

ADAPTASI DAN MITIGASI PEMANASAN GLOBAL: Bisakah Agroforestri mengurangi resiko longsor dan emisi gas rumah kaca?¹

Kurniatun Hairiah, Widiyanto dan Didik Suprayogo

Universitas Brawijaya, Fakultas Pertanian, Jurusan Tanah. Malang 65145.

Telp: 0341-564355, Email: K.hairiah@cgiar.org atau Safods.unibraw@telkom.net

ABSTRAK

Pertanian merupakan salah satu aktivitas manusia yang paling rentan terhadap perubahan iklim. Petani di daerah tropis paling beresiko tinggi karena SDL yang dimiliki rendah. Adanya perubahan iklim global diduga menyebabkan cuaca ekstrim akan lebih sering terjadi, sehingga bencana banjir dan longsor dapat terjadi sewaktu-waktu. Peringatan dini kepada masyarakat sangat diperlukan untuk mengurangi jumlah kerugian dan korban nyawa.

Pada daerah pegunungan berlereng terjal atau pada tebing-tebing sungai, resiko terjadinya longsor dangkal dapat dikurangi dengan meningkatkan keragaman jenis dan kerapatan pohon yang ditanam, seperti sistem agroforestri. Bagian pohon yang berperan penting dalam mengurangi resiko terjadinya longsor adalah akar, terjadi melalui 2 mekanisme: (1) Mencengkeram tanah di lapisan permukaan (0-5 cm) oleh akar pohon yang menyebar horisontal; (2) Menopang tegaknya batang, akar berkembang ke bawah sebagai “jangkar” menopang kuat batang pohon. Kedua fungsi tersebut harus ada di setiap lahan melalui pengelolaan keragaman pohon yang ditanam. Agroforestri juga berperan penting dalam mitigasi emisi gas rumah kaca (GRK) ke atmosfer melalui perannya: (1) Menyerap CO₂ di atmosfer lewat fotosintesis dan menimbunnya sebagai karbohidrat dalam biomasa untuk waktu yang panjang, (2) Mempertahankan kesuburan tanah melalui daunnya yang gugur ke tanah maksimum sekitar 9 ton/ha/th, sehingga memperbaiki pertumbuhan pohon dan tanaman lain yang tumbuh di atasnya. Hal tersebut penting untuk menunjang kelangsungan fotosintesis, berarti meningkatkan penyerapan CO₂ di atmosfer. Isi dari makalah ini difokuskan pada 3 hal: (1) dampak pemanasan global terhadap layanan lingkungan, (2) upaya pengelolaan lahan yang adaptif terhadap pemanasan global khususnya dalam mengurangi bencana longsor, dan sekaligus dapat mengurangi GRK, (3) Macam-macam pengetahuan yang dibutuhkan di perguruan tinggi.

Kata kunci: Pemanasan global, agroforestri, cadangan karbon, longsor, erosi

1. PENDAHULUAN

Suhu udara bumi sejak 1861 telah meningkat 0.6°C terutama disebabkan oleh aktifitas manusia yang menambah emisi gas-gas rumah kaca ke atmosfer (IPCC, 2001). IPCC memprediksi pada tahun 2100 akan terjadi peningkatan suhu rata-rata global meningkat 1.4 – 5.8°C. Dilaporkan pula bahwa suhu bumi akan terus meningkat walaupun seandainya konsentrasi GRK di atmosfer tidak akan bertambah lagi di tahun 2100, karena konsentrasi gas rumah kaca (disingkat GRK terutama terdiri dari CO₂, CH₄ dan N₂O di atmosfer sudah cukup besar dan masa tinggalnya (*life time*) cukup lama, bahkan bisa sampai seratus tahun. Dilaporkan oleh BMG bahwa di Indonesia telah terjadi kenaikan suhu rata-rata tahunan antara 0.2 – 1.0°C, yang terjadi antara tahun 1970 hingga 2000 sehingga mengakibatkan terjadinya peningkatan rata-rata curah hujan bulanan sekitar 12-18% dari jumlah hujan

¹ Kumpulan makalah (bunga rampai) INAFE. Pendidikan Agroforestri sebagai Strategi Menghadapi Perubahan Iklim Global. UNS, Surakarta, 3-5 Maret 2008. Hal 42-62.

sebelumnya. Namun demikian informasi terjadinya peningkatan frekuensi cuaca ekstrim per tahunnya jauh lebih penting dari pada hanya informasi peningkatan jumlah curah hujan tahunan (Santoso and Forner, 2006). Hal tersebut dikarenakan kondisi cuaca ekstrim menyebabkan terjadinya bencana banjir dan longsor yang terjadi sewaktu-waktu, sehingga peringatan dini kepada masyarakat sangat diperlukan untuk mengurangi jumlah kerugian dan korban nyawa.

Guna menangani masalah pemanasan global yang memang telah terjadi, maka arah penelitian pengelolaan sumberdaya lahan bergeser kepada upaya ADAPTASI terhadap perubahan iklim global yang sinergi dengan upaya MITIGASI GRK (Verchot *et al.*, 2006). Kegiatan adaptasi adalah kegiatan yang dilakukan untuk menekan dampak perubahan iklim baik secara antisipatif maupun reaktif. Sedangkan kegiatan mitigasi dilakukan sebagai salah satu upaya menurunkan efek gas rumah kaca sehingga dapat memperlambat laju pemanasan global. Bahasan pada makalah ini akan lebih difokuskan kepada (1) dampak pemanasan global terhadap layanan lingkungan, (2) upaya pengelolaan lahan yang adaptif terhadap pemanasan global khususnya dalam mengurangi bencana longsor, dan sekaligus dapat mengurangi konsentrasi GRK, (3) Macam-macam pengetahuan/penelitian yang dibutuhkan di perguruan tinggi.

