

NERACA AIR DALAM SISTEM AGROFORESTRI

Didik Suprayogo, Widiyanto, Betha Lusiana dan Meine van Noordwijk

TUJUAN

- Memahami siklus air dan kompetisi air dalam sistem agroforestri.
- Mengetahui kebutuhan air untuk pohon dan tanaman semusim dalam sistem agroforestri.
- Memahami bagaimana pohon dan tanaman semusim berbagi air dalam sistem agroforestri.
- Mempelajari pengaruh kekurangan air terhadap produksi tanaman dalam sistem agroforestri

1. Pendahuluan: Keseimbangan Air Sistem Agroforestri

Air merupakan salah satu komponen penting yang dibutuhkan oleh tanaman baik pohon maupun semusim untuk tumbuh, berkembang dan berproduksi. Air yang dapat diserap tanaman adalah air yang berada dalam pori-pori tanah di lapisan perakaran. Akar tanaman dari semua komponen agroforestri menyerap air dari tandon air yang sama dan pada kapasitas yang terbatas. Bila jumlah air dalam tandon berkurang terjadilah perebutan antara akar-akar berbagai jenis tanaman yang ada untuk mengambil air. Dalam hal ini terjadi kompetisi untuk mendapatkan air guna mempertahankan pertumbuhan masing-masing jenis tanaman.

Lapisan tanah di daerah perakaran sebagai tandon (reservoir) yang menyimpan air dapat diisi ulang melalui peristiwa masuknya air dari tempat lain, misalnya hujan, irigasi, aliran lateral atau aliran ke atas (kapiler). Masuknya air hujan dan irigasi ke lapisan perakaran melalui peristiwa yang disebut **infiltrasi**. Aliran air masuk dan ke luar lapisan perakaran ini dinamakan **siklus air**. Besaran tiap komponen siklus dapat diukur dan digabungkan satu dengan yang lain sehingga menghasilkan neraca air atau keseimbangan air.

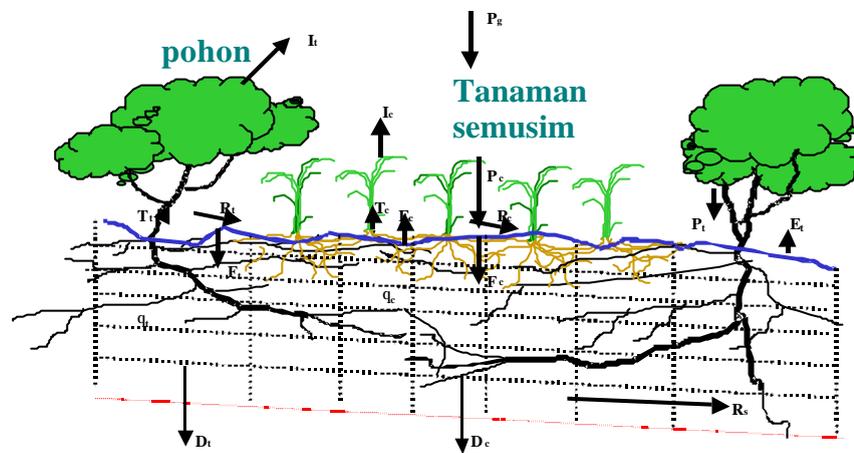
Beberapa sifat tanah yang merupakan komponen-komponen neraca air, misalnya kapasitas menyimpan air (jumlah ruang pori), infiltrasi, kemantapan pori sangat dipengaruhi oleh macam penggunaan lahan atau jenis dan susunan tanaman yang tumbuh di tanah tersebut. Jadi jenis-jenis pohon atau tanaman semusim yang ditanam pada suatu bidang tanah dapat mempengaruhi siklus dan keseimbangan air pada sistem tersebut. Sebaliknya siklus dan keseimbangan air dalam sistem ini pada gilirannya juga mempengaruhi kompetisi antara komponen tanaman yang ada. Dalam Gambar 1 disajikan ilustrasi skematis dari siklus air dalam suatu sistem agroforestri dan beberapa komponen penting yang terlibat dalam siklus dan keseimbangan air.

Curah hujan yang jatuh pada suatu kawasan (Pg), sebagian akan ditahan oleh tajuk pohon (It), dan sebagian lagi oleh tajuk tanaman semusim (Ic), dan lainnya lolos ke permukaan

tanah di bawah pohon (P_t) dan di bawah tanaman semusim (P_c). Air yang ditahan oleh tajuk pohon dan tanaman semusim sebagian besar menguap sehingga tidak berpengaruh kepada simpanan (cadangan) air dalam tanah. Tajuk pohon dan tanaman semusim yang berbeda mengakibatkan perbedaan jumlah air yang ditahan tajuk kedua jenis tanaman itu. Akibatnya jumlah air yang lolos dan mencapai permukaan tanah di bawah pohon dan di bawah tanaman semusim juga berbeda.

Air hujan yang lolos dari tajuk tanaman akan mencapai permukaan tanah (P_t dan P_c) dan sebagian masuk ke dalam tanah melalui proses infiltrasi (F_t dan F_c), sebagian lagi mengalir di permukaan tanah sebagai limpasan permukaan (R_t dan R_c). Sifat-sifat tanah di bawah pohon dan tanaman semusim dan jumlah air yang jatuh di bawah kedua tanaman yang berbeda menyebabkan kecepatan infiltrasi (F_t dan F_c) dan limpasan permukaan di bawah tanaman semusim (R_c) dan pohon (R_t) juga berbeda. Dalam kondisi tertentu infiltrasi di bawah pohon bisa cukup tinggi sehingga tidak hanya cukup untuk menurunkan R_t menjadi nol (tidak ada limpasan permukaan), tetapi mampu menampung limpasan permukaan dari areal di bawah tanaman semusim (R_c).

