Abstrak

Penelitian tentang siklus unsur hara dan hubungannya dengan keanekaragaman spesies tumbuhan di hutan hujan tropik, Sumatra barat, terutama tentang tingkat dekomposisi daun tumbuhan spesies spesifik (yang mengandung Al tinggi (akumulator Al, *Memecylon laurinum* dan yang mengandung Al rendah (non akumulator Al, *Nephelium mutabile*) telah dilakukan di plot observasi ekologi hutan hujan tropik di Pinang-Pinang, Gunung Gadut Padang, dan analisis kandunhgan hara dari serasah telah dilakukan di Laboratorium Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Andalas Padang. Penelitian ini telah dilakukan sejak bulan Februari sampai Agustus 2004.

Untuk melihat perbedaan proses dekomposisi antar spesies yang ditempatkan pada tiga jenis posisi topografi, percobaan di desain dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dalam bentuk faktorial 2x3 dengan tiga ulangan. Setelah dilakukan uji F, dilanjutkan dengan uji BNT pada taraf 5 %. Perlakuan yang diberikan adalah sebagai berikut: faktor A adalah dengan menggunakan serasah dua spesies tumbuhan, yaitu *Memecylon laurinum* untuk tanaman akumulator Al dan *Nephelium mutabile* untuk tanaman non akumulator AL. Faktor B adalah tiga posisi topografi, yaitu di puncak, di lereng, dan di kaki bukit dari plot.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis serasah daun tumbuhan yang mengadung hara yang berbeda memberikan pengaruh yang berbeda terhadap kecepatan dekomposisi. Namun posisi topografi tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap kecepatan dekomposisi. Selain itu ciri morfologi daun serasah serta luas area spesifik (LAS) daun memberikan pengaruh yang nyata terhadap proses dekomposisi. Pererbedaan faktor-faktor tersebut, maka dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa serasah tumbuhan akumulator Al (*Memecylon laurinum*) terdekomposisi lebih cepat dibandingkan dengan serasah tumbuhan non akumulator Al (*Nephelium mutabile*). Sampai pada 6 bulan dekomposisi bobot kering serasah daun masih tertinggal sekitar 40 %. Dari penelitian ini dapat disarankan bahwa untuk menentukan kecepatan dekomposisi yang tepat perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk waktu lama dekompoisi sampai 1 tahun atau sampai bobot kering bahan menjadi kecil atau hilang.

Daftar Isi

	Halaman
Lembaran Pengesahan	i
Abstrak	ii
Daftar Isi	iii
Daftar Tabel	v
Daftar Gambar	vi
I.PENDAHULUAN	
A.Latar Belakang	1
B.Perumusan Masalah	2
C.Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	4
I. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Karakteristik Plot	4
B. Siklus Unsur Hara	4
C.Dekomposisi	5
III. BAHAN DAN METODA	
A. Waktu dan Tempat	7
B. Bahan dan Alat	7
C. Desain Penelitian	7
D. Pelaksanaan Penelitian	8
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Fluktuasi Kehilanagan Bobot Serasah Selama Dekomposisi	11
B. Kecepatan Proses Dekomposisi	13
C. Fluktuasi Kadar N-total Serasah Selama Dekomposisi	17
D. Fluktuasi Kadar P-Total Serasah Selaama Dekomposisi	19

E. Fluktuasi Kadar Kalium dan Magnesium Serasah Selama Dekomposisi 21
F. Fluktuasi Kadar Kalsium Serasah Serasah Selama Dekomposisi 24

V. **KESIMPULAN DAN SARAN** 26

Daftar Pustaka 28

I.PENDAHULUAN

A.Latar Belakang

Hotta (1984) ahli ekologi dari Jepang telah mendeskripsi tentang hutan di plot observasi ekologi hutan di Pinang-Pinang, Sumatra Barat adalah merupakan suatu kawasan hutan yang memiliki keanekaragaman spesies tumbuhan yang tinggi. Dilain pihak Masunaga *et al.*(1997 dan 1998) juga melaporkan bahwa keragaman karekterisitik serapan hara dari tumbuhan-tumbuhan yang ada pada plot observasi ini juga sangat tinggi. Kajian-kajian tentang ekologi hutan dan hubungannya dengan karakterisitik tanah telah dilakukan oleh beberapa peneliti seperti Kubota *et al.* (2000). Demikian juga kajian tentang variasi runtuhan biomasa (Litterfall) baik secara spasial maupun seasonal juga telah dilakukan oleh Hermansah *et al.* (2003). Secara seasonal (waktu) runtuhan biomasa pada plot observasi ini di regulasi oleh dinamika temperatur dan curah hujan (Hermansah *et al.*, 2003). Penelitian sebelumnya oleh Masunaga *et al.* (1988) dan Kubota *et al.* (1998) menyimpulkan bahwa ada- nya saling keterkaitan antara keragaman spesies tumbuhan dan keragaman karakteristik hara dalam tubuh tumbuhan. Keragaman karakteristik hara dari tumbuhan ini berkontribusi terhadap keragaman karakteristik hara dalam tanah melalui siklus unsur hara via serasah (litterfall) yang jatuh.

Kajian yang detail tentang siklus unsur hara dan aliran hara dari serasah ke tanah dalam hubungnnya dengan keragaman spesies tumbuhan dan karakteristik hara dalam tanah di hutan hujan tropis kita Sumatra Barat ini belum banyak dilakukan. Dalam pekerjaan kami sebelumnya, kami berhipotesis bahwa variasi yang tinggi dari karakterisitk hara tanah baik horizontal maupun vertikal berkorelasi dengan keragaman spesies tumbuhan (Kubota *et al.*, 2000). Seperti yang digambakan pada Gambar 1, sub-plot yang mempunyai keragaman spesies yang tinggi cenderung mempunyai keragaman tanah yang tinggi baik secara horizontal maupun vertikal. Pada Gambar 1 juga dilukiskan bahwa sub-plot yang memiliki keragaman spesies tinggi berada pada puncak lereng, dimana status haranya relatif rendah dari pada subplot yang berada pada pada posisi bawah lereng yang memiliki status hara relatif tinggi. Dengan demikian timbul

