

Dinamika Perubahan Penggunaan/Tutupan Lahan Serta Cadangan Karbon di Kabupaten Buol, Indonesia

Chandra Irawadi Wijaya, Subekti Rahayu, Arif Prasetyo
dan Elissa Dwiyantri



**World
Agroforestry
Centre**

Dinamika Perubahan Penggunaan/Tutupan Lahan serta Cadangan Karbon di Kabupaten Buol, Indonesia

Chandra Irawadi Wijaya, Subekti Rahayu, Arif Prasetyo dan Elissa Dwiyantri

Working Paper No. 257



Correct citation:

Wijaya C, Rahayu S, Prasetyo A, Dwiyanti E. 2017. *Dinamika Perubahan Penggunaan/Tutupan Lahan serta Cadangan Karbon di Kabupaten Buol, Indonesia*. Working Paper no. 257. Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia Regional Program. 19p. DOI: <http://dx.doi.org/10.5716/WP17011.PDF>

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: Technical Manuals, Occasional Papers and the Trees for Change Series.

Published by the World Agroforestry Centre (ICRAF)
Southeast Asia Regional Program
PO Box 161, Bogor 16001
Indonesia

Tel: +62 251 8625415
Fax: +62 251 8625416
Email: icraf-indonesia@cgiar.org
Website: <http://www.worldagroforestry.org/region/southeast-asia>

© World Agroforestry Centre 2017

Working Paper 257

Photos:

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.

Tentang Penulis

Chandra Irawadi Wijaya bekerja sebagai *Geographic Information System (GIS) Specialist* di World Agroforestry Centre. Bidang utama keahliannya meliputi kehutanan, konservasi sumber daya hutan, pengelolaan sumber daya alam, *modelling* perubahan penggunaan/tutupan lahan, pendorong perubahan penggunaan/tutupan lahan, perencanaan penggunaan lahan, pembayaran/imbalance untuk jasa lingkungan, *modelling* hidrologi, dan database spasial. Ia memperoleh gelar master Teknologi Informasi untuk Pengelolaan Sumber Daya Alam dan gelar sarjana Konservasi Sumber Daya Hutan dari Institut Pertanian Bogor. Ia memiliki banyak pengalaman dalam memberikan pelatihan kepada staf lembaga pemerintah lokal dan nasional di bidang GIS dan sistem informasi untuk pembangunan lahan yang berkelanjutan, dan juga memberikan bantuan teknis untuk mengembangkan perencanaan penggunaan lahan untuk strategi pembangunan rendah emisi. Kontak: c.wijaya@cgiar.org

Subekti Rahayu bekerja sebagai *Biodiversity and Carbon Stock Specialist* di World Agroforestry Centre. Bidang utama keahliannya meliputi konservasi keanekaragaman hayati, restorasi ekologi, ekologi hutan, bio-indikator dan ekologi agroforestri. Saat ini ia sedang menyusun disertasi doctoral tentang strategi restorasi ekologi di Kawasan Hutan dengan Tujuan Khusus Samboja, Kalimantan Timur, dan ia memiliki gelar master di program studi yang sama dari program studi Konservasi Keanekaragaman Hayati Tropis, Institut Pertanian Bogor. Ia memiliki gelar sarjana dari universitas yang sama dalam bidang Perlindungan Tanaman. Ia berpengalaman dalam bidang pengukuran stok karbon pada tingkat plot sejak 1998 dan memberikan pelatihan pengukuran stok karbon kepada berbagai lembaga di Indonesia, dan juga kepada masyarakat lokal di Indonesia dan Vietnam sejak 2002. Kontak: s.rahayu@cgiar.org

Arif Prasetyo adalah mahasiswa master di bidang Pengelolaan Sumber Daya Alam di Institut Pertanian Bogor. Ia memiliki gelar sarjana di bidang Konservasi Sumber Daya Hutan dan Ekowisata dari universitas yang sama. Bidang utama keahliannya meliputi kehutanan, konservasi sumber daya hutan, ekologi, analisis spasial dan *modelling*, serta penilaian dampak lingkungan. Saat ini ia menjadi konsultan di Center for Biodiversity and Tropical Forest Rehabilitation (BIOREF) sebagai *Spatial Analysis and Land Use Planning Specialist*. Ia berpengalaman memberikan pelatihan kepada instansi pemerintah di bidang GIS dan penginderaan jauh, dan juga memberikan bantuan teknis untuk mengembangkan Mangrove Information Centre (MIC) di Kabupaten Indramayu, kerjasama antara Pertanian Bogor dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Kontak: arifprasetyo98@yahoo.com

Elissa Dwiyantri adalah *Remote Sensing and Geographic Information System (RSGIS) Assistant* di World Agroforestry Centre. Bidang utama keahliannya meliputi analisis perubahan penggunaan/tutupan lahan, pendorong perubahan penggunaan/tutupan lahan, dan *modelling* hidrologi. Ia memiliki gelar sarjana dari program studi Ilmu Tanah, Institut Pertanian Bogor. Ia berpengalaman dalam analisis perubahan penggunaan/tutupan lahan di berbagai wilayah Indonesia, dan juga memberikan bantuan teknis untuk mengembangkan perencanaan penggunaan lahan untuk multi jasa lingkungan. Kontak: e.dwiyantri@cgiar.org

Abstrak

Sektor berbasis lahan di Kabupaten Buol merupakan sumber utama penghidupan bagi masyarakat. Sebagai konsekuensinya, ada *'trade-off'* antara penetapan lahan untuk pembangunan sektor berbasis lahan dengan kapasitas lanskap untuk menyimpan cadangan karbon. Dalam rangka mendukung Pemerintah Daerah Kabupaten Buol dalam memformulasikan berbagai skenario perencanaan penggunaan lahan ke arah pembangunan rendah emisi, maka penelitian ini dilakukan untuk menganalisa dinamika perubahan penggunaan/tutupan lahan antara tahun 1996–2014, pengukuran cadangan karbon pada tingkat petak contoh, dan estimasi emisi karbon pada tingkat lanskap. Penelitian ini juga mensimulasikan proyeksi emisi karbon untuk 25 tahun mendatang berdasarkan skenario “business-as-usual” (BAU).

Temuan dari penelitian ini menunjukkan bahwa hutan adalah penyimpan karbon terbesar, tetapi menjadi sumber utama pembangunan secara ekstensif dari perkebunan kelapa sawit dan agroforestri kompleks, serta menjadi areal perubahan untuk penggunaan/tutupan lahan yang cukup tinggi dalam dua dekade terakhir di Kabupaten Buol. Emisi karbon yang dikeluarkan jika terjadi perubahan penggunaan/tutupan lahan dari hutan menjadi perkebunan kelapa sawit adalah tujuh kali lebih besar daripada ketika hutan berubah menjadi agroforestri kompleks. Padahal luas total konversi hutan menjadi perkebunan kelapa sawit hanya 1,5 kali lebih besar daripada konversi hutan menjadi agroforestri kompleks.

Selain itu, kegiatan deforestasi dan degradasi hutan berkontribusi sebesar 77,6% dari total emisi bersih di Kabupaten Buol antara tahun 2009–2014. Proyeksi BAU untuk 25 tahun mendatang menunjukkan peningkatan emisi karbon sampai 3,5 kali dari periode *baseline* (2009–2014). Terkait strategi perencanaan penggunaan lahan untuk pembangunan rendah emisi, penelitian ini memberikan saran tentang empat kegiatan utama di Kabupaten Buol yang dapat menyeimbangkan emisi dan penambatan (*sequestration*) karbon, dengan tetap menjaga pertumbuhan ekonomi kabupaten ini. Untuk memastikan komitmen para pemangku kepentingan dalam melaksanakan strategi ini, pemerintah lokal perlu mengintegrasikan hasil penelitian ini ke dalam Rencana Pembangunan Kabupaten dan Rencana Spasial Kabupaten. Dengan demikian implementasinya juga dapat dimonitor dan dievaluasi menjadi bagian dari agenda kabupaten.

Kata kunci deforestasi, degradasi hutan, emisi karbon, perubahan penggunaan/tutupan lahan, strategi perencanaan penggunaan lahan untuk pembangunan rendah emisi, trajektori

Ucapan Terima Kasih

Working paper ini adalah sintesis awal dari kegiatan penelitian yang dilakukan pada tahun pertama proyek Smart Tree-Invest di Kabupaten Buol, yang didanai oleh International Fund for Agricultural Development (IFAD) dan diimplementasikan oleh World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia Regional Program.

Daftar Isi

1.	Pendahuluan	1
1.1	Latar belakang.....	1
1.2	Tujuan penelitian	2
2.	Data dan Metode	2
2.1	Data	3
2.1.1	Data <i>ground-truth</i>	3
2.1.2	Citra satelit	3
2.1.3	Data cadangan karbon	3
2.2	Metode	4
2.2.1	Analisis Perubahan dan Trajektori Penggunaan/Tutupan Lahan (ALUCT)	4
2.2.2	Pengukuran Karbon Tingkat Plot.....	8
2.2.3	Estimasi Emisi Karbon Tingkat Lanskap	9
3.	Hasil 10	
3.1	Klasifikasi penggunaan/tutupan lahan	10
3.2	Perubahan dan trajektori penggunaan/tutupan lahan	13
3.3	Pengukuran Cadangan Karbon Tingkat Plot.....	15
3.4	Emisi karbon tingkat lanskap	15
4.	Pembahasan.....	17
5.	Kesimpulan dan Rekomendasi	19

Daftar Gambar

Gambar 2.	Kerangka Analisis Perubahan dan Trajektori Penggunaan/Tutupan Lahan (ALUCT) (Dewi dan Ekadinata 2013)	4
Gambar 3.	Distribusi poin <i>ground-truth</i>	5
Gambar 4.	Proses segmentasi	6
Gambar 5.	Ilustrasi Matriks <i>Error</i> dan Persamaan Matematika untuk Penilaian akurasi (Congalton dan Green 2009).....	7
Gambar 6.	Ilustrasi proses <i>overlay</i>	8
Gambar 7.	Diagram plot tersimpan untuk pengukuran <i>C stock</i> (Hairiah et al 2011)	9
Gambar 8.	Perhitungan Emisi karbon Tingkat lanskap (Dewi et al 2011)	9
Gambar 9.	Skema hirarkis klasifikasi penggunaan/tutupan lahan yang ada di Kabupaten Buol.....	10
Gambar 10.	<i>Time-series</i> peta penggunaan/tutupan lahan Kabupaten Buol	11
Gambar 11.	Proporsi penggunaan/tutupan lahan di Kabupaten Buol pada tahun 1996 – 2014	13
Gambar 12.	Trajektori penggunaan/tutupan lahan utama di Kabupaten Buol.....	14
Gambar 13.	Emisi karbon tahunan dan kontribusi masing-masing peruntukan lahan di Kabupaten Buol (2009 – 2014).....	16
Gambar 14.	Kontribusi konversi penggunaan/tutupan lahan terhadap emisi karbon di Kabupaten Buol (2009–2014).....	17
Gambar 15.	Proyeksi emisi karbon pada 25 tahun yang akan datang menggunakan skenario “ <i>business-as-usual</i> ” (BAU)	18

Daftar Tabel

Tabel 1.	Tipe penggunaan/tutupan lahan di Kabupaten Buol pada tahun 1996 - 2014	12
Tabel 2.	Tipe penggunaan/tutupan lahan dan cadangan karbon di Kabupaten Buol	15

Daftar Singkatan & Akronim

ALUCT	<i>Analisis of Land-Use/Cover Changes and Trajectories</i> (Analisis Perubahan dan Trajektori Penggunaan/Tutupan Lahan)
APL	Areal Penggunaan Lain
ATCOR	<i>Atmospheric and Topographic Correction for Satellite Imagery</i>
BAU	<i>Business-as-usual</i>
BIG	Badan Informasi Geospasial
dpl	di atas permukaan laut
ETM+	<i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i>
FGD	Focus Group Discussion
GHG	<i>Green House Gases</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HCS	<i>High Carbon Stock</i>
HCV	<i>High Conservation Value</i>
HOBC	<i>Hierarchical object-based classification</i>
HP	Hutan Produksi Tetap
HPK	Hutan Produksi Konversi
HPT	Hutan Produksi Terbatas
ICRAF	World Agroforestry Centre / International Centre for Research in Agroforestry
IFAD	International Fund for Agricultural Development
HD	<i>High Density</i>
LCDM	<i>Landsat Data Continuity Mission</i>
LD	<i>Low Density</i>
LOF	<i>Logged-over Forest</i>
LUS	<i>Land Use System</i> (sistem penggunaan lahan)
LUWES	<i>Land use planning for Low Emission Development Strategy</i> (Perencanaan penggunaan lahan untuk Strategi Pembangunan Rendah Emisi)
OBIA	<i>Object-based Image Analysis</i>
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
RaCSA	<i>Rapid Carbon Stock Appraisal</i>
REDD	Reducing Emission from Deforestation and Forest Degradation
SLC-OFF	<i>Scan Line Corrector Off</i>
TBS	<i>Tree-based System</i>

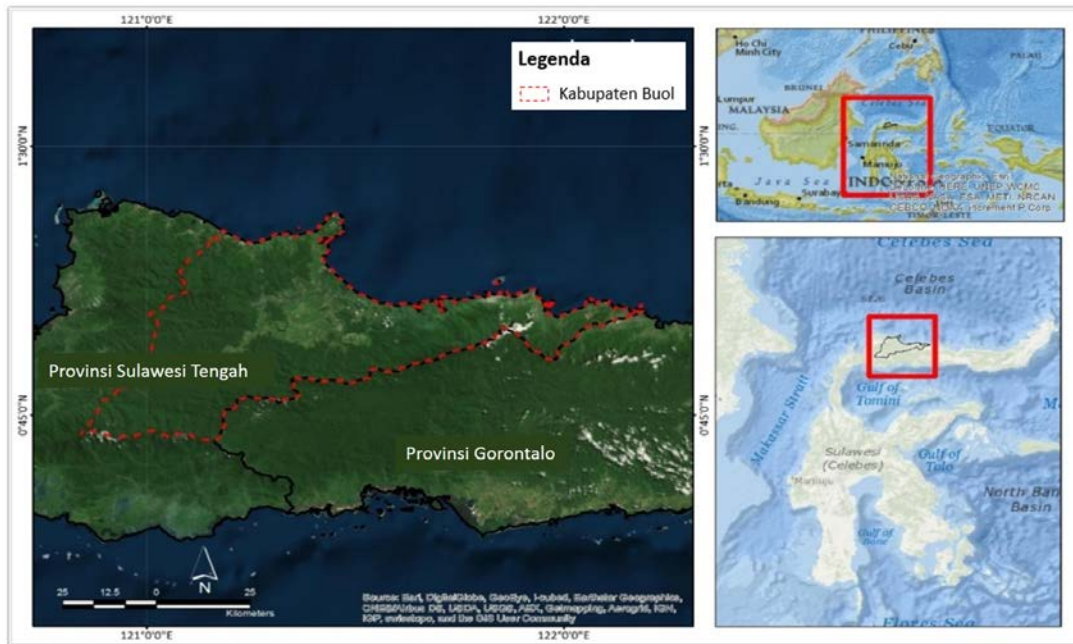
1. Pendahuluan

1.1 Latar belakang

Kabupaten Buol terletak di bagian utara Provinsi Sulawesi Tengah, membentang antara 120° 50' 32.17" sampai 122° 11' 43.96" Bujur Timur dan 0° 40' 32.50" sampai 1° 18' 45.93" Lintang Utara dan berada pada ketinggian 0-1.000 meter di atas permukaan laut (dpl). Kabupaten ini berbatasan dengan Provinsi Gorontalo di bagian timur, Kabupaten Toli-toli di bagian barat, Laut Sulawesi di bagian utara, dan Kabupaten Parigi Moutong di bagian selatan (Gambar 1). Luas kabupaten ini adalah 385.708 hektar (ha), dan sekitar dua pertiga wilayahnya berupa bukit-bukit dengan kelerengan curam hingga sangat curam. Wilayah yang landai berada di bagian hilir, yaitu di bagian utara dan tengah.