Gambar 1. Skema siklus air dalam sistem agroforestri sederhana pada tanah miring.



Keterangan Gambar 1:

- | | |
|---|---|
| P_g = Curah Hujan Total | R_s = Aliran Air Lateral |
| I_b = Intersepsi Pohon | I_c = Intersepsi Tanaman Semusim |
| P_t = Hujan Lolos Tajuk Pohon | P_c = Hujan Lolos Tajuk Tanaman Semusim |
| F_t = Kecepatan Infiltrasi di bawah Pohon | F_c = Kecepatan Infiltrasi di bawah Tanaman Semusim |
| R_t = Limpasan Permukaan di bawah Pohon | R_c = Limpasan Permukaan di bawah Tanaman Semusim |
| E_t = Evaporasi Tanah (dari bawah pohon) | E_c = Evaporasi Tanah (dari bawah tanaman semusim) |
| q_b = Kadar Air Tanah (dibawah pohon) | q_c = Kadar Air Tanah (dibawah tanaman semusim) |
| T_t = Transpirasi Pohon | T_c = Transpirasi Tanaman Semusim |
| D_t = Drainasi dibawah Pohon | D_c = Drainasi dibawah Tanaman Semusim |

Air yang berada di permukaan tanah akan menguap (evaporasi) dengan kecepatan E_t di bawah pohon dan E_c di bawah tanaman semusim. Kecepatan (E_t dan E_c) ini berbeda karena adanya perbedaan kerapatan penutupan tajuk pohon dan tanaman semusim. Evaporasi akan terus berlangsung selama ada suplai air dari lapisan di bawahnya.

Besarnya kandungan air tanah pada zona di bawah pohon (θ_t), dan dibawah tanaman semusim (θ_c) bisa berbeda pula. Kadar air tanah ditentukan oleh masukan yaitu infiltrasi (F) di permukaan tanah dan keluaran yang terdiri dari evaporasi (E), transpirasi (T) dan drainasi (D). Seperti telah dibahas bahwa komponen-komponen neraca air di bawah pohon bisa berbeda dengan yang ada di bawah tanaman semusim, sehingga hasil akhir berupa simpanan air dalam tanah juga berbeda antara di bawah pohon dan di bawah tanaman semusim.

Kesetimbangan air dalam sistem agroforestri sederhana yang terdiri dari kombinasi barisan pohon dan barisan tanaman semusim dapat diringkas dalam sebuah persamaan berikut :

$$I(q_t+q_c) = P_g - (I_t+I_c) - (D_t+D_c) - (R_t+R_c) - (E_t+E_c) - (T_t+T_c)$$

Kombinasi antara pohon dengan tanaman semusim atau rerumputan yang terjadi dalam praktek agroforestri di lapangan adalah sangat beragam. Dalam sistem agroforestri yang demikian kompleks sangat sulit memahami dengan jelas apa yang terjadi dengan nasib air hujan yang jatuh pada sistem ini. Pemahaman neraca air pada sistem agroforestri sederhana diharapkan dapat membantu menjelaskan nasib air hujan yang jatuh pada sistem agroforestri itu digunakan oleh pohon dan tanaman semusim atau dialirkan lewat permukaan atau di dalam tanah. Beberapa pertanyaan berikut ini mungkin dapat dijawab melalui pemahaman tentang neraca air dari sebuah sistem agroforestri :

- Apakah pohon lebih banyak memanfaatkan air dibanding tanaman semusim?
- Bagaimana pohon berbagi air dengan tanaman semusim di dalam profil tanah dan dari waktu ke waktu. Apakah mereka saling menguntungkan?
- Bagaimana perbedaan musim mempengaruhi sistem ini?
- Bagaimana pembatas ketersediaan air mempengaruhi produksi tanaman?
- Alih guna lahan dari hutan menjadi sistem agroforestri mempengaruhi aliran air sungai di daerah hilir. Bagaimana mekanismenya?

Pertanyaan-pertanyaan tersebut dapat dijawab bila berbagai komponen masukan dan keluaran dalam kesetimbangan air diukur secara akurat. Berbagai metode untuk pengukuran komponen masukan dan keluaran tersebut pada saat ini sudah tersedia (Ong *et al.*, 1996, Wallace, 1996, Suprayogo, 2000). Pengukuran komponen masukan dan keluaran dalam kesetimbangan air bukan merupakan pekerjaan yang mudah, kendati hanya pada praktek agroforestri yang sederhana. Pengukuran ini memerlukan biaya yang relatif mahal, tenaga yang banyak dan ketrampilan yang tinggi serta waktu yang lama. Hasil pengukuran masukan-keluaran dalam kesetimbangan air diperlukan untuk berbagai keperluan misalnya pengujian atau *validasi* model kesetimbangan air, pengujian asumsi dan hipotesis tentang manfaat campuran pepohonan dan tanaman semusim yang tumbuh diberbagai tempat. **Model WaNuLCAS** yang dikembangkan oleh Van Noordwijk dan Lusiana (1999) merupakan salah satu pendekatan yang menyediakan kebutuhan untuk memahami komponen masukan dan keluaran dalam kesetimbangan air pada sistem agroforestri sederhana.