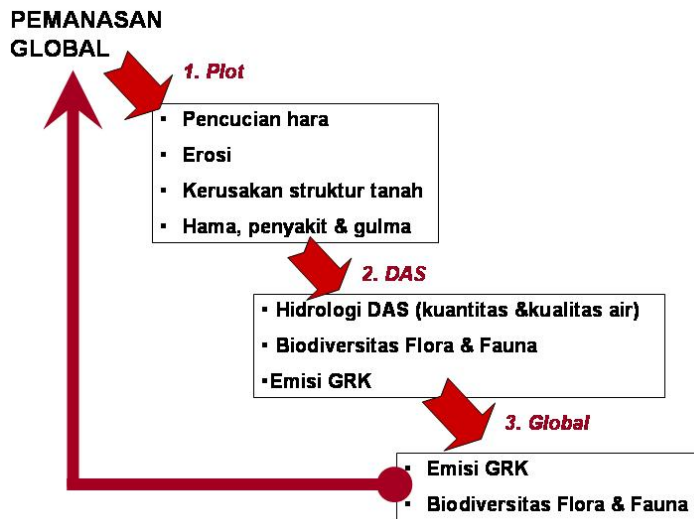
2. DAMPAK PEMANASAN GLOBAL TERHADAP LAYANAN LINGKUNGAN

Adanya perubahan iklim global akan berpengaruh terhadap beberapa fungsi ekosistem dan akhirnya akan mempengaruhi layanan lingkungan yang dibutuhkan oleh masyarakat berkenaan dengan: (a) kehidupan (penyediaan pangan, penyediaan air bersih), (b) budaya (spiritual, inspirasi dan pendidikan), (c) penunjang (pembentukan tanah, siklus hara), dan (d) regulasi (regulasi iklim, regulasi air, regulasi hama dan penyakit dsb). Pada umumnya masalah lingkungan yang kita hadapi di lapangan (Gambar 1) yang berkaitan dengan adanya kejadian cuaca ekstrim dibedakan menjadi 3 tingkatan:

- (a) Tingkat plot mencakup gangguan pada siklus hara karena tingginya tingkat pencucian, besarnya limpasan permukaan dan erosi, adanya kerusakan struktur tanah, dan serangan hama, penyakit dan gulma,
- (b) Tingkat bentang lahan (DAS) mencakup gangguan hidrologi DAS (jumlah dan kualitas air sungai), rendahnya biodiversitas flora dan fauna, tidak berimbangannya jumlah emisi CO₂ dengan serapan CO₂ di tingkat DAS

- (c) Tingkat global mencakup tidak berimbangnya jumlah emisi CO₂ dengan serapan CO₂ di tingkat global, rendahnya biodiversitas flora dan fauna.

Mengingat masalah yang terjadi berbeda-beda antar tingkatan, maka pemilihan solusinya harus dilakukan dengan seksama yang sesuai dengan masalah yang dihadapi.



Gambar 1. Skema identifikasi masalah lingkungan yang dihadapi di lapangan pada tingkat plot, DAS, dan global

3. AGROFORESTRI SEBAGAI TEKNIK TAWARAN PENGELOLAAN LAHAN YANG ADAPTIF TERHADAP PEMANASAN GLOBAL

Agroforestri secara sederhana berarti penanaman berbagai jenis pohon pada lahan pertanian yang berfungsi ganda sebagai sumber pendapatan petani dan perlindungan tanah dan air di sekitarnya. Komponen penyusun agroforestri terdiri dari berbagai macam pohon yang bervariasi umurnya sehingga memberikan penghasilan yang terus menerus. Secara fisik agroforestri mempunyai susunan kanopi tajuknya yang berjenjang (kompleks) dengan karakteristik dan kedalaman perakaran yang beragam, sehingga agroforestri merupakan teknik yang ditawarkan untuk ADAPTASI terhadap pemanasan global melalui perannya dalam mengurangi longsor, mengurangi limpasan permukaan dan erosi, mengurangi kehilangan hara lewat pencucian dan mempertahankan biodiversitas flora dan fauna tanah.