pertanyaan bagi penulis faktor apa yang menyebabakan tingginya keragaman tanah pada skala mikro seperti pada plot observasi ini. Untuk menjawab hal ini penulis telah mencoba mengevaluasi efek dari siklus unsur hara dalam mengkreasi keragaman unsur hara tanah melalui kajian spatial distribusi serasah dan besarnya hara yang disumbangkan pada pada tanah (Hermansah *et al.*, 2003). Kajian tersebut telah berkontribusi untuk mendiskusikan bagaimana pengaruh keragaman spesies tumbuhan dengan keragaman haranya yang tinggi dalam mengkreasi keragaman tanah. Namun untuk mengetahui lebih jauh proses dan dinamikan siklus unsur hara dalam ekosistim hutan terutama di plot observasi ini penelitian lanjutan untuk mengkaji dinamika unsur hara dalam ekosistem hutan ini masih diperlukan. Untuk itu penulis ingin melakukan penelitian tentang dinamika hara pada hutan hujan tropis sumatra barat dengan fokus kajian tentang tingkat dekomposisi biomasa daun untuk spesies-spesies tumbuhan yang spesifik dalam menyerap unsur hara. Dari kajian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam melihat dinamika siklus unsur hara dalam kaitannya dengan keragaman tanah dan spesies tumbuhan khususnya di hutan hujan tropis Sumatra Barat ini.

B. Perumusan Masalah

Dekomposisi serasah atau bahan organik dalam ekosistem hutan adalah merupakan mata rantai utama dalam pengembalian bahan organik dan unsur hara dari vegetasi ke tanah (Bray dan Gorhan, 1964; Herera, Jordan, Klinge dan Medina, cit Aflizar, 2003). Kecepatan dekomposisi atau hilangnya bahan organik didalam tanah bervariasi menurut waktu dan tempat. Kwalitas bahan yang akan terdekomposisikan juga merupakan faktor penting dalam menentukan lambat dan cepatnya bahan itu terdekomposisi. Kajian karakteristik hara pada beberapa spesis tumbuhan didalam plot observasi ini telah dilakukan dan dilaporkan mempunyai variabilitas yang tinggi (Masunaga *et al.*, 1998). Tingginya variasi keragaman karakterisitik unsur hara dalam tubuh tumbuhan (batang dan daun) akan berpengaruh dalam proses dekomposisi bahan organiknya. Kajian dekompoisi biomas secara menyeluruh pada berbagai ekosistem hutan telah banyak dilakukan, namun kajian dekomposisi biomas untuk tumbuhan yang menuyerap hara secara spesifik belum ada. Dalam rangka mengkaji siklus unsur hara secara keseluruhan

dan mengetahui kontribusi tumbuhan yang beragam dalam mengkreasi kehcterogenen tanah maka kajian tingkat dekomposisi bahan oragnik untuk spesies tumbuhan yang spesifik kandungan haranya perlu dilakukan.

C.Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian secara umum adalah untuk mempelajari dinamika siklus unsur hara pada ekosistem hutan dan hubungannya dengan keanekaragaman spesies tumbuhan di hutan hujan tropis, Sumatra Barat. Tujuan khusus yang akan dicapai dari penelitian ini antara lain :

1. Mengetahui kecepatan dekomposisi dari biomasa daun yang mengakumulasi hara yang tinggi dan yang rendah terutama untuk unsur Al
2. Melihat seberapa lama biomas ini dapat melapuk secara sempurna diatas permukaan tanah dalam ekosistem hutan seperti di bukit Pinang-Pinang ini.

D.Manfaat Penelitian

Penelitian ini akan bermanfaat dalam meningkatkan ilmu pengetahuan terutama dalam bidang ekologi tanah dan hutan dan sekali gus juga akan dapat memberikan input kepada pengelola lingkungan akan pentingnya fungsi interaktif antara tanah dan vegetasi dalam mempertahankan keseimbngan ekositem dengan baik. Disamping itu juga akan dapat memberikan input ke pengelola lingkungan hutan sebagai bahan pertimbagan untuk mengembangkan tumbuhan yang menyerap Al tinggi ini ditanam sebagai alternatif untuk mengatasi tanah-tanah kritis yang mengandung Al tinggi.

II.TINJAUAN PUSTAKA

A.Karakteristik Plot

Plot observasi ini adalah merupakan plot observasi untuk berbagai kajian dibidang ekologi tanah dan hutan yang dirancang dan dibuat oleh ahli ekologi Jepang (Hotta 1984). Pada plot ini telah dilakukan berbagai macam penelitian secara terus menerus seperti yang dilakukan oleh (Hotta 1984, 1986 dan 1989; Masunaga *et al.*, 1997; Kubota *et al.*, 1998; Hermansah *et al.*, 2003). Plot ini berlokasi di puncak bukit dengan puncaknya yang sebagian sempit dan sbagian lagi relatif luas dan berada pada ketinggian 500 m diatas permukaan laut. Lokasi ini mempunyai curah hujan yang sangat tinggi setiap tahunnya dan sama sekali tidak mempunyai musim kering yang nyata (Hotta, 1984). Tanah pada lokasi ini relatif muda dan digolongkan pada Typic Dystroudept yang berkembang dari bahan induk andesit dan batu kapur. Karakteristik utama dari tanah disini menurut Wakatsuki *et al.* (1986) adalah warna merah, masam, relatif tinggi kandungan carbon, nitrogen dan kapasitas tukar kation, dan kandungan kation-kation basa terutama sekali kalsium. Meskipun total area dari plot observasi ini hanya 1 ha, tanahnya sngat heterogen. Tiga macam grup yang berbeda (Typic Dystroudept, Lithic Dystroudept dan Lithic Eutroudept) ditemui pada lokasi ini. Dan tiga grup ini dibedakan lagi kedalam tujuh famili.

