

## SIMULASI LIMPASAN PERMUKAAN DAN KEHILANGAN TANAH PADA BERBAGAI UMUR KEBUN KOPI: STUDI KASUS DI SUMBERJAYA, LAMPUNG BARAT

Ni'matul Khasanah, Betha Lusiana, Farida dan Meine van Noordwijk

World Agroforestry Centre, ICRAF SE Asia, PO Box 161, Bogor 160011

### ABSTRACT

Conversion of forest to agriculture on sloping land raises concern over the degradation of watershed functions. On sloping land, a considerable amount of rainfall can be lost as surface run off, reducing water availability to crops and carrying soil particles leading to soil erosion. Simulation with the WaNuLCAS (Water, Nutrient and Light Capture in Agroforestry Systems) model was used to explore changes of surface run off and soil loss as a result of changes in soil structure in response to land use changes in coffee gardens in Sumberjaya, Lampung. Runoff and soil loss are, according to the model, specifically influenced by 4 main parameters related to rain intensity (Rain\_IntensMean – RIM), surface infiltration (S\_SurfInfilInit – SSI), decay rate of macropores per day (S\_KstrucDecay – SKD) and ease with which soil is carried by surface run off (E\_EntrainmentCoefBarePlot – ECB).

By adjusting values for these four parameters and using defaults as well as measured inputs (e.g. rainfall), the simulation shows that the surface run off and soil loss for all land uses qualitatively agreed with run off and soil loss measured in the field. Rain\_IntensMean (RIM) 50 and S\_SurfInfilInit (SSI) 1000 mm day<sup>-1</sup> are the values representing rainfall and soil conditions in Sumberjaya, Lampung. The pattern of increase and subsequent decrease of runoff with increasing age of the coffee can be accounted for through a simple representation of the dynamics of soil structure. A S\_KstrucDecay (SKD) of 0.0005 day<sup>-1</sup> reproduced the pattern for surface run off, while soil loss prediction was best for an E\_EntrainmentCoefBarePlot (ECB) of 0.002 m<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup> soil mm<sup>-1</sup> m<sup>2</sup>. Model simulation with WaNuLCAS after this 'calibration' can be used to explore the changes of surface run off and soil loss as a result of land use changes and rainfall distribution.

**Key words:** simulation, surface run off, erosion, model WaNuLCAS

### ABSTRAK

Konversi hutan menjadi lahan pertanian khususnya pada lahan miring merupakan kegiatan yang beresiko tinggi ditinjau dari sudut pandang pengelolaan daerah air sungai. Pada lahan miring, hujan akan mengalir di permukaan tanah sebagai limpasan permukaan, jumlah air yang tersedia untuk tanaman berkurang dan sebagian lapisan tanah atas akan hilang bersama-sama dengan limpasan permukaan (erosi). Model simulasi seperti WaNuLCAS (Water, Nutrient and

Light Capture in Agroforestry Systems) dapat digunakan untuk mempelajari perubahan limpasan permukaan dan erosi akibat perubahan kualitas struktur tanah. Perubahan kualitas struktur tanah terjadi sebagai akibat dari kegiatan alih guna lahan dari hutan menjadi kebun kopi sebagaimana yang banyak dijumpai Sumberjaya, Lampung. Pada model WaNuLCAS, empat parameter utama yang mempengaruhi limpasan permukaan dan kehilangan tanah adalah intensitas hujan (Rain\_IntensMean – RIM), infiltrasi permukaan (S\_SurfInfilInit – SSI), laju penurunan pori makro tanah per hari (S\_KstrucDecay – SKD) dan mudah tidaknya tanah terkikis air (E\_EntrainmentCoefBarePlot – ECB).

Dengan melakukan parameterisasi pada keempat parameter tersebut, limpasan permukaan dan kehilangan tanah hasil simulasi model WaNuLCAS pada skenario perubahan penggunaan lahan dari hutan menjadi kebun kopi cenderung mempunyai pola yang sama dengan hasil pengukuran di lapangan. Nilai parameter RIM sebesar 50 dan S\_SurfInfilInit (SSI) sebesar 1000 mm hari<sup>-1</sup> merupakan nilai yang dapat mewakili kondisi hujan dan tanah di daerah Sumberjaya, Lampung. Pola perubahan limpasan permukaan pada berbagai umur kebun kopi (cenderung naik sampai umur tertentu, selanjutnya turun) dapat dijelaskan melalui dinamika struktur tanah. Pola limpasan permukaan yang sama dengan hasil pengukuran di lapangan diperoleh pada nilai S\_KstrucDecay (SKD) sebesar 0.0005 hari<sup>-1</sup>, sementara kehilangan tanah diperoleh pada nilai E\_EntrainmentCoefBarePlot (ECB) 0.002 kg<sup>-1</sup> tanah mm<sup>-1</sup> m<sup>2</sup>. Simulasi model WaNuLCAS dapat digunakan untuk mengeksplorasi limpasan permukaan dan kehilangan tanah pada berbagai skenario perubahan penggunaan lahan yang berkaitan dengan perubahan sifat-sifat tanah dan berbagai distribusi curah hujan.

**Kata kunci:** erosi, limpasan permukaan, model simulasi, model WaNuLCAS, Sumberjaya

### PENDAHULUAN

Konversi hutan menjadi lahan pertanian khususnya pada lahan miring merupakan kegiatan yang beresiko tinggi ditinjau dari sudut pandang pengelolaan daerah aliran sungai (DAS). Masalah utama yang dihadapi akibat adanya perubahan tutupan lahan pada lahan miring adalah berubahnya fungsi hidrologi DAS. Limpasan permukaan dan kehilangan tanah merupakan salah satu aspek yang dapat dikaji dalam mempelajari perubahan fungsi hidrologi DAS sebagai akibat dari perubahan kerapatan vegetasi penutup tanah dan

kualitas struktur tanah. Perubahan kualitas struktur tanah diduga sebagai akibat dari kegiatan alih guna lahan, misalnya dari hutan menjadi kebun kopi di Sumberjaya (Verbist dan Pasya, 2004).