Jumlah penduduk Kabupaten Buol adalah 132.330 jiwa pada tahun 2010, dan dari estimasi tahun 2014 jumlahnya bertambah menjadi 145.889 jiwa (BPS Kabupaten Buol 2015). Sekitar 43% dari penduduk Buol tahun 2014 adalah buruh yang bekerja pada sektor berbasis lahan, seperti pertanian, peternakan, kehutanan, perkebunan dan pertambangan. Sebagai sumber utama penghidupan masyarakat di Kabupaten Buol, sektor berbasis lahan membutuhkan wilayah yang luas untuk pembangunan ekonomi, akibatnya permintaan lahan untuk produksi berbagai komoditi semakin meningkat. Akibatnya adalah konversi penggunaan dan tutupan lahan untuk komoditi pertanian. Berbagai perubahan ini mempengaruhi kemampuan lanskap dalam menyimpan cadangan karbon, yang merupakan salah satu indikator jasa lingkungan utama yang disediakan oleh lanskap.

Pada banyak kasus *trade-off* terjadi antara perubahan lahan untuk pembangunan sektor berbasis lahan dengan mempertahankan penggunaan lahan untuk menjaga kapasitas lanskap dalam menyimpan cadangan karbon. Untuk mengatasi masalah ini, pemerintah lokal melalui kemitraan dengan pemangku kepentingan di Kabupaten Buol perlu merumuskan skenario perencanaan penggunaan lahan ke arah pembangunan rendah emisi.



Gambar 1. Lokasi Kabupaten Buol, Sulawesi Tengah

1.2 Tujuan penelitian

Perumusan skenario perencanaan penggunaan lahan yang mengarah pada pembangunan rendah emisi memerlukan data dan informasi yang valid yang berhubungan dengan dinamika perubahan penggunaan/tutupan lahan, serta perubahan yang mempengaruhi emisi karbon pada skala lanskap di kabupaten ini. Untuk mendukung pemerintah lokal Kabupaten Buol, maka melalui penelitian ini dapat disediakan data dan informasi yang kuat yang meliputi:

1. Analisa dinamika perubahan penggunaan/tutupan lahan antara tahun 1996–2014
2. Pengukuran cadangan karbon pada tingkat petak contoh
3. Estimasi emisi karbon di tingkat lanskap.

Penelitian ini juga menyajikan simulasi proyeksi emisi karbon untuk 25 tahun mendatang berdasarkan skenario “business-as-usual” (BAU), yang dapat dijadikan pertimbangan dalam merumuskan skenario perencanaan penggunaan lahan kabupaten ke arah pembangunan rendah emisi di Kabupaten Buol.

2. Data dan Metode

Penelitian ini menerapkan kerangka analisis perubahan dan trajektori penggunaan/tutupan lahan (*Analysis of Land-Use/cover Changes and Trajectories* atau ALUCT) (Dewi and Ekadinata 2013) menggunakan lima data seri berdasarkan rentang waktu atau *time-series*, yaitu data tahun 1996, 2000, 2005, 2009 dan 2014. Citra Landsat adalah input data yang digunakan untuk mengidentifikasi perubahan penggunaan/tutupan lahan dan trajektori di Kabupaten Buol pada tahun 1996–2014. Penelitian ini dilakukan dengan menerapkan pendekatan perangkat *Rapid Carbon Stock Appraisal* (RaCSA) (Hairiah et al. 2011) untuk mendapatkan data cadangan karbon pada semua tipe

penggunaan/tutupan lahan di Kabupaten Buol. Selanjutnya, data perubahan penggunaan/tutupan lahan dan data cadangan karbon digunakan sebagai data aktivitas dan faktor emisi, untuk mengestimasi emisi karbon yang dihasilkan oleh kabupaten ini dalam dua dekade terakhir.

2.1 Data

2.1.1 Data *ground-truth*

Data *ground-truth* adalah satu set titik contoh tipe penggunaan/tutupan lahan yang diambil secara langsung di lapangan menggunakan *global positioning system* (GPS). Data *ground-truth* terdiri dari beberapa informasi, termasuk koordinat lokasi/titik, deskripsi lokasi, tipe penggunaan/tutupan lahan, akurasi titik contoh dan foto kondisi sekitar titik contoh. Data ini sangat penting karena dapat menjelaskan tipe penggunaan/tutupan lahan sebagai sistem penggunaan lahan, untuk melakukan analisa berbasis obyek (*object-based image analysis/OBIA*) dan mengukur cadangan karbon di tingkat petak contoh. Selanjutnya data ini dapat digunakan untuk menentukan akurasi dari keseluruhan proses.

2.1.2 Citra satelit

Penelitian ini menggunakan lima data seri rentang waktu atau *time-series* (1996, 2000, 2005, 2009 dan 2014) dari citra Landsat dengan resolusi spasial 30m (Lampiran 1). Sebelum data seri ini siap digunakan sebagai input klasifikasi citra, data mentah (*raw*) harus diolah atau pra-proses citra untuk memperbaiki kesalahan radiometrik dan geometrik yang disebabkan oleh gangguan dari atmosfer. Setelah dataseri siap, dilakukan klasifikasi citra menggunakan analisa citra berbasis obyek atau *Object-based Image Analysis* (OBIA) untuk mengklasifikasikan citra Landsat terkoreksi agar menghasilkan lima *time-series* data penggunaan/tutupan lahan di Kabupaten Buol. Selanjutnya, data digabungkan sehingga menghasilkan perubahan dan trajektori penggunaan/tutupan lahan yang kemudian digunakan sebagai data kegiatan praktik dan pengelolaan lahan untuk mengestimasi tingkat emisi karbon di Kabupaten Buol antara tahun 1996–2014.

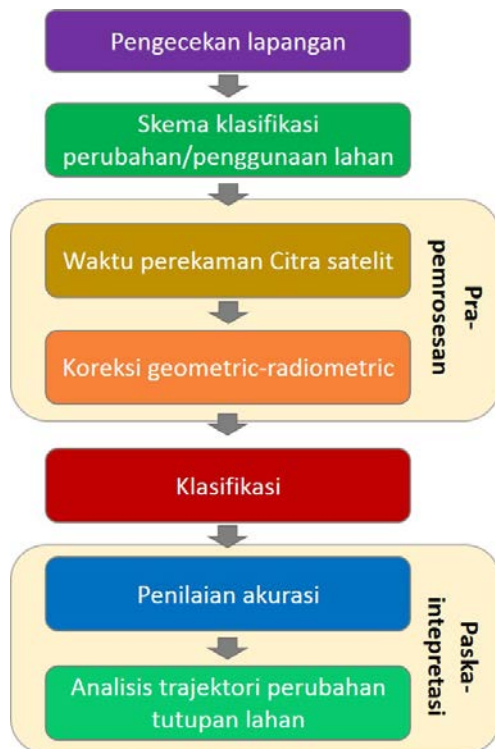
2.1.3 Data cadangan karbon

Cadangan karbon (*C stock*) adalah kuantitas karbon yang tersimpan pada lanskap, baik di dalam tanah maupun biomassa tumbuhan hidup dan tumbuhan mati di permukaan tanah. Kemampuan lanskap untuk memulihkan *C stock* merupakan variabel penting dalam isu perubahan iklim. Karbon yang terserap dalam tanah maupun vegetasi berpotensi menurunkan konsentrasi gas rumah kaca (*greenhouse gasses* atau GHG) di atmosfer. Jumlah *C stock* (ton C/ha) berbeda dari lanskap satu ke lanskap lain, tergantung pada keanekaragaman dan kepadatan tumbuhan, jenis tanah dan pengelolaan lahan (Hairiah et al. 2011). *C stock* pada suatu lanskap cenderung tinggi apabila lanskap tersebut memiliki tanah yang subur dan tumbuhan yang sangat beragam dan rapat, serta menerapkan praktik pengelolaan lahan berkelanjutan. Cara pengelolaan lanskap melalui konservasi dan restorasi penggunaan lahan yang kaya cadangan karbon, seperti hutan atau kebun campur, dapat mempertahankan dan meningkatkan jumlah cadangan karbon.

2.2 Metode

2.2.1 Analisis Perubahan dan Trajektori Penggunaan/Tutupan Lahan (ALUCT)

Dalam mengidentifikasi perubahan dan trajektori penggunaan/tutupan lahan di Kabupaten Buol, penelitian ini menggunakan kerangka analisa perubahan dan trajektori penggunaan/tutupan lahan (*Analysis of Land-Use/cover Changes and Trajectories* dan ALUCT) (Dewi and Ekadinata 2013), yang terdiri dari lima tahapan utama (Gambar 2).



Gambar 2. Kerangka Analisis Perubahan dan Trajektori Penggunaan/Tutupan Lahan (ALUCT) (Dewi dan Ekadinata 2013)

1. **Ground-truth**, mengumpulkan titik contoh penggunaan/tutupan lahan menggunakan GPS, termasuk deskripsi dan foto, sebagai basis untuk menentukan skema klasifikasi penggunaan/tutupan lahan dan melakukan klasifikasi citra;
2. **Klarifikasi berbagai pertanyaan**, yang mengarah ke tingkat lebih rinci, yang diperlukan dalam membuat legenda tipe tutupan lahan, dan resolusi gambar yang dibutuhkan dalam analisa;
3. **Akuisisi citra dan pra-pemrosesan**: Memilih resolusi, *spectral properties* dan sumber citra, serta memilih tanggal citra yang relevan dengan penelitian dan dengan kualitas mencukupi (tutupan awan sedikit);
4. **Klasifikasi citra** berdasarkan titik contoh *ground-truth* dan/atau pola spasial sebelum dibuat;
5. **Analisis pasca interpretasi** difokuskan pada pertanyaan penelitian yang menarik, biasanya terkait dengan 'penggunaan lahan' dan siklus hidup sistem pada tipe tutupan lahan yang dapat dikenali.

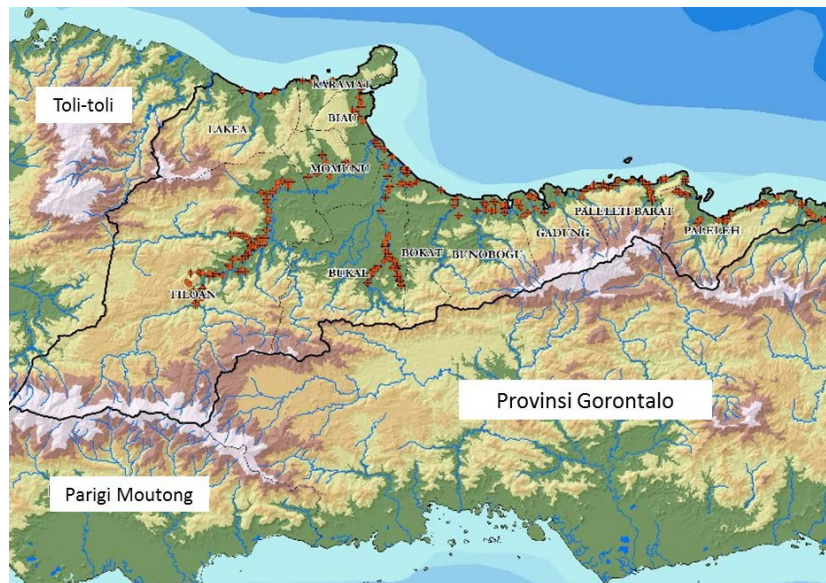
1. **Ground-truth**

Ground-truth dilakukan pada Bulan April 2014 di Kabupaten Buol menggunakan teknik pengambilan contoh secara acak (*rapid random sampling technique*) (Gambar 3). Tujuannya adalah mengumpulkan informasi tipe penggunaan/tutupan lahan yang ada di kabupaten ini, termasuk koordinat titik contoh dengan menggunakan GPS, deskripsi lokasinya, tipe penggunaan/tutupan lahan, akurasi titik contoh dan foto. Jumlah total titik *ground-truth* yang dikumpulkan adalah 306titik, mencakup 107 titik lokasi dan 199 titik penggunaan/tutupan lahan. Data *ground-truth* digunakan sebagai basis untuk menentukan skema klasifikasi penggunaan/tutupan lahan dan melakukan klasifikasi citra, dan lokasi referensi pengukuran cadangan karbon pada tingkat petak contoh. Data *ground-truth* juga memenuhi syarat menjadi titik referensi untuk penilaian akurasi penggunaan/tutupan lahan.

2. **Menentukan skema klasifikasi penggunaan/tutupan lahan**

Penentuan skema klasifikasi penggunaan/tutupan lahan memerlukan informasi awal tipe guna lahan/tutupan lahan di wilayah penelitian. Informasi dapat diperoleh dari titik contoh (Gambar 3)

penggunaan/tutupan lahan yang dikumpulkan selama kegiatan *ground-truth*, dengan mengadakan diskusi bersama pemangku kepentingan lokal, dan dari materi referensi/publikasi lainnya. Selain itu, penentuan skema klasifikasi penggunaan/tutupan lahan juga memerlukan pengetahuan spasial dan *spectral properties* citra satelit yang digunakan. Informasi dan pengetahuan tersebut menentukan desain tingkat hirarki penggunaan/tutupan lahan yang diaplikasikan dalam klasifikasi citra pada penelitian ini.



