

**SIMULASI MODEL DINAMIK PENGARUH *LEGUME COVER CROPS* (LCC)  
TERHADAP LIMPASAN DAN SEDIMEN DI LAHAN HUTAN TANAMAN**

*(Dynamic model simulation of the effects of Legume Cover Crops (LCC) on runoff and sediment in plantation forest land)*

Agung Budi Supangat<sup>1</sup>, Putu Sudira<sup>2</sup>, Haryono Supriyo<sup>3</sup>, Erny Poedjirahajoe<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai  
*Jl. Jend. A. Yani Pabelan Kartasura PO BOX 295 Surakarta 57102*

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada  
*Jl. Flora No. 1 Bulaksumur Yogyakarta 55281*

<sup>3</sup>Bagian Silvikultur, Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada  
*Jl. Agro Bulaksumur Yogyakarta 55281*

<sup>4</sup>Bagian Konservasi Sumberdaya Hutan, Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada  
*Jl. Agro Bulaksumur Yogyakarta 55281*  
*Email: maz\_goenk@yahoo.com*

Diterima: 25 April 2017; Selesai Direvisi: 21 Maret 2018; Disetujui: 21 Maret 2018

**ABSTRACT**

*Declining productivity of plantation forest due to low soil fertility. This condition has forced managers to make efforts in manipulating the tree growing environment. One such effort is by introducing cover crops species from legumes (LCC), to control surface runoff, soil erosion and input nutrient into the soil. The research aims to determine the effectiveness of LCC in controlling total runoff and sedimentation in *Eucalyptus pellita* plantations, through dynamic model simulation. The dynamic model of STELLA version 9.0.2 was used to study water and nutrient cycles, focused on the application of LCC to reduce total runoff and sedimentation. The results showed that LCC could drop the total runoff of average 35% in the 1 - 2 years old. In the 1<sup>st</sup> year it decreased from 1,530 mm to 994 mm, while in the 2<sup>nd</sup> year it decreased from 1,240 mm to 806 mm. The declining also occurred in the sediment content, in the 1<sup>st</sup> year it decreased from 12.20 tonnes/ha to 7.93 tonnes/ha, and the 2<sup>nd</sup> year it decreased from 6.63 tonnes/ha to 4.36 tonnes/ha. These research findings can be used by the environmental manager to minimize potential land degradation, especially during the post-harvest until the young plantations (0-2 years old) phases.*

**Key words:** *plantation forest; E. pellita; dinamic model; legume cover crops; erosion; runoff*

## ABSTRAK

Penurunan produktivitas hutan tanaman akibat rendahnya tingkat kesuburan tanah memaksa pengelola melakukan berbagai upaya manipulasi lingkungan pertumbuhan. Salah satu upaya tersebut adalah introduksi tanaman penutup tanah dari jenis legum (LCC) untuk mengendalikan laju aliran permukaan dan erosi tanah serta input hara ke dalam tanah. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui efektivitas LCC dalam mengendalikan laju limpasan permukaan dan sedimentasi di hutan tanaman *E. pellita*, melalui simulasi pemodelan sistem dinamik. Model dinamik STELLA versi 9.0.2 dimanfaatkan untuk mempelajari siklus air dan hara yang terjadi, dengan fokus simulasi aplikasi LCC untuk mengurangi total limpasan dan sedimentasi. Hasil simulasi menyimpulkan pengaruh aplikasi LCC pada pascatebangan dapat menurunkan total limpasan pada tanaman berumur 1 sampai 2 tahun sebesar rata-rata 35%. Pada tahun pertama menurun dari 1.530 mm menjadi 994 mm, sedangkan pada tahun kedua menurun dari 1.240 mm menjadi 806 mm. Penurunan juga terjadi pada kandungan sedimen, pada tahun pertama menurun dari 12,20 ton/ha menjadi 7,93 ton/ha, dan tahun kedua menurun dari 6,63 ton/ha menjadi 4,36 ton/ha. Hasil tersebut dapat menjadi input bagi pengelola sebagai dasar pengelolaan lingkungan untuk meminimalkan potensi degradasi lahan khususnya pada fase pasca tebangan sampai tanaman muda (0-2 tahun).

**Kata kunci:** hutan tanaman; *E. pellita*; model dinamik; *legume cover crops*; erosi dan *runoff*

## I. PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan yang dihadapi dalam pengelolaan hutan tanaman adalah rendahnya produktivitas lahan, yang ditandai oleh semakin menurunnya tingkat kesuburan tanah dan produksi biomassa dari satu daur ke daur berikutnya (Gonçalves, Stape, Laclau, Smethurst, & Gava, 2004; Walmsley, Jones, Reynolds, Price, & Healey, 2009; Supangat, Supriyo, Sudiro, & Poedjirahajoe, 2013). Oleh karena itu, pada pengusahaan hutan tanaman diperlukan input pupuk yang sangat besar ke dalam tanah hutan. Hal ini menyebabkan biaya operasional hutan tanaman menjadi besar, dan jika tidak dilakukan dengan benar, pengelolaan

hutan tanaman akan mendatangkan kerugian materi maupun ekologis.

Penurunan produktivitas lahan hutan tanaman disebabkan berbagai hal, diantaranya adalah akibat penggunaan jenis tanaman yang cepat tumbuh (*fast growing species*) yang memiliki sifat boros unsur hara dan air untuk pertumbuhan cepatnya (Gyenge, Fernández, & Schlichter, 2009; Versini, Mareschal, Matsoumbou, Zeller, Ranger, & Laclau, 2014). Demikian juga kehilangan hara akibat proses erosi lapisan tanah atas (*top soil*) serta pencucian hara (*leaching*) yang relatif cepat di lahan hutan tanaman, menambah cepatnya proses pemiskinan hara dalam tanah hutan (Versini *et al.*, 2014). Di satu sisi, banyak unsur hara terpakai untuk pertumbuhan tanaman, di sisi lain akibat

pola rotasi yang diterapkan di hutan tanaman mengakibatkan adanya fase pembukaan lahan yang rentan terhadap terjadinya erosi tanah. Lapisan tanah yang hilang dalam proses erosi juga mengakibatkan hilangnya unsur hara.

Berbagai upaya pengelolaan lingkungan pertumbuhan dilakukan melalui aplikasi teknologi silvikultur dengan tujuan untuk memacu pertumbuhan tanaman (Gonçalves *et al.*, 2004; Campoe, Iannelli, Stape, Cook, Mendes, & Vivian, 2014; Ferez, Campoe, Mendes, & Stape, 2015). Pengaturan jarak tanam, pemberian dosis pupuk secara tepat serta penerapan pola daur optimal adalah contoh bentuk-bentuk teknologi untuk meningkatkan produktivitas lahan hutan tanaman.

Dewasa ini, penggunaan teknologi ramah lingkungan lebih dikembangkan karena dampak negatif terhadap lingkungan dapat diminimalkan. Diantara teknik ramah lingkungan yang dapat diterapkan adalah penggunaan biomassa sisa tebang sebagai input pupuk alami (Jones, Beets, Kimberley, & Garret, 2011; McCavour, Paré, Messier, Thiffault, 2014; Rocha *et al.*, 2016), sekaligus sebagai mulsa penutup tanah untuk mengurangi potensi erosi dan limpasan permukaan (Rocha *et al.*, 2016). Aplikasi tanaman penutup tanah dari jenis polong-polongan (LCC) pada saat tanaman muda dapat mengendalikan energi kinetis butiran air hujan dan mengendalikan aliran permukaan dan erosi tanah (Garcia-Estringana, Alonso, Marques, Bienes, González, & Alegre, 2013; Basche, Miguez, Kaspar, & Castello, 2014; Clermont-Dauphin, Suvannang, Pongwichian, Cheylan, Hammecker, & Harmand, 2016). Selain itu, penanaman

LCC juga dapat menjadi input hara ke dalam tanah melalui keberadaan jenis menambat nitrogen (*nitrogen fixing species*) (Forrester, Theiveyanathan, Collopy, & Marcar, 2010; Clermont-Dauphin *et al.*, 2016), serta mengendalikan pencucian nitrat ( $\text{NO}_3$ ), menurunkan emisi nitrogen oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ) dan meningkatkan bahan organik tanah (Basche *et al.*, 2014).