3.1. Longsor

3.1.1. Macam-macam longsor dan penyebabnya

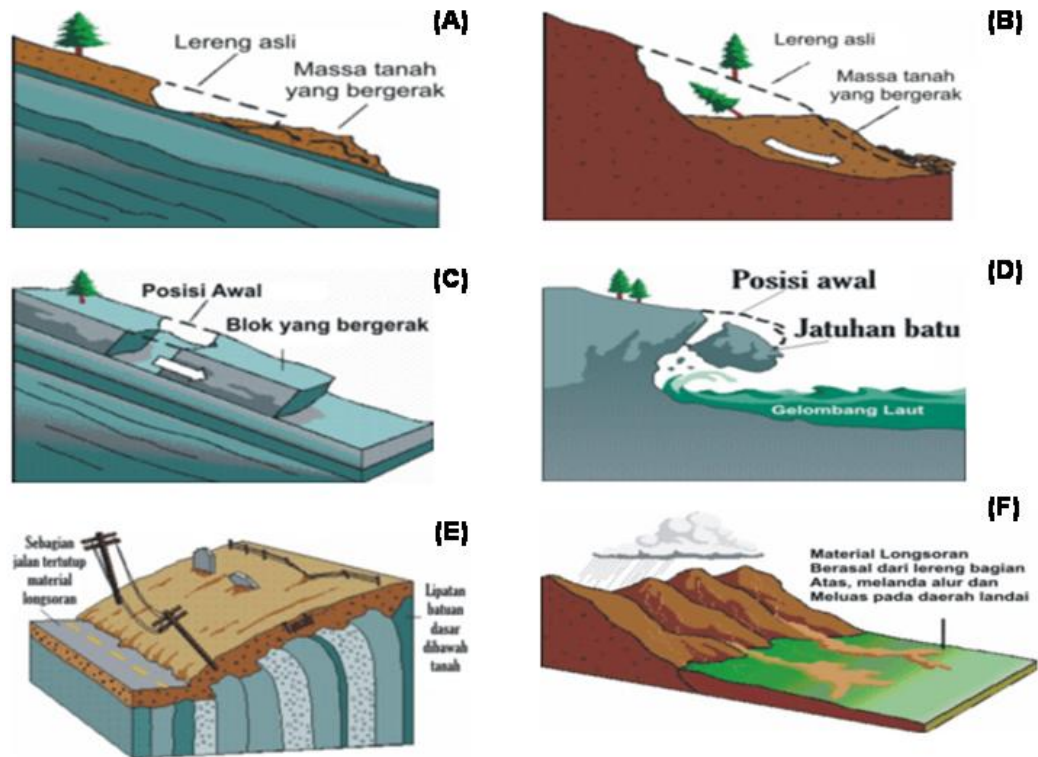
Pada daerah-daerah lereng terjal, bahaya longsor (gerakan tanah) sering terjadi. Tanah longsor adalah perpindahan material pembentuk lereng termasuk diantaranya adalah batuan, bahan rombakan, tanah, yang bergerak dari lereng atas ke bawah. Pada prinsipnya tanah longsor terjadi bila gaya pendorong pada lereng atas lebih besar dari pada gaya penahan. Gaya pendorong dipengaruhi oleh keterjalan lereng, intensitas hujan yang tinggi, beban serta berat jenis tanah, adanya lapisan kedap air, ketebalan solum tanah. Sedangkan gaya penahan umumnya dipengaruhi oleh kekuatan batuan, ketahanan geser tanah dan kerapatan serta kekuatan akar tanaman (Sidle dan Dhakal, 2003)

Selama musim penghujan terjadi peningkatan jumlah air infiltrasi yang menyebabkan tanah menjadi jenuh, sehingga pori tanah mudah hancur dan agregasi tanah sangat lemah maka kuat geser tanah menurun. Selain itu kondisi jenuh air justru meningkatkan beban tanah sehingga akan memicu terjadinya longsor dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah (Abe dan Ziemer, 1991), menghantam benda dan tumbuhan apa saja yang dilewatinya bahkan dapat mengubur seluruh desa dan penduduk yang hidup di atasnya.

Berdasarkan kedalaman maksimum material yang longsor, maka tanah longsor diklasifikasikan menjadi 4 macam yaitu longsor permukaan, dangkal, dalam dan sangat dalam (Tabel 1). Di lapangan ada 6 jenis tanah longsor yaitu: longsor translasional, longsor rotasional, pergerakan blok, runtuh batu, rayapan tanah, dan aliran bahan rombakan (Gambar 2). Sedang berdasarkan geometri bidang gelincirnya, longsor dibedakan menjadi 2 jenis saja yaitu: (a) Longsor dengan bidang longsor lengkung atau longsor rotasional dan (b) Longsor dengan bidang gelincir datar atau longsor translasional. Ke dua jenis longsor tersebut paling banyak terjadi di Indonesia. Sedangkan longsor yang paling banyak memakan korban jiwa manusia adalah aliran bahan rombakan.

Tabel 1. Klasifikasi kedalaman longsor (Broms, 1975 *dikutip* dari Hardiyatno, 2006)

Tipe longsor	Kedalaman, m
1. Permukaan (<i>surface slides</i>)	<1.5
2. Dangkal (<i>shallow slides</i>)	1.5 – 5.0
3. Dalam (<i>deep slides</i>)	5.0 – 20
4. Sangat dalam (<i>very deep slides</i>)	>20



Gambar 2. Macam-macam longsor yang terjadi di lapangan (A) Longsor translasi, (B) Longsor rotasi, (C) Pergerakan blok atau Longsor translasi blok batu, (D) Runtuhan batu yang umumnya terjadi di sepanjang pantai, (E) Rayapan tanah yang bergerak lambat, (F) Aliran bahan rombakan yang terjadi di bagian lembah (<http://merapi.vsi.esdm.go.id>).

3.1.2. Resiko longsor menurun bila ketahanan geser tanah tinggi: Peran akar pohon dalam mempertahankan ketahanan geser tanah

Resiko longsor pada tempat-tempat berlereng terjal atau pada tebing-tebing sungai dapat dikurangi dengan meningkatkan keragaman jenis dan kerapatan pohon yang ditanam. Akar adalah bagian pohon yang terpenting untuk mencegah terjadinya longsor (Abe dan Ziemer, 1991), melalui 2 mekanisme yaitu: (1) Mencengkeram tanah di lapisan permukaan (kedalaman 0-5 cm) oleh akar pohon yang menyebar horisontal; (2) Menopang tegaknya batang (sebagai jangkar) sehingga pohon tidak mudah tumbang oleh dorongan massa tanah yang berguling ke bawah (Gambar 3). Idealnya, ke dua fungsi tersebut harus ada dalam setiap lahan.



Gambar 3. Akar pohon mencengkeram kuat tebing sungai penting untuk mempertahankan stabilitas tebing dan mengurangi longsor (Foto oleh Kurniatun Hairiah)

Apakah akar pohon dalam sistem Agroforestri dapat mengurangi resiko longsor?