B.Siklus Unsur Hara

Siklus unsur hara pada ekosistem hutan adalah merupakan suatu kajian yang penting dan menarik karena hutan dengan ekosistemnya yang komplek sangat berperan penting dalam global biogeokimia (Hermansah, 2003). Proses siklus unsur hara dalam ekosistem hutan sangat penting dalam mempelajari fungsi dan evolusi dari ekosistem hutan. Siklus dari pada unsur hara di dalam ekosistem hutan adalah merupakan suatu set proses yang terpadu meliputi pemindahan energi dan hara didalam ekosistem sendiri maupun antar ekosistem antara atmosfir, biosfir, geosfir dan hidrosfir. Energi yang diperlukan untuk menggerakkan siklus ini di peroleh dari proses yang terjadi di biosfir yakni proses

fotosintesis. Baik secara lansung maupun tidak lansung fotosintesis merupakan inti dalam pengadaan energi bagi semua kehidupakn di biosfir. Untuk mempertahankan rekasi biokimia yang diperlukan oleh tumbuhan-tumbuhan sekurang-kurangnya 14 hara yang mutlak diperlukan oleh tumbuhan harus terpenuhi.

Unsur-unsur hara ini di ambil oleh tumbuhan dari dalam tanah melalui serapan haranya dan kemudian diakumulasi dalam jaringan tumbuhan dan kembali lagi ke tanah baik lansung atau tidak lansung sebagai bahan organik. Bahan organik ini merupakan sumber energi bagi heterotrof yang dioksidasikannya melalui proses dekomposisi. Secara simultan unsur hara akan kemabli ke tanah. Proses dari serapan hara, akumulasi hara pada tubuh tumbuhan dan kembali ke tanah melalui proses dekomposisi yang bervarisi sesuai dengan kondisi tumbuhan, iklim dan jenis tanahnya sendiri.

C.Dekomposisi

Dekomposisi adalah mata rantai utama bagi pengembalian bahan organik dan unsur hara dari vegetasi ke tanah (Bray dan Gorhan, 1964;Herera, Jordan, Klinge, dan Median, 1978; Cuevas dan Medina, 1998 cit Aflizar, 2003). Runtuhan biomasa seperti daun dan bagian tanaman lain yang jatuh sedikit demi sedikit terkumpul di tanah hutan sampai proses dekomposisi dimulai. Pada mulanya tumpukan serasah mungkin melebihi dekomposisi yang terjadi, tapi cepat atau lambat keseimbangan akan tercapai antara penambahan serasah tahunan dan tingkat dekomposisi tahunan (Spurr, 1980). Tingkat hilangnya serasah lebih cepat pada awal proses, kemudian lama kelamaan semakin menurun (Anderson et al, 1983; Swift dan Anderson, 1989; Kumar dan Deepu, 1992; Jamaan dan Nair, 1996 *cit*. Sundarapardian, 1999).

Bahan organik didalam tanah meruapakan sumber energi dan sumber karbon untuk pertumbuhan sel-sel baru mikrobia. Akibat perombakan tersebut selain energi yang diperoleh mikroba, juga dilepaskan senyawa-senyawa seperti CO_2, CH_4, asam-asam organik dan alkohol. Selama asimilasi C untuk pertumbuhan sel terjadi juga penyerapan (immobilisasi) unsur-unsur lain seperti N, P, K dan S oleh mikro (Soedarsono, 1981).

Bahan organik tanah yang sudah tertimbun adalah merupakan sasaran penyerangan hebat oleh organisme tanah, yaitu tumbuhan dan hewan yang menggunakan sumber energi dan bahan pembentuk jaringannya dari bahan organik (karbon). Mengingat sumber karbon utama didalam tanah adalah bahan organik, maka besarnya dekomposisi bahan organik didalam tanah tergantung dari banyaknya bahan organik itu sendiri. Hal ini jelaslah bahwa penambahan bahan organik akan mempertinggi evolusi CO_2. Dengan kata lain kecepatan dekomposisi bahan organik tergantung dari kadar bahan organik itu sendiri. Tanaman yang muda dan sisa-sisa tanaman yang rasio C/N-nya rendah cenderung terdekomposisi lebih cepat dibandingkan dengan bahan-bahan oragnik atau bahan sisa yahg mengandung lignin (Suedarsono, 1981).

Tanner (1981 *cit.* Sundarapardian, 1991) menyatakan bahwa 2-96 % dari proses dekomposisi tergantung dari kandungan N dan P daun. Sundarapardian (1999) juga menyatakan bahwa pada spesies tanaman dengan kandungan N yang tinggi menunjukkan proses dekomposisinya lebih cepat, kecuali pada beberapa spesies tertentu. Lebih lanjut Suedarsono (1981) menjelaskan bahwa N merupakan unsur utama bagi pertumbuhan mikroorganisme, maka untuk mendekomposisi bahan organik yang akan disintesa sebagi penyususn sel selalu diperlukan sejumlah N (artinya diperlukan C/N ratio tertentu dan untuk mikrobia ratio tersebut adalah 10:1). Mengingat bahan organik yang jatuh keatas tanah mempunyai C/N yang sangat bervariasi, maka kecepatan dekomposisi juga sangat dipengaruhi oleh kadar N didalam bahan tersebut.

Morfologi bahan yang akan mengalami proses dekomposisi juga mempengaruhi proses dekomposisi. Sundarapardian (1999) menyatakan bahwa daun engan cirri morfologi kurus dan licin tanpa kerangka tulang yang menonjol dapat di dekomposisi dengan cepat, sedangkan pada daun yang tebal dan keras dengan tulang tengah daun yang menonjol dan barik-barik membutuhkan waktu yang panjang untuk didekomposisi (Sundarapardina, 1999).

Proses dekomposisi dari bahan organik tergantung dari macamnya mikroorganisme dan kelembaban. Kecepatan dekomposisi yang bervariasi mulai dari bawah titik layu sampai pada kelembaban yang jenuh (Soedarsono, 1981). Kumar dan Deep (1992 *cit.* Sundarapardian, 1999) menyatakan bahwa hutan yang

pohonnya menggugurkan daunnya sepanjang tahun di daerah tropik memperlihatkan tingginya tingkat pembusukan yang mencolok sekali dibandingkan dengan spesies hutan di daerah temperate. Perbedaan temperatur dan kelembaban akan berpengaruh terhadap penyebaran populasi dan aktivitas mikroorganisme.

III. BAHAN DAN METODA

A.Waktu dan Tempat

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan April sampai dengan Oktober 2004, bertempat di plot observasi ekologi hutan dan tanah di Pinang-Pinang, Gadut, Padang. Analisis tanaman dan beberapa sifat fisika dan kimia tanah akan dilakukan di Laboratorium Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Andalas. Jadwal penelitian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 1.