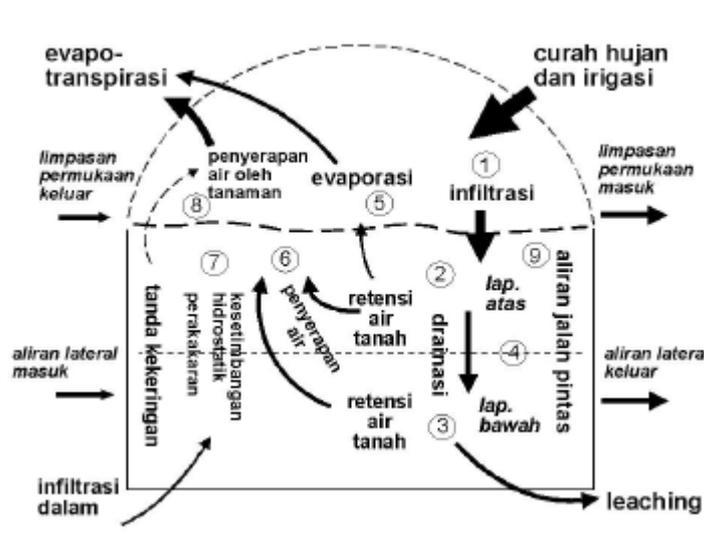
2. Kesetimbangan Air menurut Model WaNuLCAS

2.1 Simpanan air tanah, infiltrasi dan evaporasi

Kesetimbangan air dalam suatu sistem tanah-tanaman dapat digambarkan melalui sejumlah proses aliran air yang kejadiannya berlangsung dalam satuan waktu yang berbeda-beda. Beberapa proses aliran air (Gambar 2) dan kisaran waktu kejadiannya yang dinilai penting adalah:

1. Hujan atau irigasi (mungkin dengan tambahan aliran permukaan yang masuk ke petak atau *run-on*) dan pembagiannya menjadi infiltrasi dan limpasan permukaan (dan/atau genangan di permukaan) dalam skala waktu detik sampai menit.

2. Infiltrasi kedalam tanah dan drainasi (pematusan) dari dalam tanah melalui lapisan-lapisan dalam tanah dan/atau lewat jalan pintas seperti retakan yang dinamakan *by-pass flow* dalam skala waktu menit sampai jam.
3. Drainasi lanjutan dan aliran bertahap untuk menuju kepada kesetimbangan hidrostatik dalam skala waktu jam sampai hari.
4. Pengaliran larutan tanah antara lapisan-lapisan tanah melalui aliran massa (*mass flow*)
5. Penguapan atau evaporasi dari permukaan tanah dalam skala waktu jam sampai hari.
6. Penyerapan air oleh tanaman dalam skala waktu jam hingga hari, tetapi sebagian besar terjadi pada siang hari ketika stomata terbuka.
7. Kesetimbangan hidrostatik melalui sistem perakaran dalam skala waktu jam hingga hari, tetapi hampir semua terjadi pada malam hari pada saat transpirasi nyaris tidak terjadi.
8. Pengendali hormonal terhadap transpirasi (memberi tanda terjadinya kekurangan air) dalam skala waktu jam hingga minggu.
9. Perubahan volume ruangan pori makro (dan hal lain yang berkaitan) akibat penutupan dan pembukaan rekahan (retakan) tanah yang mengembang dan mengerut serta pembentukan dan penghancuran pori makro oleh hewan makro dan akar. Peristiwa ini terjadi dalam skala waktu hari hingga minggu. Pengaruh utama kejadian adalah terhadap aliran air melalui jalan pintas (*by-pass flow*) dan penghambatan proses pencucian unsur hara.



Gambar 2. Bagian-bagian dari kesetimbangan air dalam model WaNuLCAS (1) Infiltrasi, (2,3,4) Redistribusi air dan larutan dalam profil tanah, pengisian kembali air tanah (2) dan drainasi atau pencucian kelebihan air dari dasar profil tanah, (5) Evaporasi tanah, (6) Penyerapan air oleh akar pohon dan tanaman semusim, (7) Kesetimbangan hidraulik melalui akar pohon, (8). Tanda (*signal*) kekeringan yang mempengaruhi pembagian air ke batang/akar, (9) Aliran larutan lewat jalan pintas (*bypass flow*)

Model WaNuLCAS ini menggabungkan proses-proses yang disebutkan dalam butir 1 sampai dengan butir 7, di mana semuanya dipadukan dalam skala waktu harian pada petakan kecil (*patch scale*). Ringkasan keluaran neraca air hasil simulasi WaNuLCAS dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Keseimbangan air pada petakan kecil (*patch scale*) dalam WaNuLCAS

Masuk	Keluar
Kandungan air tanah awal untuk semua <i>zona</i> dan lapisan	Kandungan air tanah akhir untuk semua <i>zona</i> dan lapisan
Limpasan permukaan masuk ke petakan	Limpasan permukaan keluar dari petakan
Aliran lateral masuk	Drainasi dari dasar profil tanah dan aliran lateral keluar
Curah hujan	Evaporasi permukaan tanah
Irigasi (sebagai hujan tambahan)	Evaporasi air yang terintersepsi tajuk tanaman
	Transpirasi oleh pohon
	Transpirasi oleh tanaman

Infiltrasi, yang besarnya tergantung dari intensitas hujan, kemiringan lahan dan kandungan air tanah, secara empiris dapat dibagi pada skala petak kecil atau *patch scale*.

Limpasan permukaan keluar dan masuk batas *zona-zona* yang ada dalam model WaNuLCAS menyebabkan terjadinya re-distribusi air diantara *zona-zona* tersebut.