Gambar 3. Sebaran titik-titik contoh *ground-truth*

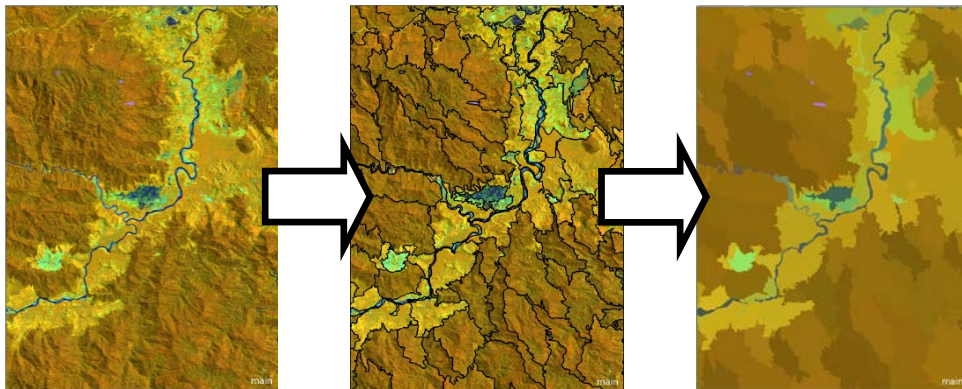
3. *Pra-proses citra*

Pra proses citra diperlukan untuk mengoreksi kesalahan (*error*) pada citra satelit yang disebabkan oleh gangguan akibat kondisi atmosfer dan topografis. Pra-proses citra terdiri dari dua kegiatan utama: koreksi *radiometric* dan *geometric*. Koreksi terhadap kesalahan (*error*) *radiometric* yang terjadi pada citra Landsat dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *Atmospheric and Topographic Correction for Satellite Imagery* (ATCOR). Metode ini digunakan untuk mengurangi efek atmosfer (*atmospheric*) dan pencahayaan (*illumination*) pada data penginderaan jauh (*remote sensing*), untuk mengambil parameter fisik permukaan bumi seperti kondisi atmosfer (emisivitas, temperatur), cahaya termal dan atmosfer, dan fungsi transmisi untuk dapat mensimulasikan *properties* yang disederhanakan dari atmosfer 3D¹. Selanjutnya, koreksi *geometric* diterapkan untuk beberapa citra Landsat yang teridentifikasi memiliki *geometric error*. Koreksi *geometric error* pada penelitian ini menggunakan peta dasar resmi yang diterbitkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG). Selain itu, citra Landsat 7 *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) yang dirilis setelah Mei 2003 harus diproses menggunakan *SLC-OFF Gap Filling* untuk mengoreksi *error* yang disebabkan oleh *scan-line corrector* (SLC) dari Landsat 7 ETM+ yang gagal pada tanggal 31 Mei 2003.

¹ Sumber: <http://www.satimagingcorp.com/svc/atcor.html>

4. *Klasifikasi citra*

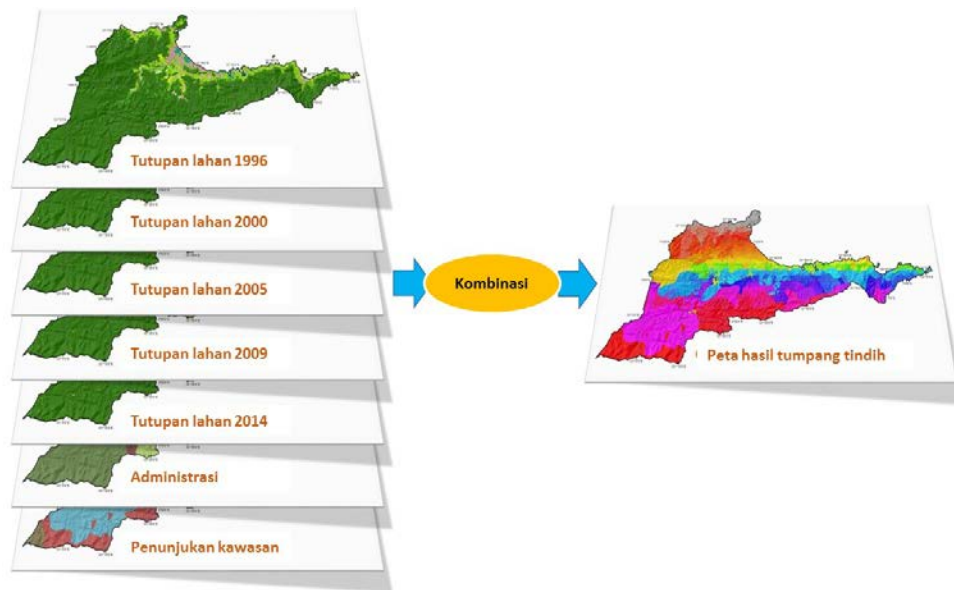
Klasifikasi citra adalah proses menginterpretasikan informasi *spectral* dari citra satelit menjadi tipe penggunaan/tutupan lahan. *Hierarchical object-based classification* (HOBC) merupakan salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan citra satelit dengan memperhitungkan titik contoh *ground-truth* dan/atau pola spasial sebelum terpasang, dan juga skema klasifikasi hirarkis pada tahap awal. HOBC dimulai dengan proses segmentasi menjadi *spectral* kelompok serupa dan karakteristik spasial dari citra menjadi obyek citra (Gambar 4). Proses segmentasi dapat dilakukan dalam beberapa fase untuk mendapatkan kualitas penggunaan/tutupan lahan secara rinci pada tingkatan (level) yang berbeda. Setiap tingkatan tipe penggunaan/tutupan lahan diinterpretasikan dengan menggunakan aturan *spectral* dan spasial. Kerincian dan kompleksitas tipe penggunaan/tutupan lahan meningkat pada setiap level, oleh karena itu klasifikasi untuk setiap tingkatan dilakukan dengan menerapkan aturan yang berbeda. *Output* dari fase ini disebut dengan segmen citra multi-resolusi yang merupakan basis untuk proses klasifikasi yang dilakukan oleh aplikasi penginderaan jauh. Proses klasifikasi ini mungkin perlu beberapa kali iterasi sampai citra yang diklasifikasikan dapat menggambarkan tipe penggunaan/tutupan lahan di lapangan.



Gambar 4. Proses segmentasi

5. *Analisis pasca interpretasi*

Analisis pasca interpretasi mencakup dua proses utama, yaitu: penilaian akurasi serta analisis perubahan dan trajektori penggunaan/tutupan lahan. Penilaian akurasi diperlukan untuk menilai kualitas data penggunaan/tutupan lahan yang dihasilkan dari klasifikasi citra, dengan membandingkan titik contoh tipe penggunaan/tutupan lahan dengan piksel data penggunaan/tutupan lahan yang sesuai. Selanjutnya, analisis perubahan dan trajektori penggunaan/tutupan lahan bertujuan untuk mendapatkan informasi lebih lanjut mengenai perubahan area penggunaan/tutupan lahan dalam periode tertentu, termasuk peralihan penggunaan/tutupan lahan yang mempengaruhi total wilayah penggunaan/tutupan lahan pada akhir periodenya.



Gambar 6. Ilustrasi proses *overlay*

2.2.2 Pengukuran Karbon Tingkat Petak Contoh

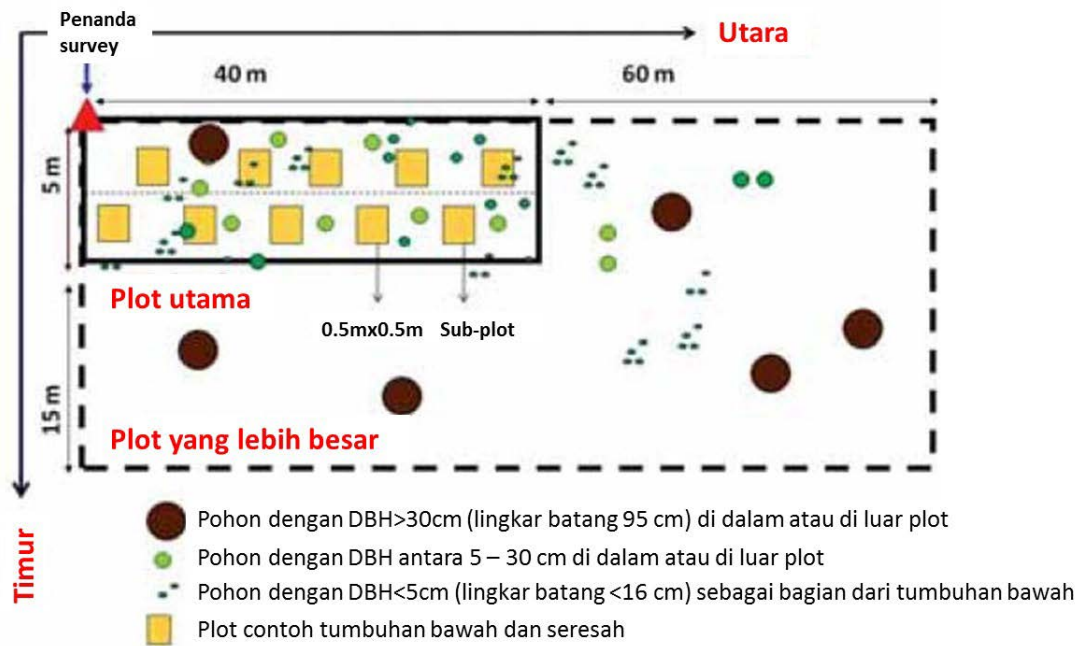
Menentukan nilai *C stock* dimulai dengan mengenali siklus hidup sistem. Estimasi *C stock* dapat diperoleh dengan mengambil contoh yang representatif dan mencerminkan karakteristik lanskap (Hairiah et al 2011). Pendekatan sistem penggunaan lahan (*land use system* atau LUS) merupakan pendekatan umum dalam menggambarkan lanskap, menggabungkan informasi tentang tutupan lahan, penggunaan lahan dan kegiatan pengelolaan untuk menghasilkan siklus hidup sistem dan membangun sampel *C stock* yang representatif pada lanskap tersebut.

Pada penelitian ini, data *C stock* diambil dari pengukuran karbon tingkat petak contoh, dari referensi yang menggambarkan *C stock* pada 17 tipe penggunaan/tutupan lahan di Kabupaten Buol. Variabel yang diukur dalam petak contoh pengukuran *C stock* adalah semua komponen Karbon (*C pool*) yang berada dalam biomasa pohon dengan mengukur diameter batang dan atau tinggi, nekromasa (kayu mati), seresah dan tumbuhan bawah (Hairiah et al 2011). Biomasa pohon atau kayu mati berdiameter > 30 cm diukur pada petak contoh berukuran 20 m x 100 m, biomasa pohon atau kayu mati antara 5 – 30 cm diukur pada petak contoh 5 m x 40 m, tumbuhan bawah dan seresah diukur pada kuadran berukuran 0,5 m x 0,5 m. Contoh tanah diambil dalam kuadran untuk tumbuhan bawah dan seresah (Gambar 7).

Biomasa *C stock* pada tingkat petak contoh dihitung dengan mengestimasi biomasa pohon menggunakan persamaan yang dikembangkan oleh Chave et al. 2005.

$$Biomasa_{est}(kg) = \rho * esp(-1.499 + 2.148 \ln(D) + 0.207(\ln(D))^2 - 0.0281(\ln(D))^3)$$

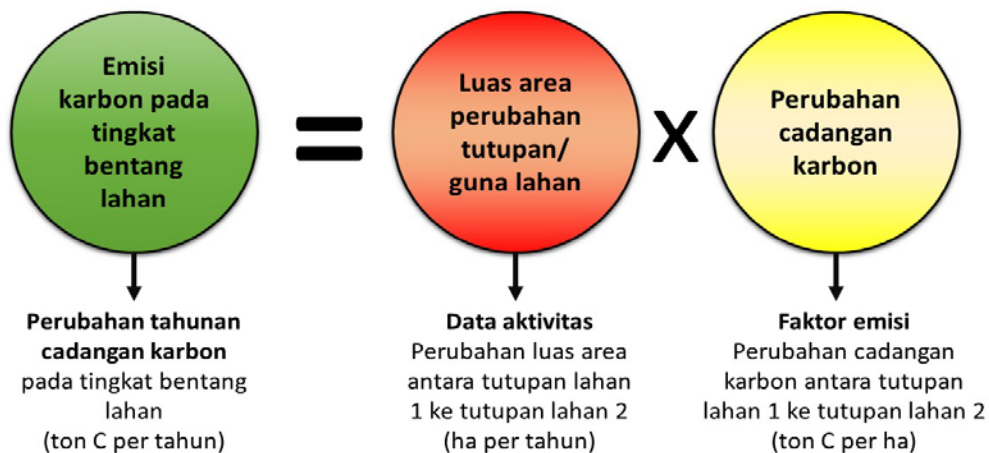
Nekromasa kayu mati diestimasi dengan menghitung volume kayu mati yang ditemukan dalam petak contoh dikalikan berat jenis kayu. Biomasa tumbuhan bawah dan seresah merupakan berat kering dari seresah dan tumbuhan bawah. Kandungan C pohon, kayu mati, tumbuhan bawah dan seresah adalah 46% dari biomasa.



Gambar 7. Diagram petak contoh untuk pengukuran *C stock* (Hairiah et al 2011)

2.2.3 Estimasi Emisi Karbon Tingkat Lanskap

Estimasi emisi karbon tingkat lanskap membutuhkan dua tipe data, yaitu: 1) wilayah perubahan dan trajektori penggunaan/tutupan lahan (ha/tahun) sebagai data kegiatan; dan 2) perubahan cadangan karbon antara penggunaan/tutupan lahan 1 dengan penggunaan/tutupan lahan 2 (ton C/ha) sebagai faktor emisi (Dewi et al 2011). Data wilayah perubahan penggunaan/tutupan lahan dihasilkan dari analisis perubahan penggunaan/tutupan Lahan berdasarkan data antar waktu. Sementara data perubahan cadangan karbon diperoleh dari selisih antara cadangan karbon penggunaan/tutupan lahan 1 dan penggunaan/tutupan lahan 2 yang diukur di lapangan.

