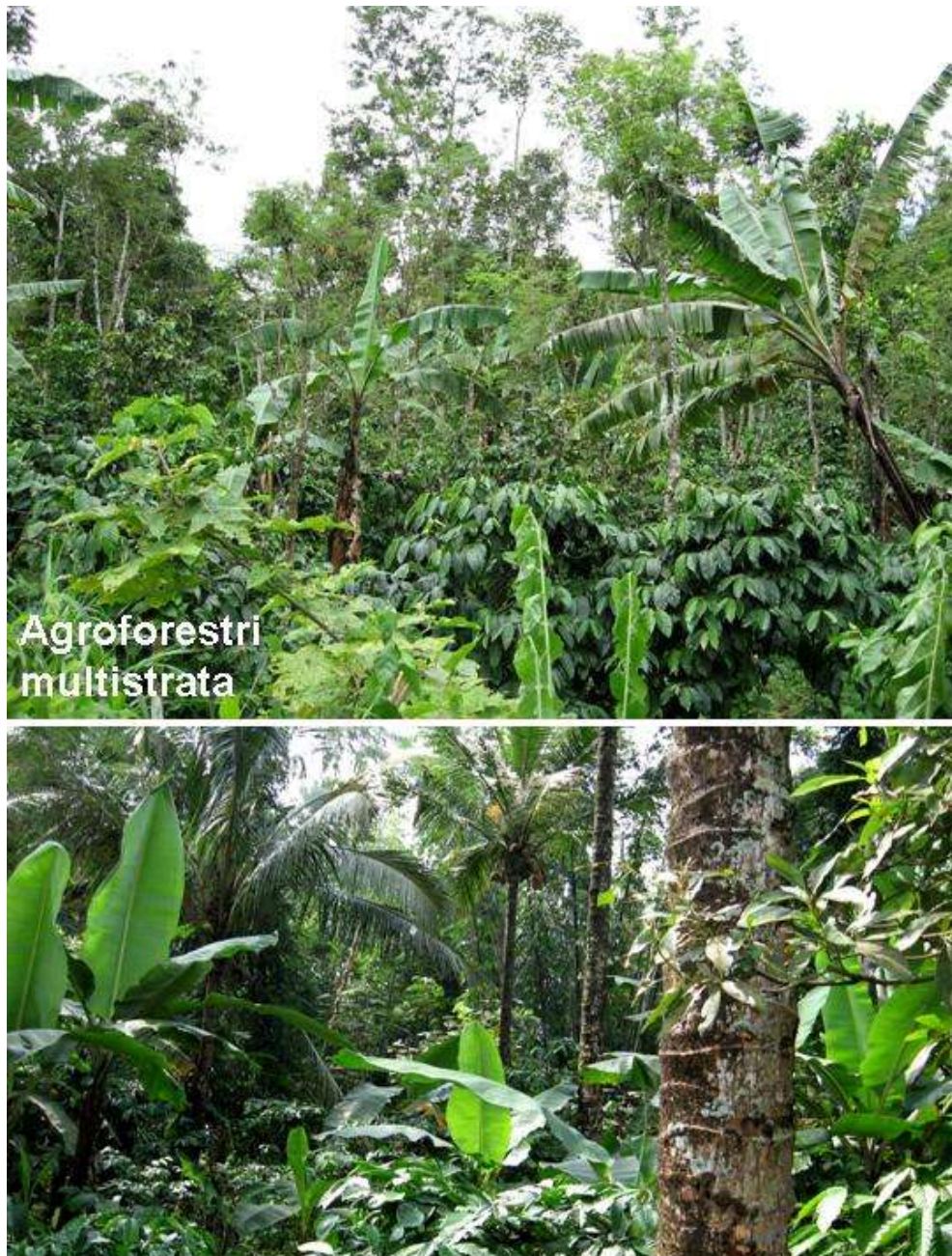
Kondisi hutan alami di DAS Kali Konto hulu umumnya telah terdegradasi berat, dengan tingkat penutupan kanopi terbuka, sisa hutan tersebut terletak di puncak bukit. Jenis pohon yang masih tersisa seperti kuing, kayu pasat, kayu pasang, kemado, salam, sono kembang, trasak, debokan (gedangan) dsb. Jenis tanaman penghijauan yang pernah ditanam oleh Perhutani untuk konservasi tanah dan air masih dijumpai seperti kaliandra dan bambu. Pohon yang bernilai spiritual seperti beringin masih juga bisa dijumpai di hutan.



Gambar 6.2. Sebaran beberapa system penggunaan lahan di desa Sumberagung yang merupakan bagian dari DAS Konto. Hutan alami terletak di puncak bukit, perkebunan pinus dan mahoni tersebar dari lereng bawah hingga tengah, namun beberapa lahan sudah terbuka dan ditanami pisang monokultur

b. Agroforestri Multistrata

Pada umumnya lahan yang dipakai untuk praktek agroforestri multistrata adalah lahan bekas hutan produksi (umumnya didominasi oleh pohon jabon) pada tahun 1970-an yang selanjutnya dialihgunakan menjadi lahan tegalan yang ditanami jagung, ketela pohon dan talas. Pada tahun 1977, lahan dialihgunakan menjadi pertanaman kopi yang ditumpang sarikan dengan bibit buah-buahan secara tumpang sari (saat itu kopi masih sangat muda). Tetapi selanjutnya kebun kopi dibiarkan "bongkor" (diterlantarkan), kemudian tahun 2004 hingga saat ini lahan dirawat (pemangkasan) dan dinaungi dengan beraneka pohon naungan.



Gambar 6.3. Lahan agroforestri multistrata berbasis kopi, dengan pohon naungan selain pohon leguminose juga ada berbagai pohon buah-buahan atau pohon penghasil timber; tumbuhan bawah yang ditanam biasanya jenis empon-empon

Pembersihan lahan di lakukan sebanyak 2 kali setahun (awal dan akhir musim penghujan). Setelah lahan di bersihkan baru di beri pupuk. Pembersihan rumput di lakukan secara manual (di potong), tidak ada penggunaan obat-obatan kimia pembasmi rumput (herbisida) karena petani sudah menyadari dampak negatifnya.

Jenis pohon yang ditanam umumnya berbasis kopi dengan tanaman naungan mulanya adalah dadap atau lamtoro atau *Gliricidia*. Dengan alasan peningkatan pendapatan petani melakukan pengayaan jenis pohon penauang dengan menanam jenis pohon buah-buahan (durian, duku, rambutan, nangka, alpukad, melinjo, petai, kelapa, cengkeh, jambu biji, pisang, pepaya,) dan

pohon penghasil timber (sengon, kayu afrika, mahoni, surian, waru). Jenis pohon asal hutan yaitu kayu nyampuh masih dipelihara oleh petani di lahannya. Tanaman bawah yang umum ditanam adalah talas, empon-empon (jahe, kunyit, temulawak), dan gulma (wedusan).

c. Agroforestri Sederhana

Lahan sebelumnya berupa lahan belukaran yang didominasi oleh tanaman tropis, tepus, kecubung dan waung, dengan sedikit pohon jabon. Pada tahun 2000-an lahan belukaran ditebas dan dibersihkan, kemudian dijadikan lahan pertanaman kopi dan dadap sebagai penang kopi hingga saat ini. Ada beberapa lahan yang pembukaannya diawali dengan tebang dan bakar vegetasi yang ada, karena teknik tersebut dirasakan praktis oleh masyarakat umumnya. Hasil pangkasan hutan dipakai sebagai kompos yang umumnya diletakkan dalam guludan-guludan. Pada sistem ini, setelah tebas bakar lahan ditanami dengan bibit kopi dan tanaman penangunya Gliricidia (biasanya di tepi teras), di sela-sela pohon kopi ditanami jagung, ketela pohon dan buncis hingga tahun 2005.



Gambar 6.4. Agroforestri berbasis kopi yang hanya dinaungi satu atau dua macam pohon penangung dari famili leguminose.

d. Perkebunan Pinus dan Perkebunan Mahoni



Gambar 6.5. Perkebunan pinus dan perkebunan mahoni milik PERHUTANI. Lahan disisipi dengan tanaman yang bermanfaat seperti rumput gajah, pohon kopi, tanaman pisang dan kadang-kadang jagung.

Perkebunan pinus

Pada th. 1942 Hutan Rimba yang ada di DAS Konto, dibuka dan ditebang untuk dijadikan hutan produksi oleh Jawatan Kehutanan. Selanjutnya lahan ditanami Jabon monokultur, dan pada th. 1962 dilakukan penebangan dan digantikan pertanaman sengon monokultur. Tahun 1972 sengon ditebang dan digantikan dengan pertanaman *Maesopsis* (kayu afrika), dan selanjutnya tahun 1984 hingga sekarang digantikan menjadi pertanaman Pinus monokultur dan rumput gajah dan pisang. Sekarang perkebunan pinus bertahap disisipi tanaman kopi.

Perkebunan mahoni

Sejarah perkebunan mahoni cukup beragam ada yang berasal dari belukaran, hutan alami dan ada yang sudah merupakan perkebunan mahoni sebelumnya. Pembukaan lahan dilakukan dengan cara tebang bakar yang dilakukan dalam waktu yang berbeda-beda antar lahan. Perkembangan kompleksitas sistem diawali dengan pertanaman *maesopsis* dan belukaran. Pada tahun 1984 lahan yang didominasi sentekan ini ditebang digantikan dengan pertanaman mahoni dan di bawahnya ditanami jagung atau rumput gajah.

Beberapa lahan sebelumnya berupa belukaran yang didominasi oleh tanaman kucingan dan sentekan, kemudian pada tahun 2002 belukaran yang tumbuh diantara pertanaman mahoni oleh penggarap ditebang dan dibakar. Tanah dicangkul dan ditanami rumput gajah, dan terus berkembang lebih kompleks dengan masuknya tanaman pisang dan kopi.

g. Perkebunan Damar



Gambar 6.6. Perkebunan damar dimiliki oleh petani umumnya ditanam secara monokultur, kadang-kadang di bawah tegakannya ditanami tanaman semusi seperti jagung atau sayuran, bahkan banyak pula yang ditanami pohon kopi.

Lahan bekas hutan alami di desa Dadapan (Pujon) terganggu dialihgunakan oleh Perhutani menjadi hutan produksi (perkebunan) damar pada tahun 1970-an. Sedang perkebunan damar tua (45 tahun) yang ditanam pada tahun 1960-an terdapat dimana di desa Lebaksari (Pujon). Hingga saat ini belum pernah dipanen

h. Perkebunan bambu (Hutan bambu)



Gambar 5.7. Perkebunan bambu yang umumnya disebut oleh masyarakat sebagai hutan bambu, tidak ada tanaman lain ditanam diantaranya. Lahan ini dipertahankan untuk tujuan konservasi mata air yang ada.

Berdasarkan hasil diskusi PRA (2003), status kawasan hutan di Sumberagung dibedakan menjadi kawasan hutan lindung (sekitar 150 ha), Hutan Produksi (Mahoni dan Pinus, sekitar 85 ha) dan hutan rakyat (tegalan) sekitar 200 ha. Sepertiga dari kawasan hutan produksi yang ada di Sumberagung ditanami Bambu (didominasi bambu Petung) dan dijadikan kawasan perlindungan sumber air.