Affandi (2002) melakukan pengukuran limpasan permukaan di Desa Bodong, Sumberjaya pada skala plot dengan berbagai tipe pengelolaan lahan yaitu, plot kopi dengan rumput kerbau (*Paspalum conjugatum*) sebagai tanaman penutup tanah, plot kopi dengan penyiangan dan plot kopi tanpa penyiangan. Pada plot kopi dengan penyiangan, limpasan permukaan mencapai 7 – 16 %, jumlah ini menurun pada tahun kedua seiring dengan tumbuhnya tanaman kopi. Kehilangan tanah yang terbesar dijumpai pada plot kopi dengan penyiangan yaitu sebesar 23 Mg ha<sup>-1</sup> pada tahun kedua. Adanya *P. conjugatum* dapat menurunkan limpasan permukaan dan kehilangan tanah sampai hingga 0 % setelah tahun ke tiga, sedang pada plot kopi tanpa penyiangan limpasan permukaan dan kehilangan tanah menurun sampai hingga 0 % setelah tahun ke empat. Pada kecamatan yang sama, namun struktur tanah berbeda di desa Tepus dan Laksana, Agus et al. (2002) menyatakan bahwa besarnya limpasan permukaan pada plot kopi monokultur sebesar 48 mm dan kehilangan tanah hanya sebesar 1.3 Mg ha<sup>-1</sup> dalam periode 8 bulan pengamatan dengan curah hujan sebesar 2347 mm.

Untuk memahami perubahan limpasan permukaan dan kehilangan tanah, dibutuhkan pengukuran secara langsung di lapangan. Pengukuran limpasan permukaan dan kehilangan tanah di lapangan secara langsung membutuhkan biaya, waktu dan percobaan yang tidak sedikit. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menekan biaya, waktu dan percobaan adalah menggunakan pendekatan model simulasi yang mampu memperhitungkan faktor-faktor yang mempengaruhi limpasan permukaan dan kehilangan tanah sehingga menghasilkan nilai yang mendekati dengan hasil pengukuran di lapangan. Tulisan ini mengkaji pemanfaatan model simulasi WaNuLCAS dalam memahami perubahan limpasan permukaan dan kehilangan tanah pada kebun kopi di Sumberjaya, Lampung. Dalam proses pengkajian ini hasil simulasi dibandingkan dengan hasil pengamatan di lapangan yang merupakan bagian dari validasi dalam menggunakan model simulasi. Nantinya diharapkan model mampu menggambarkan fenomena perubahan limpasan permukaan dan kehilangan tanah akibat alih guna lahan.

Model simulasi WaNuLCAS (Water, Nutrient and Light Capture in Agroforestry System) adalah model simulasi yang dapat digunakan untuk mensintesis proses-proses penyerapan air, hara dan cahaya oleh tanaman pada berbagai macam pola tanam dalam sistem agroforestri dalam skala plot dan waktu harian. Proses-proses tersebut sangat dipengaruhi oleh

kesuburan tanah dan iklim. Sistem agroforestri dalam model ini meliputi sistem budidaya lorong pada lahan datar atau lahan berlereng, sistem pekarangan serta sistem bera dan tanaman pagar pada lahan berlereng yang ditanam mengikuti garis kontur (Sunaryo et al., 2002). Prinsip dan proses dasar penyerapan air, hara dan cahaya oleh tanaman diterjemahkan model WaNuLCAS melalui beberapa modul antara lain iklim, erosi tanah dan sedimentasi, penyerapan air, hara dan cahaya oleh tanaman, pertumbuhan tanaman (tajuk dan akar), bahan organik tanah serta keseimbangan hara, air dan tanah. Penjelasan lebih rinci mengenai proses penyerapan air, hara dan cahaya dapat dilihat pada van Noordwijk dan Lusiana (2000) dan Hariah et al. (2002).

Modul iklim, erosi tanah dan sedimentasi memodelkan bagaimana hujan pada lahan miring akan mengalir di permukaan tanah sebagai limpasan permukaan. Semakin banyak air yang mengalir dalam bentuk limpasan permukaan, maka semakin berkurang resapan air ke dalam tanah dan semakin tinggi resiko terjadinya kekeringan. Meningkatnya limpasan permukaan juga meningkatkan kehilangan lapisan tanah atas (erosi), bahan organik dan hara. Dengan berjalannya waktu dampak in situ yang dirasakan adalah menurunnya produksi tanaman dan dampak ex situ adalah sedimentasi di daerah hilir.

## METODOLOGI

### Gambaran umum daerah Sumberjaya

Kecamatan Sumberjaya, Lampung Barat, merupakan daerah yang berbatasan dengan pegunungan yang bersambungan dan terletak di hulu DAS Tulang Bawang dengan luas lebih dari 478 km<sup>2</sup> dan ketinggian antara 700 – 1700 m dpl (Agus et al., 2002). Kondisi topografi wilayah ini bervariasi mulai dari datar, bergelombang, berbukit sampai bergunung. Wilayah datar hingga bergelombang mencapai 15%, bergelombang hingga berbukit 65% dan wilayah berbukit hingga bergunung mencapai 20% (Sihite, 2001).

Jenis tanah yang dominan pada daerah ini adalah Inceptisol yang dicirikan dengan tingkat perkembangan yang relatif muda (Agus et al., 2002). Tekstur tanah di daerah Sumberjaya didominasi oleh lempung liat pada lapisan atas dan liat pada lapisan bawah (Widianto, 2002) dengan kisaran laju infiltrasi pada kondisi jenuh berkisar antara 24-240 mm hari<sup>-1</sup> (Tabel 1).