Potensi terjadinya longsor berhubungan dengan besarnya stabilitas lereng yang ditunjukkan oleh tingginya ketahanan geser tanah (*soil shear strength*) (Abe dan Ziemer, 1991). Besarnya ketahanan geser tanah dipengaruhi oleh kondisi tanah (kelembaban, kandungan liat, porositas) dan karakteristik perakaran tanaman yang tumbuh di atasnya (Collison dan Pollen, 2005). Karakteristik akar pohon yang berpengaruh terhadap kekuatan geser tanah adalah sebaran, kerapatan, diameter, berat jenis, dan kekuatan akar (Hairiah *et al.*, 2006). Perbedaan kandungan serat akar yang ditunjukkan oleh konsentrasi lignin, selulosa dan polifenol menentukan kekuatan akar. Semakin tinggi kandungan ketiga substansi tersebut meningkatkan kekuatan akar pohon (Chen *et al.*, 1999). Hairiah *et al.* (2006) melaporkan beberapa hasil utama yang diperoleh dari hasil survey longsor di sepanjang sub-DAS Way Ringkih dan Way Petai, Sumberjaya (Lampung Barat) adalah sebagai berikut:

- Pada lahan-lahan agroforestri umumnya distribusi akar pohon hanya pada kedalaman tanah antara 1-4 m saja. Dengan demikian peran agroforestri dalam mengurangi resiko longsor hanya memungkinkan pada tipe longsor permukaan dan longsor dangkal saja. Namun untuk tujuan pengurangan terjadinya ‘longsor dalam’ (kedalaman 10-30 m), maka peran akar jangkar pohon tidak bisa diharapkan lagi. Pada kondisi demikian, pengaturan drainase dan penanaman pohon secara tumpangsari dengan tanaman yang tidak terlalu berat (perdu atau

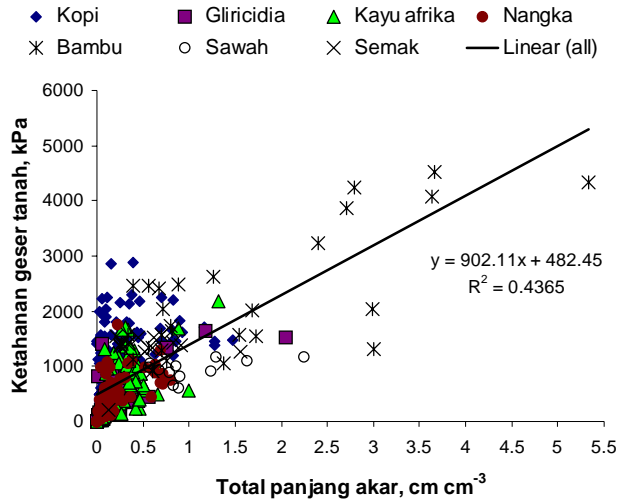
rerumpunan), tetapi berperakaran intensif dan kuat di permukaan tanah akan lebih bermanfaat dalam mengurangi longsor.

- Seleksi pepohonan untuk penguat tebing secara cepat dapat dilakukan dengan pengukuran Indeks Cengkeram Akar ($ICA = \sum d_h^2 / dbh^2$) dan Indeks Jangkar Akar ($IJA = \sum d_v^2 / dbh^2$) yang merupakan perbandingan diameter akar horisonatal (d_h) atau diameter akar vertikal (d_v) dengan diameter batangnya (dbh). Semakin tinggi nilai IJA (>1.0) dan ICA (>3.0), maka pohon tersebut berpotensi lebih besar untuk mempertahankan stabilitas tebing sungai (Tabel 2).

Tabel 2. Nilai Indeks jangkar Akar (IJA) dan Indeks Cengkeraman Akar (ICA) berbagai jenis pepohonan dan pelompokannya berdasarkan potensinya dalam meningkatkan stabilitas tebing (Hairiah *et al.* 2006).

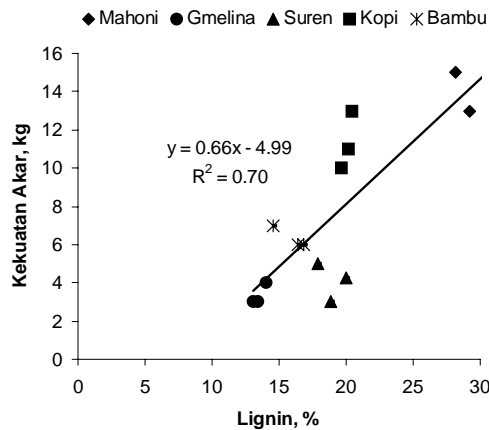
INDEX	IJA		
	rendah (<0.1)	sedang (0.1 – 1.0)	tinggi (>1.0)
ICA rendah <1.5			Durian Petai Bendo
ICA sedang 1.5 - 3.5	Mara Kaliandra Dadap Jambu air	Kayu manis Kemiri Kayu Pasang Jati Kayu Afrika Jati kertas Mahoni Jambu biji Rambutan Sukun Sirihan	
ICA tinggi >3.5	Gliricidia Suren Semantung	Parempeng Anggrung Nangka	Kopi var. robinson Kopi var. robusta Kopi var. robusta (tanpa pemangkasan)

- Meningkatnya kerapatan akar tanaman di permukaan tanah (0-5 cm) penting untuk menurunkan kandungan air tanah dan meningkatkan daya cengkeram akar sehingga dapat meningkatkan ketahanan geser tanah (Gambar 4) sehingga menurunkan resiko terjadinya longsor.