Siklus air dan hara pada ekosistem hutan dapat dipelajari dengan menggunakan model dinamik berbasis sistem (Ouyang, Zhang, Leininger, & Frey, 2015). Pada penelitian ini digunakan pendekatan model dinamik STELLA untuk melakukan simulasi skenario pengelolaan lingkungan pertumbuhan tanaman dalam mempengaruhi siklus air dan hara yang terjadi pada ekosistem. Chapin, Matson, & Mooney (2002) mengatakan bahwa dalam konteks atribut fungsional pada ekosistem, siklus biogeokimia yang terjadi berkaitan erat dengan siklus air dan siklus hara, yaitu sebagai fungsi penyediaan hara bagi tanaman hutan. Oleh karena itu, siklus air merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari siklus hara dalam suatu ekosistem hutan tropika (Lü, Fu, Chen, Liu, & Wei, 2007).

Dalam paper ini disajikan analisis pengaruh aplikasi tanaman LCC dalam mengendalikan laju limpasan permukaan dan sedimen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas LCC dalam mengendalikan laju limpasan permukaan dan sedimentasi di hutan tanaman *E. pellita*. Hasil penelitian dapat dijadikan masukan bagi pengelola kawasan hutan tanaman sebagai dasar pelaksanaan pengelolaan lingkungan, khususnya pada jenis tanaman *E. pellita* di tanah Ultisol di

Provinsi Riau agar dampak negatif kegiatan pengelolaan dapat diminimalkan. Pengendalian limpasan permukaan dan sedimentasi yang terjadi juga berkontribusi pada upaya menjaga kelestarian DAS baik pada skala mikro di kawasan hutan tanaman, maupun pada skala DAS yang lebih luas.

## II. BAHAN DAN METODE

### A. Waktu dan Lokasi

Penelitian simulasi penggunaan LCC di lahan hutan tanaman *E. pellita* dilaksanakan pada tahun 2012. Lokasi penelitian berada di kawasan hutan tanaman *E. pellita* di areal kerja HPHTI PT. Arara Abadi Perawang (Gambar 1a), Propinsi Riau, khususnya di Distrik Rasau Kuning, Area Minas. Secara geografis, lokasi penelitian berada pada  $00^{\circ} 41,656'$  sampai  $00^{\circ} 45,361'$  LU dan  $101^{\circ} 34,657'$  sampai  $101^{\circ} 36,384'$  BT.

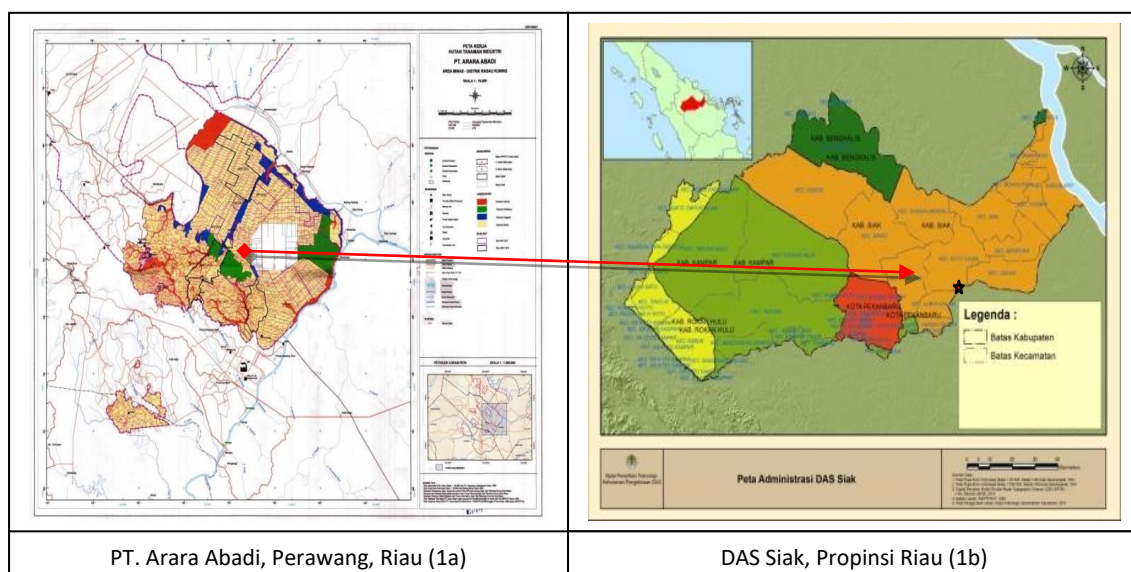
Kondisi iklim yang ada menurut klasifikasi Schmidt-Ferguson adalah tipe iklim A, dengan curah hujan tahunan rata-

rata 2.456 mm/th, suhu udara harian rata-rata sebesar  $27,7^{\circ}\text{C}$ , serta kelembaban udara harian rata-rata sebesar 68,7 %.

Jenis tanah di lokasi penelitian adalah Ultisol (Podsolik Merah Kuning), dengan kelas tekstur tanah geluh pasir (*sandy loam*) sampai geluh lempung pasir (*sandy clay loam*) (Supangat, Junaedi, Kosasih & Irwan, 2010)

### B. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder sebagai input untuk simulasi model dinamik siklus air dan hara di hutan tanaman *E. pellita*. Pada simulasi model ini, data yang diperlukan meliputi dinamika air (*curah hujan, intersepsi, runoff, stemflow, throughfall, infiltrasi, perkolasi, total runoff* dan sedimen) selama 1 daur, serta kandungan sedimen selama 1 daur (6 tahun, mulai tahun 2007 sampai 2012) di hutan tanaman *E. pellita*. Alat yang digunakan dalam penelitian adalah perangkat lunak komputer model STELLA Versi 9.0.2, Microsoft Excel serta alat tulis.



Gambar (Figure) 1. Lokasi Penelitian (Research location)

Sumber (Source) : Modifikasi dari Supangat *et al.*, 2010 (Modified from Supangat *et al.*, 2010)

### C. Metode Penelitian

Model STELLA merupakan salah satu model yang berbasis sistem yang bersifat dinamis. Model sistem ini dapat memudahkan memecahkan masalah di alam yang sangat kompleks, dengan mempelajari bagian-bagian atau komponen-komponen dari sistem yang saling berinteraksi dan menghasilkan sesuatu yang baru sebagai hasil interaksi yang terjadi (Voinov, 2008). Model atau analisis sistem dapat diartikan sebagai penguraian dari suatu sistem informasi yang utuh ke dalam bagian-bagian komponennya dengan maksud untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi proses/ interaksi yang terjadi antar komponen dalam sistem, dalam rangka menyelesaikan permasalahan/ tujuan penelitian (Grant, Ellen, & Sandra, 2003; Voinov, 2008).