Infiltrasi didekati dengan model “*tipping bucket*”. Dalam model seperti ini lapisan tanah paling atas diisi air hingga mencapai kapasitas lapang, selanjutnya mengisi lapisan dibawahnya dan seterusnya. Kondisi kapasitas lapangan diperhitungkan dengan melihat kurva karakteristik air tanah (kurva pF).

Penguapan atau evaporasi tanah tergantung pada penutupan permukaan tanah (didasarkan pada LAI pohon dan tanaman semusim) dan kandungan air dalam lapisan tanah atas. Penguapan tanah berhenti bila potensial air di lapisan tanah atas mencapai – 16.000 cm.

2.2 Serapan air

Penyerapan air oleh tanaman dikendalikan oleh (a) kebutuhan untuk transpirasi, (b) dipengaruhi oleh kerapatan total panjang akar dan (c) kandungan air tanah di lapisan jelajah akar tanaman. Cara perhitungan yang dipergunakan oleh De Willigen & Van Noordwijk (1987, 1991) didasarkan pada prosedur iteratif. Persamaan tahanan tanah + tanaman sebagai fungsi dari kecepatan aliran dan persamaan kecepatan aliran sebagai fungsi dari tahanan-tahanan yang terkait dipecahkan secara bersamaan (simultan).

Potensial air tanaman dapat dihitung dari potensial air tanah. Potensial air tanah merupakan rata-rata tertimbang seluruh *zona* dan lapisan yang dihitung berdasarkan kerapatan total panjang akar (L_{rv}) setempat dikurangi potensial untuk mengatasi tahanan akar pada saat kebutuhan transpirasi dapat tercukupi, dan bagian untuk mengatasi tahanan tanah (10 % dari potensial air tanah).

Langkah-langkah peristiwa yang terjadi dalam pemodelan serapan air dapat disederhanakan menjadi 3 langkah berikut:

1. Permintaan transpirasi potensial (E_p) ditaksir dari produksi berat kering potensial (sebagai masukan untuk WaNuLCAS yang dihitung dari model lain). Permintaan transpirasi memperhitungkan faktor naungan dan LAI, dikalikan efisiensi penggunaan air. Efisiensi penggunaan air ($CW_TranspRatio$) merupakan masukan untuk model yang mencerminkan iklim dan jenis tanaman.

2. Kecepatan penyerapan air potensial untuk semua lapisan i dihitung atas dasar potensial air tanah (h_sI), potensial rhizosfer (h_{rh}) dan potensial aliran matriks (F). Potensial aliran matriks adalah konduktivitas hidraulik tak jenuh yang dapat digunakan untuk menduga kecepatan aliran maksimum yang dapat terjadi dalam tanah (De Willigen & Van Noordwijk, 1994), yang memperhitungkan bahwa semakin kering tanah semakin sulit air untuk mengalir melalui ruangan pori yang berkurang airnya.
3. Menghitung 'faktor cekaman air' dari penyerapan air sebagai bagian permintaan transpirasi potensial. Pertumbuhan riil didasarkan pada faktor 'cekaman air' dan 'cekaman hara' minimum dan pertumbuhan potensial.

Box berikut memperlihatkan contoh hasil simulasi dengan WaNuLCAS pada sistem tanaman pagar di Lampung yang mengilustrasikan pengaruh kerapatan total panjang akar terhadap penyerapan air (Smith *et al.*, *in press*).

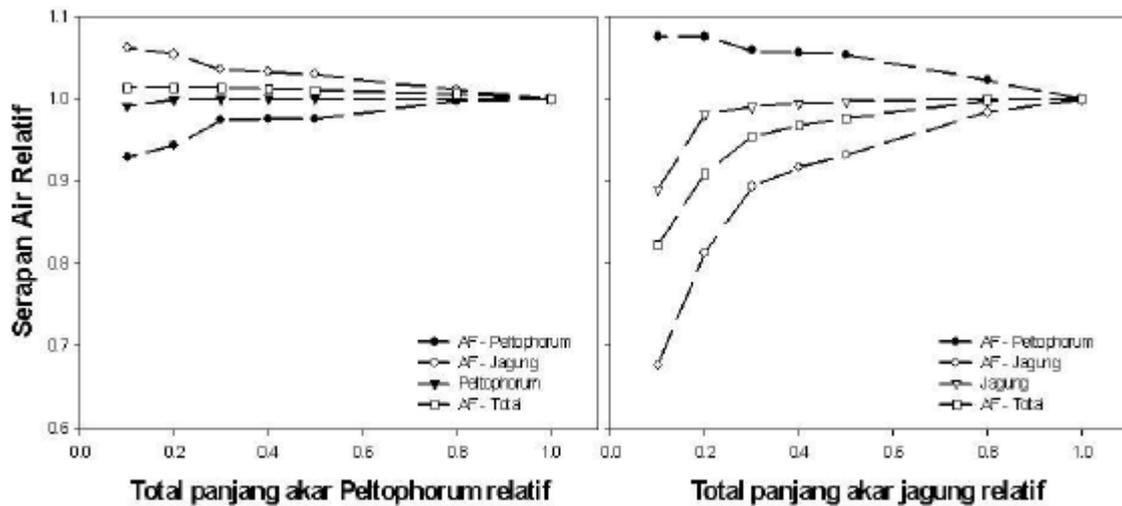
Contoh Kasus 1: Simulasi penyerapan air pada sistem tanaman pagar dibanding monokultur pohon.