Masyarakat Sumberagung memiliki hubungan yang erat dengan hutan. Desa ini sempat mengalami kekeringan yang panjang pada masa penjajahan Jepang, karena hutan dibabat oleh pemerintah dan mengakibatkan matinya beberapa sumber air yang sangat dibutuhkan masyarakat. Selain itu juga terjadi longsor yang merusak lahan pertanian.

Pada masa kemerdekaan (sekitar tahun 1945-1960), masyarakat berupaya untuk memulihkan sumber air dengan menanam tanaman bambu di sekitar sumber air. Dalam waktu 5 tahun hutan bambu sudah jadi dan sumber air pun mulai pulih kembali. Sementara itu di bagian lain dari kawasan hutan Negara yang ada di Sumberagung, pemerintah melalui Jawatan Kehutanan mulai membuka hutan dan menanam pohon Afrika (*Maepsoxis eminii*). Masyarakat dilibatkan sebagai tenaga kerja dalam kegiatan babat dan penanaman. Upah yang diperoleh adalah ijin menanam di hutan negara selama 2 tahun. Dalam kegiatan tersebut mereka mengambil bambu untuk membuat ajir (rambatan) dan pembibitan. Masyarakat pun akhirnya ikut-ikutan mengambil bambu sehingga hutan bambu rusak kembali. Pada tahun 1962 terjadi peristiwa banjir dan longsor disebabkan rusaknya hutan bambu. Lahan pertanian penduduk terkena longsor. Masyarakat kembali menerima kerugian akibat rusaknya hutan bambu yang saat itu dikelola oleh pemerintah. Selanjutnya pada tahun 1973-1980 hutan bambu dikelola desa. Masyarakat tidak boleh mengambil bambu namun tetap saja terjadi pengambilan oleh pihak luar maupun oleh perhutani sendiri, yang saat itu sudah memegang pengelolaan hutan negara di Jawa.

Selanjutnya pada tahun 1981, hutan bambu kembali diambil alih oleh perhutani. Wilayah hutan Negara yang lain saat itu ditanami Pinus, Mahoni, Kayu Afrika dan Jabon, dan masyarakat tetap hanya dilibatkan sebagai tenaga kerja yang diupah dengan 2 tahun ijin menanam di lahan hutan Negara. Di sisi lain masyarakat menanam lahannya dengan berbagai tanaman kayu-kayuan dan buah-buahan.

i. Lahan Tanaman Semusim

Lahan pertanian tanaman semusim yang umum dijumpai adalah lahan jagung yang dirotasi dengan sayuran (kobis atau cabe atau kentang), kadang-kadang ditumpangsarikan dengan ubi jalar atau sayuran seperti sla. Sebelum diusahakan menjadi lahan pertanian semusim, lahan dulunya merupakan perkebunan mahoni milik perhutani. Diantara pohon mahoni ditumbuhi belukar muda seperti kucingan dan rayutan, kemudian sebagian besar mahoni pada plot ini habis ditebang dan dicuri orang tanpa ada peremajaan dan reboisasi sehingga lahan menjadi bongkor/terbengkalai. Sejak tahun 2000 oleh petani lahan belukar yang terbengkalai ini ditebas dan dicangkul untuk dijadikan lahan pertanaman rumput gajah hingga saat ini.

Ada pula beberapa lahan yang tadinya berupa lahan tidur yang ditumbuhi belukar muda atau bekas bongkoran kopi dan masih terdapat sedikit bekas pertanaman pinus dan pisang, kemudian tahun 2001 oleh penggarap semua tanaman yang tersisa ditebas habis dan dijadikan lahan pertanaman rumput gajah atau dijadikan tegalan dengan pertanaman jagung, ketela pohon dan cabe hingga saat ini.



Gambar 6.8. Penggunaan lahan tanaman semusim seperti jagung yang ditanam monokultur atau tumpangsari dengan cabe atau tanaman semusim lainnya

j. Semak Belukar

Lahan semak belukar umumnya tersebar di puncak bukit yang merupakan bentuk lebih lanjut dari kerusakan hutan alami. Umumnya ditumbuhi krinyu, sentekan, tepus, tanaman merambat (liana), dan tanaman perdu lainnya. Pohon yang tersisa umumnya adalah jenis pohon kayu lunak dengan nilai ekonomis rendah. Pohon-pohon yang mempunyai nilai spritual seperti beringin masih sering juga dijumpai.

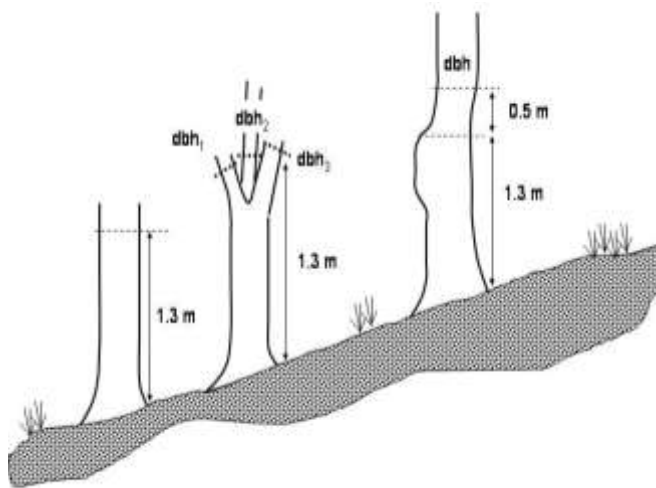


Gambar 6.9. Semak belukar yang tersebar di puncak bukit, dimanfaatkan oleh masyarakat yang tinggal di sekitar hutan untuk pengadaan pakan terutama di musim kemarau.

6.3.2. Estimasi cadangan karbon

Sesuai dengan standard pengukuran karbon dari IPCC guidelines (2006), pengukuran karbon yang dilakukan dalam kegiatan ini terdiri dari: (a) Biomasa (bagian hidup dari tajuk dan akar) pohon dan tumbuhan bawah, (b) Nekromasa (bagian mati) seperti kayu tumbang, ranting dan seresah di permukaan tanah, (c) Bahan Organik Tanah (BOT) pada kedalaman 0-30 cm. Umur pohon dan umur lahan diperoleh melalui wawancara dengan petani pemilik lahan yang dilakukan sebelum pemilihan petak untuk pengukuran.

Pengukuran diawali dengan membuat petak berukuran 40 m x 5 m sesuai dengan protokol ASB (Hairiah dan Rahayu, 2007). Petak tersebut dipakai untuk semua pengukuran komponen penyusun lahan (pohon dan tumbuhan bawah) (Gambar 6.10). Semua pohon yang ada pada petak pengamatan diukur dbh-nya (diameter setinggi dada atau diameter pada 1.3 m dari permukaan tanah). Data dbh yang diperoleh digunakan untuk mengestimasi besarnya basal area dan biomasa pohon dengan menggunakan persamaan alometrik yang sesuai dengan pola percabangannya (Tabel 6.1) dan dikoreksi dengan berat jenis kayunya.



Gambar 6.10. Lokasi pengukuran lingkaran lilit batang pada berbagai tipe pohon

Perhitungan jumlah karbon tersimpan diperoleh dengan mengalikan nilai biomasa dikalikan dengan rata-rata kandungan karbon tanaman yaitu 0.46.

Tabel 6.1. Persamaan allelometrik yang digunakan untuk menghitung biomassa pohon

| No | Jenis pohon | Persamaan allometrik | Sumber |
|----|-----------------------|-------------------------|------------------------------------|
| 1 | Pohon bercabang | $Y=0.11 \rho D^{2.62}$ | Kettering <i>et al.</i> , 2001 |
| 2 | Pohon tidak bercabang | $Y=(\pi/40) \rho H D^2$ | Hairiah, 2002 |
| 3 | Kopi | $Y=0.2811 D^{2.0635}$ | Arifin, 2001, Van Noordwijk 2002 |
| 4 | Pisang | $Y=0.0303 D^{2.1345}$ | Arifin, 2001, Van Noordwijk 2002 |
| 5 | Sengon | $Y=0.0272 D^{2.831}$ | Sugiarto, 2001, Van Noordwijk 2002 |
| 6 | Bambu | $Y=0.1312 D^{2.2784}$ | Priyadarsini, 1998 |
| 7 | Pinus | $Y=0.0417 D^{2.6576}$ | Waterloo, 1995 |

Catatan: Y= Biomasa kering (kg/pohon); H=tinggi tanaman (cm); P=kerapatan kayu (Mg/m^3 , kg/dm^3 , atau g/cm^3); D= diameter (cm) setinggi dada (1.3 m)

Pengambilan contoh nekromasa, seresah dan tanah dilakukan pada petak 200 m² tersebut di atas dengan prosedur kerja mengikuti prosedur RaCSA (Hairiah dan Rahayu, 2007).

6.3.3 Estimasi rata-rata karbon tersimpan per siklus tanam (Time-averaged Carbon Stock)

Rata-rata karbon tersimpan per siklus tanam (*time averaged- C stock*) ditetapkan agar potensi berbagai sistem penggunaan lahan dalam menyerap karbon di udara dapat ditetapkan. Nilai *time averaged-C stock* ini diperlukan karena umur antar lahan sangat beragam tergantung dari produktivitas pohon, biasanya petani menebang pohon bila produktivitas pohon telah menurun. Misalnya, petani akan menebang batang bambu pada saat rata-rata umur 10 tahun, kecuali rumpun bambu yang terletak di hutan sengkeran (hingga berumur 63 tahun) yang oleh masyarakat sekitar dikeramatkan dan digunakan untuk melindungi sumber air. Maka *time averaged- C stock* adalah C yang tersimpan pada saat bambu berumur 10 tahun bukan pada saat umur 32 tahun. Sedangkan *time averaged-C stock* untuk pohon yang lain adalah C rata-rata antara $(C_{max} + C_{min})/2$.

Perkebunan banyak macamnya, di lokasi ini ada pinus, mahoni, dammar dan monultur cengkeh dan bambu, tetapi tampilannya di citra tidak berbeda. Dengan demikian C rata-rata typical untuk perkebunan dihitung dari nilai rata-rata semua *time averaged- C stock* yang ada.

6.4. Hasil

6.4.1. Diversitas Pohon

Diversitas pohon pada berbagai SPL yang diteliti disajikan pada Tabel 5.2. Kerapatan populasi pohon tertinggi terdapat pada perkebunan kopi (monokultur) dan agroforestri multistrata yaitu sekitar 1650 pohon/ha. Sedang populasi bambu di perkebunan bambu berbeda dengan SPL lainnya, Bambu tumbuh rapat dalam satu rumpun, dimana dalam 1 ha rata-rata terdapat 364 rumpun bambu. Populasi bambu per rumpun rata-rata sekitar 9 batang. Perkebunan bambu dibudidayakan oleh masyarakat untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari maupun untuk perlindungan mata air.