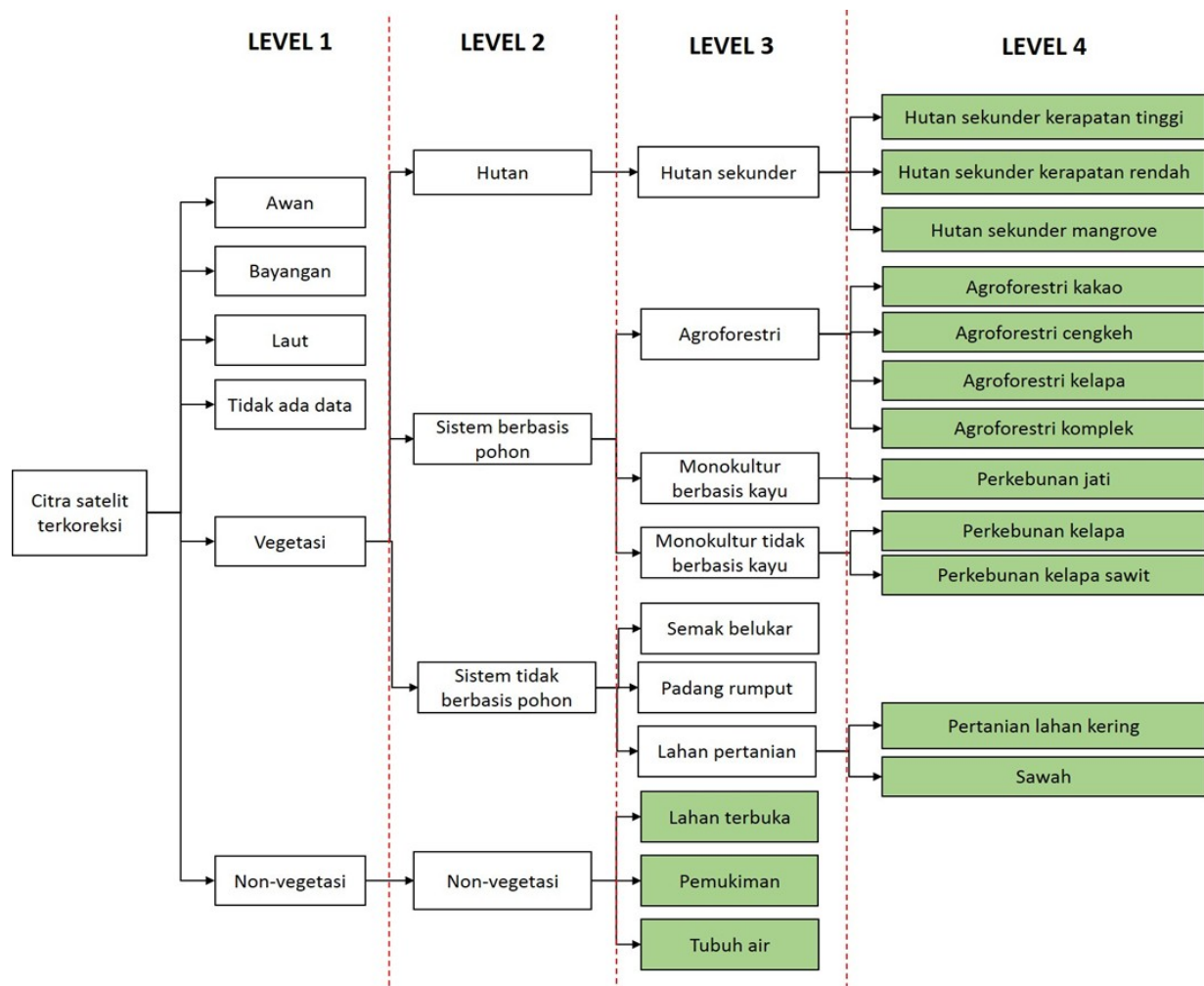


Gambar 8. Perhitungan Emisi karbon Tingkat lanskap (Dewi et al 2011)

3. Hasil

3.1 Klasifikasi penggunaan/tutupan lahan

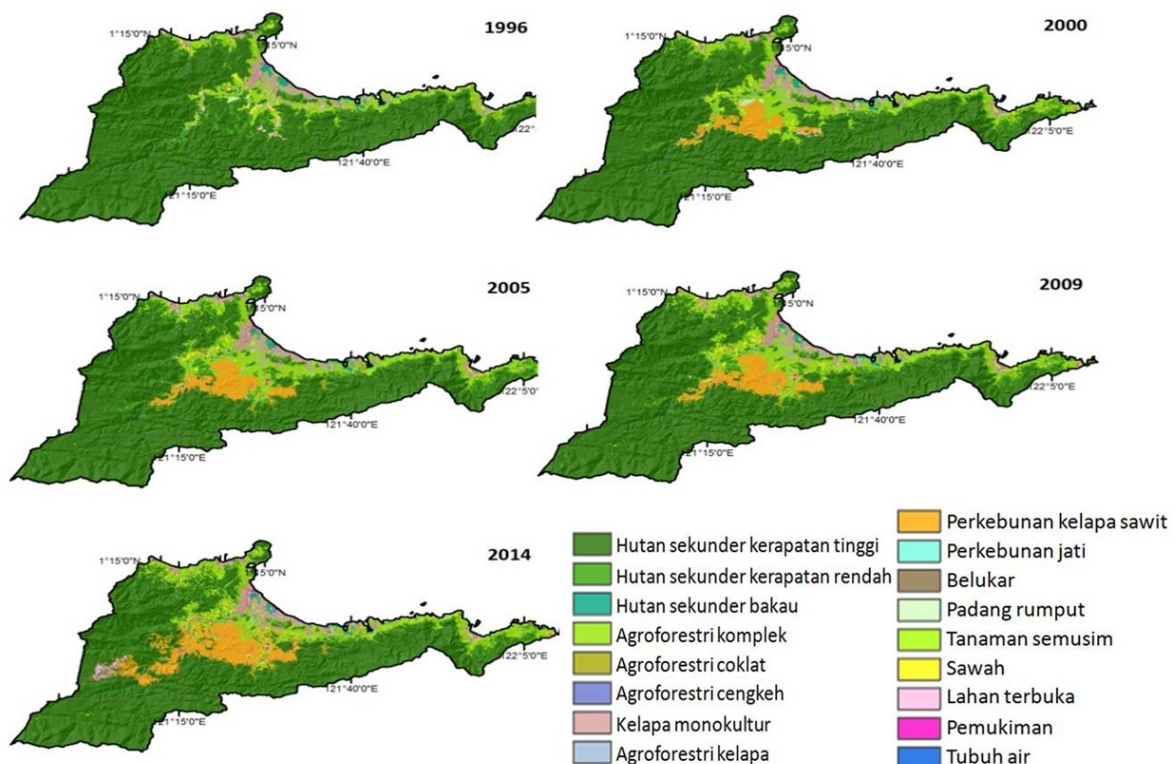
Berdasarkan contoh tipe penggunaan/tutupan lahan dan diskusi dengan pemangku kepentingan lokal, di Kabupaten Buol terdapat 17 tipe penggunaan/tutupan lahan. Ketujuh belas tipe penggunaan/tutupan lahan diklasifikasikan dengan cara yang berbeda untuk setiap tingkat maupun antar tingkat berdasarkan karakteristik spasial dan *spectral* citra Landsat yang digunakan. Tingkat 1 mengklasifikasikan tipe penggunaan/tutupan lahan secara umum dengan membedakan tipe vegetasi dan non-vegetasi. Tingkat 2 merupakan klasifikasi yang lebih rinci dari Tingkat 1, Tingkat 3 dan tingkat selanjutnya diklasifikasikan secara lebih rinci dari tingkat sebelumnya. Dalam praktiknya, skema hirarkis (Gambar 9) diaplikasikan pada *Objet-based Image Analysis* yang menghasilkan lima data *time-series* tipe penggunaan/tutupan lahan di Kabupaten Buol (Gambar 10).



Gambar 9. Skema hirarkis klasifikasi penggunaan/tutupan lahan yang ada di Kabupaten Buol

Box 1. Skema hirarkis klasifikasi penggunaan/tutupan lahan

- **Tingkat 1**, enam tipe penggunaan/tutupan lahan awal didefinisikan sebagai: non vegetasi, vegetasi, tidak ada data, lautan, bayangan, dan awan. Pada tahap selanjutnya, awan, bayangan, dan lautan dianggap sebagai tidak ada data.
- **Tingkat 2**, non vegetasi tetap menjadi non vegetasi, sedangkan vegetasi dibagi menjadi tiga tipe, yaitu: hutan, sistem berbasis pohon atau *Tree-based System* (TBS), and non *tree-based system* (Non TBS).
- **Tingkat 3**, non vgetasi pada Tingkat 2 dibagi menjadi tiga tipe, yaitu: lahan yterbuka, pemukiman, dan badan air. Tipe tersebut menjadi tiga tipe final untuk non vegetasi. Non TBS dibagi menjadi semak belukar, padang rumput dan lahan pertanian, sementara TBS dibagi menjadi agroforestri, monokultur kayu dan non monokultur kayu. Sebagian besar kawasan hutan di Buol diklasifikasikan sebagai hutan sekunder atau *Logged Over Forest* (LOF).
- **Tingkat 4**, mengklasifikasikan 12 tipe penggunaan/tutupan lahan dari lima tipe penggunaan/tutupan lahan padaTingkat 3. Lahan pertanian dibagi menjadi pertanian lahan kering dan sawah; Monokultur non kayu dibedakan menjadi monokultur kelapa dan perkebunan kelapa sawit; dan Monokultur kayu didefinisikan sebagai perkebunan jati. Agroforestri (AF) di Buol diklasifikasikan menjadi: agroforestri kakao, agroforestri cengkeh, agroforestri kelapa and agroforestri kompleks; dan hutan terdegradasi (*Logged Over Forest/LOF*) dibedakan menjadi: hutan sekunderkerapatan tinggi (*High Density*), hitan sekunder-kerapatan rendah (*Low Density*), dan hutan mangrove terdegradasi.



Gambar 10. Time-series peta penggunaan/tutupan lahan Kabupaten Buol

Kualitas atau akurasi peta penggunaan/tutupan lahan yang dihasilkan dinilai berdasarkan citra terklasifikasi 2014. Penilaian akurasi dilakukan terhadap 199 titik contoh pada berbagai tipe penggunaan/tutupan lahan yang diambil dari kegiatan *ground truth* sebagai data referensi. Hasil penilaian menunjukkan bahwa akurasi keseluruhan adalah 84,92% dengan akurasi Kappa 83,23% (Lampiran 1) yang artinya klasifikasi citra dan kualitas peta cukup baik karena akurasi keseluruhan dan akurasi Kappa – memiliki nilai di atas 75%.

Berdasarkan analisis peta tutupan lahan menunjukkan bahwa Kabupaten Buol dengan luas total 385.708 hektar didominasi oleh hutan sekunder kerapatan tinggi (LOF-HD), hutan sekunder kerapatan rendah (LOF-LD), dan agroforestri kompleks (Tabel 1). Ketiga tipe ini merupakan tipe penggunaan/tutupan lahan terluas di kabupaten ini antara tahun 1996-2014. Hutan sekunder kerapatan tinggi dan hutan sekunder kerapatan rendah mendominasi wilayah dengan elevasi tinggi dan lereng curam, sedangkan agroforestri kompleks dan areal budidaya lainnya sebagian besar berada pada elevasi rendah dan lahan datar di bagian utara Kabupaten Buol.

Tabel 1. Tipe penggunaan/tutupan lahan di Kabupaten Buol pada tahun 1996 - 2014

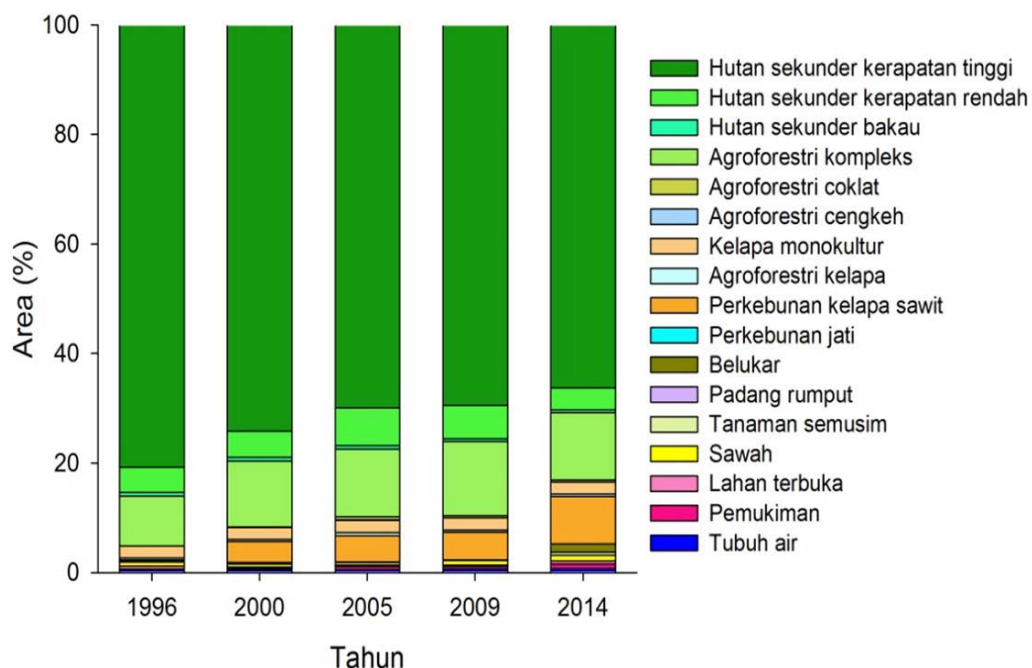
ID	Tipe penggunaan/tutupan lahan	Luas wilayah (dalam hektar)				
		1996	2000	2005	2009	2014
0	Tidak Ada Data	262	262	262	262	262
1	Hutan sekunder- kerapatan tinggi	311.204	285.862	269.669	267.657	255.456
2	Hutan sekunder - kerapatan rendah	17.750	18.571	26.557	23.490	15.719
3	Mangrove terdegradasi	2.676	2.465	2.249	2.115	1.862
4	Agroforestri kompleks	35.027	46.570	47.718	52.097	47.380
5	Agroforestri kakao	-	-	2.079	1.392	1.288
6	Agroforestri cengkeh	250	256	281	281	281
7	Monokultur kelapa	8.156	8.419	8.911	8.412	8.412
8	Agroforestri kelapa	1.368	1.418	1.927	1.416	1.713
9	Perkebunan kelapa sawit	-	14.840	18.458	19.831	33.268
10	Perkebunan jati	-	-	6	2	81
11	Semak belukar	993	59	440	227	5.686
12	Padang rumput	676	669	-	-	69
13	Pertanian lahan kering	1	259	150	248	2.200
14	Sawah	2.910	2.318	1.581	3.243	3.913
15	Lahan terbuka	2.054	878	1.456	747	2.129
16	Pemukiman	362	931	1.822	2.075	3.173
17	Badan air	2.021	1.932	2.143	2.214	2.817
Total		385.708	385.708	385.708	385.708	385.708

Akurasi keseluruhan tahun 2014 = 84,92% | Akurasi Kappa tahun 2014 = 83,23%

3.2 Perubahan dan trajektori penggunaan/tutupan lahan

Berdasarkan analisis perubahan penggunaan/tutupan lahan, empat tipe penggunaan/tutupan lahan (yaitu hutan sekunder kerapatan tinggi, hutan sekunder kerapatan rendah, mangrove terdegradasi, dan padang rumput) menurun pada periode 1996–2014. Hutan sekunder kerapatan tinggi dan mangrove terdegradasi menurun secara konstan. Hutan sekunder kerapatan tinggi menurun secara signifikan sampai 55.748 ha selama dua dekade terakhir atau 18% dari luas tahun 1996, dan mangrove terdegradasi menurun sampai 813 ha atau 30% dari luas awal. Hutan sekunder kerapatan rendah dan padang rumput ukurannya berfluktuasi, tetapi secara kumulatif mengalami penurunan signifikan.