Berikut ini adalah contoh penggunaan model WaNuLCAS untuk mensimulasikan penyerapan air oleh pohon (*Peltophorum dasyrrhachis*) dan tanaman semusim (jagung) pada sistem tanaman pagar di Pakuan Ratu, Lampung. Rata-rata curah hujan tahunan yang normal di Lampung adalah 3100 mm. Simulasi ini mengilustrasikan musim tanam kedua (bulan Maret – Mei) pada kondisi akhir musim hujan dimana curah hujan hanyalah 20% dari kondisi normal. Tanah diasumsikan memiliki kandungan hara (N dan P) yang cukup sehingga sistem tidak mempunyai masalah kekurangan unsur hara. Dalam simulasi ini akan dilihat bagaimana perubahan kerapatan total panjang akar pohon atau tanaman semusim mempengaruhi pembagian serapan air oleh pohon dan tanaman semusim. Hasil simulasi pada sistem tanaman pagar ini juga dibandingkan dengan kondisi monokultur peltophorum dan jagung, seperti yang dapat dilihat di Gambar 3.

Pada sistem monokultur peltophorum, berkurangnya kerapatan total panjang akar terindikasi kurang mempengaruhi serapan air oleh peltophorum. Sebaliknya apabila hal yang sama terjadi pada sistem tanaman pagar, maka serapan air oleh Peltophotrum akan berkurang dan serapan air oleh jagung akan meningkat (Gambar 3a). Hal ini menunjukkan bahwa pada sistem monokultur peltophorum, penurunan potensial rhizophor tidak cukup kuat untuk menurunkan serapan air oleh peltophorum.

Perubahan kerapatan panjang akar jagung mengakibatkan perubahan yang lebih besar terhadap serapan air dalam sistem (Gambar 3b). Air yang tidak dapat diserap oleh jagung akibat penurunan kerapatan panjang akarnya tidak seluruhnya dapat diserap oleh akar Peltophorum, sehingga pemanfaatan air dari sistem berkurang.

Contoh Kasus 1 (lanjutan)



Gambar 3. Hasil simulasi WaNuLCAS untuk mengamati perubahan kerapatan panjang akar terhadap serapan air oleh pohon (*Peltophorum*) dan tanaman semusim (jagung) pada sistem tanaman pagar. Serapan air dinyatakan relatif terhadap nilai yang diperoleh apabila kerapatan akar pada kondisi maksimum. AF-Peltophorum = serapan air oleh Peltophorum pada situasi sistem tanaman pagar, AF-Jagung = serapan air oleh jagung pada situasi sistem tanaman pagar, AF - Total = serapan air oleh jagung dan Peltophorum pada situasi sistem tanaman pagar.

2.3 'Run-on dan Run-off

Limpasan permukaan masuk (*run on*) dan keluar (*run off*) dari suatu petak lahan diperhitungkan dengan cara yang sama dalam model ini. Konduktivitas (daya hantar air) menjadi tak-terbatas bilamana kemiringan lahan sudah melebihi 0. Nilai *run-on* diperhitungkan sebagai bagian *run-off* dari lereng atas yang masuk ke petak lahan yang disimulasi. Fraksi *run-off* dapat disimulasi, tergantung pada kandungan air dalam profil tanah. Ada dua hal penting yang menentukan limpasan permukaan :

- Bila curah hujan harian ditambah *run-on* melebihi kecepatan infiltrasi maksimum harian.
- Bila curah hujan harian ditambah *run-on* melebihi kapasitas penyimpanan air masuk dan keluar dari lapisan tanah di bawah permukaan.

Limpasan permukaan yang pertama biasanya dipengaruhi oleh sifat permukaan tanah misalnya adanya kerak (*crusting*) dan sifat anti-air (*hydro-phobi*). Jenis yang kedua tergantung kedalaman profil dan konduktivitas hidraulik lapisan bawah.

Situasi peralihan yaitu limpasan bawah permukaan (*subsurface run-off*) bisa terjadi secara *top down* (mulai di lapisan yang lebih atas sebelum lapisan bawahnya) atau *bottom-up* (dimulai dari lapisan bawah), tergantung pada sifat profil tanah pada saat terjadi aliran air jenuh (konduktivitas hidraulik jenuh).

2.4 Dinamika Pembentukan dan Penurunan Ruang Pori Makro

Dinamika penambahan dan penurunan jumlah ruangan pori makro berakibat pada nilai berat isi matriks tanah, sepanjang massa padatan tanah tidak berubah. Pemadatan matriks tanah meningkatkan konduktivitas hidraulik tak jenuh (*unsaturated hydraulic conductivity*), sedangkan adanya ruangan pori makro meningkatkan konduktivitas hidraulik jenuh. Jika bisa menggunakan fungsi *pedotransfer*, maka perubahan berat isi dan mungkin kandungan bahan organik pada tanah dengan tekstur yang sama dapat dipakai untuk menaksir perubahan sifat retensi air dan konduktivitas hidraulik jenuh dengan mudah jika dinamika pori makro sudah diketahui.

Jika pori makro didominasi rekahan tanah, maka perlu diketahui sifat pembengkakan dan pengerutan tanah yang dipengaruhi oleh kadar air tanah. Jika pori makro didominasi oleh akar, cacing tanah dan/atau hewan makro lainnya, maka yang perlu diketahui adalah kerapatan populasi dan aktivitasnya, fraksi pori makro yang tersumbat sementara oleh akar dan kecepatan penutupan kembali pori makro akibat pergerakan material tanah secara internal dan/atau akibat aktivitas organisme (*bioperturbation*).