B.Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan selama penelitian ini adalah; daun tua dari jenis tanaman yang mengandung unsur Al, Ca tinggi (acumulator) dan yang mengandung Al dan Ca rendah (excluder) dari sejumlah tanaman yang dianalisis dalam 1 ha plot obsevasi ini (890 pohon yang mempunyai diameter batang diatas 8 cm). Untuk keperluan analisis diperlukan bahan-bahan kimia seperi ; asam nitrat pekat, asam hidrofloric, dan bahan-bahan kimia lainnya.Untuk proses pendekomposisian diperlukan litterbag dan kawat pengaman. Untuk pengamatan curah hujan diperlukan alat pencatat curah hujan secara manual yang dibuat dari derijen yang diatasnya ditempatkan funnel (corong palstik) yang berdiameter 18 cm dan termometer untuk pengamatan temperatur udara.

C.Desain Penelitian

Penelitian ini akan menggunakan 2 spesies daun (Memecylon *laurinum* dan Nephelium *mutabil* sebagai Al tinggi dan Al rendah. Literbag yang diisikan dengan kedua spesies tersebut ditempatkan pada tiga posisi topograpi (puncak lereng, daerah lereng dan kaki lereng) masing-masing 3 ulangan yang di set

dengan waktu pengambilan berbeda (1, 2, 3, 4 , 5 sampai 6 bulan). Setiap jenis diwakilan dalam 54 litterbag. Jadi total litterbag untuk kedua spesies tumbuhan adalah 108 sampel.

Pelaksanaan Penelitian

Persiapan sampel

Setelah ditentukan pohon sampel dari masing-masing spesies tumbuhan berdasarkan hasil analisis karakteristik hara daun (Masunaga *et al.*, 1997) maka dilakukan pengambilan contoh daun untuk di dekomposisikan. Sampel diambil dengan memanjat pohon atas bantuan buruh lapangan. Contoh-contoh daun ini dikering anginkan dan di ovenkan serta ditetap kan kadar airnya. Kemudian sampel daun ini siap dimasukkan ke dalam literbag untuk didekomposisi.

Pengambilan sampel tanah

Pengambilan sampel tanah untuk analisis BV, kadar air digunakan dengan menggunakan ring sampel. Sampel tanah diambil pada setiap posisi penempatan litterbag.

Pendekomposisian

Sampel yang sudah kering dimasukkan kedalam litterbag berukuran 20 cm x 10 cm dengan ukuran pori 2-3 mm dan daun yang dimasukkan setara dengan 10 gr berat kering per litterbag (User, 1999). Kemudian didekomposisi dengan meletakkannya di permukaan tanah pada 3 posisi yang berbeda dan untuk masa dekomposisi yang berbeda yaitu 1, 2, 3, 4, 5 dan 6 bulan dengan 3 ulangan. Untuk menghindari agar tidak terganggu oleh binatang besar dan gangguan binantang lain, litterbag ditutup dengan kotak yang terbuat dengan kawat.

Pengambilan sampel.

Pengambilan sample dalam litterbag yang didekomposisikan dilakukan setaip bulannya. Sampel diambil dengan hati-hati dan dibawah kelaboratorium. Kemudian litterbag dibersihkan dengan hati-hati agar daun yang didekomposisi

terpisah dengan tanah-tanah yang melekat. Sisa serasah daun yang tesebut dipindahkan dari litterbag, ditimbang, dikeringkan dalam oven dan ditimbang lagi untuk menetapkan kadar airnya.

Analisis di Laboratorium

Pekerjaan analisis di laboratorium dalam penelitian ini meliputi analisis tanaman dan tanah. Analisis daun tanaman akan dilakukan untuk daun sebelum didekomposisi dan setelah didekomposisi pada waktu yang telah ditentukan meliputi N, P, K, Ca, Mg dan Al. Analisis tanah meliputi BV, kadar air dan beberapa sifat kimia tanah (C, N dan kation-kation basa).

Pengolahan dan analisis data

Data yang telah didapat seperti perubahan berat serasah setiap bulan, kandungan hara serta pengamatan iklim seperti curah hujan dan temperatur akan dikorelasikan. Untuk mengetahui besarnya tingkat dekomposisi biomas daun dari spesies tumbuhan yang diuji dianalisa dengan model konstan berat potensial yang hilang atau koefisien tingkat dekomposisi dengan persamaan Olson (Olson, 1963 *cit.* Jamaludheen, 1998) dengan model persamaan sebagi berikut:

$$X/X_o = e^{-kt}$$

Dimana :

X = Berat sisa serasah pada waktu t
Xo= Berat awal serasah
k = koefisien tingkat dekomposisi
t = waktu
e = bentuk dasar logaritma

Dari persamaan diatas dikonversi kedalam bentuk logaritma, untuk mendaptkan tetapan k (koefisien tingkat dekomposisi).