Perkebunan kelapa sawit dan agroforestri kompleks meningkat pesat antara tahun 1996–2014. Pembangunan perkebunan kelapa sawit yang dimulai sejak tahun 2000 menyebabkan luas wilayahnya meningkat secara signifikan hingga mencapai 33.268 ha pada tahun 2014. Agroforestri kompleks meningkat hingga mencapai total areal 12.354 ha antara periode 1996–2014. Peningkatan luas wilayah agroforestri kompleks diikuti dengan tipe agroforestri lain, yaitu; agroforestri kakao, kelapa and cengkeh serta lahan pertanian, baik pertanian lahan kering dan sawah meskipun tidak setinggi agroforestri kompleks. Gambaran perubahan penggunaan/tutupan lahan yang terjadi di Kabupaten Buol ditampilkan pada Gambar 11.

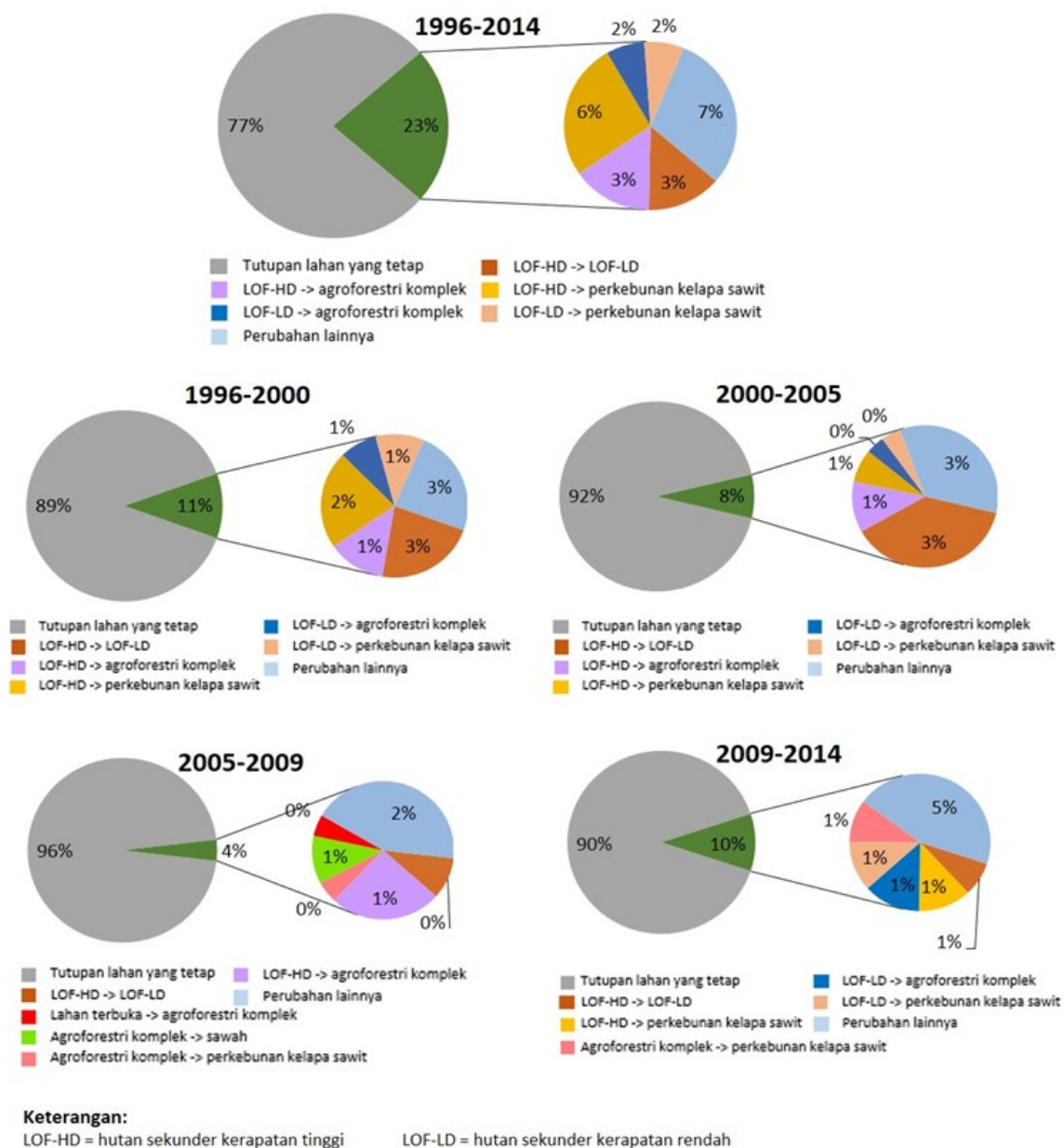


Gambar 11. Proporsi penggunaan/tutupan lahan di Kabupaten Buol pada tahun 1996 – 2014

Analisis trajektori penggunaan lahan dilakukan untuk mengetahui perubahan penggunaan/tutupan lahan yang terjadi di Kabupaten Buol (Gambar 12). Berdasarkan hasil analisis trajektori, penelitian ini menemukan bahwa dalam periode tahun 1996–2014, wilayah Kabupaten Buol mengalami perubahan secara cepat. Selama tahun 1996–2000 transformasi penggugunaan lahan/tutupan lahan didominasi oleh konversi dari hutan sekunder kerapatan tinggi dan rendah (LOF-HD dan LOF-LD) menjadi agroforestri kompleks dan perkebunan kelapa sawit, terutama pada periode awal berkembangnya

perkebunan kelapa sawit. Selama dua periode selanjutnya (2000–2005 dan 2005–2009), perubahan penggunaan/tutupan lahan dari hutan menjadi agroforestri kompleks berlanjut. Perubahan dari hutan menjadi perkebunan kelapa sawit bukanlah yang utama di Kabupaten Buol. Selama dua periode tersebut, sebagian besar agroforestri kompleks dan lahan terbuka dikonversi menjadi perkebunan kelapa sawit. Konversi hutan menjadi perkebunan kelapa sawit terjadi secara berkala tetapi menjadi agroforestri kompleks terjadi selama periode tahun 2009–2014.

Dari hasil analisis trajektiri tersebut dapat disimpulkan bahwa sekitar 23% perubahan penggunaan lahan/tutupan lahan di Kabupaten Buol antara tahun 1996–2014 didominasi oleh konversi hutan menjadi agroforestri kompleks (5%), hutan menjadi perkebunan kelapa sawit (8%), dan hutan sekunder kerapatan tinggi menjadi hutan sekunder kerapatan rendah (3%). Penelitian ini mengungkapkan bahwa deforestasi dan degradasi hutan terjadi di Buol hingga 13% dan 3%.



Gambar 12. Trajektori penggunaan/tutupan lahan utama di Kabupaten Buol

3.3 Pengukuran Cadangan Karbon Tingkat Petak Contoh

Data cadangan karbon dikumpulkan dengan melakukan pengukuran cadangan karbon tingkatpetak contoh pada enam tipe penggunaan/tutupan lahan di Kabupaten Buol (sebagai data primer) pada Oktober 2014 yang terdiri dari 23 petak contoh. Dari cadangan karbon untuk tipe tutupan lahan lainnya diambil dari data sekunder cadangan karbon dari beberapa lokasi di Indonesia yang dikumpulkan antara tahun 2000–2014, karena terbatasnya ketersediaan tipe penggunaan/tutupan lahan yang mewakili untuk berbagai umur yang ada di Kabupaten Buol.

Berdasarkan data cadangan karbon yang dikumpulkan, penelitian ini menemukan bahwa hutan sekunder kerapatan tinggi dan rendah serta mangrove terdegradasi dan agroforestri menyimpan cadangan karbon lebih banyak dibandingkan dengan perkebunan monokultur seperti: jati, kelapa, dan kelapa sawit. Lahan pertanian, yang terdiri dari pertanian lahan kering dan sawah, semak belukar dan padang rumput menyimpan cadangan karbon lebih sedikit dari hutan, agroforestri dan perkebunan monokultur (Tabel 2).

Tabel 2. Tipe penggunaan/tutupan lahan dan cadangan karbon di Kabupaten Buol

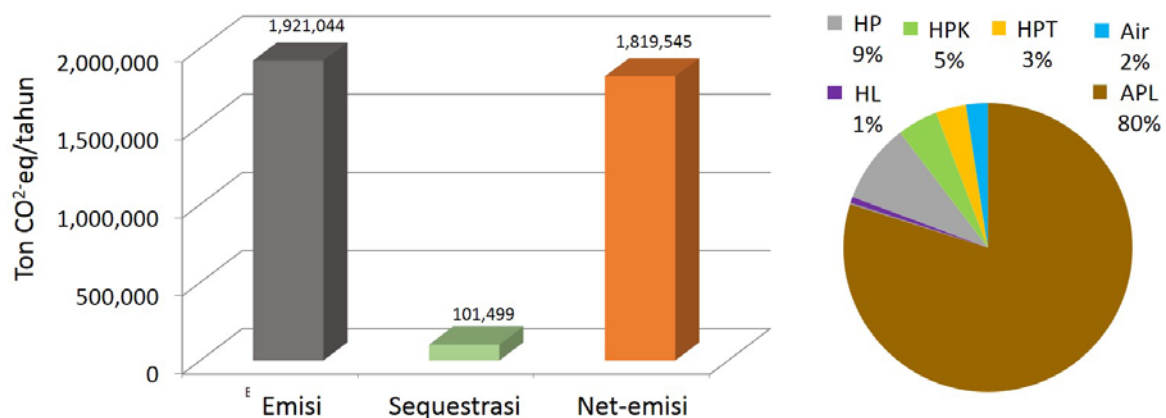
No	Tutupan penggunaan lahan	C stock (ton C/Ha)	Lokasi Sampel
1	Hutan pernah dibalak-kerapatan tinggi	181.4	Sulawesi Tengah (Buol)
2	Hutan pernah dibalak- kerapatan rendah	88.7	Sulawesi Tengah (Buol)
3	Mangrove terdegradasi	57.5	Jambi (Tanjabar)
4	Agroforestri Kompleks	80.9	Sulawesi Tengah (Buol)
5	Agroforestri kakao	65.9	Sulawesi Tengah (Buol)
6	Agroforestri cengkeh	79.3	Sulawesi Tengah (Buol)
7	Monokultur kelapa	46.1	Sulawesi Selatan dan Tenggara
8	Agroforestri kelapa	84.1	Sulawesi Tengah (Buol)
9	Perkebunan Kelapa Sawit	41.5	Sumatera, Kalimantan, Sulawesi
10	Perkebunan jati	51.2	Kalimantan Timur (Berau)
11	Semak belukar	43.0	Sumatera, Kalimantan, Sulawesi
12	Padang rumput	3.4	Kalimantan Tengah
13	Pertanian lahan kering	1.0	Sumatera
14	Sawah	1.0	Sumatera
15	Lahan yang dibuka	0.0	-
16	Pemukiman	0.0	-
17	Badan air	0.0	-

3.4 Emisi karbon tingkat lanskap

Emisi karbon merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk menilai jasa lingkungan yang disediakan oleh berbagai pengelolaan lahan di tingkat lanskap. Perubahan penggunaan/tutupan lahan mencerminkan perubahan pengelolaan lahan, yang pada akhirnya, menghasilkan perubahan cadangan

karbon. Emisi karbon dari lanskap dihitung dengan menggunakan *software REDD Abacus SP*² yang dikembangkan oleh World Agroforestry Centre (ICRAF). Diperlukan dua bagian informasi yaitu: (1) matriks perubahan penggunaan/tutupan lahan pada periode tertentu yang menyajikan informasi tentang praktik pengelolaan lahan dan luasannya, sebagai data kegiatan dan (2) data cadangan karbon untuk masing-masing penggunaan/tutupan lahan sebagai input untuk menghasilkan faktor emisi. Dengan menggunakan informasi ini, *software* menghitung faktor emisi masing-masing perubahan penggunaan/tutupan lahan, dan kemudian mengalikan faktor emisinya dengan data kegiatan (perubahan penggunaan/tutupan lahan) untuk menghasilkan emisi karbon tingkat lanskap selama periode tertentu.

Dalam penelitian ini, emisi karbon Kabupaten Buol diestimasi dengan menggunakan data tahun 2009–2014 sebagai periode dasar. Penelitian ini menemukan selama tahun 2009–2014, Emisi karbon bersih di Kabupaten Buol mencapai 1,8 juta ton CO₂-eq/tahun, sebagai hasil dari selisih antara total emisi sejumlah 1,9 juta ton CO₂-eq/tahun dan total penambatan sejumlah 101.499 ton CO₂-eq/tahun. Dengan menerapkan delineasi hutan berdasarkan zone peruntukan lahan hutan menurut Kementerian Kehutanan, penelitian ini menunjukkan bahwa sekitar 80% emisi terjadi di Areal Penggunaan Lain (APL)³, dan hingga 17% perubahan terjadi di zona Hutan Produksi (HP, HPT, dan HPK)⁴ (Gambar 13).