Berdasarkan urutannya, tahapan kegiatan simulasi model STELLA meliputi empat tahapan yang harus dilakukan, yaitu (Grant *et al.*, 2003):

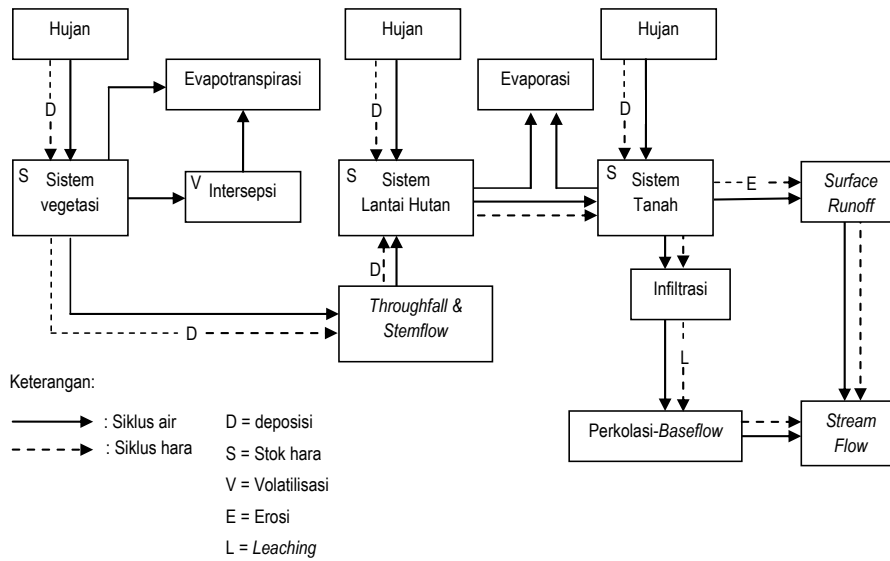
#### 1. Formulasi model konseptual

Tahapan ini bertujuan untuk menentukan konsep dan tujuan model yang dibuat. Formulasi model konseptual berdasarkan kondisi nyata yang ada di alam ke dalam model sistem dalam komputer. Kenyataan yang ada di alam dimasukkan dalam simulasi dengan memperhatikan komponen-komponen yang terkait sesuai dengan konsep dan tujuan penyusunan model.

Dalam penelitian ini, pemodelan dinamik STELLA secara umum bertujuan mempelajari pengaruh pengelolaan lingkungan berupa aplikasi LCC serta introduksi *mixed-cropping* pada lahan tanaman *E. pellita* dalam melindungi permukaan tanah dari potensi degradasi dan sekaligus input hara ke dalam ekosistem. Tujuan model dalam tulisan ini adalah untuk menilai dampak aplikasi LCC pada lahan pascatebangan atau pada saat persiapan lahan untuk tanaman baru terhadap total aliran permukaan (*total runoff*) dan sedimentasi.

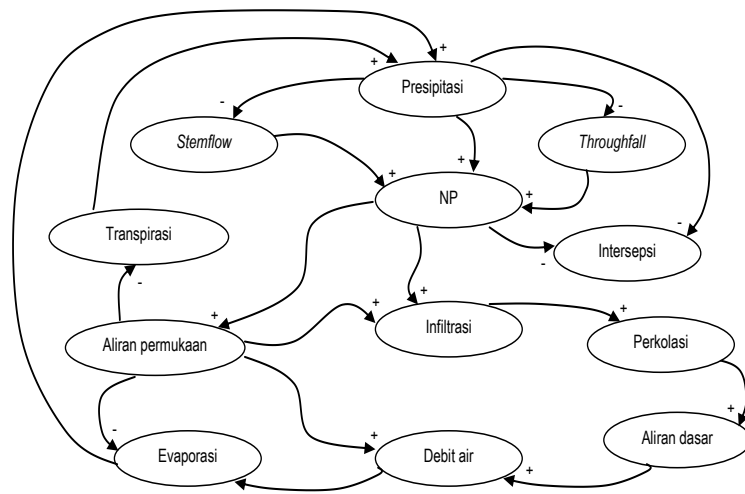
Model konseptual siklus air dan hara yang merupakan simplifikasi perjalanan air dan hara yang terjadi pada kawasan mikro DAS berhutan, disajikan pada Gambar 2. Di dalam ekosistem hutan tanaman, air dan hara yang bersiklus akan melalui tiga sub sistem, yaitu sub sistem vegetasi, sub sistem lantai hutan dan sub sistem tanah.

Berdasarkan mekanisme pada Gambar 2, kemudian disusun sistem dinamik yang merepresentasikan struktur hubungan umpan balik dan sebab akibat (*Causal Loop Diagram*). Diagram tersebut menunjukkan arah aliran perubahan variabel dan polaritasnya. Gambar 3 memperlihatkan struktur hubungan sebab akibat yang terjadi pada unit siklus hidrologi (air). Struktur model dinamik ditunjukkan oleh gambar *interface* hubungan antar sub model penyusun model dinamika air dan hara dalam model STELLA, disajikan dalam Lampiran 1. Hasil formulasi model dinamik untuk sub model dinamika air dan sedimen disajikan pada Gambar 4 dan 5.



Gambar (Figure) 2. Kerangka konseptual model hipotetik siklus air dan hara dalam skala mikro DAS berhutan (Conceptual framework of water and nutrient cycles hypothetical model in the micro scale forested watershed)

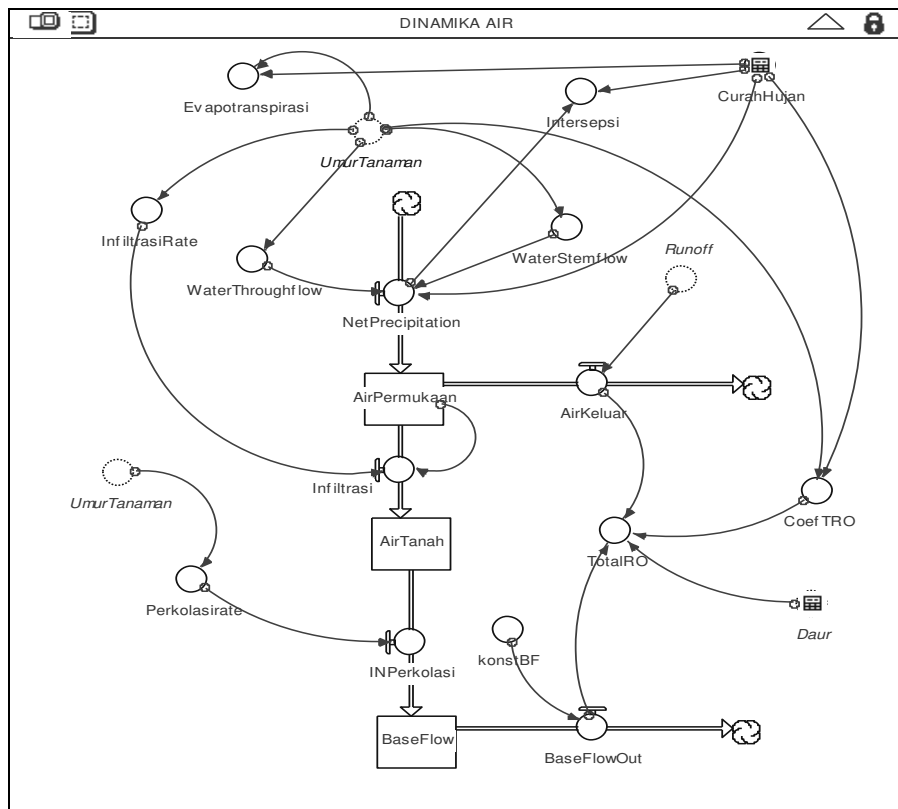
Sumber (Source): Modifikasi dari Singh (Modified from Singh), 1989



Keterangan: NP : Hujan bersih (Net Precipitation)  
 Tanda positif (+) : Terjadi penambahan  
 Tanda negatif (-) : Terjadi pengurangan