$$X/X_o = e^{-kt} \longrightarrow \quad e^{-kt} = X/X_o$$

$$-kt = \ln (X/X_o)$$

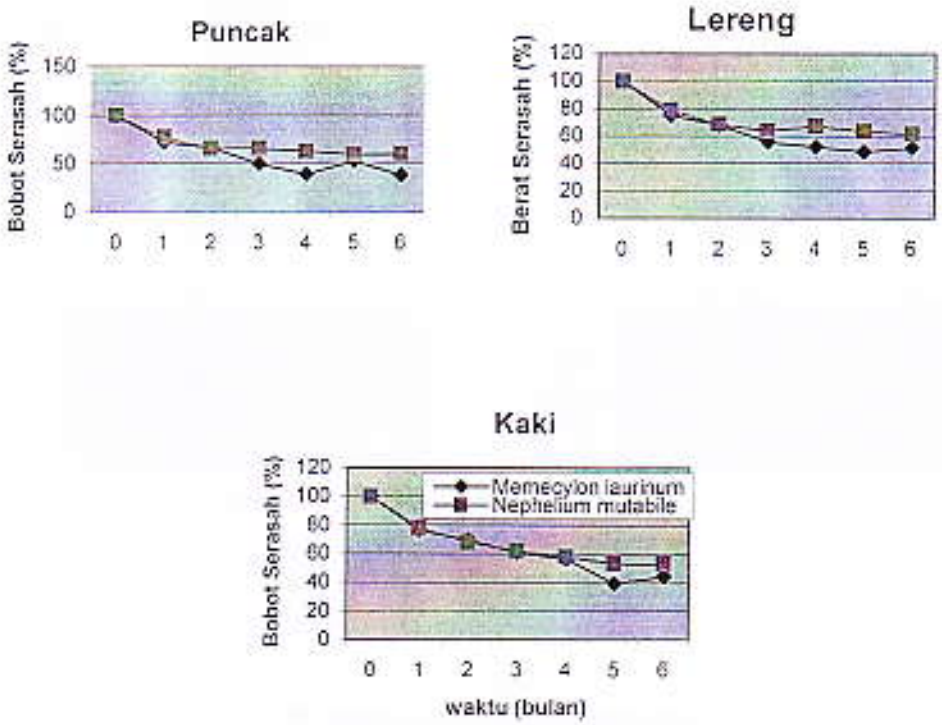
$$-k = \ln(x/X_o)/t$$

Nilai k atau koefisien dekomposisi akan dihitung untuk setiap spesies tumbuhan yang diuji dan dibandingkan . Untuk membandingkan tingkat dekomposisi dan kandungan hara yang hilang antar spesies, data juga akan dianalisis dengan ANOVA, dan untuk uji lanjut digunakan uji BNT 5 %.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Fluktuasi Kehilangan Bobot Serasah Selama Dekomposisi

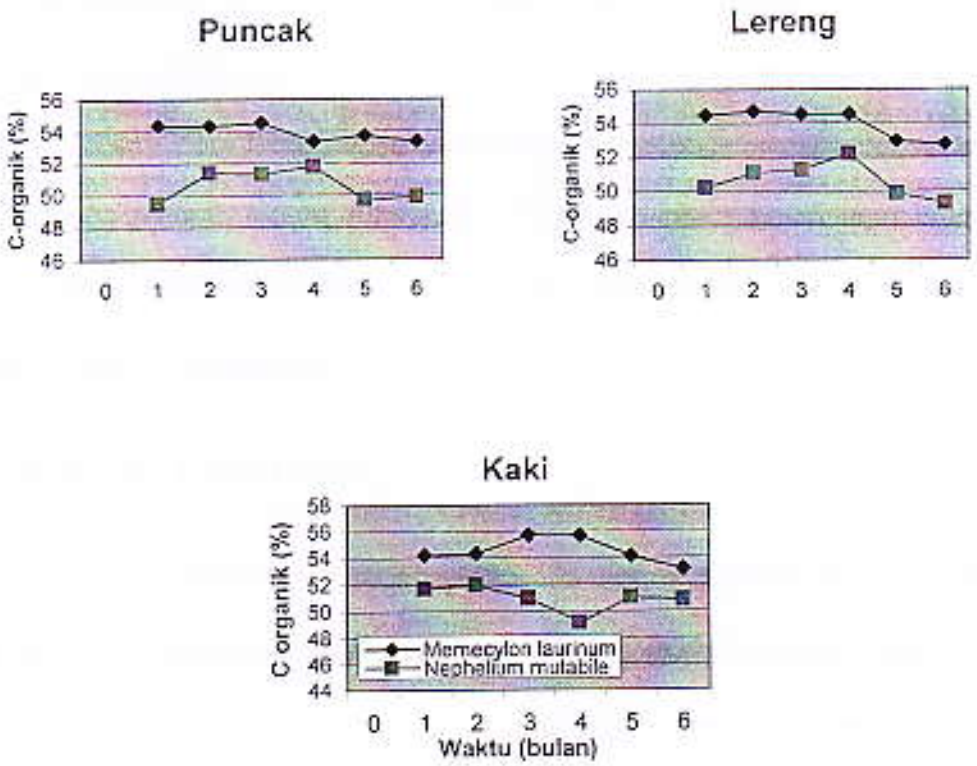
Selama proses dekomposi serasah daun tumbuhan akumulator Al (*Memecylon laurinum*) dan non akumulator Al (*Nephelium mutabile*) mengalami kehilangan bobot kering. Persentase kehilangan bobot serasah disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Fluktuasi persentase bobot serasah selama Dekomposisi

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa secara umum bobot serasah dari kedua species tumbuhan tersebut mengalami kehilangan yang relatif cepat pada bulan pertama, kecepatan kehilangan bobot serasah semakin menurun sampai mendekati konstan pada bulan ke 5 dan ke 6, penurunan ini diikuti dengan

penurunan C organik serasah. Kehilangan bobot yang cepat pada bulan pertama ini diduga karena serasah dengan karbon sebagai penyusun utama jaringan daun dan bahan-bahan lain yang mudah dirombak seperti karbohidrat, protein, lemak, dan lain lain, begitu di letakkan diatas tanah akan langsung diserang oleh berbagai jasad yang ada didalam tanah dan kemudian akan dibebaskan menjadi CO_2. Pada awal terdekomposisi, bahan-bahan tersebut masih tersedia dalam jumlah yang banyak, sehingga aktivitas mikroorganisme untuk merombak lebih intensif. Seiring dengan menurunnya C organik serasah (Gambar 2), maka aktivitas mikroorganisme pun semakin menurun.



Gambar 2. Fluktuasi Persentase C organik serasah selama dekomposisi

Hal ini sejalan dengan apa yang dikemukan oleh Sundarapardian (1999), bahwa tingkat hilangnya serasah lebih cepat terjadi pada awal-awal proses, kemudian lama kelamaan semakin menurun. Nuraini (1990) menjelaskan bahwa kehilangan bobot yang cepat disebabkan karena bahan organik dimanfaatkan untuk memperoleh energi dan penyusun sel mikroorganisme kehilangan bobot semakin lambat sebab sumber karbon dari bahan organik yang semakin berkurang.