Total basal area masing-masing SPL cukup bervariasi, basal area tertinggi dijumpai di perkebunan pinus dan di perkebunan bambu (sekitar 58 m²/ha); sedang basal area di hutan terganggu berada dalam kisaran yang sama dengan SPL agroforestri multistrata yaitu sekitar 30 m²/ha. Basal area terendah dijumpai di coklat (4.9 m²/ha). Rasio basal area tanaman pokok dengan tanaman selingan (RBPS) digunakan sebagai dasar penentuan kelas tutupan lahan, dimana semakin tinggi (>0.85) nilai RBPS berarti SPL tersebut cenderung monokultur (Hairiah *et al.*, 2006). Ratio basal area tanaman pokok dengan tanaman selingan < 0.4 menunjukkan bahwa sistem penggunaan lahan tersebut sudah rapat dan banyak jenis pohon yang ditanam. Perkebunan mahoni dan pinus memiliki RBPS yang hampir sama (sekitar 0.95) karena perkebunan pinus dan mahoni dikelola oleh Perum PERHUTANI yang memprioritaskan tanaman pokok dari pada tanaman selingan.

Komposisi pohon penyusun agroforestri multistrata adalah 51% terdiri dari timber, 29% pohon buah-buahan dan sisanya adalah tanaman-tanaman non kayu (pisang, pepaya) (Gambar 6.11). Agroforestri sederhana yang meliputi kopi naungan glirisidia (*Gliricidia sepium*) dan kopi naungan dadap (*Erythrina subumbrans*) menunjukkan komposisi jenis pohon yang juga beragam (26 jenis pohon) dengan 40-61% timber, 34 % pohon buah-buahan dan sisanya pepaya dan pisang. Kontras dengan agroforestri, perkebunan mahoni dan pinus dicirikan dengan jenis pohon yang lebih homogen (ditunjukkan dengan diversitas pohon yang rendah) dimana 64 - 91% terdiri dari timber (mahoni dan pinus) dan sisanya pohon buah-buahan (0.8-14%) dan tanaman non kayu (8.6-21.4%).

Tabel 6.2. Keragaman pohon pada berbagai sistem penggunaan lahan di DAS Konto

| SPL | Jumlah pohon/ha ** | Jumlah spesies ** | BA, m ² /ha * | BA tanaman pokok, m ² /ha * | BA tanaman selingan, m ² /ha * | Rasio BA tanaman pokok vs selingan * |
|--------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|
| Hutan terganggu | 783 | 25 | 32.0 | | | |
| AF Multistrata | 1594 | 31 | 28.4 | 6.9 | 13.8 | 0.3 |
| AF Sederhana | 1124 | 26 | 12.1 | 7.5 | 4.6 | 0.6 |
| Perkebunan Bambu | 9.18 1); 364.18 2) | 3 | 55.7 | | | |
| Perkebunan Damar | 385 | 1 | 35.2 | | | |
| Perkebunan mahoni | 935 | 7 | 20.8 | 20.0 | 0.8 | 1.0 |
| Perkebunan pinus | 1011 | 6 | 59.4 | 55.5 | 60.0 | 0.9 |
| Perkebunan Coklat | 1350 | 2 | 4.9 | 4.5 | 3.4 | 1.3 |
| Perkebunan Kopi | 1650 | 7 | 14.1 | 9.9 | 3.3 | 3 |
| Perkebunan Cengkeh | 500 | 6 | 12.8 | 12.1 | 0.5 | 24.2 |
| Perkebunan Langsep | 1300 | 1 | 16.7 | | | |



Tidak dibedakan antara tanaman pokok dan selingan

*

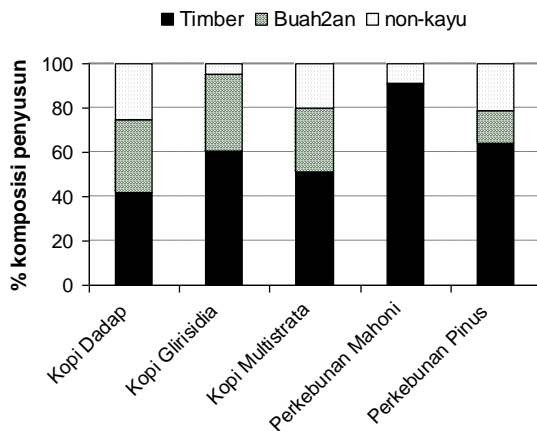
Sumber data dari proyek HIRD

**

Sumber data dari proyek HIRD&ADSB

1) Populasi Bambu/rumpun

2) Jumlah rumpun/ha



Gambar 6.11. Presentase jumlah pohon dari berbagai system penggunaan lahan di sub-DAS Konto

Kerapatan jenis kayu diperoleh dari berbagai sumber antara lain dari (<http://www.worldagroforestry.org.sea/index.asp>) dan beberapa sumber pustaka lainnya (Kanisius, 1981). Sebaran kerapatan jenis (BJ) kayu pada berbagai sistem penggunaan lahan di DAS Konto ditunjukkan pada Tabel 6.3. Semakin besar kerapatan kayu, biasanya pohon tersebut memiliki pertumbuhan lebih lambat. Kecepatan pertumbuhan pohon penting kaitannya dengan cadangan karbon yang ada. Semakin cepat pertumbuhan pohon, maka semakin cepat karbon di udara yang diserap namun semakin cepat hilang pula karena biasanya lebih cepat di panen. Pohon-pohon yang memiliki kerapatan kayu sangat berat paling banyak dijumpai di hutan terganggu (12.8 %) dan sudah tidak ditemukan lagi di lahan budidaya monokultur (perkebunan).

Perkebunan didominasi oleh pohon-pohon dengan kerapatan kayu ringan sampai sedang, kecuali pada perkebunan langsep yang hanya terdiri dari pohon dengan kerapatan jenis kayu sedang. Yang menarik, pada sistem agroforestri (multistrata dan sederhana) masih dapat dijumpai kayu dengan kerapatan jenis tinggi. Rerata kerapatan jenis kayu yang tertinggi dijumpai pada SPL perkebunan cengkeh (0.8 g/cm^3), perkebunan coklat (0.66 g/cm^3), hutan (0.62 g/cm^3), SPL agroforestri memiliki kerapatan kayu rata-rata 0.55 g/cm^3 sedang kerapatan kayu terendah mahoni (0.49 g/cm^3), dan pinus (0.36 g/cm^3).

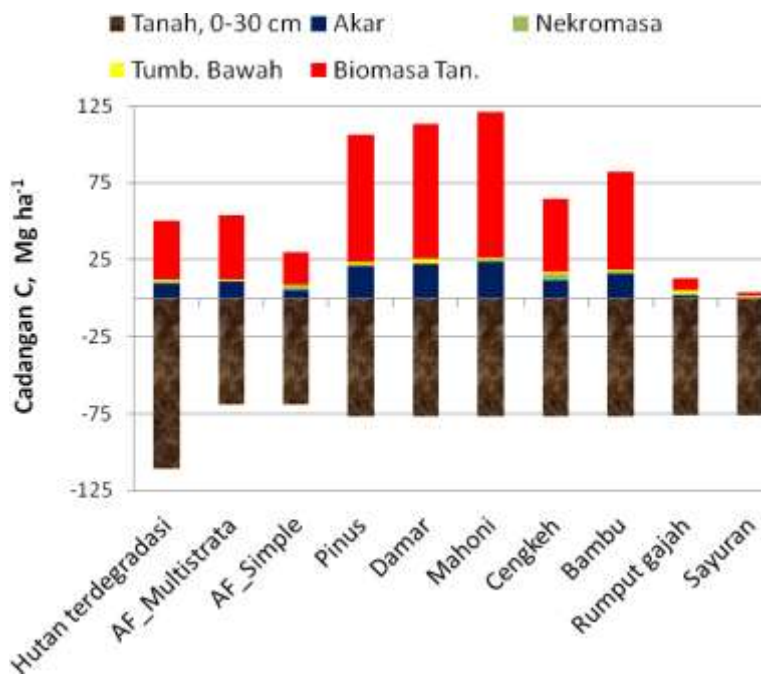
Kerapatan jenis kayu yang ditanam di dalam berbagai jenis sistem penggunaan lahan di DAS Konto sangat dipengaruhi oleh kepentingan pemilik lahan. Sebagai contoh, pada lahan milik PERHUTANI yang dikelola juga oleh masyarakat kerapatan kayu yang ditanam tidak setinggi di lahan agroforestri yang dimiliki dan dikelola sendiri oleh masyarakat. Pertama, pohon yang ditanam oleh Perhutani di daerah penelitian umumnya monokultur. Kedua, pesanggem (petani yang mendapat izin untuk menanam di lahan PERHUTANI) merasa khawatir untuk menanam pohon kayu berkualitas tinggi karena merasa belum jelas status kerjasamanya dengan PERHUTANI.

Tabel 6.3. Kerapatan jenis kayu dan sebarannya pada berbagai sistem penggunaan lahan di DAS Kali Konto hulu

| SPL | Kayu ringan | Kayu sedang | Kayu berat | Kayu sangat berat | Kerapatan Kayu max. | Kerapatan Kayu min. | Kerapatan Kayu avg |
|--------------------|---------------------|-------------|------------|-------------------|------------------------------|---------------------|--------------------|
| | -----% per SPL----- | | | | -----g/cm ³ ----- | | |
| Hutan terganggu | 45.5 | 85.5 | 10.9 | 8.1 | 1.00 | 0.34 | 0.61 |
| AF Multistrata | 52.2 | 44.6 | 1.5 | 1.6 | 0.91 | 0.03 | 0.55 |
| AF Sederhana | 30.2 | 56.6 | 13.0 | 0.2 | 0.85 | 0.03 | 0.55 |
| Perkebunan bambu | 99.9 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.61 | 0.34 | 0.55 |
| Perkebunan damar | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.49 | 0.49 | 0.49 |
| Perkebunan mahoni | 0.0 | 0.0 | 13.8 | 83.7 | 0.75 | 0.03 | 0.51 |
| Perkebunan pinus | 92.7 | 7.3 | 0.0 | 0.0 | 0.75 | 0.03 | 0.36 |
| Perkebunan coklat | 3.7 | 96.3 | 0.0 | 0.0 | 0.74 | 0.58 | 0.66 |
| Perkebunan kopi | 16.4 | 83.6 | 0.0 | 0.0 | 0.75 | 0.03 | 0.51 |
| Perkebunan Cengkeh | 0.0 | 6.1 | 93.9 | 0.0 | 0.85 | 0.75 | 0.80 |
| Perkebunan Langsep | 0 | 100 | 0 | 0 | 0.75 | 0.75 | 0.75 |