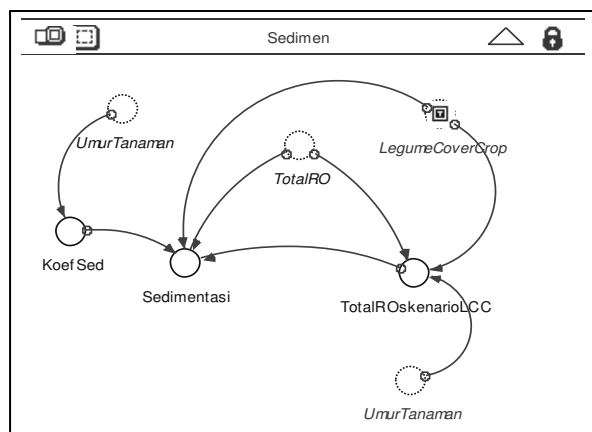
Gambar (Figure) 3. Diagram Causal Loop model hidrologi dalam skala mikro DAS di hutan tanaman (Causal Loop Diagram of a hydrological model on a micro scale watershed in a plantation forest)

Sumber (Source): Disarikan dari Singh, 1989 dan Bruijnzeel, 1997 (Adopted from Singh, 1989 and Bruijnzeel, 1997)



Gambar (Figure) 4. Formulasi model STELLA untuk sub model dinamika air (STELLA model formulation for water dynamics sub model)

Sumber (Source): Analisis data (Data analysis), 2012



Gambar (Figure) 5. Formulasi model STELLA untuk sub model sedimen (STELLA model formulation for sediment dynamics sub model)

Sumber (Source): Analisis data (Data analysis), 2012

## 2. Spesifikasi model kuantitatif

Tahapan ini bertujuan membentuk model kuantitatif untuk simulasi model. Pembuatan model dilakukan dengan menerjemahkan setiap hubungan antara variabel dan komponen penyusun model

sistem ke dalam persamaan matematik agar dapat dioperasikan oleh program simulasi. Tahapan model kuantitatif meliputi memilih struktur kuantitatif umum model, unit waktu dasar untuk simulasi, mengidentifikasi bentuk-bentuk fungsional dari persamaan model,

pendugaan parameter dari persamaan model, memasukkan persamaan ke dalam program simulasi, menjalankan simulasi acuan, dan menetapkan persamaan model. Hasil spesifikasi model kuantitatif dari STELLA disajikan pada Lampiran 2.

### 3. Validasi model

Validasi model bertujuan untuk mengevaluasi keterandalan model sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan. Proses validasi model sekaligus sebagai kalibrasi dalam penelitian ini dilakukan dengan membandingkan keluaran model berupa nilai koefisien limpasan tahunan (nilai-C) pada tiap-tiap umur tanaman (6 tahun) dengan nilai-C hasil pengukuran langsung (nilai aktual) melalui peralatan pemantauan tata air (SPAS) di outlet DAS mikro.

### 4. Penggunaan model

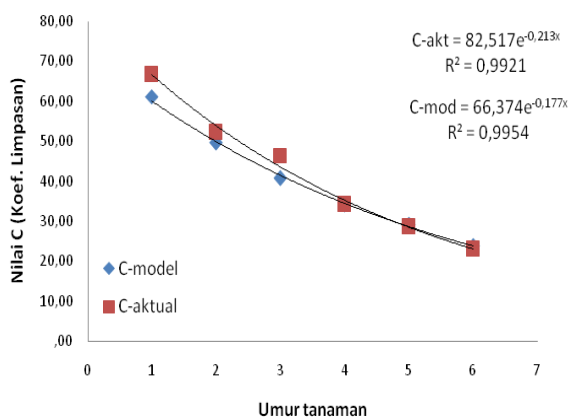
Tahapan ini bertujuan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan yang telah dirumuskan pada awal pembuatan model

sebagai tujuan penelitian. Dalam tahapan ini, dilakukan simulasi model dengan skenario aplikasi tanaman LCC pada saat penyiapan lahan sebelum dilakukan penanaman tanaman *E. pellita*, dengan tujuan untuk melihat pengaruhnya dalam pengurangan laju limpasan permukaan dan sedimen di lahan hutan tanaman.

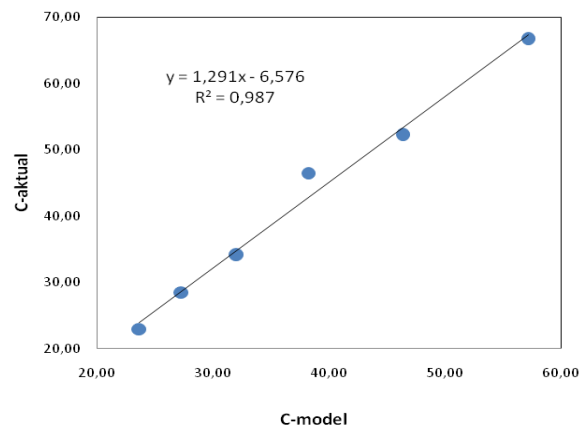
## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Evaluasi Model

Evaluasi model dilakukan dengan membandingkan keluaran model berupa nilai koefisien limpasan tahunan (nilai-C) pada tiap-tiap umur tanaman dengan nilai-C hasil pengukuran langsung, disajikan pada Gambar 6. Hasil kalibrasi dan validasi diperoleh nilai  $R^2$  sebesar 99%, menunjukkan bahwa model cukup andal dan dapat digunakan untuk mempelajari kasus sesuai dengan tujuan penelitian yang telah ditetapkan.



(a)



(b)

Gambar (Figure) 6. Kalibrasi dan validasi model dinamik untuk output nilai koefisien limpasan, (a) Nilai-C pada tiap umur tanaman; (b) Perbandingan nilai-C aktual dan prediksi model STELLA (Calibration and validation of dynamic model for output of runoff coefficient, (a) C-value at each plant age; (b) Comparison of actual and predictions of C-values from STELLA models)

Sumber (Source): Analisis data (Data analysis), 2012



## B. Penggunaan Model

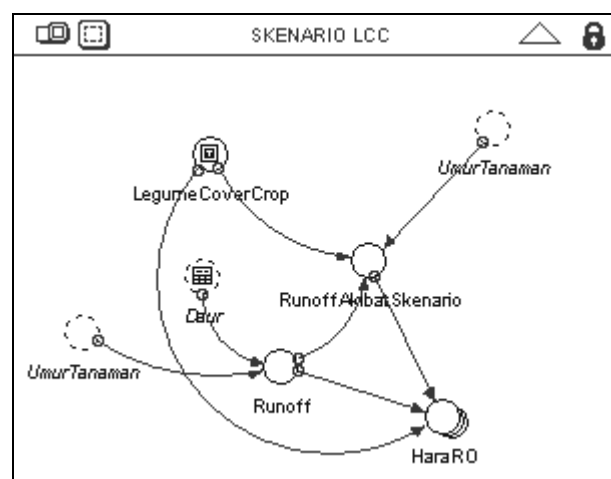
Simulasi model dinamik STELLA ditujukan pada umur tanaman 0-2 tahun, yang merupakan fase rawan terjadi erosi dan aliran permukaan. Skenario dilakukan dengan mengintroduksi tanaman penutup tanah dari spesies LCC pada saat fase persiapan lahan (pascapanen).

Skenario aplikasi LCC didasarkan pada berbagai referensi hasil penelitian yang menyimpulkan penanaman LCC pada pembukaan lahan dapat mengendalikan laju aliran permukaan sebesar 42,6% sampai 81,3% dibandingkan kontrol (atau rata-rata 60,5%). Angka tersebut merupakan hasil kajian dari 7 (tujuh) studi kasus di berbagai wilayah (Sharpley & Smith, 1990). Pada kajian ini, dilakukan analisis penggunaan LCC pada lahan tanaman 0 tahun (pada saat penanaman) dan pengaruhnya dalam mengendalikan total aliran permukaan. Pengaruh perlakuan LCC hanya dibatasi sampai tanaman berumur 2 tahun karena pada

lahan tanaman umur 3 tahun keberadaan LCC telah kalah bersaing dengan rumput dan semak belukar (Supangat *et al.*, 2010), sehingga peran LCC sebagai pengendali aliran permukaan dan erosi bisa digantikan oleh keberadaan rumput/ semak yang rimbun.