Pada akhir pengamatan kehilangan bobot *Memecylon laurinum* tertinggi adalah dipuncak (61,67 %), diikuti di kaki (55,83 %), dan dilereng (48,63 %). *Nephelium mutabile* mengalami kehilangan bobot di kaki (47,13 %), di puncak (39,7 %) dan di lereng (38,33 %). Dari pengamatan terlihat ada sedikit perbedaan catatan persentase dari bobot serasah yang hilang pada ketiga topografi, hal ini diduga tidak terlepas dari ketidakseragaman sampel yang digunakan. Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa pengaruh topografi terhadap kehilangan bobot serasah tidak berbeda nyata. Interaksi dari kedua faktor pun (jenis species tumbuhan dan topografi) menunjukkan tidak berbeda nyata. Jenis spesies serasah berpengaruh nyata terhadap kehilangan bobot serasah.

B. Kecepatan Proses Dekomposisi

Untuk membandingkan perbedaan kecepatan dekomposisi antara *Memecylon laurinum* dan *Nephelium mutabile* pada ketiga topografi dapat dilihat dari koefisien kecepatan dekomposisi (k) yang dapat dianalisa dengan persamaan Olsen $k = - \ln (X/Xo) / t$, dimana X = berat sisa pada waktu t, dan Xo = berat awal (Olsen, 1963 *cit* Jamaludheen, 1998).

Tabel 1. Koefisien kecepatan dekomposisi *(k)*, Spesifik Leaf Area (SLA), dan kandungan lignin dari *Memecylon laurinum* dan *Nephelium mutabile* pada tiga topografi.

Topografi	Spesies	SLA (cm^2)	k Olsen (tahun)	Lignin (%)
Puncak	*M laurinum*	23,05	1,94	30,80
	N mutabile	97	1,01	26,26
Lereng	*M laurinum*	23,05	1,33	30,80
	N mutabile	97	0,98	26,26
Kaki	*M laurinum*	23,05	1,63	30,80
	N mutabile	97	1,27	26,26

Pada tabel 1. dapat dilihat bahwa kecepatan dekomposisi *M laurinum* paling tinggi di puncak (1,94), di kaki (1,63) dan paling lambat di lereng (1,33). Sedangkan *N mutabile* kecepatan dekomposisi paling tinggi di kaki (1,27), di puncak (1,01) dan di lereng (0,98) tidak menunjukkan perbedaan kecepatan dekomposisi yang terlalu jauh. Kecepatan dekomposisi dari kedua jenis spesies ini menunjukkan kecenderungan (trend) yang berlawanan. Hal ini cukup membuktikan bahwa topografi tidak berpengaruh nyata terhadap kecepatan dekomposisi.

Namun dari Tabel 1. terlihat bahwa kecepatan dekomposisi *M laurinum* lebih tinggi daripada *N mutabile*. Hal ini diduga karena perbedaan komposisi kimia masing-masing serasah itu sendiri. Dimana hasil analisa membuktikan bahwa nisbah C/N *M laurinum* lebih rendah daripada nisbah C/N *N mutabile*. Nisbah C/N dapat digunakan sebagai petunjuk (indikator) kecepatan dekomposisi suatu bahan organik (Syekhfani, 1997). Semakin tinggi nisbah C/N, semakin sukar suatu bahan organik dilapuk, sehingga kecepatannya semakin rendah.

Demikian sebaliknya. Hal ini berhubungan dengan aktivitas mikroorganisme perombak yang sangat tergantung oleh kandungan karbon dan nitrogen suatu bahan organik. Hakim (1986) menjelaskan bila C/N bahan organik tinggi maka akan terjadi persaingan N antara tanaman dan mikroba, dalam hal ini N diimmobilisasi. Bila nitrifikasi baik, maka C/N akan rendah, dengan demikian bahan organik akan cepat habis.

Kemungkinan juga perbedaan kecepatan dekomposisi antara kedua jenis spesies ini adalah karena berbedanya ciri morfologi dari kedua jenis spesies serasah tersebut. Serasah daun *M laurinum* lebih cepat terdekomposisi diduga karena memiliki ciri morfologi daun yang lunak, licin tanpa kerangka tulang dan barik-barik yang menonjol. Sedangkan *N mutabile* memiliki ciri morfologi keras dengan tulang tengah daun dan barik-barik yang menonjol, sehingga kecepatan dekomposisinya lebih lambat. Sesuai dengan pernyataan Sundarapardian (1999) bahwa daun dengan ciri morfologi kurus atau licin tanpa kerangka tulang yang menonjol dapat didekomposisikan dengan cepat, sedangkan daun yang tebal dan keras dengan tulang tengah daun yang menonjol dan barik-barik membutuhkan waktu yang panjang untuk didekomposisikan.

Selain dari pernyataan diatas, perbedaan kecepatan dekomposisi juga diduga karna berbedanya ukuran daun serasah dari kedua jenis spesies serasah. Pada tabel 2. Spesific Leaf Area (SLA) *N mutabile* (97 cm^2) jauh lebih tinggi daripada *Memecylon laurinum* (23,05 cm^2). Medina and Cuevas (1988 *cit* User, 1999) menyatakan bahwa SLA mempunyai hubungan berbanding terbalik dengan kekerasan daun. Dapat diartikan bahwa bahan organik dengan SLA yang lebih