Curah hujan rata-rata di daerah Sumberjaya 2614 mm tahun<sup>-1</sup> dan memiliki intensitas yang tinggi dengan durasi hujan yang singkat dan tidak merata penyebarannya (Sinukaban et al., 2000). Musim hujan yang ditandai dengan tingginya curah hujan terjadi mulai bulan November hingga Mei, sedang curah hujan

**Tabel 1.** Laju infiltrasi tanah sesudah mencapai keadaan stabil (mendekati konduktivitas hidrolik jenuh).

Tekstur tanah	Laju infiltrasi, mm jam <sup>-1</sup>	Laju infiltrasi, mm hari <sup>-1</sup>
Pasir	> 30	>720
Lempung berpasir	20 - 30	480 – 720
Lempung	10 - 20	240 – 480
Lempung liat	5 - 10	120 – 240
Liat	1 - 5	24 – 120

Sumber : Brouwer *et al.* (1999).

terendah terjadi pada bulan Juni – September setiap tahunnya (Farida, 2001). Limpasan permukaan akan meningkat seiring dengan meningkatnya intensitas hujan. Seiring dengan waktu dan terjadinya proses penjumlahan tanah, intensitas hujan yang konstan juga dapat meningkatkan limpasan permukaan (Kinoshita dan Nakane, 2002).

#### Penggunaan model WaNuLCAS

Dalam proses pengkajian perubahan limpasan permukaan dan kehilangan tanah menggunakan model simulasi WaNuLCAS, terlebih dahulu dilakukan validasi terhadap model. Validasi dilakukan dengan cara membandingkan hasil pemodelan dengan data pengamatan di lapangan untuk kondisi kebun kopi monokultur 1, 3, 7 dan 10 tahun serta hutan sebagai kontrol. Data limpasan permukaan dan kehilangan tanah yang digunakan adalah data pengamatan dalam periode 18 Mei – 21 Juli 2001 (Widianto *et al.*, 2004). Nantinya diharapkan model mampu menggambarkan fenomena perubahan limpasan permukaan dan erosi akibat dari perubahan alih guna lahan.

#### Proses limpasan permukaan dan kehilangan tanah dalam model WaNuLCAS

Siklus air dalam tanah (Suprayogo *et al.*, 2002) merupakan peristiwa yang melibatkan proses masuknya air ke dalam lapisan tanah dan keluarnya air dari lapisan tanah. Proses masuknya air hujan ke dalam lapisan tanah melalui suatu proses yang dinamakan infiltrasi. Dalam model WaNuLCAS, apabila curah hujan telah melebihi maximum laju infiltrasi tanah dan curah hujan telah melebihi kapasitas tanah menyimpan air (jumlah ruang pori tanah) limpasan permukaan mulai terjadi (Gambar 1).

Laju infiltrasi tanah sangat dipengaruhi oleh macam penggunaan lahan atau kerapatan vegetasi penutup tanah yang berhubungan dengan ketebalan lapisan seresah tanah, intensitas hujan, intersepsi hujan oleh canopi tanaman dan dinamika struktur tanah. Dinamika struktur tanah merupakan proses pembentukan dan penurunan pori makro yang sangat tergantung pada tersedianya makanan (bahan organik)

bagi cacing tanah berupa lapisan seresah tanah dan akar yang mati. Kapasitas tanah dalam menyimpan air tergantung pada konduktivitas hidrolik jenuh dan aliran lateral. Konduktivitas hidrolik jenuh dihitung melalui rumus Van Genuchten yang merupakan fungsi dari tekstur tanah, bahan organik tanah dan kerapatan tanah (Woesten *et al.*, 1998).

Kehilangan tanah dimodelkan sebagai fungsi dari limpasan permukaan, kemiringan lahan, kerapatan vegetasi penutup tanah dan koefisien entrainment/erodibilitas tanah atau mudah tidaknya tanah terkikis oleh hujan dan limpasan permukaan (Rose, 1985):

$$E = 2700 * S * (1 - Cover) * \lambda * \frac{Q}{100}$$

dengan,

E = kehilangan tanah (Mg ha<sup>-1</sup>)

S = sinus(kemiringan lahan)

Cover = fraksi penutupan lahan (0 = terbuka – 1 = tertutup)

Q = limpasan permukaan, mm

I = entrainment efisiensi.

Selanjutnya Rose (1985) memodifikasi I menjadi

$$\lambda = \lambda_{bare} e^{-0.15COV}$$

dengan:

$\lambda_{bare}$  = entrainment efisiensi dari plot terbuka,

COV = persen penutupan lahan.

#### Parameterisasi sistem kopi dan hujan di Sumberjaya dalam model WaNuLCAS

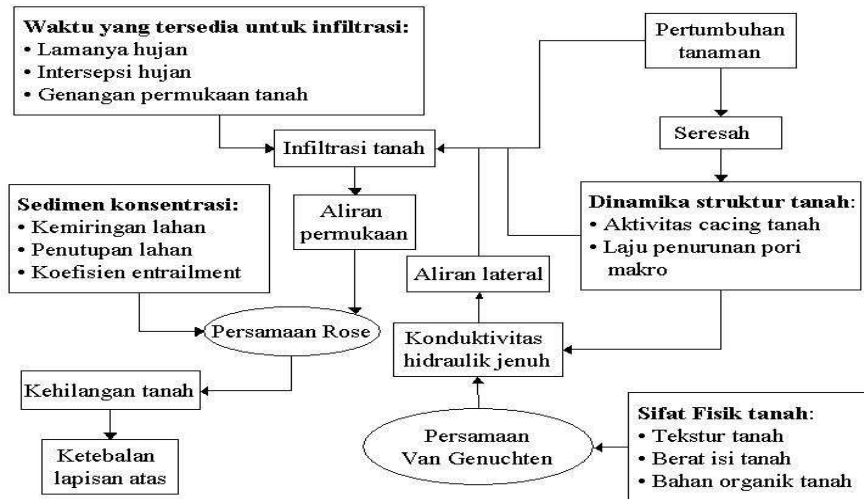
Parameterisasi merupakan tahapan penting dalam memodelkan suatu sistem. Simulasi sistem kopi di Sumberjaya dilakukan berdasarkan data hasil pengukuran di lapangan dan dengan bantuan uji sensitivitas untuk parameter-parameter yang sulit diukur.