Formulasi model STELLA untuk sub model skenario LCC disajikan pada Gambar 7. Hasil simulasi aplikasi LCC terhadap perubahan hasil air atau total *runoff* (aliran sungai) disajikan pada Gambar 8 dan 9.

Berdasarkan data keluaran simulasi model skenario LCC terhadap total *runoff*, diketahui adanya dampak penurunan besaran total aliran sungai sampai tanaman berumur 2 tahun. Pada tanaman berumur 1 sampai 2 tahun, terjadi penurunan total aliran sungai sebesar rata-rata 35%. Pada tahun pertama menurun dari 1.530 mm menjadi 994 mm. Pada tanaman berumur 2 tahun, menurun dari 1.240 mm menjadi 806 mm (Gambar 9).

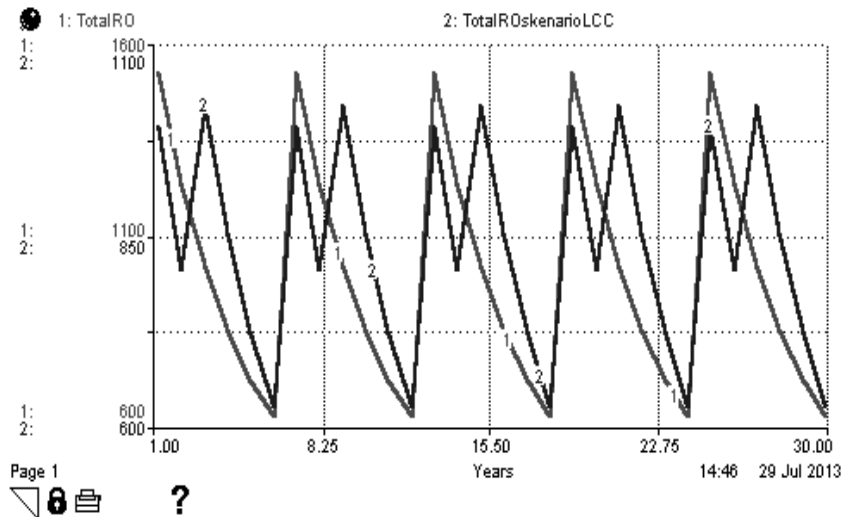


Gambar (Figure) 7. Formulasi model STELLA untuk sub model skenario aplikasi LCC (STELLA model formulation for the LCC application scenario sub model)

Sumber (Source): Analisis data (Data analysis), 2012

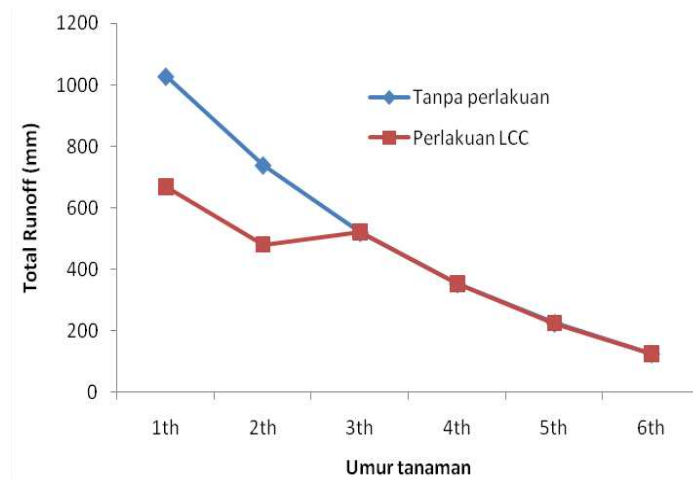
Penurunan total aliran sungai di atas disebabkan oleh adanya peran tanaman LCC yang ditanam sebelum atau bersamaan dengan penanaman tanaman

pokok. Keberadaan LCC dapat menjebak air agar lebih banyak terinfiltrasi ke dalam tanah sehingga mengurangi aliran permukaan (Garcia *et al.*, 2013).



Gambar (Figure) 8. Hasil STELLA untuk simulasi LCC terhadap total runoff: (1) Kondisi alami; (2) Pengaruh penanaman LCC (Results of STELLA for LCC simulation on total runoff: (1) Natural conditions; (2) Effect of LCC planting)

Sumber (Source): Analisis data (Data analysis), 2012



Gambar (Figure) 9. Simulasi efektivitas LCC dalam pengendalian total runoff pada tanaman umur 1 sampai 2 tahun (Simulation of LCC effectiveness in controlling total runoff in 1 - 2 years old plantation)

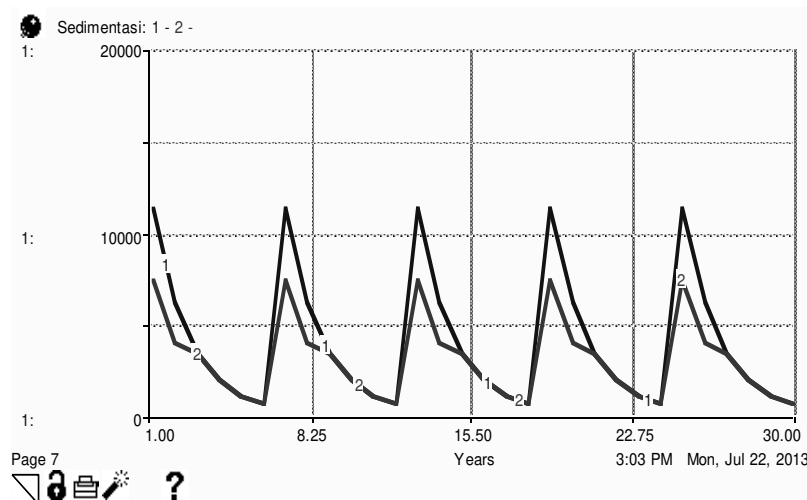
Sumber (Source): Analisis data (Data analysis), 2012

Gambar 8 dan 9 di atas menunjukkan pengaruh positif LCC yang hanya sampai pada tanaman *E. pellita* berumur 2 tahun. Hal tersebut sesuai skenario bahwa diasumsikan bahaya erosi dan limpasan permukaan terjadi pada saat tanaman *E. pellita* masih muda (umur 1-2 tahun). Pada umur 3 tahun kondisi semak dan tanaman bawah lainnya sudah cukup lebat dan mampu menjadi pelindung tanah dari kerusakan akibat aliran air.

Banyak penelitian mengenai efektivitas tanaman penutup tanah atau LCC dalam mengendalikan laju aliran permukaan dan erosi tanah (Garcia et al., 2013; Basche et al., 2014; Fuady, Satriawan, & Mayani, 2014; Clermont Dauphin et al., 2016). Secara khusus, Garcia et al. (2013)

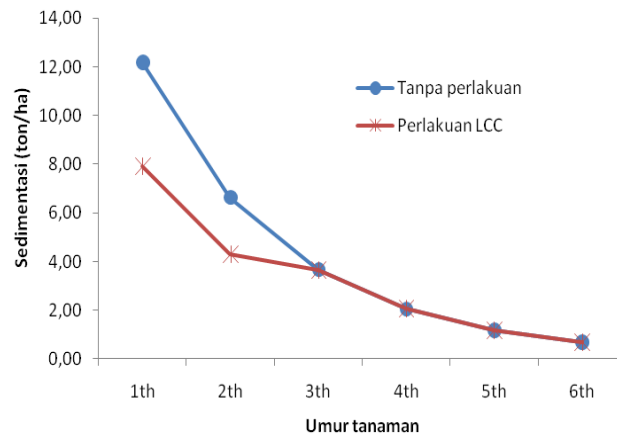
mengatakan bahwa keberadaan semak dari jenis legum (*Colutea arborescens*, *Dorycnium pentaphyllum* dan *Medica gostrasseri*) pada lahan revegetasi di Spanyol, dapat menurunkan aliran permukaan sampai 84-95%.