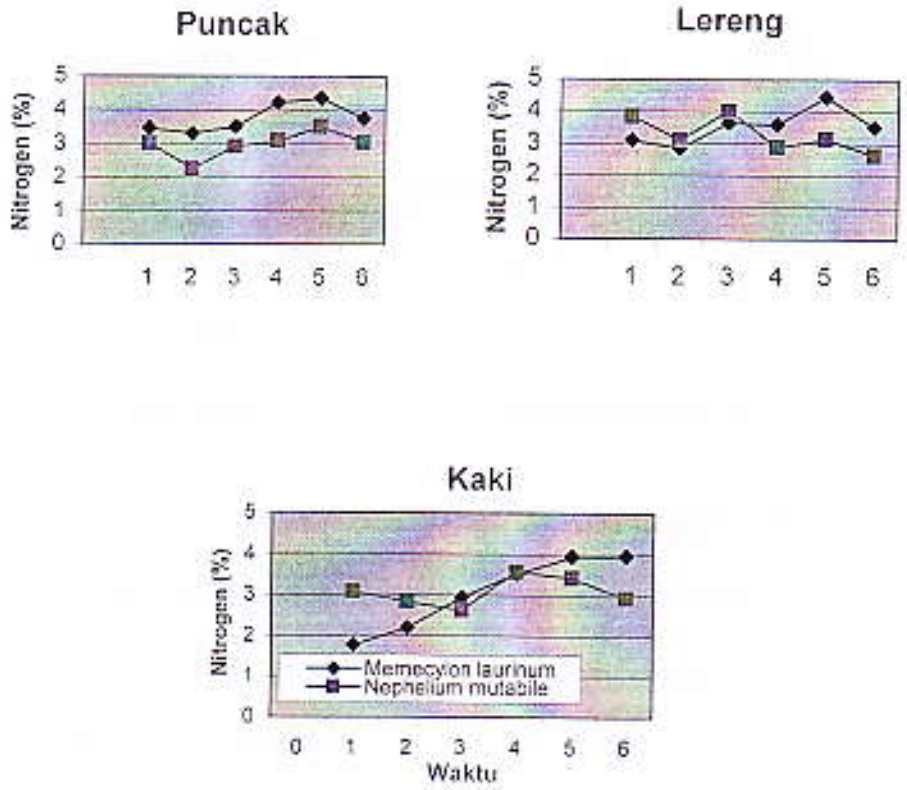
tinggi akan lebih mudah di dekomposisikan. Tetapi hasil penelitian ini menunjukkan hasil yang berlawanan, dimana *N mutabile* dengan SLA yang jauh lebih tinggi dari *M laurinum* lebih lambat didekomposisi. Hal ini sejalan dengan penelitian User (1999), *Eurya accuminata* dengan SLA lebih kecil (72,6 cm^2) lebih cepat didekomposisi dibandingkan dengan *Q argentata* yang memiliki SLA lebih tinggi (91,1 cm^2). Dari pengamatan ini dapat disimpulkan bahwa ukuran bahan organik menentukan kecepatan dekomposisi. Semakin kecil ukuran bahan organik, maka akan semakin mudah mikroorganisme melakukan perombakan. Dalzell, Biddlestone, Gray, and Thurairajan (1987 *cit* Ariani, 2003) menyatakan bahwa semakin kecil ukuran partikel bahan organik semakin besar permukaan yang dapat diserang oleh mikroorganisme. Sebaliknya jika ukuran partikel terlalu besar, luas permukaan yang diserang mikroorganisme menjadi berkurang sehingga reaksi dan proses perombakan berjalan lambat.

Faktor lain yang dapat menentukan kecepatan dekomposisi suatu bahan organik adalah kandungan lignin yng terdapat didalam jaringan daun serasah. Pada umumnya jaringan tumbuhan dengan kandungan lignin yang tinggi akan sulit didekomposisi. Basyaruddin (1989) menyatakan kelompok mikrobia perombak lignin ini dapat menghancurkan lignin didalam jaringan tetapi reaksinya berjalan sangat lambat. Namun dari hasil analisa (tabel 2) menunjukkan bahwa *Memecylon laurinum* dengan kandungan lignin yang sedikit lebih tinggi yaitu (30,80 %), terdekomposisi lebih cepat daripada *N mutabile* yang memiliki kandungan lignin 26,26 %. Hal ini diduga karena faktor-faktor lain seperti rasio C/N, kandungan N-total serasah, dan ciri morfologi jaringan daun serasah *M laurinum* lebih berpengaruh dalam menunjang kecepatan proses dekomposisi.

Selain itu Basyaruddin (1989) juga menambahkan bahwa tingkat ketahanan lignin terhadap perombakan berbeda antara satu jenis tumbuhan dengan tumbuhan lainnya.

C. Flutuasi Kadar N-Total Serasah Selama Dekomposisi

Dibawah ini ditampilkan hasil analisa kandungan N-total serasah *M laurinum* dan *N mutabile* selama proses dekomposisi.



Gambar 3. Persentase Nitrogen serasah pada tiga topografi

gambar memperlihatkan terjadinya peningkatan kandungan N-total serasah *M laurinum* dan *N mutabile* dengan lamanya waktu dekomposisi. Peningkatan N-total ini secara langsung diiringi dengan penurunan bobot serasah akibat perombakan oleh mikroorganisme. Hal ini sesuai dengan pendapat Gaur (1982 *cit* Ariani, 2003) bahwa menurunnya kadar karbon menyebabkan menyusutnya bahan serasah sehingga konsentrasi nitrogen semakin meningkat. Dibandingkan dengan *N mutabile*, kandungan N-total serasah hasil dekomposisi *M laurinum* lebih tinggi, diduga karena cepat menyusutnya bobot serasah *M laurinum* selama proses dekomposisi akibat perombakan oleh mikroorganisme. Didukung penelitian Christensen (1986 *cit* Nuraini, 1990) memperoleh hasil bahwa jerami yang mengalami kehilangan bobot 44% mengandung 0,92 % N, sedangkan jerami yang mengalami kehilangan bobot 32 % mempuyai kandungan N 0,41 %. Sundarapardian (1999) menambahkan bahwa pada spesies tanaman dengan kandungan N yang tinggi menunjukkan proses dekomposisi lebih cepat.

Selama proses dekomposisi mikroorganisme membutuhkan senyawa C-organik sebagai sumber energi dalam melakukan periombakan jaringan tanaman, yang nantinya akan menghasilkan ion-ion NH_4^+ dan NO_3^- . Basyaruddin (1989) menyatakan bahwa perubahan Nitrogen dari bentuk organik menjadi bentuk anorganik dilakukan oleh mikrobia heterotrof . Laju mineralisasi N dalam molekul protein dan asam nukleat dapat diukur dengan menetapkan jumlah nitrogen anorganik yang terbentuk, seperti NH_4^+ atau NO_3^-. Isai (1994 *cit* Yurif, 2003) menambahkan bahwa unsur N meningkat karena terakumulasi didalam jaringan mikroba.