#### Parameterisasi tanaman kopi dan kondisi tanah

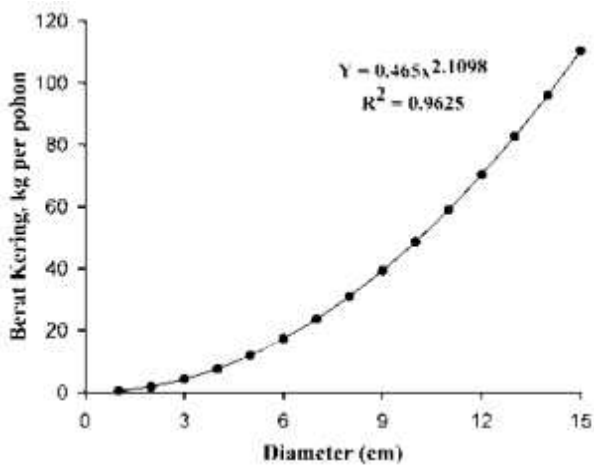
Dalam model WaNuLCAS, pertumbuhan kopi dimodelkan berdasarkan konsep percabangan fraktal yang mengacu pada Analisis Cabang Fungsional (FBA = Functional Branch Analysis) yang dikembangkan oleh van Noordwijk dan Mulia (2002). Untuk keperluan simulasi sistem kopi ini, konsep Analisis Cabang Fungsional dipadukan dengan persamaan allometrik kopi yang diperoleh Arifin (2001). Parameter tanaman kopi lainnya dan parameter kondisi tanah diperoleh dari Farida (2001). Kurva pertumbuhan kopi berdasarkan estimasi allometrik dari Arifin (2001) disajikan dalam Gambar 2.

#### Parameterisasi intensitas hujan dan laju infiltrasi tanah

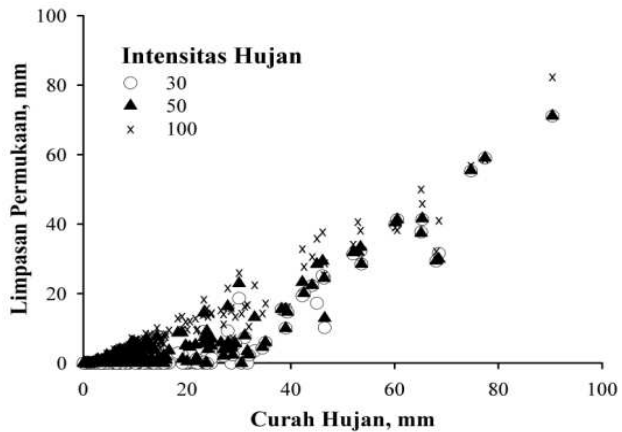
Dalam model WaNuLCAS, parameter yang mewakili faktor intensitas adalah Rain\_IntensMean (RIM), sedang parameter yang mewakili faktor laju infiltrasi tanah (mm hari<sup>-1</sup>) adalah S\_SurfInfilInit (SSI) dan



Gambar 1. Diagram alur faktor-faktor yang mempengaruhi limpasan permukaan dan kehilangan tanah dalam model WaNuLCAS (Khasanah et al., 2002).



Gambar 2. Kurva pertumbuhan kopi berdasarkan Arifin (2001).



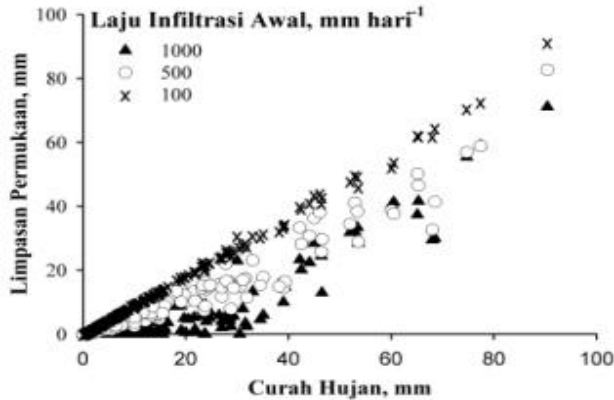
Gambar 3. Hubungan antara limpasan permukaan dan curah hujan pada berbagai nilai intensitas hujan (RIM).

S<sub>SurfInfiltDef</sub> (SSD). Parameter RIM didefinisikan sebagai curah hujan per jam (mm jam<sup>-1</sup>) dan berkaitan dengan parameter durasi/lamanya hujan. Gambar 3 menampilkan prediksi limpasan permukaan pada tiga nilai RIM yang berbeda, yakni 30, 50 dan 100 yang berpadanan dengan durasi hujan selama 48, 29 dan 14 menit. Nilai ini merupakan nilai rata-rata, variasi nilai durasi hujan ini akan mengikuti nilai standar deviasi. Secara umum dapat dilihat bahwa hasil sensitivitas limpasan permukaan pada berbagai nilai RIM menunjukkan peningkatan dengan semakin besarnya nilai RIM (nilai SSI 1000 mm hari<sup>-1</sup>).

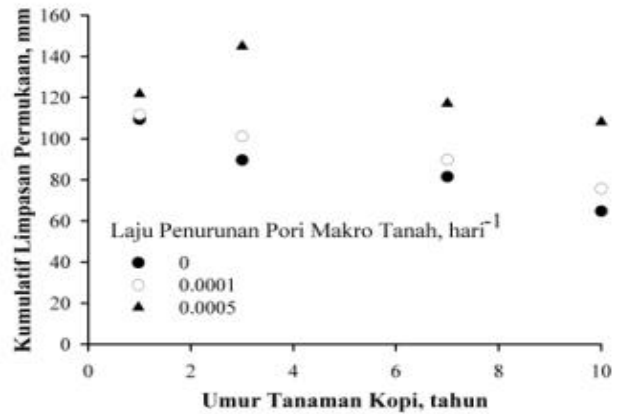
Parameter SSI merupakan laju infiltrasi tanah pada saat kondisi tanah kering ketika air hujan akan terinfiltrasi dengan cepat. Sedangkan SSD adalah laju infiltrasi tanah pada kondisi stabil saat pori-pori tanah

mencapai jenuh. Secara umum hasil sensitivitas limpasan permukaan pada berbagai nilai SSI menunjukkan semakin kecil nilai SSI, semakin tinggi limpasan permukaan (Gambar 4).