Gambar 4. Hubungan total panjang akar berbagai jenis pepohonan dengan ketahanan geser tanah pada kedalaman tanah 0-5 cm

- Meningkatnya kandungan lignin (>20 %) dalam akar dapat meningkatkan kekuatan akar pohon sekitar 40 % (8 kg menjadi 12 kg) (Gambar 5), karena akar semakin berkayu dan lambat lapuk. Namun demikian banyaknya penebangan pohon di tempat-tempat curam akan mengurangi kekuatan akar dari waktu ke waktu karena secara bertahap akar akan melapuk. Biasanya terjadi pada 2 – 3 tahun setelah penebangan.



Gambar 5. Hubungan konsentrasi lignin dengan kekuatan akar berdiameter 2 mm (Sumber data: Nurhada, 2006)

- Beragamnya jenis dan umur pohon penanang yang ditanam pada lahan agroforestri berbasis kopi dapat mengurangi resiko longsor. Akar pohon kopi sebenarnya berpotensi besar sebagai penguat tebing karena memiliki jangkar yang dalam, namun frekuensi pangkasan cabang harus dikurangi untuk memberi kesempatan batang untuk tumbuh lebih besar.

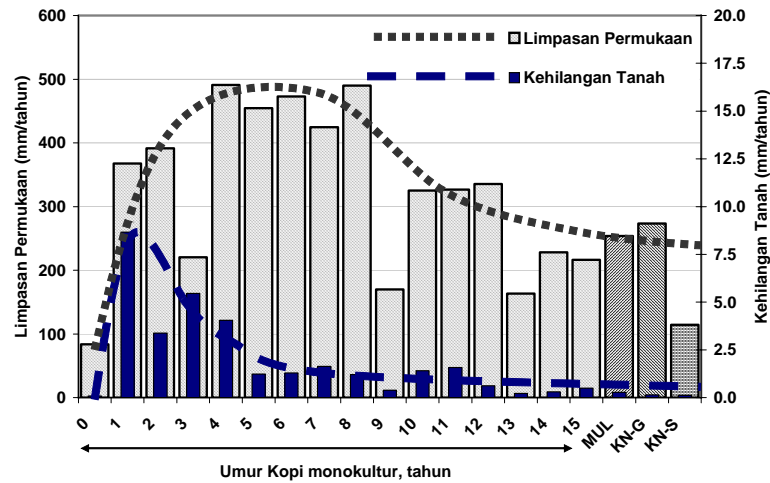
- Peningkatan keragaman jenis pohon penayang yang berperakaran dalam dan kuat dalam sistem agroforestri (seperti durian, petai dan sukun pohon) dapat mengurangi resiko longsor.
- Distribusi akar pohon mahoni tidak terlalu dalam tetapi cukup kuat, sehingga cocok untuk mencengkeram tanah agar tidak hanyut oleh limpasan permukaan.
- Pohon bambu yang umumnya ditanam di sepanjang tebing sungai cukup kuat dan rapat untuk mencengkeram tanah dari kikisan air sungai (terutama jenis bambu petung), namun perakarannya hanya berkembang pada kedalaman sekitar 1 m saja.
- Guna meningkatkan kerapatan jaringan akar di berbagai lapisan tanah, dan mengurangi beban berat yang dapat memicu terjadinya longsor pada daerah berlereng maka peningkatan keragaman jenis dan umur pohon perlu dipertahankan.

3.2. Limpasan permukaan dan erosi

Layanan lingkungan agroforestri yang lain adalah mempertahankan kualitas air sungai melalui pengurangan limpasan permukaan dan erosi. Widiyanto *et al.* (2007) melaporkan hasil pengukuran limpasan permukaan dan erosi (Gambar 6) yang dilakukan di daerah bergunung Sumberjaya (Lampung Barat) pada lahan hutan alami, dibandingkan dengan pada sistem kopi monokultur pada berbagai waktu setelah penebangan vegetasi hutan. Hasilnya adalah sebagai berikut:

- Pada kondisi di Sumberjaya, tingkat limpasan permukaan dan erosi pada sistem agroforestri sederhana maupun multistrata (kopi umur >10 tahun) masih 3 kali lebih tinggi dari pada yang dijumpai di hutan, dengan curah hujan rata-rata 1589 mm. Namun dengan sistem kopi monokultur dengan umur kopi yang sama, tingkat limpasan permukaan dan erosinya sekitar 4-5 kali lebih tinggi dari pada yang dijumpai di hutan.
- Saat kritis terjadinya erosi maksimum adalah pada waktu 3-4 tahun setelah konversi hutan, dimana permukaan tanah masih terbuka tetapi kondisi fisik tanah telah rusak (padat). Untuk itu penutupan permukaan tanah harus dimulai pada saat pohon masih muda. Pada saat 3 tahun setelah penebangan vegetasi

hutan, erosi yang terjadi sekitar 10 kali lipat dibanding dengan erosi yang diukur di hutan (8.5 mm/tahun dibanding 0.92 mm/tahun di hutan).



Gambar 6. Limpasan permukaan dan erosi pada hutan alami dibandingkan dengan kondisi pada sistem kopi monokultur berbagai umur, dan agroforestri berbasis kopi. MUL= kopi multistrata dengan penayang aneka pohon buah-buahan, legume dan kayu-kayuan, KN-G= kopi naungan Gliricidia, KN-S= kopi naungan sengon. Ketiga macam agroforestri kopi berumur 10 tahun (Sumber data, Widiyanto *et al.*, 2007).