Dalam model WaNuCAS disediakan pilihan untuk simulasi dinamika struktur pori makro. Nilai konduktivitas hidraulik jenuh awal dapat ditetapkan sendiri atau menggunakan nilai yang tersedia dari hasil pendugaan melalui fungsi *pedotransfer*. Selama proses simulasi nilai tersebut cenderung menuju ke nilai hasil pendugaan (*default*). Nilai *pedotransfer* ditetapkan sebagai *default* berasal dari pengukuran contoh tanah dalam silinder kecil. Cacing dapat meningkatkan konduktivitas hidraulik jenuh di atas nilai *default*, tetapi ini sangat tergantung dari “jenis makanan untuk cacing” yang dinyatakan melalui struktur dan sifat metabolik bahan organik sebagai masukan model dan kedalaman lapisan yang bisa dipengaruhi oleh aktivitas cacing pada lokasi tertentu. Perubahan struktur tanah ini akan mengalami penurunan secara berangsur bila kondisi yang ada tidak dipertahankan.

Struktur model saat ini sangat sensitif terhadap perubahan nilai konduktivitas hidraulik jenuh, paling tidak dalam kisaran parameter tertentu yang tergantung dari resim curah hujan dan simpanan air tanah. Hal ini relatif mempermudah dalam rangka membuat konduktivitas hidraulik jenuh menjadi dinamis. Contoh : adanya sistem saluran yang terbentuk oleh akar lapuk warisan hutan di masa lalu (*root channel* = liang akar), yang mengalami kerusakan secara eksponensial dan laju pembentukan saluran baru oleh aktivitas akar (pohon) dan/atau cacing pada suatu lapisan tanah. Dengan demikian dampak aktivitas biota tanah terhadap struktur makro dapat dikaji lebih lanjut.

3 Membandingkan Hasil Simulasi WaNuLCAS dengan Hasil Pengukuran Lapangan

Berikut ini diuraikan sebuah contoh pengujian hasil simulasi WaNuLCAS dengan cara membandingkannya dengan hasil pengukuran di lapangan yaitu di desa Karta, Pakuan Ratu, Kabupaten Lampung Utara (4° 30' S, 104° 98' E). Data kesuburan tanah dan data iklim lokasi ini diperoleh dari proyek BMSF. Jenis tanah di lokasi ini adalah *Grossarenic Kandiodult* (Van der Heide *et al.*, 1992). Data iklim yang digunakan diperoleh pada musim tanam antara bulan September 1997 sampai dengan September 1998. Lokasi ini termasuk daerah tropika basah. Masalah pencucian hara dan penurunan kandungan bahan organik merupakan hal yang umum terjadi di lahan pertanian di daerah ini. Salah satu teknik alternatif pengelolaan tanah yang dianjurkan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah sistem tumpangsari antara pohon yang berakar dalam dengan tanaman semusim yang umumnya berakar lebih dangkal. Pohon ditanam berbaris sebagai pagar sementara lorong diantara barisan pohon

ditanami tanaman semusim (jagung-kacang tanah). Jenis pohon yang ditanam sebagai pagar adalah petaian (*Peltophorum*) dan gamal (*Gliricidia*) dengan jarak tanam 4 x 0.5 m. Untuk memahami pengaruh penyisipan pohon diantara tanaman semusim, maka budidaya pagar ini dibandingkan dengan tanam semusim monokultur. Pupuk N diberikan pada ketiga pola tanam tersebut dengan dosis 30 kg ha⁻¹ diberikan pada saat jagung berumur 7 hari, dan 60 kg ha⁻¹ diberikan pada saat jagung berumur satu bulan.

Pengukuran komponen kesetimbangan air (persamaan 1) dilakukan dengan beberapa cara sebagai berikut:

1. Curah hujan (P_g) diperoleh dari data hujan harian yang dicatat dari tanggal 1 Nopember 1997 sampai dengan tanggal 31 Oktober 1998.
2. Limpasan permukaan (R_t+R_c) diukur dari daerah tangkapan seluas 4 m x 6 m dengan menggunakan sistem *tipping bucket*¹(Khan & Ong, 1994). Limpasan permukaan diukur setiap kejadian hujan (selama percobaan terjadi 66 kejadian hujan) dari 14 Januari (30 hari setelah penanaman jagung) s/d 11 Mei 1998 (46 hari setelah penanaman kacang tanah).
3. Perubahan kadar lengas tanah dipantau dengan *neutron probe*²pada kedalaman 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, 50 cm, 60 cm, 70 cm and 80 cm. Kadar lengas tanah diukur setiap minggu mulai 1 Januari 1998 (17 hari setelah tanam jagung) sampai dengan 29 April 1998 (33 hari setelah penanaman kacang tanah).
4. Evaporasi tanah diukur dengan lisimeter mikro (Boast & Robertson, 1982). Evaporasi tanah diukur setiap 5 hari dari 1 Januari 1998 (17 hari setelah tanam jagung) sampai dengan 29 April 1998 (33 hari setelah tanam kacang tanah).
5. Sensor *heat pulse*³yang dikembangkan oleh Khan dan Ong (1996) digunakan untuk mengukur transpirasi pohon.
6. Transpirasi tanaman tidak diukur secara langsung, tetapi diduga melalui simulasi model CROPWAT model Version 5.1 (Smith, 1991).
7. Intersepsi tajuk pohon dan tanaman semusim, selisih kandungan air dalam tanaman, dan pergerakan air kapiler ke atas diasumsikan nol.
8. Jumlah air drainasi yang keluar dari *zona* perakaran diestimasi dengan kesetimbangan air sebagai berikut:

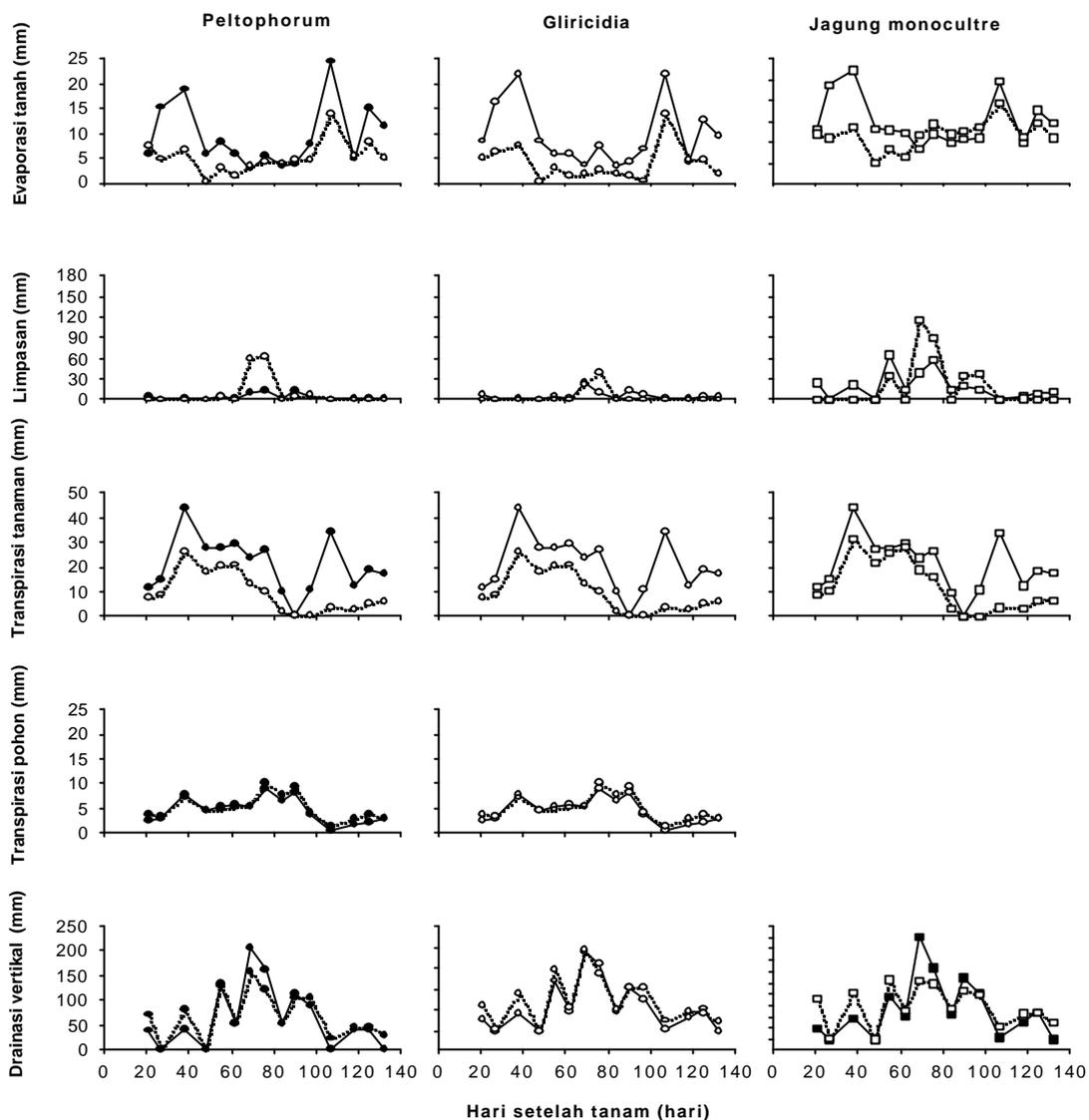
$$(D_t+D_c) = [(P_t+P_c)+(U_t+U_c) - \int(q_t+q_c)] / [\int_{time} + (R_t+R_c) + (E_t+E_c) + (T_t+T_c)] \quad (2)$$

Perbandingan hasil percobaan lapangan yang telah diuraikan di atas dengan hasil simulasi komputer menggunakan model WaNuLCAS disajikan dalam Gambar 4. Hasil simulasi WaNuLCAS terhadap terhadap beberapa komponen kesetimbangan air pada umumnya memiliki kecenderungan dan pola yang sama dengan hasil pengukuran di lapangan. Bila dicermati lebih jauh ternyata hasil simulasi WaNuLCAS terhadap evaporasi tanah dan transpirasi tanaman cenderung lebih rendah (*underestimate*), tetapi sebaliknya limpasan permukaan, transpirasi pohon dan air drainasi cenderung lebih tinggi (*overestimate*).

¹ *Tipping Bucket* adalah suatu alat untuk mengukur curah hujan atau limpasan air dengan cara menadah air ke dalam wadah yang kecil (*bucket*). Wadah ini dapat menampung seluruh isinya dengan sendirinya apabila air telah mencapai berat tertentu. Berapa kali wadah ini menampung isinya menunjukkan jumlah volume air yang masuk ke dalam alat.

² *Neutron probe* adalah suatu alat untuk mengukur kandungan air tanah berdasarkan kemampuan adsorpsi sinar neutron dari suatu sumber radioaktif.

³ *Heat pulse* adalah suatu metode untuk mengukur air yang mengalir dalam batang pohon. Pengukuran didasarkan pada kecepatan panas mengalir dari suatu sumber sensor yang dimasukkan ke dalam batang pohon.