Pada RIM 50 dan SSI 1000 mm hari<sup>-1</sup>, jumlah limpasan permukaan untuk curah hujan di bawah 40 mm relatif kecil, yaitu berkisar antara 0 – 15 mm. Pada curah hujan 40 – 60 mm, limpasan permukaan berkisar antara 0 – 30 mm. Meskipun demikian, pada beberapa kejadian hujan di atas 40 mm, limpasan permukaan relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi tanah yang basah atau kering pada saat terjadi hujan sangat mempengaruhi besarnya limpasan permukaan (Kinoshita dan Nakane, 2002). Keadaan ini dimungkinkan oleh kondisi tanah dalam keadaan kering



**Gambar 4.** Hubungan antara limpasan permukaan dan curah hujan pada berbagai nilai laju infiltrasi awal (SSI).



**Gambar 5.** Hubungan antara limpasan permukaan dengan parameter SKD pada nilai 0; 0.0001 dan 0.0005.

sehingga banyak pori makro tanah yang terisi udara yang memungkinkan air hujan banyak terinfiltrasi.

Kisaran nilai limpasan permukaan yang diperoleh dengan nilai RIM 50 dan SSI 1000 mm hari<sup>-1</sup>, telah mendekati hasil pengukuran yang dilakukan pada kebun kopi 1 tahun (Widiyanto *et al.*, 2004). Menurut Widiyanto *et al.* (2004) nilai limpasan permukaan berkisar antara 0 – 10 mm untuk curah hujan kurang dari 40 mm, sedang untuk curah hujan 40 - 50 mm berkisar antara 5 – 20 mm. Dengan demikian nilai parameter RIM sebesar 50 dan SSI sebesar 1000 digunakan untuk perbandingan hasil simulasi dan pengukuran di lapangan.

**Parameterisasi dinamika struktur tanah**

Dinamika struktur tanah diterjemahkan dalam model WaNuLCAS sebagai parameter S\_KStrucDecay (SKD). Secara spesifik parameter SKD merupakan nilai yang menunjukkan besarnya laju penurunan pori makro tanah per hari.

Hubungan antara limpasan permukaan dengan umur kebun kopi pada nilai SKD 0, 0.0001 dan 0.0005 ditampilkan pada Gambar 5. Laju penurunan pori makro tanah per hari berbanding lurus dengan nilai SKD. Secara umum hasil sensitivitas limpasan permukaan pada berbagai nilai SKD meningkat dengan meningkatnya nilai SKD.

Hasil sensitivitas limpasan permukaan pada berbagai nilai SKD ini selanjutnya dibandingkan dengan hasil pengukuran limpasan permukaan di lapangan, dengan demikian dapat dipilih nilai SKD yang dapat mewakili kondisi tanah di daerah Sumberjaya.

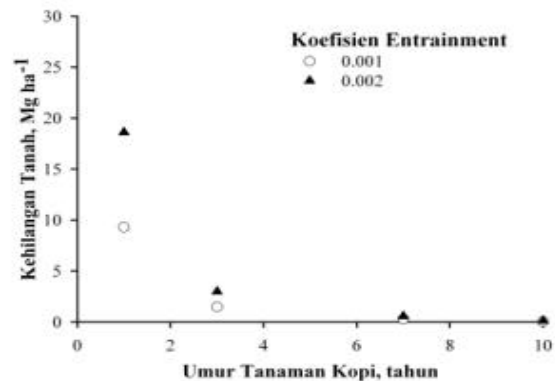
**Parameterisasi kehilangan tanah**

Besarnya kehilangan tanah selain dipengaruhi oleh besarnya limpasan permukaan juga ditentukan oleh mudah tidaknya tanah terbawa oleh limpasan permukaan. Dalam hal ini model WaNuLCAS

menterjemahkannya melalui parameter E\_EntrainmentCoeffBarePlot (ECB). ECB merupakan faktor yang menentukan mudah tidaknya tanah tererosi dalam kondisi tanpa adanya vegetasi penutup tanah.

Hasil parameterisasi dinamika struktur tanah, pada nilai SKD tertentu digunakan untuk simulasi pada berbagai nilai ECB. Hubungan antara kehilangan tanah dengan umur kebun kopi pada nilai ECB 0.001, 0.002 ditampilkan pada Gambar 6. Terlihat bahwa dengan meningkatnya nilai ECB akan meningkatkan besarnya kehilangan tanah dan cenderung menurun dengan bertambahnya umur kebun kopi.

Hasil sensitivitas kehilangan tanah pada berbagai nilai ECB ini selanjutnya dibandingkan dengan hasil pengukuran kehilangan tanah di lapangan, dengan demikian dapat dipilih nilai ECB yang dapat mewakili kondisi tanah di Sumberjaya



**Gambar 6.** Hubungan antara kehilangan tanah dengan umur kebun kopi pada nilai ECB 0.001 dan 0.002.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

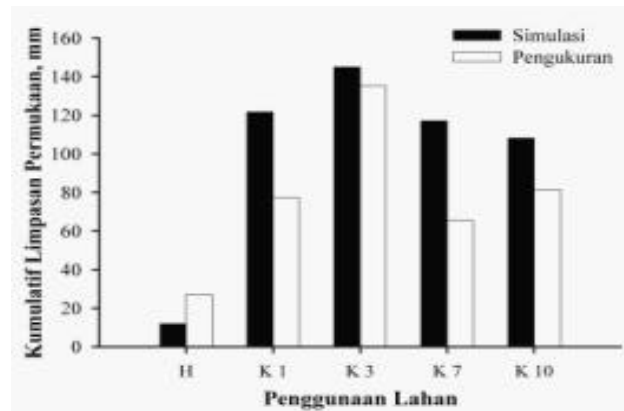
### Limpasan Permukaan

Limpasan permukaan hasil pengukuran di lapangan pada kopi umur 1 – 10 tahun selama periode 3 bulan pengukuran mengikuti pola hasil simulasi model dengan nilai SKD 0.0005 (Gambar 7). Terjadi kenaikan jumlah limpasan permukaan hasil simulasi dari hutan menjadi kebun kopi (Gambar 8). Pada kebun kopi, limpasan permukaan cenderung naik dengan bertambahnya umur kebun kopi dan mencapai puncak pada kebun kopi umur 3 tahun, selanjutnya menurun pada kebun kopi umur 7 dan 10 tahun. Hal ini dapat dijelaskan dengan adanya dinamika struktur tanah yang terkait dengan penurunan dan pembentukan pori-pori tanah (Gambar 9). Hasil pengukuran di lapangan mempunyai pola yang sama dengan hasil simulasi sampai pada kebun kopi umur 7 sedangkan pada kebun kopi umur 10 tahun besarnya limpasan permukaan kembali meningkat (Widiyanto *et al.*, 2004).