6.4.2. Total karbon tersimpan pada berbagai sistem penggunaan lahan

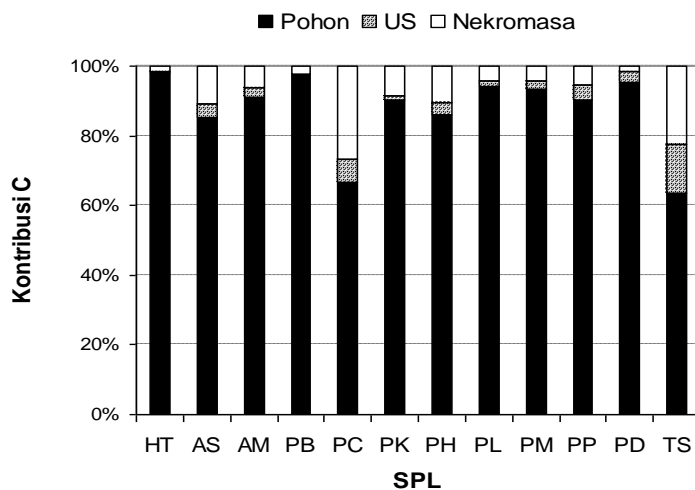
Jumlah karbon tersimpan di suatu lahan mencerminkan dinamika karbon dari SPL yang berbeda baik ditinjau dari segi jenis, kerapatan maupun umur komponen penyusunnya. Hutan di sub-DAS Kalikonto telah terdegradasi dengan total cadangan C hanya sekitar 161 Mg ha⁻¹. Total cadangan C di Agroforestri kopi berkisar antara 99 hingga 111 Mg C ha⁻¹ (Gambar 6.12 dan Tabel 6.5). Sedang cadangan C di perkebunan pinus, mahoni, dan damar yang berumur antara 25-40 tahun) berkisar antara 159 hingga 198 Mg C ha⁻¹. Rendahnya jumlah C yang tersimpan di hutan alami (161 Mg/ha) di sub-DAS Konto ini menunjukkan bahwa kondisi hutan sudah terdegradasi bila dibandingkan dengan kondisi hutan di kawasan Tahura R. Soerjo yang masih dalam satu ecoregion (rata-rata sekitar 250 Mg/ha) (Hairiah *et al*, 2011). Hal ini mungkin dikarenakan tingginya tingkat pengambilan kayu (timber) di hutan, meninggalkan lahan hutan lebih terbuka dan ditumbuhi jenis tanaman perdu yang didominasi *Chromolaena odorata*, paku-pakuan dan beberapa jenis liana berduri seperti rotan. Pohon-pohon berkualitas kayu rendah dengan BJ kayu rendah tidak dimanfaatkan sehingga banyak ditinggalkan di lahan. Permudaan alami dari pohon-pohon penghasil timber seperti kruing (*Dipterocarpus* spp.), kayu pasang (*Quercus* spp.) dan kayu pasat masih dijumpai di lahan tetapi saat ini masih relatif sangat muda. Perkebunan cukup berpotensi besar untuk menyimpan C di lahan, tetapi sayangnya pohon harus dipanen rata-rata saat berumur 30 tahun. Dengan demikian kembali akan terjadi kehilangan cadangan C di perkebunan dan emisi CO₂ ke udara akan meningkat melalui peningkatan dekomposisi bahan organik. Penanaman beraneka jenis pohon (timber, buah-buahan dan tanaman perkebunan) dengan umur yang bervariasi pada suatu lahan seperti dalam agroforestri akan meningkatkan potensi lahan sebagai "sink" karbon, walaupun jumlah CO₂ yang tersimpan relatif rendah tetapi lahan tidak pernah akan menjadi "zero sink".



Gambar 6.12. Total cadangan C yang merupakan penjumlahan dari kandungan C dari berbagai komponen penyusun sistem penggunaan lahan di Sub-DAS Kalikonto

Berapa kontribusi C dari masing-masing komponen penyusun lahan?

Jumlah C tersimpan per lahan ditentukan oleh besarnya biomasa pohon, tumbuhan bawah (understorey) dan nekromasa (bagian mati tanaman seperti daun dan ranting gugur serta tonggak pohon tersisa) serta dari dalam tanah. Dari hasil pengukuran C tersimpan pada bagian hidup dan bagian mati tanaman dari semua SPL yang ada, maka dapat diketahui bahwa kontribusi terbesar terhadap total C tersimpan di lahan adalah biomasa pohon (rata-rata sekitar 90%) (Gambar 6.13). Sedang tumbuhan bawah dan nekromasa berkontribusi C rata-rata hanya sekitar 4 % dan 9 %. Namun demikian untuk SPL tanaman semusim, kontribusi tumbuhan bawah dan nekromasa terhadap total C tersimpan cukup besar yaitu sekitar 14 dan 23 %. Sedang untuk lahan agroforestri dan perkebunan kontribusi nekromasa cukup besar yaitu sekitar 5-10% sedang kontribusi tumbuhan bawah sangat kecil, mungkin dikarenakan adanya penyiangan yang dilakukan oleh petani. Untuk itu, pengukuran C tersimpan di nekromasa pada lahan agroforestri dan perkebunan perlu dilakukan karena cukup bervariasi antar lahan.



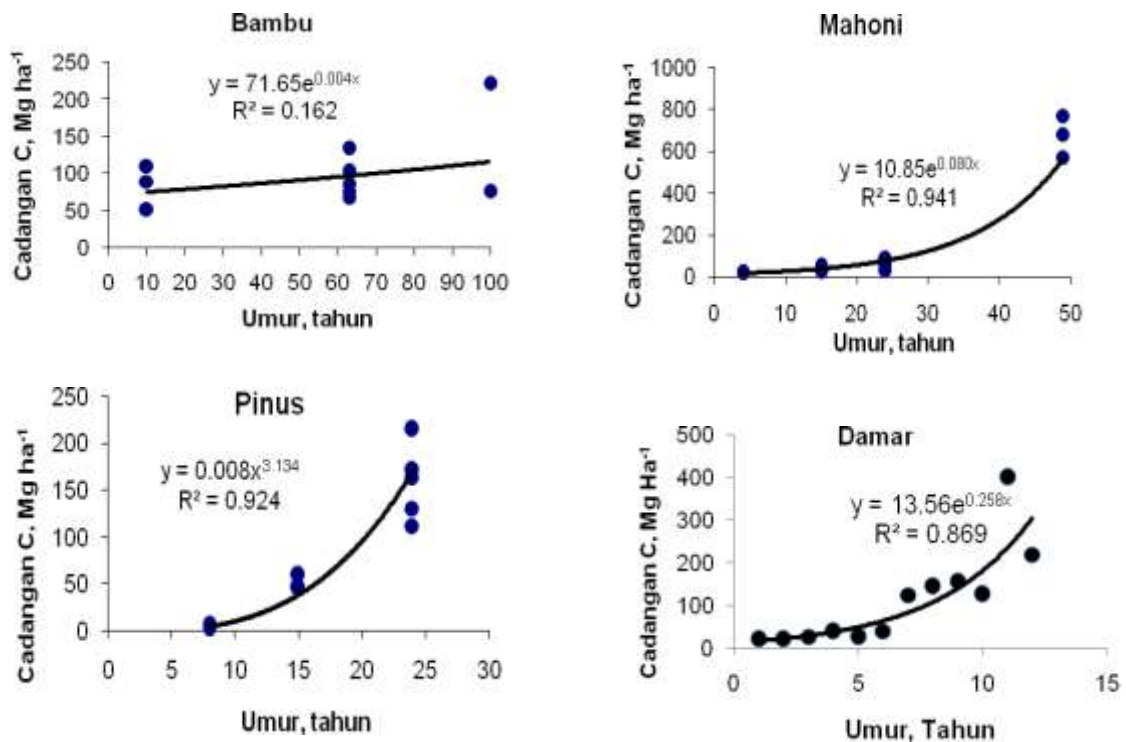
Gambar 6.13. Persentase kontribusi komponen penyusun lahan terhadap jumlah C tersimpan dari berbagai SPL yang ada di DAS conto (US= understorey atau tumbuhan bawah; HT= Hutan terganggu, AS=AF sederhana, AM=AF multistrata, PB= Perkebunan Bambu, PC= Perkebunan Coklat, PK= Perkebunan Kopi, PH= Perkebunan Cengkeh, PL= Perkebunan Langsep, PM= Perkebunan Mahoni, PP= Perkebunan Pinus, PD= Perkebunan Damar, TS= Tanaman Semusim)

6.4.2. Time-averaged Carbon stock pada berbagai Sistem Penggunaan Lahan

Estimasi *time averaged-C* dihitung berdasarkan nilai rata-rata cadangan karbon dari berbagai umur pohon, cara ini bisa dilakukan untuk sistem monokultur (Gambar 6.14). Tetapi cara tersebut tidak bisa dilakukan pada sistem agroforestri yang sangat beragam baik jenisnya maupun umurnya. Untuk sistem agroforestri, *time averaged-C* stock dihitung dari cadangan karbon rata-rata dari berbagai umur lahan setelah penebangan hutan. Hasil perhitungan disajikan dalam Tabel 6.4.

Khusus untuk perkebunan bambu, pengukuran biomasa dilakukan pada berbagai umur bambu (10, 63 dan 100 tahun). Pada kenyataannya di lapangan bambu umumnya ditebang oleh petani apabila umurnya sudah mencapai 10 tahun, karena tingkat kebutuhan bambu yang cukup tinggi. Bambu dapat tumbuh hingga 100 tahun, tetapi hanya terdapat pada hutan 'sengkeran', dimana

masyarakat dilarang untuk menebangnya karena dipercayai bambu sangat penting untuk konservasi mata air. Oleh karena itu besarnya cadangan C di hutan sengkeran tidak dimasukkan dalam perhitungan *time averaged-C*. Untuk itu dasar umur bambu yang digunakan dalam perhitungan adalah 10 tahun (Gambar 6.14). Sedang untuk *time averaged-C* dihitung dari rata-rata jumlah C tersimpan dari seluruh pengukuran di lapangan (umur 10 dan 63 tahun).



Gambar 6.14. Estimasi *time averaged-C stock* untuk pinus, mahoni, bambu dan damar

Berbeda dengan bambu, estimasi *time averaged-C* untuk mahoni, pinus dan damar dilakukan berdasarkan besarnya peningkatan jumlah karbon tersimpan per tahun. *Time averaged-C stock* untuk mahoni, pinus dan damar berturut-turut sebesar 212 Mg/ha, 144 Mg/ha dan 146 Mg/ha (Tabel 6.4).

Time averaged C pada berbagai tutupan lahan di DAS Konto

Untuk tujuan penghitungan jumlah C yang tersimpan di tingkat DAS, macam-macam penggunaan lahan yang ada perlu disederhanakan menurut hasil klasifikasi tutupan lahan pada citra satelite. Dari 9 jenis penggunaan lahan yang ada di sub-DAS Konto dapat disederhanakan menjadi 4 macam tutupan lahan (Lihat Bab 5) yaitu hutan alami, agroforestri, perkebunan dan tanaman semusim, dan ditambah lagi semak belukar (perdu). *Time averaged-C* yang akan digunakan sebagai penghitungan total C tersimpan dari masing-masing tutupan lahan di seluruh DAS Konto disajikan pada Tabel 6.4.