Gambar 13. Emisi karbon tahunan dan kontribusi masing-masing peruntukan lahan di Kabupaten Buol (2009 – 2014)

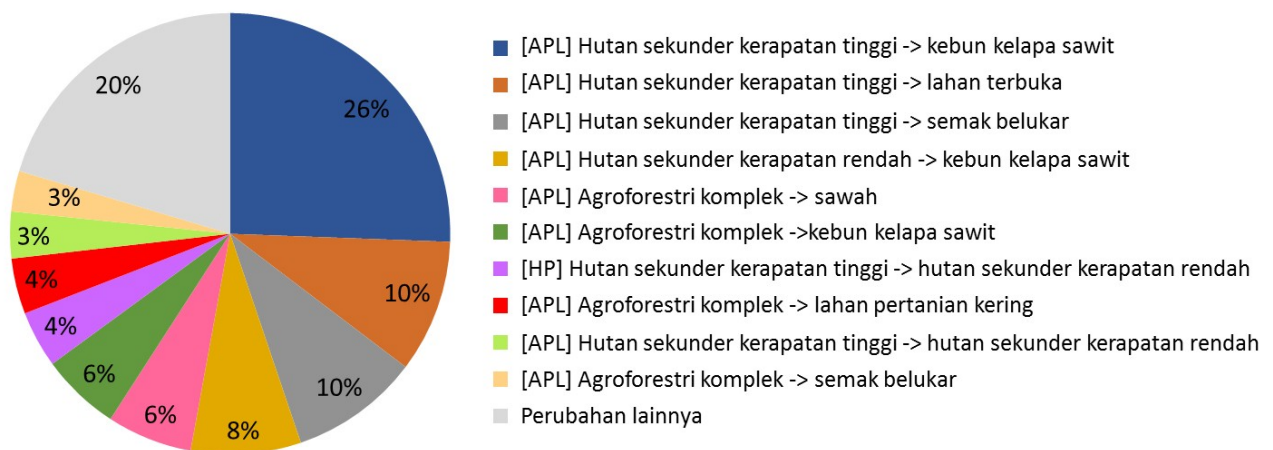
Untuk mendapatkan informasi lebih lanjut tentang kontribusi pengelolaan lahan yang mempengaruhi emisi karbon, penelitian ini menganalisa 10 tipe perubahan penggunaan/tutupan lahan yang menghasilkan emisi karbon terbesar di Kabupaten Buol (Gambar 14). Konversi dari hutan sekunder kerapatan tinggi dan rendah serta agroforestri kompleks menjadi penggunaan/tutupan lahan lain memberikan sumbangan terbesar dalam emisi karbon di Kabupaten Buol. Konversi hutan sekunder

² http://worldagroforestry.org/regions/southeast_asia/resources/redd-abacus-sp

³ Areal Penggunaan Lain (APL)

⁴ Tipe Hutan Produksi: Hutan Produksi Tetap (HP), Hutan Produksi Terbatas (HPT), dan Hutan Produksi Konversi (HPK)

kerapatan tinggi menjadi perkebunan kelapa sawit, lahan terbuka, semak belukar, dan hutan sekunder kerapatan rendah menyumbangkan 53% dari total emisi karbon bersih, sedangkan konversi agroforestri kompleks menjadi sawah, perkebunan kelapa sawit, pertanian lahan kering, dan semak belukar menyumbangkan 19% emisi bersih. Selain itu, konversi hutan sekunder kerapatan rendah menjadi perkebunan kelapa sawit menyumbangkan 8% dari emisi bersih. Sebagian besar penyumbang emisi karbon berlokasi di zona APL, kecuali konversi hutan sekunder kerapatan rendah menjadi perkebunan kelapa sawit yang terjadi di zona HP.



Gambar 14. Kontribusi konversi penggunaan/tutupan lahan terhadap emisi karbon di Kabupaten Buol (2009–2014)

4. Pembahasan

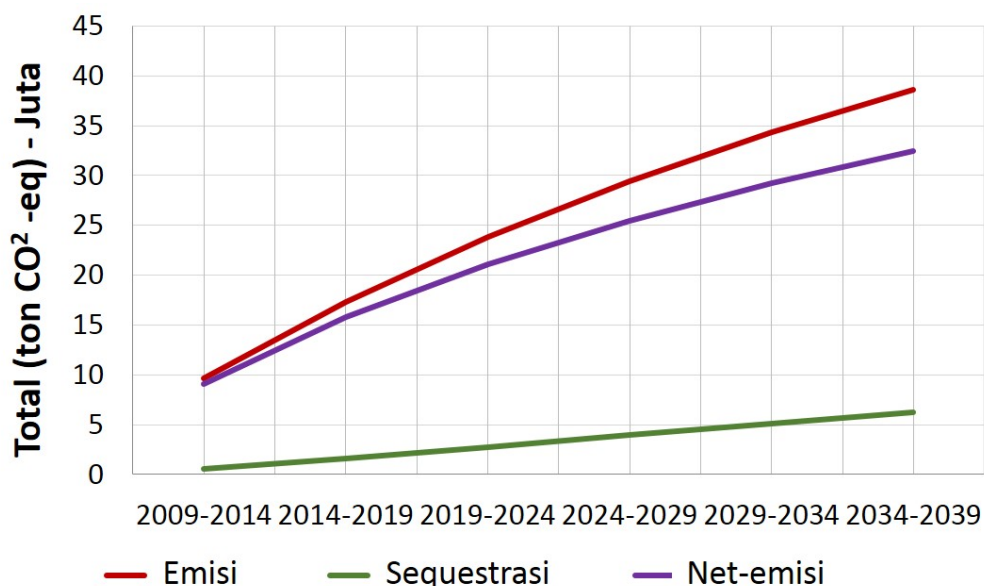
Selama tahun 1996–2014, Kabupaten Buol telah mengalami perubahan penggunaan/tutupan lahan yang signifikan, yaitu pada 23% total wilayah kabupaten. Perubahan tersebut didominasi oleh konversi dari lahan (1) hutan menjadi agroforestri kompleks (5%), (2) hutan menjadi perkebunan kelapa sawit (8%), dan (3) hutan sekunder kerapatan tinggi menjadi hutan sekunder kerapatan rendah (3%). Selain perubahan tersebut, sekitar 2% wilayah Kabupaten Buol juga mengalami deforestasi menjadi semak belukar dan lahan terbuka sebanyak 1,4%, lahan agroforestri lainnya (0,3%), dan lahan pertanian (0,3%).

Pada tahun 2014, agroforestri kompleks dan perkebunan kelapa sawit merupakan tipe penggunaan/tutupan lahan terbesar setelah hutan sekunder kerapatan tinggi. Dominasi perubahan penggunaan/tutupan lahan pada hutan menjadi perkebunan kelapa sawit dan agroforestri kompleks di Buol menunjukkan bahwa hutan menjadi sumber utama pembangunan secara ekstensif selama dua dekade terakhir.

Temuan penelitian ini telah dikonfirmasi oleh masyarakat di tiga lokasi proyek penelitian Smart Tree-Invest yang diimplementasikan World Agroforestry Centre yaitu di bagian hulu DAS, tengah DAS dan pesisir. Dari *Focus Group Discussion* (FGD) di ketiga lokasi tersebut, diperkirakan bahwa pembangunan agroforestri dan perkebunan kelapa sawit dengan mengkonversi hutan akan terus

berlanjut, begitu juga dengan perluasan sawah. Kedua tipe penggunaan/tutupan lahan ini akan masih mendominasi wilayah sampai 10 tahun yang akan datang (Tanika et al. 2015). Masyarakat di ketiga lokasi kajian juga menjelaskan bahwa perubahan penggunaan/tutupan lahan ini dipicu oleh motif sosial-ekonomi, seperti: (1) pertumbuhan penduduk, (2) produktivitas dan profitabilitas lahan, (3) penetapan lahan untuk pertanian dan perkebunan, serta (4) dorongan memperoleh pendapatan dan penghidupan.

Analisis terhadap emisi karbon akibat perubahan penggunaan lahan antara tahun 2009 – 2014 diketahui bahwa alih guna lahan dari hutan menjadi perkebunan kelapa sawit menyumbang 35% emisi bersih, dan perubahan dari hutan menjadi agroforestri kompleks hanya menyumbang 5% emisi bersih di Kabupaten Buol. Total emisi karbon yang dilepaskan ketika mengkonversi hutan menjadi perkebunan kelapa sawit adalah tujuh kali lebih besar daripada total emisi yang dilepaskan saat mengkonversi hutan menjadi agroforestri kompleks, walaupun luas total konversi dari hutan menjadi perkebunan kelapa sawit hanya 1,5 kali lebih besar daripada agroforestri kompleks. Perbedaan emisi karbon yang signifikan pada dua tipe perubahan penggunaan/tutupan lahan tersebut disebabkan karena kemampuan agroforestri kompleks dalam menyimpan karbon hampir dua kali lebih besar daripada perkebunan kelapa sawit. Kemampuan ini mempengaruhi faktor emisi dalam pembangunan agroforestri kompleks yang lebih rendah daripada faktor emisi pembangunan perkebunan kelapa sawit. Secara keseluruhan, di tingkat lanskap, kegiatan deforestasi dan degradasi hutan berkontribusi pada 77,6% total emisi bersih Kabupaten Buol antara tahun 2009-2014. Jika skenario “*business-as-usual*” (BAU) diterapkan sampai 25 tahun mendatang, maka emisi karbon bersih yang dihasilkan oleh Kabupaten Buol akan meningkat sampai 6,5 juta ton CO₂-eq/tahun, atau secara total sekitar 32,43 juta ton CO₂-eq selama tahun 2034–2039. Gambar 15 menunjukkan proyeksi emisi karbon pada 25 tahun yang akan datang sebagai akibat dari skenario BAU.



Gambar 15. Proyeksi emisi karbon pada 25 tahun yang akan datang menggunakan skenario “*business-as-usual*” (BAU)

5. Kesimpulan dan Rekomendasi

Hasil proyeksi emisi karbon pada 25 tahun yang akan datang dengan skenario *Business as Usual* (BAU) yang menerapkan pola penggunaan/tutupan lahan seperti saat ini memberikan peringatan kepada pemerintah lokal mengenai potensi Kabupaten Buol sebagai penyumbang tingginya emisi karbon, yang berdampak pada terjadinya perubahan iklim. Literatur yang ada menunjukkan bahwa perubahan iklim menyebabkan berbagai masalah lingkungan, seperti banjir dan kekeringan, peningkatan permukaan air laut, perubahan periode musim (iklim yang tidak menentu), dan perubahan kondisi ekosistem. Pada tingkat lokal, berbagai masalah lingkungan ini menyebabkan ketidakpastian waktu tanam, erosi tanah, longsor, dan berkurangnya air tawar, yang semuanya memberikan dampak negatif pada kehidupan masyarakat yang ada di Kabupaten Buol. Dari sisi *trade-off* ekonomi, pembangunan dengan ekstensifikasi lahan dapat meningkatkan nilai ekonomi lahan tersebut, bersamaan dengan profitabilitas penggunaan lahan yang biasanya lebih tinggi daripada lahan yang tidak dikelola.

Apabila mempertimbangkan *trade-off* antara mengurangi emisi dan menjaga pertumbuhan ekonomi pada sektor berbasis lahan, maka perencanaan penggunaan lahan dengan strategi pembangunan rendah emisi menjadi salah satu opsi. Pembangunan rendah emisi dapat menyeimbangkan kegiatan pembangunan yang melepaskan karbon, dengan kegiatan yang menyimpan karbon, dan di sisi lain turut menjaga pertumbuhan ekonomi Kabupaten Buol. Didasarkan pada perencanaan penggunaan lahan dengan strategi pembangunan rendah emisi, terdapat empat kegiatan utama yang relevan dengan situasi pembangunan berbasis lahan di Kabupaten Buol saat ini:

1. Memaksimalkan pemanfaatan penggunaan/tutupan lahan semak belukar dan lahan terbuka untuk pembangunan berbasis lahan yang produktif yang memberikan manfaat bagi kehidupan maupun penambatan karbon,
2. Mengembangkan sistem agroforestri yang menggabungkan pohon dan tanaman semusim yang dapat meningkatkan cadangan karbon di lahan pertanian dan juga memberikan manfaat bagi kehidupan masyarakat lokal,
3. Menghindari konversi hutan menjadi ekstensifikasi pembangunan berbasis lahan, seperti perkebunan kelapa sawit, untuk mengurangi emisi dari deforestasi and degradasi hutan, dan
4. Melindungi wilayah cadangan karbon tinggi atau *high carbon stock* (HCS) dan nilai konservasi tinggi atau *high conservation value* (HCV) yang menyediakan jasa lingkungan bagi masyarakat dan ekosistem.

Sebagai penutup, dalam memastikan komitmen para pemangku kepentingan untuk menerapkan strategi ini, pemerintah lokal harus mengintegrasikan strategi ini ke dalam Rencana Pembangunan Kabupaten dan Rencana Spasial Kabupaten, sehingga implementasinya juga dapat dimonitor dan dievaluasi sebagai bagian dari agenda kabupaten.