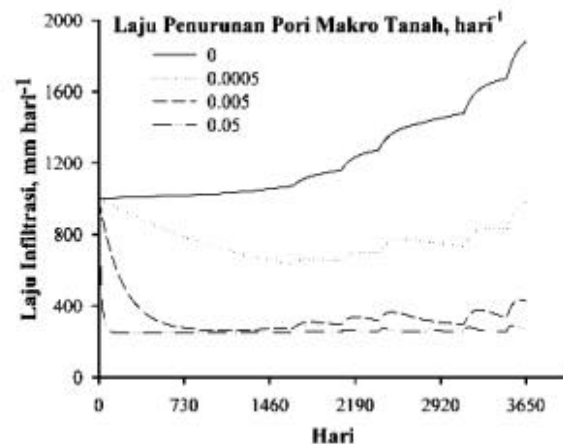


**Gambar 7.** Perbandingan hasil pengukuran limpasan permukaan di lapangan dengan hasil simulasi pada nilai SKD 0; 0.0001 dan 0.0005.

Laju infiltrasi tanah menurun sampai dengan tahun ketiga (Gambar 9) sehingga air hujan banyak yang menjadi limpasan permukaan. Pada saat ini pertumbuhan tanaman kopi masih relatif kecil dan jumlah seresah (litterfall) yang merupakan sumber makanan bagi organisme tanah (cacing tanah) yang berperan dalam perbaikan struktur tanah belum mencukupi. Menurut Hairiah *et al.* (2004) alih guna lahan hutan menjadi lahan agroforestri berbasis kopi menurunkan tingkat ketebalan seresah di atas permukaan tanah. Bila lahan hutan dikonversi menjadi sistem kopi monokultur ketebalan seresah turun dari 2.1 Mg ha<sup>-1</sup> menjadi sekitar 1.2 Mg ha<sup>-1</sup>. Seiring dengan tumbuhnya tanaman kopi dan adanya pemangkasan pada tahun ketiga jumlah makanan bagi organisme



**Gambar 8.** Perbandingan limpasan permukaan hasil pengukuran di lapangan dan simulasi pada berbagai umur kebun kopi dan hutan (H = hutan, K 1 = Kopi 1 tahun, K 3 = Kopi 3 tahun, K 7 = Kopi 7 tahun, K 10 = Kopi 10 tahun).



**Gambar 9.** Perubahan laju infiltrasi tanah setelah pembukaan hutan pada berbagai nilai SKD yakni 0; 0.0005; 0.005 dan 0.05 selama 10 tahun simulasi.

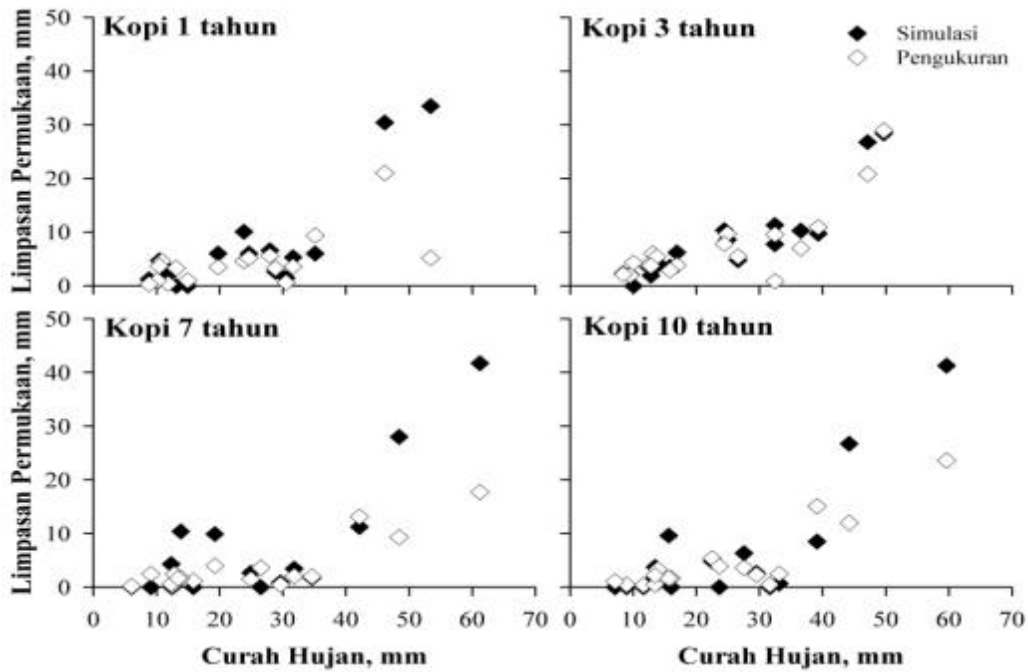
tanah telah mencukupi sehingga terjadi perbaikan struktur tanah yang diikuti dengan meningkatnya laju infiltrasi tanah.

Limpasan permukaan hasil simulasi cenderung lebih besar dari hasil pengukuran di lapangan (Gambar 7 dan 8). Perbandingan hasil pengukuran di lapangan dan hasil simulasi pada masing-masing umur kebun kopi pada setiap kejadian hujan disajikan pada Gambar 10. Nilai limpasan permukaan hasil simulasi pada curah hujan lebih dari 40 mm cenderung lebih besar dibandingkan dengan hasil pengukuran di lapangan. Untuk curah hujan kurang dari 40 mm perbandingan hasil pengukuran di lapangan dengan hasil simulasi relatif sama. Dapat dikatakan bahwa limpasan permukaan hasil simulasi sebanding dengan besarnya curah hujan, sedangkan hasil pengukuran di lapangan tidak selalu menunjukkan pola tersebut.