Tabel 6.4. *Time averaged-C stock* berbagai tutupan lahan yang ada di DAS Kali Konto hulu

| Land cover | LUS | Populasi per ha | Estimasi | | | | | Tanah, 0-30 cm | Total C stock | Umur max. th | Time Avg. C Stock, Mg ha ⁻¹ |
|--------------|-----------------------|-----------------|----------------|---------------|----------------|-----------|-----|----------------|---------------|--------------|----------------------------------------|
| | | | Bio-masa tajuk | Bio-masa akar | Tumbuhan bawah | Nekromasa | | | | | |
| Hutan alami | Hutan terdegradasi | 2248 | 38.4 | 9.60 | 0.15 | 2.15 | 111 | 161 | 50 | 161 | |
| Agroforestry | AF_Multistrata | 3970 | 42.1 | 10.5 | 0.14 | 1.29 | 69 | 123 | 30 | 111 | |
| Perkebunan | AF_sederhana | 4018 | 21.4 | 5.3 | 0.91 | 2.33 | 69 | 99 | 30 | | |
| | Pinus, 24 th | 795 | 82.6 | 20.7 | 1.22 | 1.59 | 77 | 183 | 30 | 144 | |
| | Damar | | 87.5 | 21.9 | 2.67 | 1.34 | 77 | 190 | 40 | 146 | |
| | Mahoni | 963 | 95.2 | 23.8 | 0.69 | 1.54 | 77 | 198 | 50 | 212 | |
| Rumput | Cengkeh | | 47.3 | 11.8 | 1.53 | 4.15 | 77 | 142 | 35 | 70 | |
| | Bambu | 3188 | 63.9 | 16.0 | 0.40 | 2.20 | 77 | 159 | 15 | 121 | |
| | Rumput gajah, 4 bulan | - | 15.0 | 3.7 | 4.41 | 1.02 | 76 | 100 | 0.25 | 89 | |
| Hutan alami | Rumput gajah, 1 bulan | - | 0.9 | 0.2 | 0.21 | 0.53 | 76 | 78 | | | |
| Agroforestry | Sayuran | - | 1.8 | 0.4 | 0.68 | 0.55 | 76 | 79 | 0.25 | 79 | |

Pennisetum purpureum (Rumput Gajah=*napier grass*)

Time averaged C stock belukar (umur max 30 th) disitir dari hasil pengukuran di Jambi = 20 Mg ha⁻¹ (Hairiah *et al.*, 1997)

6.5. Kesimpulan

- Di sub-DAS Konto terdapat 5 macam tutupan lahan yang menyebar dari lembah hingga puncak bukit, yaitu hutan alami terdegradasi, agroforestri (pola campuran), perkebunan, tanaman semusim dan belukar. Hutan alami dan belukar terletak di puncak bukit, dimana akses kesana relatif sulit. Agroforestri baik yang kompleks maupun sederhana menyebar di seluruh lansekap baik di lereng bawah hingga lereng atas.
- Hutan alami di DAS Konto sudah sangat terganggu yang ditandai dengan jumlah C yang rendah sekitar 161 Mg/ha. Agroforestri berbasis kopi menyimpan C agak rendah (berkisar antar 99 hingga 123 Mg/ha) dengan *time averaged-C stock* rata-rata sekitar 111 Mg/ha (sekitar 50% lebih rendah dari pada di lahan perkebunan). Pada perkebunan Pinus, dammar, mahoni, cengkeh dan bamboo diperoleh *time averaged-C stock* masing-masing 144, 146, 212, 70 dan 121 Mg/ha. Dengan demikian diperoleh *time averaged-C stock* untuk perkebunan rata-rata 139 Mg/ha. Sedang *time averaged-C stock* pada

tanaman semusim adalah 84 Mg C/ha yang terdiri dari rumput gajah dan tanaman sayuran dengan cadang karbon masing-masing adalah 89 dan 79 Mg C/ha.

- Kontribusi nekromasa dan tumbuhan bawah terhadap total C tersimpan di masing-masing lahan relatif sangat kecil bila dibandingkan dengan kontribusi dari biomasa pohon. Biomasa pohon menyumbang rata-rata 90% dari total C yang ada, nekromasa sekitar 9% dan tumbuhan bawah sekitar 4%. Tetapi untuk tutupan lahan tanaman semusim, nekromasa menyumbang sekitar 23% dan tumbuhan bawah sekitar 14%. Sedang pada lahan agroforestri dan perkebunan nekromasa menyumbang C sekitar 5-10% dari total C tersimpan di lahan.
- Tanah di DAS Konto cukup subur yang ditunjukkan dengan besarnya kontribusi C dari tanah, rata-rata sekitar 63% dari total cadangan C per lahan.

7. Estimasi Cadangan Karbon di DAS Kali Konto Hulu

7.1. Pendahuluan

Salah satu upaya mengurangi emisi CO₂ di udara adalah dengan meningkatkan penyerapan karbon di udara oleh ekosistem daratan dan menyimpannya dalam waktu yang lebih lama adalah melalui pengelolaan vegetasi terutama pohon. Sebaliknya, kondisi di lapangan menunjukkan bahwa dalam 10 tahun terakhir telah terjadi alih fungsi hutan menjadi lahan pertanian baik monokultur maupun polikultur, salah satunya terjadi di DAS Kali Konto hulu.

Penghitungan perubahan jumlah karbon tersimpan di seluruh DAS Konto dapat diestimasi dengan mengintegrasikan data perubahan luas tutupan lahan, dengan data jumlah karbon yang tersimpan di atas tanah di setiap jenis tutupan lahan. Hasil identifikasi tutupan lahan DAS Kali Konto hulu dengan menggunakan citra satelit 7TM tahun 1990 dan Landsat 7ETM+ tahun 2005, menunjukkan adanya perubahan kelas tutupan lahan baik pada hutan terganggu, perkebunan, agroforestri, tanaman semusim, semak belukar maupun pemukiman. Penurunan luasan kelas tutupan lahan terbesar terjadi pada lahan hutan terganggu (2417.67 ha), diikuti Perkebunan (636.57 ha), semak belukar (545.67 ha), dan agroforestri (288.9 ha). Di sisi lain terjadi peningkatan luasan lahan tanaman semusim sebesar 6251.49 ha dan pemukiman (30.24 ha), detail informasi perubahan tutupan lahan disajikan dalam Bab VI.

Perubahan kelas tutupan lahan terutama hutan terganggu, perkebunan, dan agroforestri menjadi tanaman semusim dan pemukiman akan berpengaruh terhadap jumlah karbon tersimpan di atas permukaan tanah. Hasil pengukuran di lapangan pada beberapa tutupan lahan DAS Kali Konto hulu menunjukkan bahwa hutan terganggu memiliki jumlah karbon tersimpan di atas permukaan tanah sebesar 136 Mg/ha, diikuti perkebunan (85 Mg/ha), dan Agroforestri (43 Mg/ha). Sedangkan kelas tutupan lahan tanaman semusim memiliki karbon tersimpan yang rendah sekali yaitu sebesar 1.6 Mg/ha. Untuk lahan semak belukar diestimasi menyimpan sejumlah C sama seperti yang dijumpai di Sumberjaya yaitu sekitar 20 Mg/ha (Hairiah *et al.*, 1997). Informasi karbon tersimpan di atas permukaan tanah pada skala plot secara lengkap dapat dilihat dalam Bab 6.

Berdasarkan hasil identifikasi kelas tutupan lahan dan pengukuran karbon tersimpan di lapangan diduga bahwa karbon tersimpan di atas permukaan tanah di DAS Kali Konto hulu juga mengalami perubahan selama tahun 1990 hingga 2005. Namun demikian informasi jumlah karbon yang hilang (emission) maupun yang bertambah (sequestration) di DAS Kali Konto hulu masih belum tersedia, sehingga estimasi karbon tersimpan di atas permukaan tanah di DAS Kali Konto hulu masih perlu dilakukan.

7.2. Tujuan

Mengestimasi perubahan jumlah karbon yang terjadi pada tahun 1990 dan 2005 di DAS Kali Konto hulu, dengan jalan mengintegrasikan data jumlah karbon tersimpan di berbagai kelas tutupan lahan dengan data luasan masing-masing tutupan lahan di seluruh DAS.

7.3. Metode

Guna mencapai tujuan tersebut diatas, maka kegiatan ini dilakukan dalam 4 tahapan seperti yang dilakukan pada studi perubahan karbon di Kabupaten Nunukan, Kalimantan Timur (Widayati *et al.*, 2005) yaitu:

1. Persiapan Peta Dasar
Peta dasar yang disiapkan meliputi citra satelit Landsat 7TM tahun 1990 dan Landsat 7ETM+ tahun 2005 untuk Daerah Aliran Sungai (DAS) Kali Konto hulu, dan peta rupa bumi.
2. Pendugaan kelas tutupan lahan di DAS Kali Konto hulu
Tahapan kegiatan dalam pendugaan kelas tutupan lahan di DAS Kali Konto hulu meliputi :
 - a. Survei lapangan untuk menentukan titik kontrol dan mengecek validitas tutupan lahan yang dibuat melalui citra satelit;
 - b. Pengolahan data citra satelit melalui proses koreksi radiometrik dan koreksi geometrik;
 - c. Klasifikasi tutupan lahan pada citra satelit dilakukan dengan menggunakan metode Klasifikasi Hirarkis "*Hierarchical Classification*". Informasi detail untuk masing-masing tahapan di dalam pendugaan kelas tutupan lahan di DAS Kali Konto hulu disajikan dalam Bab 5.
3. Pengukuran karbon tersimpan di tingkat lahan
 - a. Tahapan kegiatan pengukuran karbon tersimpan di skala plot meliputi :
 - b. Penentuan titik pengamatan untuk inventarisasi seluruh sistem penggunaan lahan (SPL) yang berada dalam satu transek;
 - c. Deskripsi dan karakterisasi masing-masing sistem penggunaan lahan (Bab 5);
 - d. Estimasi karbon tersimpan, pengukuran cadangan karbon di semua pool C yaitu biomasa pohon dan tumbuhan bawah, nekromasa dan masa seresah di permukaan tanah dan kandungan bahan organik tanah (Bab 6);
 - e. Estimasi rata-rata karbon tersimpan per siklus tanam (time averaged-C) untuk membandingkan potensi berbagai sistem penggunaan lahan dalam menyerap karbon dari udara (Bab 6).
4. Membangun relasi kuantitatif antara informasi dari skala pixel pada citra satelit dengan jumlah karbon tersimpan per tutupan lahan. Relasi ini kemudian digunakan sebagai dasar untuk melakukan ekstrapolasi spasial.

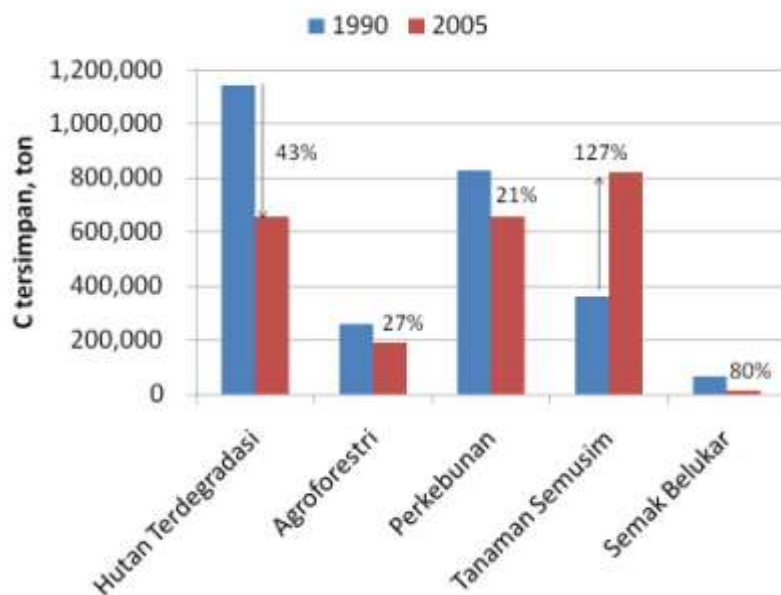
- Melakukan pendugaan cadangan karbon pada DAS Konto hulu, yang dilakukan dengan menggunakan informasi luas penutupan lahan (Bab 5) dikalikan dengan data hasil perhitungan karbon tersimpan (time averaged-C) dari kelas penutupan lahan yang relevan (Bab 6).