- Tingginya limpasan permukaan dan erosi pada tahun ke 3 dan ke 4 setelah konversi hutan dikarenakan tanah menjadi lebih padat akibat berkurangnya jumlah pori makro tanah. Kunci untuk mengurangi kepadatan tanah adalah dengan mempertahankan ketebalan seresah di permukaan tanah hingga 2 ton/ha (Hairiah *et al.*, 2006). Kondisi tersebut sangat penting untuk menjaga kekasaran permukaan, menjaga kelembaban tanah dan menyediakan pakan bagi cacing penggali tanah. Selama aktivitasnya cacing tanah meninggalkan liang, dapat menambah jumlah pori makro di lapisan bawah yang terutama terbentuk oleh adanya aktivitas akar pepohonan (Dewi, 2007). Peningkatan ukuran tubuh cacing tanah diikuti oleh peningkatan jumlah pori makro dan infiltrasi tanah.

3.3. Mempertahankan biodiversitas tanah

Mempertahankan diversitas pohon yang ditanam dalam sistem agroforestri penting untuk mempertahankan diversitas biota fungsional. Dewi *et al.* (2007) melaporkan hasil survey diversitas dan kerapatan populasi cacing tanah di agroforestri berbasis kopi lebih banyak dari pada yang dijumpai di hutan, tetapi ukuran

biomasanya lebih kecil dari pada yang dijumpai di hutan. Biodiversitas cacing di lahan agroforestri kopi meningkat karena adanya beberapa spesies eksotis seperti *Pontoscolex corethrurus* yang mungkin masuk terbawa selama kegiatan, misalnya melalui bibit, pemupukan organik dan sebagainya. Namun beberapa spesies native hutan Sumberjaya seperti *Metaphire javanica* yang berukuran besar hilang. Kecilnya ukuran tubuh cacing tanah pada agroforestri kopi diduga menyebabkan rendahnya tingkat porositas tanah.

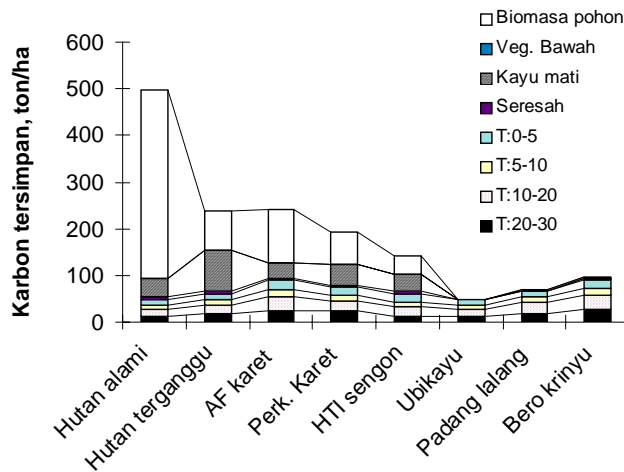
3.4. Kontribusi Agroforestri dalam Mitigasi Gas Rumah Kaca

Agroforestri merupakan salah satu sistem penggunaan lahan terdiri dari campuran pepohonan, semak dengan atau tanpa tanaman semusim dan ternak dalam satu bidang lahan yang sama. Agroforestri memberikan tawaran yang cukup menjanjikan untuk mitigasi akumulasi GRK di atmosfer (IPCC, 2000). Gas CO₂ sebagai salah satu penyusun GRK terbesar di udara diserap pohon dan tumbuhan bawah untuk fotosintesis, dan ditimbunnya sebagai C-organik dalam tubuh tanaman (biomasa) dan tanah untuk waktu yang lama, mencapai 30-50 tahun. Selama tidak ada pembakaran di lahan, emisi CO₂ ke atmosfer dapat ditekan. Jumlah C yang tersimpan di lahan secara teknis disebut “cadangan C” atau “penyimpanan C”.

Jumlah C yang tersimpan dalam tubuh tanaman hidup (biomasa) pada suatu lahan adalah menggambarkan banyaknya CO₂ di atmosfer yang diserap oleh tanaman (*C-sequestration*). Sedangkan jumlah C yang masih tersimpan dalam bagian tumbuhan yang telah mati (nekromasa) secara tidak langsung menggambarkan C yang disimpan dalam sistem untuk beberapa waktu lamanya, artinya CO₂ tidak dilepaskan ke udara lewat pembakaran. Beberapa hasil pengukuran C tersimpan pada berbagai sistem penggunaan lahan (SPL) oleh tim peneliti Alternatives to Slash and Burn (ASB phase 1 dan 2) di Jambi (Tomich *et al.*, 1998), adalah sebagai berikut:

- Hutan alami menyimpan C tertinggi sekitar 497 ton ha⁻¹ dibandingkan sistem penggunaan lahan (SPL) lainnya. Lahan ubikayu monokultur menyimpan C terendah (sekitar 49 ton ha⁻¹).
- Gangguan hutan alami menyebabkan hutan kehilangan C sekitar 250 ton ha⁻¹, dimana kehilangan C terbesar terjadi karena hilangnya pohon, sedang kehilangan C yang tersimpan dalam tanah relatif kecil (Gambar 7).

- Bila hutan sekunder terus dikonversi ke sistem ubikayu monokultur, maka kehilangan C di atas permukaan tanah bertambah menjadi 300-350 ton C ha⁻¹.
- Tingkat kehilangan C dapat diperkecil bila hutan dikonversi menjadi sistem agroforestri berbasis karet. Karbon tersimpan di bagian atas tanah sekitar 290 ton C ha⁻¹, dan bila dikonversi menjadi HTI sengon maka C yang tersimpan sekitar 370 ton C ha⁻¹.



Gambar 7. Penyimpanan C pada berbagai system penggunaan lahan di Jambi (Tomich *et al.*, 1998)

- Penyimpanan C rata-rata per siklus tanam bervariasi tergantung umur tanaman (Tabel 3). Semakin banyak dan semakin lama C tersimpan dalam biomasa pohon semakin baik.

Tabel 3. Cadangan C per siklus tanam dari berbagai sistem penggunaan lahan (Tomich *et. al.*, 1998).