Gambar 10 dan 11 memperlihatkan pengaruh LCC terhadap sedimentasi, yang menunjukkan terjadinya penurunan angka tingkat sedimen sampai tanaman berumur 2 tahun. Pada tanaman berumur 1 sampai 2 tahun, terjadi penurunan tingkat sedimen rata-rata sebesar 34%. Pada tahun pertama menurun dari 12,20 ton/ha menjadi 7,93 ton/ha, sedangkan pada tahun kedua menurun dari 6,63 ton/ha menjadi 4,36 ton/ha.



Gambar (Figure) 10. Hasil STELLA untuk simulasi LCC terhadap sedimentasi: (1) Kondisi alami; (2) Pengaruh penanaman LCC (Results of STELLA for LCC simulation on sedimentation: (1) Natural conditions; (2) Effect of LCC planting)

Sumber (Source): Analisis data (Data analysis), 2012



Gambar (Figure) 11. Simulasi efektivitas LCC dalam pengendalian sedimentasi pada tanaman umur 1 sampai 2 tahun (*Simulation of LCC effectiveness in sedimentation control in 1 to 2 years old plantation*)

Sumber (Source): Analisis data (*Data analysis*), 2012

Sejalan dengan pengaruhnya dalam mengendalikan aliran permukaan, penurunan sedimentasi juga erat hubungannya dengan peran LCC dalam mengendalikan erosi permukaan. Pada lahan pascatebang, kondisi tanah yang terbuka sangat rentan tererosi ketika hujan turun. Keberadaan tanaman LCC mampu dengan cepat menutup permukaan tanah sehingga mengurangi potensi erosi tanah permukaan. Garcia *et al.* (2013) menyimpulkan dari hasil penelitiannya bahwa keberadaan semak dari jenis legum dapat menurunkan erosi tanah sampai 95-99%.

Salah satu kelebihan tanaman LCC adalah cepat tumbuh dan dengan segera membuat tutupan atas permukaan tanah. Tutupan tanaman LCC tersebut dapat berperan melindungi tanah dari energi kinetis percikan air hujan yang berpotensi menimbulkan erosi percik yang bisa berkembang menjadi erosi lapis (permukaan). Beberapa hasil penelitian menyebutkan bahwa tanaman penutup tanah (LCC) memiliki kemampuan beradaptasi yang tinggi bahkan pada tanah

yang marginal, serta mampu dengan cepat menutup permukaan tanah (Aulia, 2011; Narendra & Pratiwi, 2014). Bahkan beberapa jenis LCC seperti *Calopogonium mucunoides* dapat menjadi spesies yang sangat agresif dalam persaingannya dengan tanaman rumput/ gulma (Marques, Vianna, Monteiro, Pires, Urashima, & Pontes, 2016).

### C. Implikasi Model

Simulasi model aplikasi LCC dalam mengendalikan aliran permukaan dan sedimentasi di lahan hutan tanaman *E. pellita*, khususnya pada saat pascatebang sampai tanaman baru berumur 2 tahun, memberikan implikasi untuk dilakukannya upaya pengelolaan lingkungan dengan lebih baik. Salah satu upaya nyata yang dapat dilakukan pengelola adalah dengan aplikasi teknik Konservasi Tanah dan Air (KTA) khususnya di lahan pasca tebang dengan aplikasi LCC.

Pada prinsipnya teknik KTA berfungsi utk melindungi tanah terhadap daya perusak butir-butir hujan yang jatuh, melindungi tanah dari daya perusak aliran

permukaan tanah, dan memperbaiki kapasitas infiltrasi tanah (Agus *et al.*, 1999; Arsyad, 2010; Sun, Lu, & Yang, 2013). Pengaruh positif dari penggunaan LCC terjadi ketika ditujukan untuk memperbaiki infiltrasi tanah, menurunkan evaporasi, sehingga dapat mengontrol erosi dan aliran permukaan, mencegah pencucian hara, penambat nitrogen, memperbaiki kondisi tanah, melindungi anakan tanaman, serta menjaga keseimbangan air. Namun, pengaruh negatif akan muncul jika diterapkan pada wilayah yang sulit air (curah hujan rendah). Penggunaan *cover crops* lebih sesuai diterapkan di wilayah humida dan sub humida dengan curah hujan yang cukup besar, dibandingkan pada wilayah agak kering (*semiarid*) dengan curah hujan yang rendah (Unger & Vigil, 1998). Oleh karena itu, penggunaan *cover crops* (LCC) di wilayah Provinsi Riau yang merupakan wilayah tropika basah dipandang sesuai.

Banyak jenis tanaman penutup tanah, sebagian besar diantaranya merupakan jenis legum (LCC). Secara umum, tanaman penutup tanah dibedakan menjadi empat (Agus *et al.*, 1999), yaitu: (1) tanaman penutup tanah rendah seperti *Centrosema* (*Centrosema pubescens*), *Pueraria* (*Pueraria javanica*) dan benguk (*Mucuna* sp.); (2) tanaman penutup tanah sedang seperti lamtoro (*Leucaena leucocephala*) dan gamal (*Gliricidia sepium*); (3) tanaman penutup tanah tinggi seperti sengon (*Paraserianthes falcataria*); dan (4) belukar lokal. Berdasarkan karakteristik ekosistem hutan tanaman, jenis tanaman penutup tanah rendah yang paling sesuai diaplikasikan di lahan hutan tanaman *E. pellita*.

#### IV. KESIMPULAN

Model dinamik dapat dimanfaatkan untuk membantu mempelajari pengaruh aplikasi LCC dalam mengendalikan total limpasan dan sedimentasi di lahan hutan tanaman *E. pellita*. Aplikasi LCC pada lahan pasca tebangan mampu menurunkan potensi total limpasan dan sedimentasi masing-masing sebesar 35% dan 34% sampai tanaman berumur 2 tahun. Hasil tersebut dapat dijadikan dasar bagi pengelola untuk melakukan pengelolaan lingkungan berupa aplikasi teknik KTA khususnya pada fase pascatebang sampai tanaman muda (0-2 tahun) agar potensi degradasi dapat diminimalkan. Penelitian selanjutnya diperlukan untuk menilai pengaruh perlakuan LCC dan introduksi *mixed-cropping* dalam memasok input hara ke dalam ekosistem hutan tanaman.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sedalam-dalamnya disampaikan kepada institusi Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan DAS (BPPTPDAS) Surakarta atas dukungan pendanaan penelitian, tenaga Teknisi Litkayasa dan tenaga pendamping dari PT. Arara Abadi Perawang Riau atas segala bantuan selama kegiatan penelitian di lapangan.

#### DAFTAR PUSTAKA

Agus, F., Abdurachman, A., Rachman, A., Tala'ohu, S. H., Dariah, A., Prawiradiputra, B. R., ... Wiganda, S. (1999). *Teknik Konservasi Tanah dan Air*. Sekretariat Tim Pengendali Bantuan Penghijauan dan Reboisasi Pusat. Jakarta.