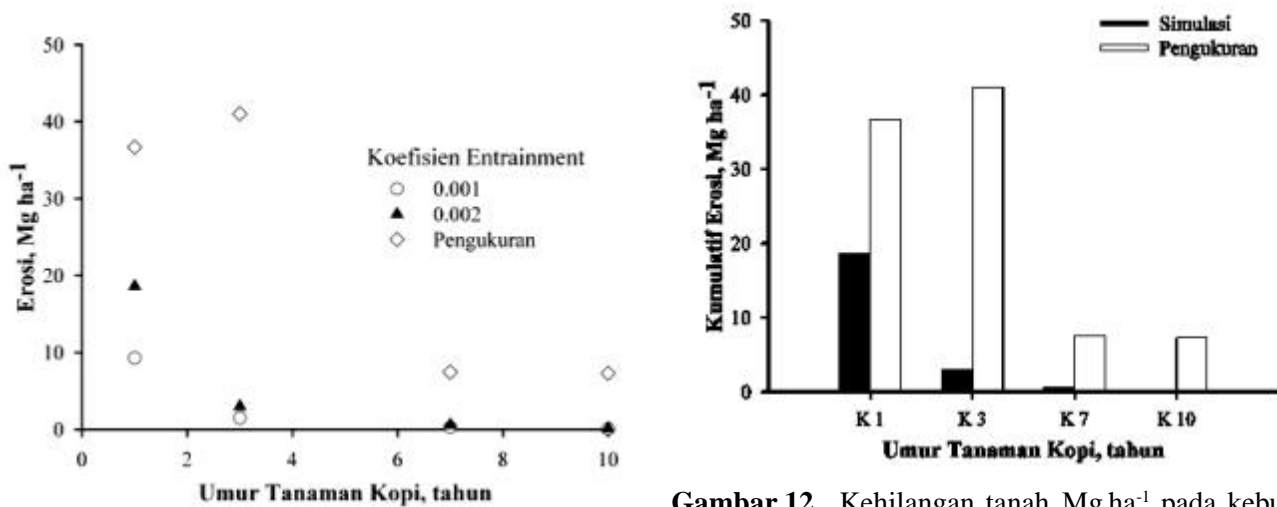
**Kehilangan Tanah**

Pola kehilangan tanah hasil pengukuran di lapangan cenderung mengikuti pola limpasan permukaan seperti yang telah dijabarkan di atas. Besarnya kehilangan tanah hasil simulasi jauh lebih kecil dari hasil pengukuran di lapangan (Gambar 11 dan 12) dalam Widiyanto *et al.*, (2004) yang digunakan untuk pembandingan dalam tulisan ini yaitu sebesar 37 Mg ha<sup>-1</sup> selama 3 bulan pengamatan.

Sejauh ini hasil simulasi WaNuLCAS dengan nilai ECB 0.002 merupakan kisaran nilai kehilangan tanah yang masih dapat diterima yaitu sebesar 20 Mg ha<sup>-1</sup> pada kebun kopi umur 1 tahun. Kisaran ini mendekati hasil pengukuran Affandi (2002) yaitu kehilangan tanah sebesar 22.7 Mg ha<sup>-1</sup> pada plot kopi umur 2 tahun yang mendapatkan penyiangan secara rutin.



**Gambar 10.** Limpasan permukaan hasil pengukuran di lapangan dan hasil simulasi pada berbagai umur kebun kopi pada nilai S\_Kstruc Decay 0.0005.



**Gambar 11.** Kehilangan tanah pada kebun kopi 1 – 10 tahun pada beberapa nilai E\_EntrainmentCoeffBarePlot.

**Gambar 12.** Kehilangan tanah, Mg ha<sup>-1</sup> pada kebun kopi 1 – 10 tahun pada nilai E\_EntrainmentCoeffBarePlot 0.002 (K 1 = Kopi 1 tahun, K 3 = Kopi 3 tahun, K 7 = Kopi 7 tahun, K 10 = Kopi 10 tahun).

## KESIMPULAN

Model simulasi WaNuLCAS dapat digunakan untuk mengeksplorasi besarnya limpasan permukaan dan kehilangan tanah pada berbagai skenario perubahan penggunaan lahan yang berkaitan dengan perubahan sifat-sifat tanah, penutupan kanopi, dan sifat hujan. Nilai parameter Rain\_IntensMean (RIM) sebesar 50 dan S\_SurfInfilInit (SSI) sebesar 1000 mm hari<sup>-1</sup> merupakan nilai yang dapat mewakili kondisi tanah dan hujan di Desa Bodong, Sumberjaya.

Besarnya limpasan permukaan hasil simulasi cenderung lebih besar dari hasil pengukuran di lapangan dengan pola mengikuti pola hasil simulasi model dengan nilai S\_KStrucDecay (SKD) sebesar 0.0005. Besarnya kehilangan tanah hasil simulasi cenderung lebih kecil dari hasil pengukuran di lapangan, namun hasil simulasi dengan nilai E\_Entrainment CoefBarePlot (ECB) 0.002 merupakan kisaran nilai kehilangan tanah yang masih dapat diterima.

## Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada Herman Noveras dan Dr. Didik Suprayogo dari Jurusan Tanah, Universitas Brawijaya yang telah memberikan kesempatan kepada kami untuk menggunakan data pengamatan limpasan permukaan di Sumberjaya, Lampung. Terima kasih juga disampaikan kepada Ir. Widiyanto, MSc., Dr. Fahmuddin Agus dan Prof. Dr. Kurniatun Hairiah atas sarannya yang berharga dalam penyempurnaan tulisan ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afandi. 2002. Soil erosion in Coffee Plantation at Multiple Scale an Overview of Field Research Result at Sumberjaya (1995 – 2002). *In* Background for ACIAR project planning meeting, Sumberjaya, 12 – 16 October 2002. World Agroforestry Centre (ICRAF-SEA), Bogor, Indonesia
- Agus, F.; Gintings, A.N. and M. van Noordwijk. 2002. Pilihan Teknologi Agroforestri/Konservasi Tanah untuk Areal Pertanian Berbasis Kopi di Sumberjaya, Lampung Barat. ICRAF-SE Asia, Bogor, **Indonesia. ISBN 979-3198-07-9.**
- Agus, F. 2002. Facilitating the development of Conservation Farming and Agroforestry Systems. *In* Background for ACIAR project planning meeting, Sumberjaya, 12 – 16 October 2002. World Agroforestry Centre (ICRAF-SEA), Bogor, Indonesia
- Arifin, J. 2001. Estimasi Cadangan Karbon pada Berbagai Sistem Penggunaan lahan di Kecamatan Ngantang, Malang. Thesis S1. Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian. Universitas Brawijaya. Malang.
- Brouwer, C.; Prins, K.; Kay, M. and M. Heibloem. 1990. Irrigation Water Management Training Manual No. 5: Irrigation Methods. FAO. <http://www.fao.org/docrep/S8684E/s8684e0a.htm>. 4 Nopember 2003.
- Farida. 2001. Analisis Limpasan Permukaan pada berbagai Umur Kebun Kopi di Sumberjaya, Lampung Barat. Jurusan Geofisika dan Meteorologi. Skripsi S1, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Pertanian Bogor.
- Fernhout, P.D. and C.F. Kurtz. 1998. The Garden with Insight (garden simulator). <http://www.gardenwithinsight.com/help100/00000540.htm>. 4 Nopember 2003.
- Hairiah, K.; Widiyanto; Utami, S.R. and B. Lusiana. 2002. WaNuLCAS Model Simulasi untuk Sistem Agroforestry. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF), Bogor, Indonesia.
- Hairiah, K.; Suprayogo, D.; Widiyanto; Berlian; Suhara, E.; Mardiasuning, A.; Widodo, R.H.; Prayogo, C. dan S. Rahayu. 2004. Alih Guna Lahan Hutan Menjadi Lahan Agroforestri Berbasis Kopi: Ketebalan Seresah, Populasi Cacing Tanah Dan Makroporositas Tanah. *Agrivita* 26 (1): 68-80.
- Khasanah, N.; Lusiana, B.; Farida, A. and M. van Noordwijk. 2002. Simulating Run off and soil erosion using WaNuLCAS: Water, Nutrient and Light Capture in Agroforestry System. *In* Background for ACIAR project planning meeting, Sumberjaya, 12 – 16 October 2002. World Agroforestry Centre (ICRAF-SEA), Bogor, Indonesia
- Kinoshita, T. and K. Nakane. 2002. Study on Surface Runoff (Part 1), Effects of Rainfall Intensity on Surface Runoff from the Experimental Plot. National Research Center for Disaster Prevention, Japan. <http://www.bosai.go.jp/ad/Jpn/report/abstract/re18/r18-3.html>. 4 Nopember 2003.
- Oldeman, L.R.; Las, I. and S.N. Darwis. 1979. The Agroclimatic Map of Sumatra. Contribution No. 52. Central Research Institute for Agriculture, Bogor, 35p.
- Rose, C.W. 1985. Developments in Soil Erosion and Deposition Models. *Advances in Soil Science* 2: 1– 63
- Schmit, F.H. dan J.H. Ferguson. 1951. Rainfall Types Based on Wet and Dry Period Ratios for Indonesia with Western New Guinea. *Verh.* No. 42. Direktorat Meteorologi dan Geofisika Jakarta.
- Sihite, J. 2001. Evaluasi Dampak Erosi Tanah Model Pendekatan Ekonomi Lingkungan dalam Perlindungan DAS : Kasus Sub DAS Besai, DAS Tulang Bawang, Lampung. Thesis Pasca – Sarjana IPB. Bogor.



- Sinukaban, N. ; Tarigan, S. D. ; Purwakusuma, W. ; Baskoro, D. and E.D. Wahyuni. 2000. Analysis of Watershed Function Sediment Transfer Across Various Type of Filter Strips. South East Asia Policy Research Working Paper No 7. World Agroforestry Centre (ICRAF-SEA), Bogor, Indonesia.
- Sunaryo; Suprayogo, D. dan B. Lusiana. 2002. Stella dan Model WaNuLCAS. *Dalam* Hairiah, K.; Widiyanto; Utami, S.R. dan B. Lusiana (eds), WaNuLCAS Model Simulasi untuk Sistem Agroforestry. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF), Bogor, Indonesia.
- Suprayogo, D.; Widiyanto; Lusiana, B. dan M. Van Noordwijk. 2002. Neraca air Sistem agroforestry. *Dalam* Hairiah, K.; Widiyanto; Utami, S.R. dan B. Lusiana (eds), WaNuLCAS Model Simulasi untuk Sistem Agroforestry. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF), Bogor, Indonesia
- Van Noordwijk, M. dan B. Lusiana. 2000. WaNuLCAS 2.0. Backgrounds of a model of Water, Nutrient and Light Capture in Agroforestry Systems. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF), Bogor, Indonesia
- Van Noordwijk, M. dan R. Mulia. 2002. Functional Branch Analysis as Tool for Fractal Scaling Above and Belowground Trees for their Additive and Non Additive Properties. *Ecological Modelling*, 149, 41 – 51.
- Verbist, B. dan G. Pasya. 2004. Perspektif Sejarah Status Lahan, Kawasan Hutan, Konflik dan Negosiasi di Sumberjaya Kabupaten Lampung Barat – Propinsi Lampung. *Agrivita* 26 (1): 20-28.
- Widiyanto; Noveras, H.; Suprayogo, D.; Widodo, R.H.; Purnomosidi, P. dan M. van Noordwijk. 2004. Konversi Hutan Menjadi Lahan Pertanian: Apakah Fungsi Hidrologis Hutan Dapat digantikan Agroforestry Berbasis Kopi?. *Agrivita* 26 (1): 47-52.
- Wosten, J.H.M. ; Lilly, A. ; Nemes, A. and C. Le Bas. 1998. Using existing soil data to derive hydraulic parameters for simulation models in environmental studies and in land use planning. Report 156, SC-DLO, Wageningen (the Netherlands), 106 pp.