Sistem Penggunaan Lahan	Umur maximum, tahun	Jumlah C tersimpan per siklus tanam, ton ha ⁻¹
Hutan Alami	120	254
Hutan sekunder	60	176
Agroforestri karet	40	116
Perkebunan karet (monokultur)	25	97
Perkebunan kelapa sawit	20	91
Rotasi padi-bero rerumputan	7	74
Rotasi ubikayu-alang-alang	3	36

- Lahan hutan yang telah terganggu, lahan agroforestri multistrata (bermacam jenis pohon) dan agroforestri sederhana (tumpangsari pohon dan tanaman pangan) menimbun C dalam biomasa rata-rata sekitar 2.5 ton ha⁻¹ th⁻¹. Sedang penimbunan

C dalam lahan pertanian semusim ubikayu- rumput-rumputan dapat diabaikan, karena kebanyakan C hilang oleh adanya pembakaran.

- Besarnya penyimpanan C dalam suatu lahan dipengaruhi oleh tingkat kesuburan tanahnya. Penyisipan pohon leguminose dalam sistem agroforestri, akan memperbaiki kesuburan tanah sehingga pertumbuhan pohon di atasnya menjadi lebih baik dan meningkatkan jumlah C tersimpan dalam biomasa.

Jadi, kontribusi agroforestri terhadap upaya mitigasi GRK di udara cukup besar melalui banyaknya C tersimpan dalam sistem tersebut. Besarnya C yang tersimpan pada sistem agroforestri tidak bisa menyerupai hutan alami, tetapi masih jauh lebih baik dari pada sistem pertanian monokultur. Hal yang terpenting adalah agroforestri dapat memperkecil ancaman terjadinya alih- guna lahan di masa yang akan datang, karena dengan pengelolaan yang benar dan pemilihan jenis pohon serta didukung dengan kebijakan pasar yang tepat, agroforestri dapat melindungi pendapatan petani. Sistem agroforestri tersebut selaras dengan tujuan aforestasi/reforestasi (A/R) pada mekanisme pembangunan bersih (CDM) atau konsep mitigasi GRK lainnya yang telah dirundingkan di pertemuan internasional di Bali yang lalu seperti ADSB (Avoided Deforestation with Sustainable Benefits) dan REDD (Reduced Emissions from Deforestation and Degradation).

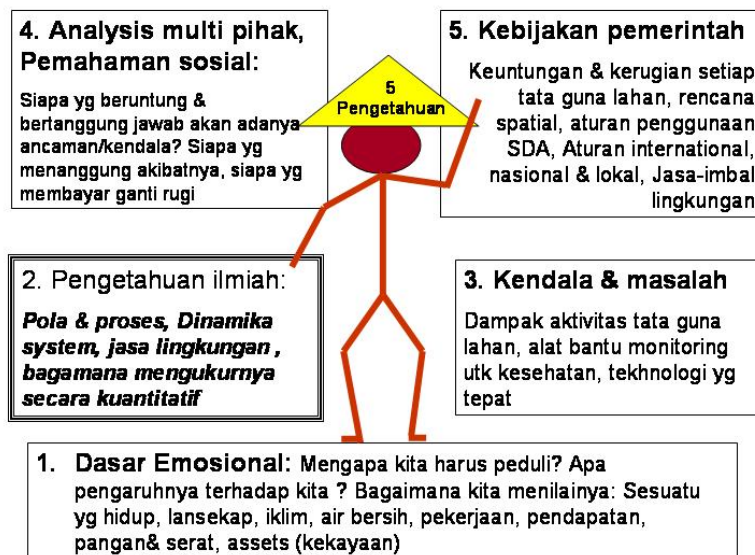
4. APA YANG BISA KITA LAKUKAN?

Perubahan iklim global akan berdampak merugikan terhadap beberapa sektor pertanian, baik ditinjau dari sektor ekonomi, sosial dan lingkungan (ekologi) dan kesehatan, sehingga kompleksitas masalah di lapangan semakin meningkat. Agroforestri berpeluang besar untuk mitigasi GRK dan membantu masyarakat dalam beradaptasi pada kondisi baru yang timbul sebagai dampak dari adanya pemanasan global. Dalam kaitannya dengan upaya pengembangan strategi adaptasi dalam sektor pertanian, peneliti dan pengambil kebijakan harus mempertimbangkan adanya interaksi dari berbagai hambatan yang cukup kompleks. Penanganannya di lapangan membutuhkan pengetahuan dasar yang cukup luas, maka perguruan tinggi melalui jaringan kerja INAFE harus bekerjasama penelitian dengan multi pihak (LSM, pemerintah, lembaga penelitian nasional dan internasional) baik di tingkat desa, nasional dan global (Gambar 8). Produk kegiatan berupa perbaikan pengetahuan yang relevan dengan isu yang dibutuhkan oleh masyarakat dan pemerintahan sehingga diharapkan dapat

memperbaiki kebijakan yang telah ada. Dengan demikian INAFE dapat menjadi agen penghubung dalam negosiasi antara masyarakat lokal dengan pemerintah (*Knowledge system for linking research with action*). Untuk itu beberapa langkah kegiatan yang diperlukan antara lain adalah:

- a. Melakukan penelitian yang relevan dengan isu terkini agar bermanfaat (*Salience*) dan menggunakan metoda standard yang akurat (*Credibility*)
- b. Melakukan kerjasama penelitian dengan lembaga penelitian lain yang terpercaya dalam pengelolaan sumber daya alam (*Legitimacy*)
- c. Perbaiki sistem pembelajaran dengan melatih mahasiswa untuk mampu mendiagnosis masalah yang terjadi di lapangan, mencari solusinya dengan segala untung dan ruginya.