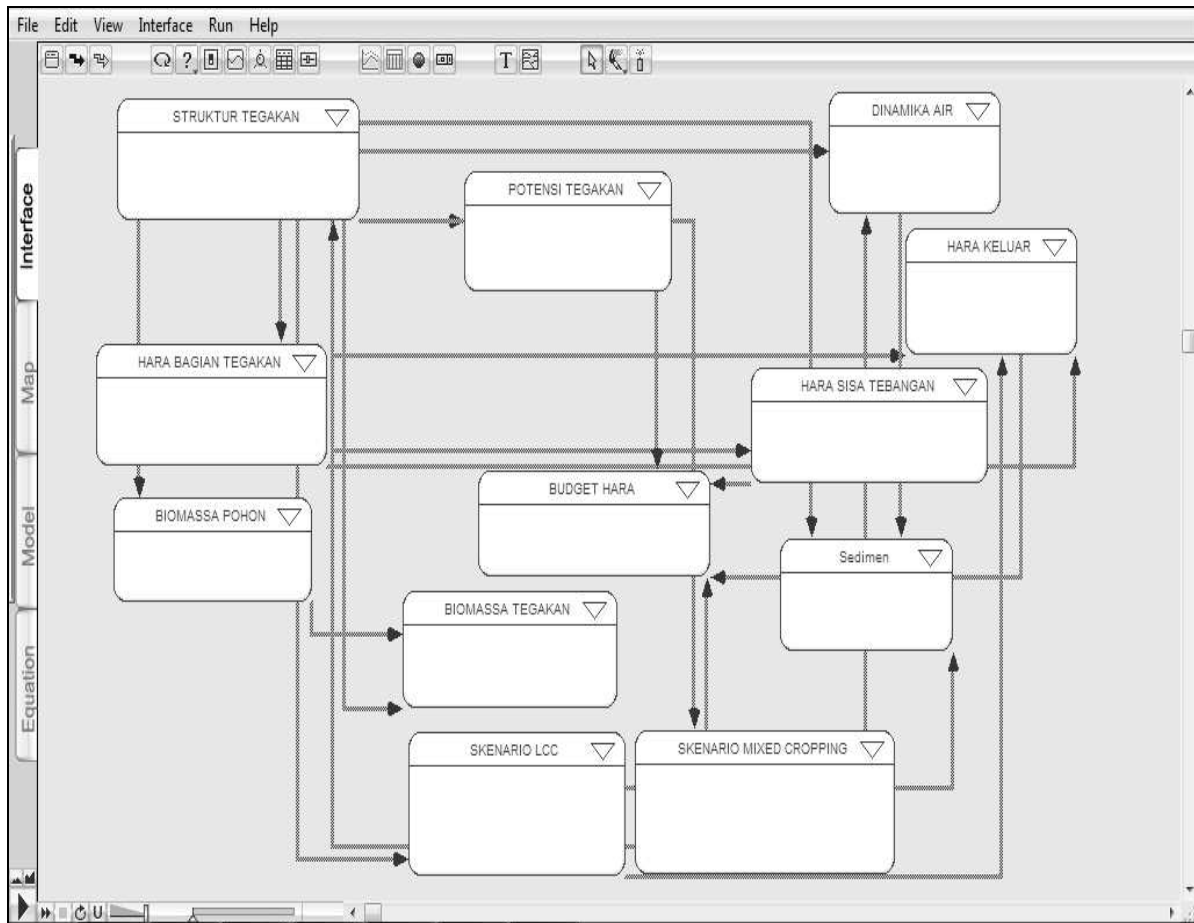
- Arsyad, S. (2010). *Konservasi Tanah dan Air* (Edisi Kedu). IPB Press, Bogor.
- Aulia, H. (2011). *Laju penutupan tanah oleh tumbuhan Mucuna bracteata Dc. dan Centrosema pubescens Benth. pada ex-borrow pit Jabung Timur, Jambi*. Skripsi. Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Basche, A. D., Miguez, F. E., Kaspar, T. C., & Castellano, M. J. (2014). Do cover crops increase or decrease nitrous oxide emissions? A meta-analysis. *Journal of Soil & Water Conservation*, 69(6), 471–482. doi:https://doi.org/10.2489/jswc.69.6.471.
- Campoe, O. C., Iannelli, C., Stape, J. L., Cook, R. L., Mendes, J. C. T., & Vivian, R. (2014). Atlantic forest tree species responses to silvicultural practices in a degraded pasture restoration plantation: From leaf physiology to survival and initial growth. *Forest Ecology & Management*, 313, 233–242. doi:https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.11.016.
- Chapin, F. S., Matson, P. A., & Mooney, H. A. (2002). *Principal of terrestrial ecosystem ecology*. Springer-Verlag, New York.
- Clermont-Dauphin, C., Suvannang, N., Pongwichian, P., Cheylan, V., Hammecker, C., & Harmand, J.-M. (2016). Dinitrogen fixation by the legume cover crop *Puerariaphaseoloides* and transfer of fixed N to *Heveabrasiliensis*—Impact on tree growth and vulnerability to drought. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 217, 79–88. doi:https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.11.002.
- Ferez, A. P. C., Campoe, O. C., Mendes, J. C. T., & Stape, J. L. (2015). Silvicultural opportunities for increasing carbon stock in restoration of Atlantic forests in Brazil. *Forest Ecology & Management*, 350, 40–45. doi:https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.04.015.
- Forrester, D. I., Theiveyanathan, S., Collopy, J. J., & Marcar, N. E. (2010). Enhanced water use efficiency in a mixed *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii* plantation. *Forest Ecology & Management*, 259(9), 1761–1770. doi:https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.07.036.
- Fuady, Z., Halus Satriawan, & Mayani, N. (2014). Aliran permukaan, erosi dan hara sedimen akibat tindakan konservasi tanah vegetatif pada kelapa sawit. *Jurnal Ilmu Tanah Dan Agroklimatologi*, 11(2), 95–103.
- Garcia, E. P., Alonso, B. N., Marques, M. J., Bienes, R., González, A. F., & Alegre, J. (2013). Use of Mediterranean legume shrubs to control soil erosion and runoff in central Spain. A large-plot assessment under natural rainfall conducted during the stages of shrub establishment and subsequent colonization. *CATENA*, 102, 3–12. doi:https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.09.003.
- Gonçalves, J. L. de M., Stape, J. L., Laclau, J.-P., Smethurst, P., & Gava, J. L. (2004). Silvicultural effects on the productivity and wood quality of eucalypt plantations. *Forest Ecology & Management*, 193(1/2), 45–61. doi:https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.01.022.
- Grant, E., Ellen, K. P., & Sandra, S. L. (2003). *Ecology and Natural Resources Management, System Analysis and Simulation*. John Wiley & Sons, Inc. Toronto.