Referensi

- Chave J, Adalo C, Brown S, Cairns MA, Chambers JQ, Eamus D, Folster H, Framord F, Higuchi N, Kira T, Lescure JP, Nelson BW, Ogawa H, Piug H, Riera B and Yakamura T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145: 87-99. DOI 10.1007/s00442-005-0100-x
- Congalton RG and Green K. 2009. *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices (Second Edition)*. Florida, United States of America. Taylor & Francis Group, LLC. ISBN-13: 978-1-4200-5512-2.
- Dewi S, Ekadinata A, Galudra G, Agung P and Johana F. 2011. *LUWES: Land use planning for Low Emission Development Strategy*. Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia Regional Program. 47 p.
- Dewi S and Ekadinata A. 2013. *Analysis of land-use and -cover trajectory (ALUCT)*. In: van Noordwijk M, Lusiana B, Leimona B, Dewi S and Wulandari D (eds). *Negotiation-support toolkit for learning landscapes*. Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia Regional Program. P. 110-117. http://regions/southeast_asia/publicationsdo=view_pub_detail&pub_no=BC0365-13-10.
- Hairiah K, Dewi S, Agus F, Velarde S, Ekadinata A, Rahayu S and van Noordwijk M. 2011. *Measuring Carbon Stocks Across Land Use Systems: A Manual*. Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia Regional Program. 154 pages.
- Statistics of Buol Regency. 2015. *Buol Regency in Figures 2015*. Buol, Indonesia. Statistics of Buol Regency, 183 pages. ISSN: 979.480.634.12
- Tanika L, Amaruzaman S, Lusiana B, Dwiyantri E, Rahayu S, Wijaya C. 2015. *Cluster Profile Smart Tree-invest sites in Buol regency, Indonesia*. Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre (ICRAF) - Southeast Asia Regional Program. 24p

Lampiran

Lampiran 1. Daftar Citra Landsat

Dataset	Path/Row	Data	Tanggal Perolehan	Resolusi Spasial	Sumber
1996	113/059	Landsat 4 TM	Januari 10, 1991	30 meter	USGS-NASA
	114/059	Landsat 5 TM	Agustus 2, 1996		
2000	113/059	Landsat 7 ETM+	Januari 17, 2000	30 meter	USGS-NASA
	114/059	Landsat 5 TM	Juli 12, 2000		
2005	113/059	Landsat 7 ETM+	Mei 21, 2004	30 meter	USGS-NASA
	114/059	Landsat 7 ETM+	September 20, 2005 Oktober 22, 2005		
2009	113/059	Landsat 7 ETM+	Oktober 13, 2010	30 meter	USGS-NASA
	114/059	Landsat 7 ETM+	Januari 18, 2009 Mei 10, 2009		
2014	113/059	LCDM 8 OLI	Maret 20, 2013	30 meter	USGS-NASA
	114/059	LCDM 8 OLI	Januari 14, 2014 Februari 9, 2014		

Lampiran 2. Ringkasan penilaian akurasi penggunaan/tutupan lahan 2014

No.	Penggunaan/tutupan lahan	Total Referensi	Total Terklasifikasi	Nomor yang Benar	Akurasi pembuat	Akurasi pengguna
1	Hutan pernah dibalak - Kerapatan tinggi	14	14	14	100%	88%
2	Hutan pernah dibalak - Kerapatan rendah	3	3	3	100%	75%
3	Mangrove terdegradasi	4	4	4	100%	100%
4	Agroforestri Kompleks	35	35	30	86%	83%
5	Agroforestri kakao	15	15	12	80%	100%
6	Agroforestri cengkeh	7	7	5	71%	100%
7	Monokultur kelapa	6	6	6	100%	75%
8	Agroforestri kelapa	6	6	4	67%	100%
9	Perkebunan Kelapa Sawit	18	18	17	94%	68%
10	Perkebunan jati	4	4	2	50%	100%
11	Semak belukar	11	11	8	73%	62%
12	Padang rumput	-	-	-	-	-
13	Pertanian lahan kering	15	15	14	93%	93%
14	Sawah	13	13	10	77%	91%
15	Lahan yang dibuka	1	1	0	0%	0%
16	Pemukiman	35	35	29	83%	94%
17	Badan air	12	12	11	92%	92%
Total		199	199	169		

akurasi keseluruhan 2014 = 84,92%

akurasi Kappa 2014 = 83,23%

WORKING PAPERS WITH DOIs

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.
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 shared 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. Towards mainstreaming climate change in grassland management policies and practices on the Tibetan Plateau
68. An Assessment of the Potential for Carbon Finance in Rangelands
69. ECA Trade-offs Among Ecosystem Services in the Lake Victoria Basin.
69. The last remnants of mega biodiversity in West Java and Banten: an in-depth exploration of RaTA (Rapid Land Tenure Assessment) in Mount Halimun-Salak National Park Indonesia
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 if 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 bengkuntat: 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 (Chinese – English abstract)
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

2010

96. Agroforestry education in the Philippines: status report from the Southeast Asian Network for Agroforestry Education (SEANAFE)
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. Komoditisasi atau koinvestasi jasa lingkungan: skema imbal jasa lingkungan program peduli sungai di DAS Way Besai, Lampung, Indonesia
105. Improving smallholders' rubber quality in Lubuk Beringin, Bungo district, Jambi province, Indonesia: an initial analysis of the financial and social benefits
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
<http://dx.doi.org/10.5716/WP10340.PDF>
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?
120. Estimasi Karbon Tersimpan di Lahan-lahan Pertanian di DAS Konto, Jawa Timur
121. Implementasi Kaji Cepat Hidrologi (RHA) di Hulu DAS Brantas, Jawa Timur.
<http://dx.doi.org/10.5716/WP10338.PDF>
122. Kaji Cepat Hidrologi di Daerah Aliran Sungai Krueng Peusangan, NAD, Sumatra
<http://dx.doi.org/10.5716/WP10337.PDF>
123. A Study of Rapid Hydrological Appraisal in the Krueng Peusangan Watershed, NAD, Sumatra.
<http://dx.doi.org/10.5716/WP10339.PDF>

2011

124. An Assessment of farm timber value chains in Mt Kenya area, Kenya
125. A Comparative financial analysis of current land use systems and implications for the adoption of improved agroforestry in the East Usambaras, Tanzania
126. Agricultural monitoring and evaluation systems

127. Challenges and opportunities for collaborative landscape governance in the East Usambara Mountains, Tanzania
128. Transforming Knowledge to Enhance Integrated Natural Resource Management Research, Development and Advocacy in the Highlands of Eastern Africa
<http://dx.doi.org/10.5716/WP11084.PDF>
129. Carbon-forestry projects in the Philippines: potential and challenges The Mt Kitanglad Range forest-carbon development <http://dx.doi.org/10.5716/WP11054.PDF>
130. Carbon forestry projects in the Philippines: potential and challenges. The Arakan Forest Corridor forest-carbon project. <http://dx.doi.org/10.5716/WP11055.PDF>
131. Carbon-forestry projects in the Philippines: potential and challenges. The Laguna Lake Development Authority's forest-carbon development project.
<http://dx.doi.org/10.5716/WP11056.PDF>
132. Carbon-forestry projects in the Philippines: potential and challenges. The Quirino forest-carbon development project in Sierra Madre Biodiversity Corridor
<http://dx.doi.org/10.5716/WP11057.PDF>
133. Carbon-forestry projects in the Philippines: potential and challenges. The Ikalahan Ancestral Domain forest-carbon development <http://dx.doi.org/10.5716/WP11058.PDF>
134. The Importance of Local Traditional Institutions in the Management of Natural Resources in the Highlands of Eastern Africa. <http://dx.doi.org/10.5716/WP11085.PDF>
135. Socio-economic assessment of irrigation pilot projects in Rwanda.
<http://dx.doi.org/10.5716/WP11086.PDF>
136. Performance of three rambutan varieties (*Nephelium lappaceum* L.) on various nursery media.
<http://dx.doi.org/10.5716/WP11232.PDF>
137. Climate change adaptation and social protection in agroforestry systems: enhancing adaptive capacity and minimizing risk of drought in Zambia and Honduras
<http://dx.doi.org/10.5716/WP11269.PDF>
138. Does value chain development contribute to rural poverty reduction? Evidence of asset building by smallholder coffee producers in Nicaragua
<http://dx.doi.org/10.5716/WP11271.PDF>
139. Potential for biofuel feedstock in Kenya. <http://dx.doi.org/10.5716/WP11272.PDF>
140. Impact of fertilizer trees on maize production and food security in six districts of Malawi.
<http://dx.doi.org/10.5716/WP11281.PDF>

2012

141. Fortalecimiento de capacidades para la gestión del Santuario Nacional Pampa Hermosa: Construyendo las bases para un manejo adaptativo para el desarrollo local. Memorias del Proyecto. <http://dx.doi.org/10.5716/WP12005.PDF>
142. Understanding rural institutional strengthening: A cross-level policy and institutional framework for sustainable development in Kenya <http://dx.doi.org/10.5716/WP12012.PDF>
143. Climate change vulnerability of agroforestry <http://dx.doi.org/10.5716/WP16722.PDF>
144. Rapid assesment of the inner Niger delta of Mali <http://dx.doi.org/10.5716/WP12021.PDF>
145. Designing an incentive program to reduce on-farm deforestation in the East Usambara Mountains, Tanzania <http://dx.doi.org/10.5716/WP12048.PDF>
146. Extent of adoption of conservation agriculture and agroforestry in Africa: the case of Tanzania, Kenya, Ghana, and Zambia <http://dx.doi.org/10.5716/WP12049.PDF>

147. Policy incentives for scaling up conservation agriculture with trees in Africa: the case of Tanzania, Kenya, Ghana and Zambia <http://dx.doi.org/10.5716/WP12050.PDF>
148. Commoditized or co-invested environmental services? Rewards for environmental services scheme: River Care program Way Besai watershed, Lampung, Indonesia. <http://dx.doi.org/10.5716/WP12051.PDF>
149. Assessment of the headwaters of the Blue Nile in Ethiopia. <http://dx.doi.org/10.5716/WP12160.PDF>
150. Assessment of the uThukela Watershed, Kwazulu. <http://dx.doi.org/10.5716/WP12161.PDF>
151. Assessment of the Oum Zessar Watershed of Tunisia. <http://dx.doi.org/10.5716/WP12162.PDF>
152. Assessment of the Ruwenzori Mountains in Uganda. <http://dx.doi.org/10.5716/WP12163.PDF>
153. History of agroforestry research and development in Viet Nam. Analysis of research opportunities and gaps. <http://dx.doi.org/10.5716/WP12052.PDF>
154. REDD+ in Indonesia: a Historical Perspective. <http://dx.doi.org/10.5716/WP12053.PDF>
155. Agroforestry and Forestry in Sulawesi series: Livelihood strategies and land use system dynamics in South Sulawesi <http://dx.doi.org/10.5716/WP12054.PDF>
156. Agroforestry and Forestry in Sulawesi series: Livelihood strategies and land use system dynamics in Southeast Sulawesi. <http://dx.doi.org/10.5716/WP12055.PDF>
157. Agroforestry and Forestry in Sulawesi series: Profitability and land-use systems in South and Southeast Sulawesi. <http://dx.doi.org/10.5716/WP12056.PDF>
158. Agroforestry and Forestry in Sulawesi series: Gender, livelihoods and land in South and Southeast Sulawesi <http://dx.doi.org/10.5716/WP12057.PDF>
159. Agroforestry and Forestry in Sulawesi series: Agroforestry extension needs at the community level in AgFor project sites in South and Southeast Sulawesi, Indonesia. <http://dx.doi.org/10.5716/WP12058.PDF>
160. Agroforestry and Forestry in Sulawesi series: Rapid market appraisal of agricultural, plantation and forestry commodities in South and Southeast Sulawesi. <http://dx.doi.org/10.5716/WP12059.PDF>

2013

161. Diagnosis of farming systems in the Agroforestry for Livelihoods of Smallholder farmers in Northwestern Viet Nam project <http://dx.doi.org/10.5716/WP13033.PDF>
162. Ecosystem vulnerability to climate change: a literature review. <http://dx.doi.org/10.5716/WP13034.PDF>
163. Local capacity for implementing payments for environmental services schemes: lessons from the RUPES project in northeastern Viet Nam <http://dx.doi.org/10.5716/WP13046.PDF>
164. Seri Agroforestri dan Kehutanan di Sulawesi: Agroforestri dan Kehutanan di Sulawesi: Strategi mata pencaharian dan dinamika sistem penggunaan lahan di Sulawesi Selatan <http://dx.doi.org/10.5716/WP13040.PDF>
165. Seri Agroforestri dan Kehutanan di Sulawesi: Mata pencaharian dan dinamika sistem penggunaan lahan di Sulawesi Tenggara <http://dx.doi.org/10.5716/WP13041.PDF>
166. Seri Agroforestri dan Kehutanan di Sulawesi: Profitabilitas sistem penggunaan lahan di Sulawesi Selatan dan Sulawesi Tenggara <http://dx.doi.org/10.5716/WP13042.PDF>
167. Seri Agroforestri dan Kehutanan di Sulawesi: Gender, mata pencarian dan lahan di Sulawesi Selatan dan Sulawesi Tenggara <http://dx.doi.org/10.5716/WP13043.PDF>

168. Seri Agroforestri dan Kehutanan di Sulawesi: Kebutuhan penyuluhan agroforestri pada tingkat masyarakat di lokasi proyek AgFor di Sulawesi Selatan dan Tenggara, Indonesia.
<http://dx.doi.org/10.5716/WP13044.PDF>
169. Seri Agroforestri dan Kehutanan di Sulawesi: Laporan hasil penilaian cepat untuk komoditas pertanian, perkebunan dan kehutanan di Sulawesi Selatan dan Tenggara
<http://dx.doi.org/10.5716/WP13045.PDF>
170. Agroforestry, food and nutritional security <http://dx.doi.org/10.5716/WP13054.PDF>
171. Stakeholder Preferences over Rewards for Ecosystem Services: Implications for a REDD+ Benefit Distribution System in Viet Nam <http://dx.doi.org/10.5716/WP13057.PDF>
172. Payments for ecosystem services schemes: project-level insights on benefits for ecosystems and the rural poor <http://dx.doi.org/10.5716/WP13001.PDF>
173. Good practices for smallholder teak plantations: keys to success
<http://dx.doi.org/10.5716/WP13246.PDF>
174. Market analysis of selected agroforestry products in the Vision for Change Project intervention Zone, Côte d'Ivoire <http://dx.doi.org/10.5716/WP13249.PDF>
175. Rattan futures in Katingan: why do smallholders abandon or keep their gardens in Indonesia's 'rattan district'? <http://dx.doi.org/10.5716/WP13251.PDF>
176. Management along a gradient: the case of Southeast Sulawesi's cacao production landscapes
<http://dx.doi.org/10.5716/WP13265.PDF>

2014

177. Are trees buffering ecosystems and livelihoods in agricultural landscapes of the Lower Mekong Basin? Consequences for climate-change adaptation. <http://dx.doi.org/10.5716/WP14047.PDF>
178. Agroforestry, livestock, fodder production and climate change adaptation and mitigation in East Africa: issues and options. <http://dx.doi.org/10.5716/WP14050.PDF>
179. Trees on farms: an update and reanalysis of agroforestry's global extent and socio-ecological characteristics. <http://dx.doi.org/10.5716/WP14064.PDF>
180. Beyond reforestation: an assessment of Vietnam's REDD+ readiness.
<http://dx.doi.org/10.5716/WP14097.PDF>
181. Farmer-to-farmer extension in Kenya: the perspectives of organizations using the approach.
<http://dx.doi.org/10.5716/WP14380.PDF>
182. Farmer-to-farmer extension in Cameroon: a survey of extension organizations.
<http://dx.doi.org/10.5716/WP14383.PDF>
183. Farmer-to-farmer extension approach in Malawi: a survey of organizations: a survey of organizations <http://dx.doi.org/10.5716/WP14391.PDF>
184. Seri Agroforestri dan Kehutanan di Sulawesi: Kuantifikasi jasa lingkungan air dan karbon pola agroforestri pada hutan rakyat di wilayah sungai Jeneberang
185. Options for Climate-Smart Agriculture at Kaptumo Site in Kenya<http://dx.doi.org/10.5716/WP14394.PDF>