Gambar 4. Dari waktu ke waktu pengukuran (garis tidak terputus) kecuali transpirasi tanaman yang disimulasi dari model CROPWAT, dan disimulasi (garis terputus) oleh WaNuLCAS dari (A) evaporasi tanah (mm), (B) limpasan permukaan (mm), (C) transpirasi tanaman semusim (mm), (D) transpirasi pohon (mm) and (E) drainasi (mm) pada pola tanam yang berbeda dimana (●) = *Peltophorum* (○) = *Gliricidia* dalam sistem tanaman pagar dan (?) = pola tanam monoculture (Suprayogo, 2000).

4. Latihan

Untuk memperdalam pemahaman neraca air dalam sistem agroforestri, WaNuLCAS dapat digunakan untuk simulasi berbagai skenario sistem pola tanam dan pengaturan tata letak antara pohon dan tanaman. Contoh skenario sederhana yang dapat dicoba untuk memahami interaksi pohon dan tanaman semusim terhadap pemanfaatan air dalam sistem agroforestri disajikan di Box di bawah ini. Lebih lanjut, skenario-skenario yang lain dapat disusun dan dikembangkan sesuai dengan kebutuhan masing-masing untuk pemahaman neraca air. Selamat mencoba untuk bersimulasi dengan WaNuLCAS, semakin banyak kita melakukan simulasi akan semakin mendalam pemahaman kita tentang manfaat model untuk memahami fenomena alam dan permasalahan-permasalahan pengelolaan sumberdaya air dalam sistem pertanian pada umumnya.

Tugas: simulasi model

Lakukan simulasi komputer neraca air pada sistem agroforestri dengan model WaNuLCAS. Pilihlah lokasi yang telah memiliki data dasar lengkap dan sudah dimasukkan dalam komputer (tersedia bersama program). Untuk ini bisa dipilih desa Karta, Pakuan Ratu, Lampung ($4^{\circ} 30' S$ dan $104^{\circ} 98' E$) yang merupakan lokasi penelitian Proyek BMSF, dengan jenis tanah Ultisols.

Jawablah beberapa pertanyaan berikut dengan memperhatikan hasil simulasi :

1. Apakah pohon lebih banyak memanfaatkan air dibanding tanaman semusim?
2. Bagaimana pohon berbagi air dengan tanaman semusim didalam profil tanah dan dari waktu ke waktu. Apakah pembagian air ini saling menguntungkan ?
3. Apakah perbedaan musim mempengaruhi sistem ini ?
4. Apa saja pembatas ketersediaan air bagi tanaman dan bagaimana pembatas itu mempengaruhi produksi tanaman ?
5. Bagaimana perubahan sifat aliran sungai yang akan mengisi sebuah waduk di bagian hilir bila terjadi perubahan penggunaan lahan dari sistem "*hutan*" menjadi sistem "*agroforestri*" di daerah hulu tangkapan sungai tersebut ?

Bahan Bacaan

Textbook

- Ong CK, Black CR, Marshall FM and Corlett JE, 1996. Principles of resource capture and utilization of light and water. In: CK Ong and P Huxley (ed.), Tree-crop Interaction: a Physiological Approach. CAB International, Wallingford, UK.
- Hillel, D. 1998. Environmental Soil Physics. Academic Press. UK
- Smith M, 1991. CROPWAT: Irrigation planning and management tool Ver. 5.7. Land and Water Development Divison, FAO, Rome.
- Wallace JS, 1996. The water balance of mixed tree-crop systems. In Ong CK and Huxley P (ed.), Tree-crop Interaction: a Physiological Approach. CAB International, Wallingford, UK.

Journal Ilmiah

- Boast CW and Robertson TM, 1982. A "micro-lysimeter" method for determining evaporation from bare soil: description and laboratory evaluation. Soil Science Society of America Journal 46, 689-696.
- De Willigen P and Van Noordwijk M, 1991. Modeling nutrient uptake: from single roots to complete root systems. In: Penning De Vries FWT, Van Laar HH and Kropff MJ (eds.), Simulation and Systems Analysis for Rice Production (SARP). Simulation Monographs, PUDOC, Wageningen. P 277-295.
- De Willigen P and Van Noordwijk M, 1994. Diffusion and mass flow to a root with constant nutrient demand or behaving as a zero-sink. Soil Sci. 157:162-175.
- Khan AAH and Ong C, 1996. A low cost heat pulse technique for measuring tree root water uptake. Agroforestry forum 7(2), 19-22.

Van der Heide J, Setijono S, Syekhfani MS, Flach EN, Hairiah K, Ismunandar S, Sitompul SM and Van Noordwijk M, 1992. Can low external masukan cropping systems on acid upland soils in the humid tropics be sustainable?: Backgrounds of the UNIBRAW/IB Nitrogen management project in Bunga Mayang (Sungkai Selatan, Kota Bumi, N. Lampung, S. Sumatra, Indonesia. *Agrivita* 15, No 1, 1-9.

Buku pedoman

Khan AAH and Ong CK, 1994. Design and calibration of tipping bucket system for field run-off and sediment quantification. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF). Naerobi, Kenya.

Van Noordwijk M and Lusiana B, 1999. WaNuLCAS 2.0.: Background on a model of Water, Nutrient and Light, Capture in Agroforestry Systems. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF). Bogor.

Disertasi

De Willigen P and Van Noordwijk M, 1987. Roots for plant production and nutrient use efficiency, Doctoral thesis Agricultural University Wageningen, 282 pp.

Suprayogo D, 2000. Testing the safety-net hypothesis in hedgerow intercropping: water balance and mineral-N leaching in the humid tropics. PhD. Thesis. Imperial College of Science, Technology and Medicine, University of London.