7.4. Hasil

7.4.1. Pendugaan karbon tersimpan di DAS Kali Konto hulu

Hasil ekstrapolasi pengukuran karbon di tingkat lahan ke tingkat DAS dengan mengalikan data penutupan lahan dari citra satelit tahun 1990 (Gambar 7.1) dengan time averaged-C per tutupan lahan, maka diketahui bahwa jumlah C tersimpan di DAS Kali Konto hulu adalah sekitar 2,658,814 Mg. Sekitar 61 % dari total C tersimpan tersebut berada di lahan hutan terganggu (1142738 Mg) lebih besar dibandingkan dengan di agroforestri (259846 Mg), perkebunan (826954 Mg), tanaman semusim (362449 Mg), dan semak belukar (66827 Mg).

Apabila dibandingkan dengan jumlah karbon tersimpan di tahun 2005, hampir semua tutupan lahan mengalami penurunan jumlah karbon tersimpan kecuali lahan tanaman semusim. Informasi data lengkap lihat Tabel 7.1.



Gambar 7.1. Perubahan karbon tersimpan pada tahun 1990 dan 2005 di berbagai tutupan lahan di DAS Kali Konto hulu

Jumlah karbon tersimpan pada lahan hutan terganggu mengalami penurunan terbesar yaitu 328.803 Mg, diikuti perkebunan (74.479 Mg), agroforestry (12.712 Mg), dan semak belukar (10.913 Mg). Peningkatan luasan lahan tanaman semusim secara drastis terjadi di tahun 2005 menyebabkan peningkatan jumlah karbon tersimpan sekitar 50% lebih tinggi dari pada jumlah karbon tersimpan di tahun 1990. Meskipun jumlah karbon pada tanaman semusim meningkat tetapi waktu penyimpanan karbon relatif pendek bila dibandingkan dengan tutupan lahan

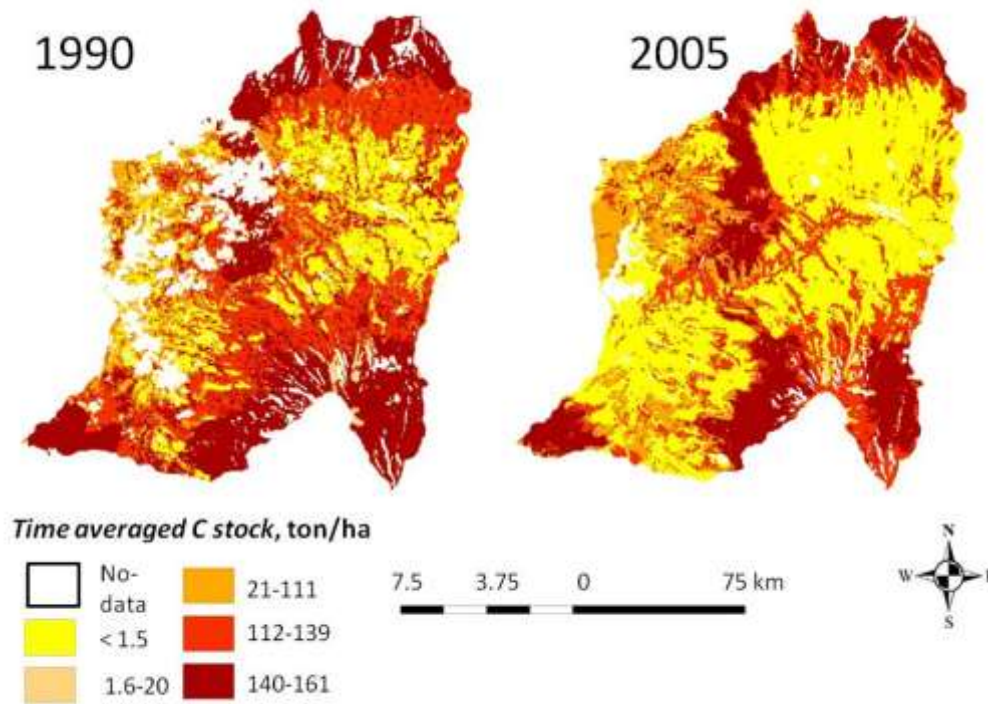
berbasis pepohonan, sehingga dalam waktu singkat di DAS Konto akan kembali terjadi pelepasan karbon. Lahan hutan terganggu diperkirakan kehilangan karbon sekitar 33 % dari total karbon tersimpan di tahun 1990 (988,710 Mg), tetapi kehilangan karbon terbesar terjadi pada lahan semak belukar yaitu sekitar 76% dari karbon tersimpan di tahun 1990 (14,285 Mg). Sedang lahan agroforestri dan perkebunan kehilangan karbon tersimpan sekitar 11% dari total karbon tersimpan di tahun 1990.

Tabel 7.1. Luas Tutupan Lahan di DAS Konto hulu berdasarkan citra satelite tahun 1990 dan 2005 (tanda (-) berarti penurunan)

| Tutupan lahan | Time Averaged-C stock, Mg ha ⁻¹ | 1990 | | 2005 | | Perub. Luas per th, % | Kehilangan C, ton /th |
|---------------|--------------------------------------------|--------------|----------------------------|--------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | Luas (A), ha | Total C-stock (AxC), M ton | Luas (A), ha | Total C-stock (AxC), M ton | | |
| Hutan alami | 161 | 7104.78 | 1.17 | 4852 | 0.78 | -2.22 | 25924 |
| Agroforestry | 111 | 2343.69 | 0.26 | 2068 | 0.23 | -0.82 | 2135 |
| Perkebunan | 139 | 5968.98 | 0.83 | 5347 | 0.74 | -0.71 | 5879 |
| Tan. semusim | 84 | 4314.87 | 0.36 | 10569 | 0.83 | 9.65 | -31485 |
| Belukar | 95 | 703.44 | 0.07 | 169 | 0.00 | -5.09 | 4299 |
| Pemukiman | 0 | 165.78 | 0.00 | 196.7 | 0.00 | 0 | 0 |
| Air (dam) | 0 | 254.34 | 0.00 | 223 | 0.00 | 0 | 0 |
| Total | | 20856 | | 20856 | | | |

7.4.2. Berapa penurunan jumlah C rata-rata per tahun di DAS Konto?

Berdasarkan peta kerapatan karbon tersimpan dimasing-masing tutupan lahan (Gambar 7.2), diketahui bahwa perubahan karbon tersimpan terbesar terjadi di lahan hutan lereng gunung Anjasmara (DAS Kali Konto hulu bagian utara) dan lereng gunung Kawi dan gunung Keled (DAS Kali Konto hulu bagian selatan). Perubahan karbon tersimpan sebagian besar terjadi di bagian utara DAS Kali Konto hulu terutama di hutan yang termasuk wengkon Desa Pandesari, Wiyurejo, Madiredo, Tawang Sari dan Ngabab – Kecamatan Pujon. Sedangkan perubahan karbon tersimpan di bagian selatan DAS Kali Konto hulu bagian selatan terjadi di wengkon desa Pujon kidul, Sukomulyo, dan Bendosari (Kecamatan Pujon), serta desa Purworejo, Sidodadi, dan Banjarejo (kecamatan Ngantang).



Gambar 7.2. Jumlah karbon tersimpan di DAS Kali Konto hulu berdasarkan citra satelit tahun 1990 dan 2005

Sebagai akibat adanya alih guna lahan hutan menjadi lahan tanaman semusim tersebut, maka dalam kurun waktu 1990 – 2005 (15 tahun), seluruh DAS Kali Konto (seluas 23810 ha) telah kehilangan C tersimpan sebesar 32275 Mg/th atau sekitar 1.03 Mg C/ha/th (Tabel 7.1) atau setara dengan 3.76 Mg CO₂/ha/th. Karbon tersimpan di lahan hutan terganggu mengalami penurunan rata-rata per tahun sebesar 25924 Mg, karena adanya penebangan dan pengangkutan biomasa pohon ke luar lahan. Lahan perkebunan (pinus, damar, mahoni, bambu, eucalyptus) mengalami penurunan karbon tersimpan rata-rata per tahun sebesar 5879 Mg, diikuti agroforestry (2135 Mg), dan semak belukar (4299 Mg). Sedangkan peningkatan karbon tersimpan pada lahan tanaman semusim sebesar 31485 Mg.

7.4.2. Estimasi emisi dan sequestrasi karbon di DAS Kali Konto hulu

Proses penimbunan karbon dalam tubuh tanaman hidup dinamakan proses sekuestrasi (C-sequestration). Dengan mengukur jumlah C yang disimpan dalam tubuh tanaman hidup (biomasa) pada suatu lahan dapat menggambarkan banyaknya CO₂ di atmosfer yang diserap oleh tanaman. Sedangkan proses emisi merupakan proses pelepasan kembali CO₂ ke udara. Perubahan penggunaan lahan hutan terganggu, agroforestri berbasis kopi, perkebunan (damar, pinus, mahoni, bambu, dan eucalyptus) menjadi lahan tanaman semusim meningkatkan jumlah emisi karbon ke udara, akibat adanya penebangan lewat kegiatan panen dan pengangkutan pohon keluar lahan. Besarnya penyerapan dan pelepasan karbon dari / ke udara akibat perubahan tutupan lahan sangat bervariasi (Tabel 7.2).

Tabel 7.2. Matriks emisi karbon dan sequestrasi (Mg) selama kurun waktu 1990 dan 2005 di sub-DAS Kali Konto hulu. Angka dalam kurung menunjukkan besarnya emisi.

| Penutupan Lahan Tahun 1990 | Hutan Terdegradasi | Agroforestri | Perkebunan | Tanaman Semusim | Semak Belukar | Total | % emisi |
|----------------------------|--------------------|--------------|------------|-----------------|---------------|----------|---------|
| Hutan Terdegradasi | - | (29057) | (41932) | (85787) | (2192) | (158969) | 49.6 |
| Agroforestri | 6440 | - | 13314 | (34211) | (329) | (14785) | 4.6 |
| Perkebunan | 8776 | (12908) | - | (173364) | (1713) | (179208) | 55.9 |
| Tanaman Semusim | 1715 | 4176 | 19888 | - | 145 | 25924 | (8.1) |
| Semak Belukar | 3929 | 1200 | 5471 | (4248) | - | 6351 | (2.0) |
| Total | 20860 | (36590) | (3259) | (297611) | (4088) | (320689) | 100 |

Total kehilangan karbon tersimpan (emisi C) di seluruh sub-DAS Kali Konto adalah sekitar 320689 Mg, dimana sekitar 158969 Mg (50% dari total) adalah berasal dari alih guna lahan hutan menjadi lahan-lahan pertanian, dan sekitar 179208 Mg (56% dari total) berasal dari perkebunan yang diubah menjadi lahan pertanian tanaman semusim. Sedikit sekali perubahan luasan yang terjadi pada lahan agroforestry yaitu sekitar 14785 Mg (2% dari total).