- Gyenge, J., Fernández, M. E., & Schlichter, T. (2009). Effects on site water balance of conversion from native mixed forest to Douglas-fir plantation in N.W. Patagonia. *New Forests*, 38(1), 67–80. doi:<https://doi.org/10.1007/s11056-009-9132-0>.
- Jones, H. S., Beets, P. N., Kimberley, M. O., & Garrett, L. G. (2011). Harvest residue management and fertilisation effects on soil carbon and nitrogen in a 15-year-old Pinus radiata plantation forest. *Forest Ecology & Management*, 262(3), 339–347. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.03.040>.
- Lü, Y., Fu, B., Chen, L., Liu, G., & Wei, W. (2007). Nutrient transport associated with water erosion: Progress and prospect. *Progress in Physical Geography*, 31(6), 607–620. doi:<https://doi.org/10.1177/0309133307087085>.
- Marques, A. R., Vianna, C. R., Monteiro, M. L., Pires, B. O. S., Urashima, D. de C., & Pontes, P. P. (2016). Utilizing coir geotextile with grass and legume on soil of Cerrado, Brazil: An alternative strategy in improving the input of nutrients in degraded pasture soil? *Applied Soil Ecology*, 107, 290–297. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.06.002>.
- McCavour, M. J., Paré, D., Messier, C., Thiffault, N., & Thiffault, E. (2014). The role of aggregated forest harvest residue in soil fertility, plant growth, and pollination services. *Soil Science Society of America Journal*, 78, 169–207. doi:<https://doi.org/10.2136/sssaj2013.08.0373nafsc>.
- Narendra, B. H., & Pratiwi. (2014). Pertumbuhan cover crops pada lahan overburden bekas tambang timah di Pulau Bangka. *Forest Rehabilitation Journal*, 2(1), 15–24.
- Ouyang, Y., Zhang, J., Leininger, T. D., & Frey, B. R. (2015). A STELLA Model to Estimate Water and Nitrogen Dynamics in a Short-Rotation Woody Crop Plantation. *Journal of Environmental Quality*, 44(1), 200–209. doi:<https://doi.org/10.2134/jeq2014.01.0015>.
- Rocha, J. H. T., Gonçalves, J. L. de M., Gava, J. L., Godinho, T. de O., Melo, E. A. S. C., Bazani, J. H., ... Wichert, M. P. (2016). Forest residue maintenance increased the wood productivity of a Eucalyptus plantation over two short rotations. *Forest Ecology & Management*, 379, 1–10. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.07.042>.
- Sharpley, A. N., & Smith., S. J. (1990). Cover Crops for Clean Water. In *Effects of cover crops on surface water quality* (pp. 41–49). Soil and Water Conservation Society. Iowa.
- Sun, L., Lu, W., & Yang, Q. (2013). Ecological Compensation Estimation of Soil and Water Conservation Based on Cost-Benefit Analysis. *Water Resour Manage*, 27, 2709–2727. doi:<https://doi.org/10.1007/s11269-013-0268-5>.
- Supangat, A. B., Junaedi, A., Kosasih, & Irwan. (2010). *Kajian dampak penanaman jenis penghasil kayu pulp terhadap tata dan kualitas air*. Laporan Hasil Penelitian. Balai Penelitian Hutan Penghasil Serat. Badan Litbang Kehutanan. Kuok, Riau. (tidak dipublikasikan).
- Supangat, A. B., Supriyo, H., Sudira, P., & Poedjirahajoe, E. (2013). Status kesuburan tanah di bawah tegakan Eucalyptus pellita F.Muell: STudi kasus

- di HPHTI PT. Arara Abadi, Riau. *J. Manusia Dan Lingkungan*, 20(1), 22–34.
- Unger, P. W., & Vigil., M. F. (1998). Cover crop effects and soil water relationships. *Journal of Soil and Water Conservation*, 53, 200–207.
- Versini, A., Mareschal, L., Matsoumbou, T., Zeller, B., Ranger, J., & Laclau, J.-P. (2014). Effects of litter manipulation in a tropical Eucalyptus plantation on leaching of mineral nutrients, dissolved organic nitrogen and dissolved organic carbon. . Nov2014, Vol. *Geoderma*, 232–234, 426–436.
- doi:<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.05.018>.
- Voinov, A. (2008). *System Science and Modeling for Ecological Economics*. Academic Press-Elsevier. London.
- Walmsley, J. D., Jones, D. L., Reynolds, B., Price, M. H., & Healey, J. R. (2009). Whole tree harvesting can reduce second rotation forest productivity. *Forest Ecology & Management*, 257(3), 1104–1111. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.11.015>.



Lampiran (Annex) 1. Struktur model STELLA dinamika air dan hara di hutan tanaman (STELLA structure model on water and nutrient dynamics in plantations)



Lampiran (*Annex*) 2. Model kuantitatif hubungan antar sub sistem dalam STELLA  
(*Quantitative models of relationships among sub systems within STELLA*)

**DINAMIKA AIR**

AirPermukaan(t) = AirPermukaan(t - dt) + (NetPrecipitation - AirKeluar - Infiltrasi) \* dt  
INIT AirPermukaan = 0

INFLOWS:

NetPrecipitation = (WaterThroughflow+WaterStemflow)\*CurahHujan

OUTFLOWS:

AirKeluar = Runoff

Infiltrasi = AirPermukaan\*InfiltrasiRate

AirTanah(t) = AirTanah(t - dt) + (Infiltrasi - INPerkolasi) \* dt  
INIT AirTanah = 0

INFLOWS:

Infiltrasi = AirPermukaan\*InfiltrasiRate

OUTFLOWS:

INPerkolasi = PerkolasiRate\*(24\*365)

BaseFlow(t) = BaseFlow(t - dt) + (INPerkolasi - BaseFlowOut) \* dt  
INIT BaseFlow = 1.5

INFLOWS:

INPerkolasi = PerkolasiRate\*(24\*365)

OUTFLOWS:

BaseFlowOut = konstBF

CoefTRO = 82.5\*exp(-0.213\*UmurTanaman)

CurahHujan = 2500

Evapotranspirasi = 26.9\*logn(UmurTanaman)+27.4

InfiltrasiRate = 1.12\*logn(UmurTanaman)+0.6

Intersepsi = CurahHujan-NetPrecipitation

konstBF = 1.5

PerkolasiRate = 0.85\*exp(0.14\*UmurTanaman)

TotalRO = if time<=Daur then 500 + (AirKeluar+BaseFlowOut) - BaseFlowOut\*CoefTRO else

if time<=2\*Daur then 500 + (AirKeluar+BaseFlowOut) - BaseFlowOut\*CoefTRO else

if time<=3\*Daur then 500 + (AirKeluar+BaseFlowOut) - BaseFlowOut\*CoefTRO else

if time<=4\*Daur then 500 + (AirKeluar+BaseFlowOut) - BaseFlowOut\*CoefTRO else

if time<=5\*Daur then 500 + (AirKeluar+BaseFlowOut) - BaseFlowOut\*CoefTRO else

if time<=6\*Daur then 500 + (AirKeluar+BaseFlowOut) - BaseFlowOut\*CoefTRO else 0

WaterStemflow = 1.3\*logn(UmurTanaman)+1.9

WaterThroughflow = 1.14\*(UmurTanaman)^2-8.4\*(UmurTanaman)+94.21

**SEDIMEN**

KoefSed = 11.9\*exp(-0.4\*UmurTanaman)

Sedimentasi = if LegumeCoverCrop=1 then KoefSed\*TotalROskenarioLCC else KoefSed\*TotalRO

TotalROskenarioLCC = if UmurTanaman <=2 and LegumeCoverCrop=1 then 0.65\*TotalRO else TotalRO

**SKENARIO LCC**

HaraRO[NRO] = if LegumeCoverCrop=1 then (0.25/100)\*RunoffAkibatSkenario else (0.25/100)\*Runoff

HaraRO[PRO] = if LegumeCoverCrop=1 then (0.04/100)\*RunoffAkibatSkenario else (0.04/100)\*Runoff

HaraRO[KRO] = if LegumeCoverCrop=1 then (0.33/100)\*RunoffAkibatSkenario else (0.33/100)\*Runoff

HaraRO[CaRo] = if LegumeCoverCrop=1 then (0.12/100)\*RunoffAkibatSkenario else (0.12/100)\*Runoff

HaraRO[MgRo] = if LegumeCoverCrop=1 then (0.03/100)\*RunoffAkibatSkenario else (0.03/100)\*Runoff

LegumeCoverCrop = 0

Runoff = if time<=Daur then 18.2\*77.6\*exp(-0.3\*UmurTanaman) - 18.2\*time else

if time<=2\*Daur then 18.2\*77.6\*exp(-0.3\*UmurTanaman) - 18.2\*(time-Daur) else

if time<=3\*Daur then 18.2\*77.6\*exp(-0.3\*UmurTanaman) - 18.2\*(time-(2\*Daur)) else

if time<=4\*Daur then 18.2\*77.6\*exp(-0.3\*UmurTanaman) - 18.2\*(time-(3\*Daur)) else

if time<=5\*Daur then 18.2\*77.6\*exp(-0.3\*UmurTanaman) - 18.2\*(time-(4\*Daur)) else

if time<=6\*Daur then 18.2\*77.6\*exp(-0.3\*UmurTanaman) - 18.2\*(time-(5\*Daur)) else 0

RunoffAkibatSkenario = if UmurTanaman<=2 and LegumeCoverCrop=1 then 0.65\*Runoff else Runoff