Pada pelaksanaan kegiatan tersebut di atas, Van Noordwijk (2008) mengajukan 3 pertanyaan umum yang dapat dipakai untuk mengarahkan kegiatan pendidikan dan penelitian di Indonesia adalah “*where/when/what*”, “*how*” dan “*so what*”. Dengan demikian lulusan perguruan tinggi diharapkan dapat menjadi agen penghubung atau “*boundary agent*” yang mampu menghubungkan 5 macam pengetahuan (Gambar 8) yang berkenaan dengan (1) Pengetahuan berdasar emosional, (2) Pengetahuan ilmiah, (3) Diagnosis kendala dan masalah yang ada, (4) Analisis multi pihak, dan (5) Pengetahuan yang berhubungan dengan kebijakan pemerintah.



Gambar 8. Lima macam pengetahuan yang dibutuhkan, dimana perguruan tinggi dapat berperan pada tipe pemahaman dan pengembangan pengetahuan ilmiah (Van Noordwijk dan Swift, 1999; 2008)

Guna menunjang keberhasilan pendidikan dan penelitian di bidang agroforestri tersebut diatas, dukungan masyarakat, pemerintah, LSM dan pihak internasional sangat dibutuhkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abe, K. and R. R. Ziemer, 1991. "Effect of tree roots on shallow-seated land slides", USDA forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GT 130: 11-20.
- Chen H, Harmon M E dan Griffiths R P, 1999. Decomposition and nitrogen release from decomposing woody roots in coniferous forests of the Pasific Northwest: a chronosequence approach. *Can. J. For. Res.* 31: 246-260.
- Collison A dan Pollen N, 2005. The effects of riparian buffer strips on streambank stability: Root reinforcement, soil strength and growth rates. In: Zobel R W dan Wright S F (eds.) *Roots and soil management: Interaction between rootas and the soil.* *Am. Soc. Agr.* 48:15-56.
- Dewi, S. W., 2007. Dampak Alih guna lahan hutan menjadi lahan pertanian: Perubahan diversitas cacing tanah dan fungsinya dalam mempertahankan pori makro tanah. Disertasi S3, Universitas Brawijaya.
- Hairiah, K., H. Sulistyani, D.Suprayogo, Widiyanto, P. Purnomosidhi, R.H.Widodo, and M. Van Noordwijk, 2006. Litter layer residence time in forest and coffee agroforestry systems in Sumberjaya, West Lampung. *Forest Ecology and Management* 224: 45-57.
- Hairiah, K., Widiyanto, D.Suprayogo dan S. Kurniawan, 2007. Peran akar pohon dalam mengurangi gerakan tanah. *Prosiding Seminar sehari: "Penanganan Bencana Sumber Daya Pertanian"*, 1 Februari 2007, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang.
- Hardiyatno, H.C., 2006. *Penanganan tanah longsor dan erosi.* Gajah Mada Univ. Press, Yogyakarta, p 450.
- IPCC, 2001. *Climate change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability.* Report of the working group II. Cambridge University Press, UK, p 967.
- IPCC. 2000. *Land Use, Land-Use Change and Forestry.* A Special Report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 377pp.
- Nurhada, M., 2006. *Studi Kepadatan dan Kualitas Bahan Organik Perakaran Pohon Hubungannya dengan Kekuatan Geser Tanah (Shear Strength) di Tebing Sungai Bango Malang.* Skripsi mahasiswa S1 Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Unibraw, Malang.
- Santoso, H. dan C. Forner, 2007. *Climate change projections for Indonesia.* TroFCCA, CIFOR, Bogor.
- Sidle, R.C. and A.S. Dhakal. 2003. "Recent advances in the spatial and temporal modeling of shallow landslides", In: *Proceedings of the 2003 MODSIM Conference*, Townsville, Australia, Ed. Post, D., pp 602-607.
- 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
- Van Noordwijk M and Swift M J, 1999. Belowground biodiversity and sustainability of complex agroecosystems. In: A Gafur, FX Susilo, M Utomo and M van Noordwijk (eds.). *Proceedings of a Workshop on Management of Agrobiodiversity in Indonesia for Sustainable Land Use and Global Environmental Benefits.* UNILA/PUSLIBANGTAN, Bogor, 19-20 August 1999. ISBN 979-8287-25-8. p 8- 28.
- Van Noordwijk M, 2008. *Agroforestri sebagai solusi mitigasi dan adaptasi pemanasan global: Pengelolaan sumberdaya alam yang berkelanjutan dan fleksibel terhadap berbagai perubahan.* Makalah Bunga Rampai pada Seminar Nasional Agroforestri "Pendidikan Agroforestri sebagai strategi menghadapi pemanasan global", UNS, Solo, 4-6 Maret 2008.
- Verchot, L. V., M. van Noordwijk, S. Kandji, T.P. Tomich, C. Ong, A. Albrecht, J. Mackensen, C. Bantilan, K. V. Anupama, C. Palm, 2007. *Climate change: linking adaptation and mitigation through agroforestry.* *Mitig Adapt Strat Glob Change*, DOI 10.1007/s1 1027-007-9105-6. Springer Sci.
- Widiyanto, D. Suprayogo, I.D.Lestari, 2007. *Alih Guna Lahan Hutan Menjadi Lahan Pertanian : Apakah fungsi hidrologis hutan dapat digantikan sistem kopi monokultur ?* *Prosiding Seminar sehari: "Penanganan Bencana Sumber Daya Pertanian"*, 1 Februari 2007, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang.

Web site

Pengenalan gerakan tanah (<http://merapi.vsi.esdm.go.id>) dikutip pada tanggal 25 Januari 2008.