Estimasi penyerapan dan pelepasan karbon ke atmosfer akibat perubahan tutupan lahan tahun 1990 dan 2005, menunjukkan bahwa perubahan hutan terganggu menjadi agroforestri berbasis kopi menyebabkan pelepasan karbon sebesar 29057 Mg, apabila hutan terganggu dikonversi menjadi perkebunan akan melepaskan karbon sebesar 41932 Mg. Pelepasan karbon terbesar terjadi akibat konversi hutan terganggu menjadi lahan tanaman semusim sebesar 85787 Mg.

Program penanaman kembali yang dilakukan oleh Perum Perhutani selama kurun waktu 1990 dan 2005 yang mengubah lahan tanaman semusim menjadi perkebunan (damar, pinus, maupun mahoni) dapat meningkatkan penyerapan karbon sebesar 19888 Mg. Penyerapan karbon di udara akan semakin meningkat apabila program PHBM yang dicanangkan oleh Perum Perhutani untuk mengembalikan hutan bisa berhasil dengan baik. Secara keseluruhan di DAS Kali Konto hulu selama kurun waktu 1990 dan 2005, pelepasan karbon ke udara lebih besar dibandingkan dengan penyerapan karbon. Total penyerapan karbon di udara sebesar 32275 Mg tidak sebanding dengan pelepasannya yang mencapai 320689 Mg.

Berdasarkan hasil studi ini, dapat disimpulkan bahwa upaya mengembalikan fungsi DAS sebagai penyimpan karbon yang paling efektif adalah dari usaha mengkonservasi lahan hutan alami yang ada. Upaya penanaman pohon dalam perkebunan masih diikuti dengan pelepasan karbon dalam jumlah yang relatif besar. Pemilihan jenis pohon penayang kopi yang lebih beragam dalam lahan agroforestri berbasis kopi akan memperkecil besarnya pelepasan karbon ke atmosfer.

7.5. Kesimpulan

Sebagai ringkasan, selama 15 tahun (1990- 2005) di sub DAS Konto telah terjadi emisi C sebesar 0.35 M ton, dengan sequestrasi C sebesar 0.03 M ton (Tabel 7.3). Jadi net emisi C untuk seluruh kawasan sekitar 0.32 M ton. Adanya perubahan tutupan lahan di DAS Konto tersebut

menyebabkan tingginya tingkat emisi sebesar 15.4 ton C/ha atau per tahunnya telah terjadi emisi sebesar 1.03 ton C/ha atau setara dengan 3.76 ton CO₂/ha.

Tabel 7.3. Ringkasan hasil perhitungan emisi dan sequestrasi C akibat perubahan tutupan lahan di Das Konto (data 1990 – 2005)

| | |
|------------------------------------------|----------|
| Luas, ha | 20855.88 |
| Emisi , M ton | 0.35 |
| Sequestrasi, M ton | 0.03 |
| Net emisi, M ton | 0.32 |
| Tingkat emisi, ton C /ha | 15.4 |
| Faktor emisi, ton C/ha/th | 1.03 |
| Faktor emisi, ton CO ₂ /ha/th | 3.76 |

Total kehilangan karbon tersimpan (emisi C) di seluruh sub-DAS Kali Konto adalah sekitar 320689 Mg, dimana sekitar 158969 Mg adalah berasal dari alih guna lahan hutan menjadi lahan-lahan pertanian, dan sekitar 179208 Mg (56% dari total) berasal dari perkebunan yang diubah menjadi lahan pertanian tanaman semusim. Sedikit sekali perubahan luasan yang terjadi pada lahan agroforestry yaitu sekitar 14785 Mg (2% dari total).

Peningkatan luasan sistem penggunaan lahan tanaman semusim di tahun 2005 hanya meningkatkan perolehan karbon yang sangat kecil yaitu hanya sekitar 25924 ton/ha/th, tetapi jumlah kehilangan karbon dari seluruh kawasan jauh lebih besar (352963 ton/ha/th) dari jumlah perolehan tersebut. Penanaman pohon damar, pinus, dan mahoni di sub-DAS Kali Konto melalui Program Penghutanan Kembali yang dilakukan oleh PERHUTANI di tahun 1990-2005 tidak bisa mengurangi jumlah kehilangan karbon di kawasan.

Perubahan karbon tersimpan terbesar terjadi di lahan hutan lereng gunung Anjasmara (DAS Kali Konto hulu bagian utara) dan lereng gunung Kawi dan gunung Keled (DAS Kali Konto hulu bagian selatan). Perubahan karbon tersimpan sebagian besar terjadi di bagian utara DAS Kali Konto hulu terutama di hutan yang termasuk wengkon Desa Pandesari, Wiyurejo, Madiredo, Tawangsari dan Ngabab – Kecamatan Pujon. Sedangkan perubahan karbon tersimpan di bagian selatan DAS Kali Konto hulu bagian selatan terjadi di wengkon desa Pujon kidul, Sukomulyo, dan Bendosari (Kecamatan Pujon), serta desa Purworejo, Sidodadi, dan Banjarejo (Kecamatan Ngantang).

Guna mengembalikan fungsi DAS sebagai penyimpan karbon yang paling efektif, perlu dilakukan usaha konservasi lahan hutan alami yang ada. Upaya penanaman pohon dalam perkebunan, masih diikuti dengan pelepasan karbon dalam jumlah yang relatif besar. Pemilihan jenis pohon penayang kopi yang lebih beragam dalam lahan agroforestri berbasis kopi akan memperkecil besarnya pelepasan karbon ke atmosfer. Guna meningkatkan keberhasilan usaha konservasi hutan di DAS Konto, dukungan seluruah masyarakat di sekitar hutan sangat diperlukan.

Daftar Pustaka

- Arifin, J., 2001. Estimasi Penyimpanan C Pada Berbagai Sistem Penggunaan Lahan di Kecamatan Ngantang, Malang, Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang, 61pp.
- Hairiah K , J Arifin, Berlian, C Prayogo and M van Noordwijk, 2002. Carbon stock assessment for a forest-to-coffee conversion landscape in Malang (East Java) and Sumber-Jaya (Lampung, Indonesia). Proceeding Int. Symp.on Forest Carbon Sequestration and Monitoring, Taipei-Taiwan 11-15 November 2002.
- Hairiah, K., S. Rahayu, dan Berlian. 2006. Layanan lingkungan agroforestri berbasis kopi: Cadangan karbon dalam biomasa pohon dan bahan organik tanah (studi kasus di Sumberjaya, Lampung Barat). AGRIVITA 28 (3): 298-309.
- Hairiah K dan Rahayu S, 2007. Petunjuk praktis Pengukuran karbon tersimpan di berbagai macam penggunaan lahan. World Agroforestry Centre, ICRAF Southeast Asia. ISBN 979-3198-35-4. 77p
- Ketterings, Q.M., Coe, R., Van Noordwijk, M., Ambagau, Y. and Palm, C. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. Forest Ecology and Management 146: 199-209.
- Priyadarsini, R. 1999. Estimasi Modal C (C-stock) Masukan Bahan Organik, dan Hubungannya dengan Populasi Cacing Tanah pada Sistem Wanatani. Program Pasca Sarjana, Universitas brawijaya, Malang. 76pp.
- Sugiharto, C. 2002. Kajian Aluminium Sebagai Faktor Pembatas Pertumbuhan Akar Sengon (*Paraserianthes falcataria* L. Nelson). Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya. Malang. 64pp.
- Tomich, T.P., M. Van Noordwijk, S. Budidarsono, A. Gillison, T. Kusumanto, D. Mudiyarso, F. Stolle and A.M. Fagi. 1998. "Alternatives to Slash-and-Burn in Indonesia". Summary Report & Synthesis of Phase II. ASB-Indonesia and ICRAF-S.E. Asia, Bogor, Indonesia, pp 139.
- Van Noordwijk M, Rahayu S, Hairiah K, Wulan, Y.C., Farida, Verbist B, 2002. Carbon stock assessment for a forest-to-coffee conversion landscape in Sumber-Jaya (Lampung, Indonesia): from allometric equations to land use change analysis. J. Sc. China (special issue on Impacts of land use change on the terrestrial carbon cycle in the Asia Pacific region). Vol 45 (C): 75-86.
- Watson, R.T., M.C. Zinyowera and R.H. Moss. 1995. "Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses", Cambridge University Press, Cambridge, UK. 377pp.
- Widayati, A., Ekadinata, A., Syam, R, 2005. Land use change in Nunukan: Estimating landscape level carbon stocks through land cover types and vegetation density. In: Lusiana, B., Van Noordwijk, M., and Rahayu, S. (eds.) Carbon stocks monitoring in Nunukan, East Kalimantan: A spatial and modelling approach. Report from FORMACS project, p 35-53.

WORKING PAPERS IN THIS SERIES

2005

1. Agroforestry in the drylands of eastern Africa: a call to action
2. Biodiversity conservation through agroforestry: managing tree species diversity within a network of community-based, nongovernmental, governmental and research organizations in western Kenya.
3. Invasion of *Prosopis juliflora* and local livelihoods: Case study from the Lake Baringo area of Kenya
4. Leadership for change in farmers organizations: Training report: Ridar Hotel, Kampala, 29th March to 2nd April 2005.
5. Domestication des espèces agroforestières au Sahel : situation actuelle et perspectives
6. Relevé des données de biodiversité ligneuse: Manuel du projet biodiversité des parcs agroforestiers au Sahel
7. Improved land management in the Lake Victoria Basin: TransVic Project's draft report.
8. Livelihood capital, strategies and outcomes in the Taita hills of Kenya
9. Les espèces ligneuses et leurs usages: Les préférences des paysans dans le Cercle de Ségou, au Mali
10. La biodiversité des espèces ligneuses: Diversité arborée et unités de gestion du terroir dans le Cercle de Ségou, au Mali

2006

11. Bird diversity and land use on the slopes of Mt. Kilimanjaro and the adjacent plains, Tanzania
12. Water, women and local social organization in the Western Kenya Highlands
13. Highlights of ongoing research of the World Agroforestry Centre in Indonesia
14. Prospects of adoption of tree-based systems in a rural landscape and its likely impacts on carbon stocks and farmers' welfare: The FALLOW Model Application in Muara Sungkai, Lampung, Sumatra, in a 'Clean Development Mechanism' context
15. Equipping integrated natural resource managers for healthy agroforestry landscapes.
16. Are they competing or compensating on farm? Status of indigenous and exotic tree species in a wide range of agro-ecological zones of Eastern and Central Kenya, surrounding Mt. Kenya.
17. Agro-biodiversity and CGIAR tree and forest science: approaches and examples from Sumatra.
18. Improving land management in eastern and southern Africa: A review of policies.
19. Farm and household economic study of Kecamatan Nanggung, Kabupaten Bogor, Indonesia: A socio-economic base line study of agroforestry innovations and livelihood enhancement.
20. Lessons from eastern Africa's unsustainable charcoal business.
21. Evolution of RELMA's approaches to land management: Lessons from two decades of research and development in eastern and southern Africa
22. Participatory watershed management: Lessons from RELMA's work with farmers in eastern Africa.
23. Strengthening farmers' organizations: The experience of RELMA and ULAMP.
24. Promoting rainwater harvesting in eastern and southern Africa.
25. The role of livestock in integrated land management.