2015

186. Agroforestry for Landscape Restoration and Livelihood Development in Central Asia
<http://dx.doi.org/10.5716/WP14143.PDF>

187. "Projected Climate Change and Impact on Bioclimatic Conditions in the Central and South-Central Asia Region" <http://dx.doi.org/10.5716/WP14144.PDF>
188. Land Cover Changes, Forest Loss and Degradation in Kutai Barat, Indonesia. <http://dx.doi.org/10.5716/WP14145.PDF>
189. The Farmer-to-Farmer Extension Approach in Malawi: A Survey of Lead Farmers. <http://dx.doi.org/10.5716/WP14152.PDF>
190. Evaluating indicators of land degradation and targeting agroforestry interventions in smallholder farming systems in Ethiopia. <http://dx.doi.org/10.5716/WP14252.PDF>
191. Land health surveillance for identifying land constraints and targeting land management options in smallholder farming systems in Western Cameroon
192. Land health surveillance in four agroecologies in Malawi
193. Cocoa Land Health Surveillance: an evidence-based approach to sustainable management of cocoa landscapes in the Nawa region, South-West Côte d'Ivoire <http://dx.doi.org/10.5716/WP14255.PDF>
194. Situational analysis report: Xishuangbanna autonomous Dai Prefecture, Yunnan Province, China. <http://dx.doi.org/10.5716/WP14255.PDF>
195. Farmer-to-farmer extension: a survey of lead farmers in Cameroon. <http://dx.doi.org/10.5716/WP15009.PDF>
196. From transition fuel to viable energy source Improving sustainability in the sub-Saharan charcoal sector <http://dx.doi.org/10.5716/WP15011.PDF>
197. Mobilizing Hybrid Knowledge for More Effective Water Governance in the Asian Highlands <http://dx.doi.org/10.5716/WP15012.PDF>
198. Water Governance in the Asian Highlands <http://dx.doi.org/10.5716/WP15013.PDF>
199. Assessing the Effectiveness of the Volunteer Farmer Trainer Approach in Dissemination of Livestock Feed Technologies in Kenya vis-à-vis other Information Sources <http://dx.doi.org/10.5716/WP15022.PDF>
200. The rooted pedon in a dynamic multifunctional landscape: Soil science at the World Agroforestry Centre <http://dx.doi.org/10.5716/WP15023.PDF>
201. Characterising agro-ecological zones with local knowledge. Case study: Huong Khe district, Ha Tinh, Viet Nam <http://dx.doi.org/10.5716/WP15050.PDF>
202. Looking back to look ahead: Insight into the effectiveness and efficiency of selected advisory approaches in the dissemination of agricultural technologies indicative of Conservation Agriculture with Trees in Machakos County, Kenya. <http://dx.doi.org/10.5716/WP15065.PDF>
203. Pro-poor Biocarbon Projects in Eastern Africa Economic and Institutional Lessons. <http://dx.doi.org/10.5716/WP15022.PDF>
204. Projected climate change impacts on climatic suitability and geographical distribution of banana and coffee plantations in Nepal. <http://dx.doi.org/10.5716/WP15294.PDF>
205. Agroforestry and Forestry in Sulawesi series: Smallholders' coffee production and marketing in Indonesia. A case study of two villages in South Sulawesi Province. <http://dx.doi.org/10.5716/WP15690.PDF>
206. Mobile phone ownership and use of short message service by farmer trainers: a case study of Olkalou and Kaptumo in Kenya <http://dx.doi.org/10.5716/WP15691.PDF>
207. Associating multivariate climatic descriptors with cereal yields: a case study of Southern Burkina Faso <http://dx.doi.org/10.5716/WP15273.PDF>
208. Preferences and adoption of livestock feed practices among farmers in dairy management groups in Kenya <http://dx.doi.org/10.5716/WP15675.PDF>

209. Scaling up climate-smart agriculture: lessons learned from South Asia and pathways for success <http://dx.doi.org/10.5716/WP15720.PDF>
210. Agroforestry and Forestry in Sulawesi series: Local perceptions of forest ecosystem services and collaborative formulation of reward mechanisms in South and Southeast Sulawesi <http://dx.doi.org/10.5716/WP15721.PDF>
211. Potential and challenges in implementing the co-investment of ecosystem services scheme in Buol District, Indonesia. <http://dx.doi.org/10.5716/WP15722.PDF>
212. Tree diversity and its utilization by the local community in Buol District, Indonesia <http://dx.doi.org/10.5716/WP15723.PDF>
213. Vulnerability of smallholder farmers and their preferences on farming practices in Buol District, Indonesia <http://dx.doi.org/10.5716/WP15724.PDF>
214. Dynamics of Land Use/Cover Change and Carbon Emission in Buol District, Indonesia <http://dx.doi.org/10.5716/WP15725.PDF>
215. Gender perspective in smallholder farming practices in Lantapan, Phillippines. <http://dx.doi.org/10.5716/WP15726.PDF>
216. Vulnerability of smallholder farmers in Lantapan, Bukidnon. <http://dx.doi.org/10.5716/WP15727.PDF>
217. Vulnerability and adaptive capacity of smallholder farmers in Ho Ho Sub-watershed, Ha Tinh Province, Vietnam <http://dx.doi.org/10.5716/WP15728.PDF>
218. Local Knowledge on the role of trees to enhance livelihoods and ecosystem services in northern central Vietnam <http://dx.doi.org/10.5716/WP15729.PDF>
219. Land-use/cover change in Ho Ho Sub-watershed, Ha Tinh Province, Vietnam. <http://dx.doi.org/10.5716/WP15730.PDF>

2016

220. Agroforestry and Forestry in Sulawesi series: Evaluation of the Agroforestry Farmer Field Schools on agroforestry management in South and Southeast Sulawesi, Indonesia. <http://dx.doi.org/10.5716/WP16002.PDF>
221. Farmer-to-farmer extension of livestock feed technologies in Rwanda: A survey of volunteer farmer trainers and organizations. <http://dx.doi.org/10.5716/WP16005.PDF>
222. Projected Climate Change Impact on Hydrology, Bioclimatic Conditions, and Terrestrial Ecosystems in the Asian Highlands <http://dx.doi.org/10.5716/WP16006.PDF>
223. Adoption of Agroforestry and its impact on household food security among farmers in Malawi <http://dx.doi.org/10.5716/WP16013.PDF>
224. Agroforestry and Forestry in Sulawesi series: Information channels for disseminating innovative agroforestry practices to villages in Southern Sulawesi, Indonesia <http://dx.doi.org/10.5716/WP16034.PDF>
225. Agroforestry and Forestry in Sulawesi series: Unravelling rural migration networks. Land-tenure arrangements among Bugis migrant communities in Southeast Sulawesi. <http://dx.doi.org/10.5716/WP16035.PDF>
226. Agroforestry and Forestry in Sulawesi series: Women's participation in agroforestry: more benefit or burden? A gendered analysis of Gorontalo Province. <http://dx.doi.org/10.5716/WP16036.PDF>
227. Kajian Kelayakan dan Pengembangan Desain Teknis Rehabilitasi Pesisir di Sulawesi Tengah. <http://dx.doi.org/10.5716/WP16037.PDF>
228. Selection of son tra clones in North West Vietnam. <http://dx.doi.org/10.5716/WP16038.PDF>

229. Growth and fruit yield of seedlings, cuttings and grafts from selected son tra trees in Northwest Vietnam <http://dx.doi.org/10.5716/WP16046.PDF>
230. Gender-Focused Analysis of Poverty and Vulnerability in Yunnan, China <http://dx.doi.org/10.5716/WP16071.PDF>
231. Seri Agroforestri dan Kehutanan di Sulawesi: Kebutuhan Penyuluhan Agroforestri untuk Rehabilitasi Lahan di Sumba Timur, Nusa Tenggara Timur, Indonesia. <http://dx.doi.org/10.5716/WP16077.PDF>
232. Agroforestry and Forestry in Sulawesi series: Agroforestry extension needs for land rehabilitation in East Sumba, East Nusa Tenggara, Indonesia. <http://dx.doi.org/10.5716/WP16078.PDF>
233. Central hypotheses for the third agroforestry paradigm within a common definition. <http://dx.doi.org/10.5716/WP16079.PDF>
234. Assessing smallholder farmers' interest in shade coffee trees: The Farming Systems of Smallholder Coffee Producers in the Gisenyi Area, Rwanda: a participatory diagnostic study. <http://dx.doi.org/10.5716/WP16104.PDF>
235. Review of agricultural market information systems in |sub-Saharan Africa. <http://dx.doi.org/10.5716/WP16110.PDF>
236. Vision and road map for establishment of a protected area in Lag Badana, Lower Jubba, Somalia. <http://dx.doi.org/10.5716/WP16127.PDF>
237. Replicable tools and frameworks for Bio-Carbon Development in West Africa. <http://dx.doi.org/10.5716/WP16138.PDF>
238. Existing Conditions, Challenges and Needs in the Implementation of Forestry and Agroforestry Extension in Indonesia. <http://dx.doi.org/10.5716/WP16141.PDF>
239. Situasi Terkini, Tantangan dan Kebutuhan Pelaksanaan Penyuluhan Kehutanan dan Agroforestri di Indonesia. <http://dx.doi.org/10.5716/WP16142.PDF>
240. The national agroforestry policy of India: experiential learning in development and delivery phases. <http://dx.doi.org/10.5716/WP16143.PDF>
241. Agroforestry and Forestry in Sulawesi series: Livelihood strategies and land-use system dynamics in Gorontalo. <http://dx.doi.org/10.5716/WP16157.PDF>
242. Seri Agroforestri dan Kehutanan di Sulawesi: Strategi mata pencaharian dan dinamika sistem penggunaan lahan di Gorontalo. <http://dx.doi.org/10.5716/WP16158.PDF>
243. Ruang, Gender dan Kualitas Hidup Manusia: Sebuah studi Gender pada komunitas perantau dan pengelola kebun di Jawa Barat. <http://dx.doi.org/10.5716/WP16159.PDF>
244. Gendered Knowledge and perception in managing grassland areas in East Sumba, Indonesia. <http://dx.doi.org/10.5716/WP16160.PDF>
245. Pengetahuan dan persepsi masyarakat pengelola padang aavana, Sebuah Kajian Gender di Sumba Timur. <http://dx.doi.org/10.5716/WP16161.PDF>
246. Dinamika Pengambilan Keputusan pada komunitas perantau dan pengelola kebun di Jawa Barat. <http://dx.doi.org/10.5716/WP16162.PDF>
247. Gaharu (eaglewood) domestication: Biotechnology, markets and agroforestry options. <http://dx.doi.org/10.5716/WP16163.PDF>
248. Marine habitats of the Lamu-Kiunga coast: an assessment of biodiversity value, threats and opportunities. <http://dx.doi.org/10.5716/WP16167.PDF>
249. Assessment of the biodiversity in terrestrial landscapes of the Witu protected area and surroundings, Lamu County Kenya. <http://dx.doi.org/10.5716/WP16172.PDF>
250. An ecosystem services perspective on benefits that people derive from biodiversity of Coastal forests in Lamu County, Kenya <http://dx.doi.org/10.5716/WP16173.PDF>

251. Assessment of the biodiversity in terrestrial and marine landscapes of the proposed Laga Badana National Park and surrounding areas, Jubaland, Somalia.
<http://dx.doi.org/10.5716/WP16174.PDF>

2017

252. Preferensi Petani terhadap Topik Penyuluhan dan Penyebaran Informasi Agroforestri di Indonesia. <http://dx.doi.org/10.5716/WP16181.PDF>
253. Seri Agroforestri dan Kehutanan di Sulawesi: Keanekaragaman hayati jenis pohon pada hutan rakyat agroforestri di DAS Balangtieng, Sulawesi Selatan.
<http://dx.doi.org/10.5716/WP16182.PDF>
254. Potensi dan Tantangan dalam Pengembangan Skema Ko-Investasi Jasa Lingkungan di Kabupaten Buol, Indonesia. <http://dx.doi.org/10.5716/WP17008.PDF>
255. Keragaman Jenis Pohon dan Pemanfaatannya oleh Masyarakat di Kabupaten Buol, Indonesia. <http://dx.doi.org/10.5716/WP17009.PDF>
256. Kerentanan dan preferensi sistem pertanian petani di Kabupaten Buol, Indonesia. <http://dx.doi.org/10.5716/WP17010.PDF>
257. Dinamika Perubahan Penggunaan/Tutupan Lahan Serta Cadangan Karbon di Kabupaten Buol, Indonesia. <http://dx.doi.org/10.5716/WP17011.PDF>

The World Agroforestry Centre is an autonomous, non-profit research organization whose vision is a rural transformation in the developing world as smallholder households increase their use of trees in agricultural landscapes to improve food security, nutrition, income, health, shelter, social cohesion, energy resources and environmental sustainability. The Centre generates science-based knowledge about the diverse roles that trees play in agricultural landscapes, and uses its research to advance policies and practices, and their implementation that benefit the poor and the environment. It aims to ensure that all this is achieved by enhancing the quality of its science work, increasing operational efficiency, building and maintaining strong partnerships, accelerating the use and impact of its research, and promoting greater cohesion, interdependence and alignment within the organization.



United Nations Avenue, Gigiri • PO Box 30677 • Nairobi, 00100 • Kenya
Telephone: +254 20 7224000 or via USA +1 650 833 6645
Fax: +254 20 7224001 or via USA +1 650 833 6646
Email: worldagroforestry@cgiar.org • www.worldagroforestry.org

Southeast Asia Regional Program • Sindang Barang • Bogor 16680
PO Box 161 • Bogor 16001 • Indonesia
Telephone: +62 251 8625415 • Fax: +62 251 8625416
• Email: icraf-indonesia@cgiar.org
www.worldagroforestry.org/region/southeast-asia
blog.worldagroforestry.org