26. Status of carbon sequestration projects in Africa: Potential benefits and challenges to scaling up.
27. Social and Environmental Trade-Offs in Tree Species Selection: A Methodology for Identifying Niche Incompatibilities in Agroforestry [Appears as AHI Working Paper no. 9]
28. Managing tradeoffs in agroforestry: From conflict to collaboration in natural resource management. [Appears as AHI Working Paper no. 10]
29. Essai d'analyse de la prise en compte des systemes agroforestiers pa les legislations forestieres au Sahel: Cas du Burkina Faso, du Mali, du Niger et du Senegal.
30. Etat de la recherche agroforestière au Rwanda etude bibliographique, période 1987-2003

2007

31. Science and technological innovations for improving soil fertility and management in Africa: A report for NEPAD's Science and Technology Forum.
32. Compensation and rewards for environmental services.
33. Latin American regional workshop report compensation.
34. Asia regional workshop on compensation ecosystem services.
35. Report of African regional workshop on compensation ecosystem services.
36. Exploring the inter-linkages among and between compensation and rewards for ecosystem services CRES and human well-being
37. Criteria and indicators for environmental service compensation and reward mechanisms: realistic, voluntary, conditional and pro-poor
38. The conditions for effective mechanisms of compensation and rewards for environmental services.
39. Organization and governance for fostering Pro-Poor Compensation for Environmental Services.
40. How important are different types of compensation and reward mechanisms shaping poverty and ecosystem services across Africa, Asia & Latin America over the Next two decades?
41. Risk mitigation in contract farming: The case of poultry, cotton, woodfuel and cereals in East Africa.
42. The RELMA savings and credit experiences: Sowing the seed of sustainability
43. Yatich J., Policy and institutional context for NRM in Kenya: Challenges and opportunities for Landcare.
44. Nina-Nina Adoung Nasional di So! Field test of rapid land tenure assessment (RATA) in the Batang Toru Watershed, North Sumatera.
45. Is Hutan Tanaman Rakyat a new paradigm in community based tree planting in Indonesia?
46. Socio-Economic aspects of brackish water aquaculture (Tambak) production in Nanggroe Aceh Darrusalam.
47. Farmer livelihoods in the humid forest and moist savannah zones of Cameroon.
48. Domestication, genre et vulnérabilité : Participation des femmes, des Jeunes et des catégories les plus pauvres à la domestication des arbres agroforestiers au Cameroun.
49. Land tenure and management in the districts around Mt Elgon: An assessment presented to the Mt Elgon ecosystem conservation programme.
50. The production and marketing of leaf meal from fodder shrubs in Tanga, Tanzania: A pro-poor enterprise for improving livestock productivity.

51. Buyers Perspective on Environmental Services (ES) and Commoditization as an approach to liberate ES markets in the Philippines.
52. Towards Towards community-driven conservation in southwest China: Reconciling state and local perceptions.
53. Biofuels in China: An Analysis of the Opportunities and Challenges of *Jatropha curcas* in Southwest China.
54. *Jatropha curcas* biodiesel production in Kenya: Economics and potential value chain development for smallholder farmers
55. Livelihoods and Forest Resources in Aceh and Nias for a Sustainable Forest Resource Management and Economic Progress.
56. Agroforestry on the interface of Orangutan Conservation and Sustainable Livelihoods in Batang Toru, North Sumatra.

2008

57. Assessing Hydrological Situation of Kapuas Hulu Basin, Kapuas Hulu Regency, West Kalimantan.
58. Assessing the Hydrological Situation of Talau Watershed, Belu Regency, East Nusa Tenggara.
59. Kajian Kondisi Hidrologis DAS Talau, Kabupaten Belu, Nusa Tenggara Timur.
60. Kajian Kondisi Hidrologis DAS Kapuas Hulu, Kabupaten Kapuas Hulu, Kalimantan Barat.
61. Lessons learned from community capacity building activities to support agroforest as sustainable economic alternatives in Batang Toru orang utan habitat conservation program (Martini, Endri et al.)
62. Mainstreaming Climate Change in the Philippines.
63. A Conjoint Analysis of Farmer Preferences for Community Forestry Contracts in the Sumber Jaya Watershed, Indonesia.
64. The Highlands: A shower water tower in a changing climate and changing Asia.
65. Eco-Certification: Can It Deliver Conservation and Development in the Tropics?
66. Designing ecological and biodiversity sampling strategies. Towards mainstreaming climate change in grassland management.
67. Participatory Poverty and Livelihood Assessment Report, Kalahan, Nueva Vizcaya, the Philippines
68. An Assessment of the Potential for Carbon Finance in Rangelands
69. ECA Trade-offs Among Ecosystem Services in the Lake Victoria Basin.
70. Le business plan d'une petite entreprise rurale de production et de commercialisation des plants des arbres locaux. Cas de quatre pépinières rurales au Cameroun.
71. Les unités de transformation des produits forestiers non ligneux alimentaires au Cameroun. Diagnostic technique et stratégie de développement Honoré Tabuna et Ingratia Kayitavu.
72. Les exportateurs camerounais de safou (*Dacryodes edulis*) sur le marché sous régional et international. Profil, fonctionnement et stratégies de développement.
73. Impact of the Southeast Asian Network for Agroforestry Education (SEANAFE) on agroforestry education capacity.
74. Setting landscape conservation targets and promoting them through compatible land use in the Philippines.
75. Review of methods for researching multistrata systems.

76. Study on economical viability of *Jatropha curcas* L. plantations in Northern Tanzania Assessing farmers' prospects via cost-benefit analysis
77. Cooperation in Agroforestry between Ministry of Forestry of Indonesia and International Center for Research in Agroforestry
78. "China's bioenergy future. an analysis through the Lens of Yunnan Province
79. Land tenure and agricultural productivity in Africa: A comparative analysis of the economics literature and recent policy strategies and reforms
80. Boundary organizations, objects and agents: linking knowledge with action in agroforestry watersheds
81. Reducing emissions from deforestation and forest degradation (REDD) in Indonesia: options and challenges for fair and efficient payment distribution mechanisms

2009

82. Mainstreaming Climate Change into Agricultural Education: Challenges and Perspectives.
83. Challenging Conventional mindsets and disconnects in Conservation: the emerging role of eco-agriculture in Kenya's Landscape Mosaics.
84. Lesson learned RATA garut dan bengkurat: suatu upaya membedah kebijakan pelepasan kawasan hutan dan redistribusi tanah bekas kawasan hutan.
85. The emergence of forest land redistribution in Indonesia.
86. Commercial opportunities for fruit in Malawi.
87. Status of fruit production processing and marketing in Malawi.
88. Fraud in tree science.
89. Trees on farm: analysis of global extent and geographical patterns of agroforestry
90. The springs of Nyando: water, social organization and livelihoods in Western Kenya.
91. Building capacity toward region-wide curriculum and teaching materials development in agroforestry education in Southeast Asia.
92. Overview of Biomass Energy Technology in Rural Yunnan.
93. A Pro-Growth Pathway for Reducing Net GHG Emissions in China
94. Analysis of local livelihoods from past to present in the central Kalimantan Ex-Mega Rice Project area
95. Constraints and options to enhancing production of high quality feeds in dairy production in Kenya, Uganda and Rwanda
96. Agroforestry education in the Philippines: status report from the Southeast Asian Network for Agroforestry Education (SEANAFE)

2010

97. Economic viability of *Jatropha curcas* L. plantations in Northern Tanzania-assessing farmers' prospects via cost-benefit analysis.
98. Hot spot of emission and confusion: land tenure insecurity, contested policies and competing claims in the central Kalimantan Ex-Mega Rice Project area
99. Agroforestry competences and human resources needs in the Philippines
100. CES/COS/CIS paradigms for compensation and rewards to enhance environmental Services
101. Case study approach to region-wide curriculum and teaching materials development in agroforestry education in Southeast Asia
102. Stewardship agreement to reduce emissions from deforestation and degradation (REDD): Lubuk Beringin's Hutan Desa as the first village forest in Indonesia

103. Landscape dynamics over time and space from ecological perspective
104. A performance-based reward for environmental services: an action research case of “RiverCare” in Way Besai sub-watersheds, Lampung, Indonesia
105. Smallholder voluntary carbon scheme: an experience from Nagari Paningahan, West Sumatra, Indonesia
106. Rapid Carbon Stock Appraisal (RACSA) in Kalahan, Nueva Vizcaya, Philippines.
107. Tree domestication by ICRAF and partners in the Peruvian Amazon: lessons learned and future prospects in the domain of the Amazon Initiative eco-regional program
108. Memorias del Taller Nacional: “Iniciativas para Reducir la Deforestación en la region Andino - Amazónica”, 09 de Abril del 2010. Proyecto REALU Peru
109. Percepciones sobre la Equidad y Eficiencia en la cadena de valor de REDD en Perú –Reporte de Talleres en Ucayali, San Martín y Loreto, 2009. Proyecto REALU-Perú.
110. Reducción de emisiones de todos los Usos del Suelo. Reporte del Proyecto REALU Perú Fase 1
111. Programa Alternativas a la Tumba-y-Quema (ASB) en el Perú. Informe Resumen y Síntesis de la Fase II. 2da. versión revisada
112. Estudio de las cadenas de abastecimiento de germoplasma forestal en la amazonía Boliviana
113. Biodiesel in the Amazon
114. Estudio de mercado de semillas forestales en la amazonía Colombiana
115. Estudio de las cadenas de abastecimiento de germoplasma forestal en Ecuador
116. How can systems thinking, social capital and social network analysis help programs achieve impact at scale?
117. Energy policies, forests and local communities in the Ucayali Region, Peruvian Amazon
118. NTFPs as a Source of Livelihood Diversification for Local Communities in the Batang Toru Orangutan Conservation Program
119. Studi Biodiversitas: Apakah agroforestry mampu mengkonservasi keanekaragaman hayati di DAS Konto?

The World Agroforestry Centre is an autonomous, non-profit research organization whose vision is a rural transformation in the developing world where smallholder households strategically increase their use of trees in agricultural landscapes to improve their food security, nutrition, income, health, shelter, energy resources and environmental sustainability. The Centre generates science-base knowledge about the diverse role that trees play in agricultural landscapes, and uses its research to advance policies and practices that benefit the poor and the environment.



United Nations Avenue, Gigiri - PO Box 30677 - 00100 Nairobi, Kenya
Tel: +254 20 7224000 or via USA +1 650 833 6645
Fax: +254 20 7224001 or via USA +1 650 833 6646
Southeast Asia Regional Programme - Sindang Barang, Bogor 16680
PO Box161 Bogor 16001, Indonesia
Tel: +62 251 625 415 - Fax: +62 251 625 416
www.worldagroforestry.org