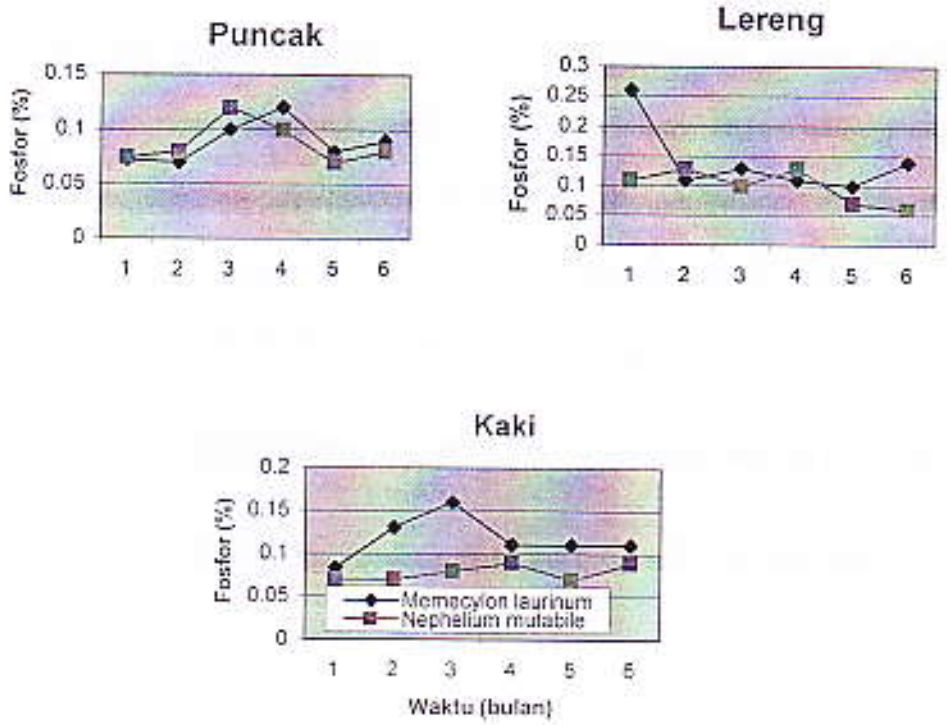
Meskipun selama proses dekomposisi dapat kehilangan N melalui penguapan amoniak (NH_3), namun jumlah kehilangan tersebut diduga relatif kecil. Hal ini terbukti dari persentase N-total serasah yang tidak menurun, namun justru mengalami peningkatan.

Dari gambar 3 juga terlihat bahwa ternyata peningkatan persentase N-total pada *M laurinum* maupun pada *N mutabile* lebih banyak terjadi pada bulan pertama atau pada awal-awal proses dekomposisisi. Hal ini disebabkan karena pada awal proses dekomposisi senyawa-senyawa sederhana didalam jaringan serasah daun yang mengandung N seperti protein masih dalam ketersediaan yang tinggi, dan senyawa-senyawa tersebut akan dirombak terlebih dahulu oleh mikroorganisme. Menurut Soedarsono (1981) N yang dihasilkan dari proses dekomposisi bahan organik diperoleh dari senyawa-senyawa yang mengadung N seperti protein, asam-asam amino dan lain-lainnya.

Hasil analisis sidik ragam pada lampiran 9 menunjukkan bahwa jenis spesies serasah, dan letak topografi menunjukkan hasil tidak berbeda nyata terhadap kandungan N serasah. Interaksi dari kedua faktor pun menunjukkan hasil tidak berbeda nyata.

D. P-total Serasah

Hasil analisis P-total serasah selama proses dekomposisi dapat dilihat pada gambar 4 dan hasil sidik ragam dapat dilihat pada lampiran 9. Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa jenis spesies serasah dan perbedaan topografi tidak berpengaruh nyata terhadap P-total serasah. Sedangkan interaksinya menunjukkan hasil berbeda nyata setelah dianalisa dan di uji lanjut dengan BNT pada taraf 5 %.



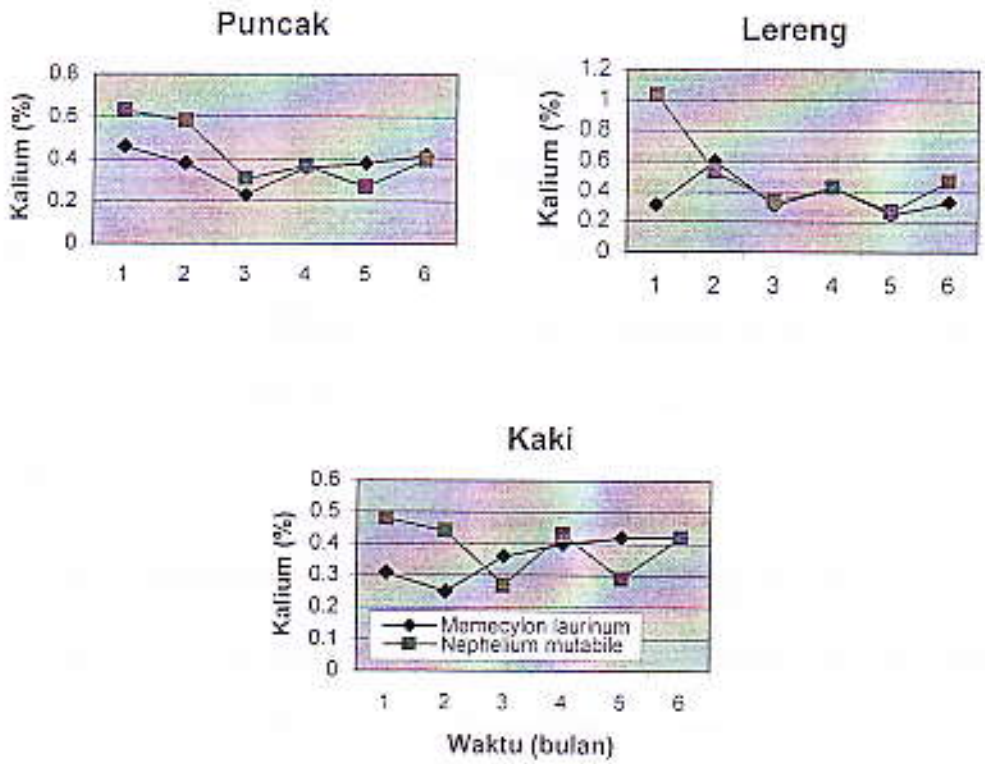
Gambar 4. Fluktuasi Persentase P serasah selama dekomposisi

Dari Gambar 4 terlihat bahwa pada serasah *M laurinum* dan *N mutabile* menunjukkan adanya peningkatan kandungan unsur P-total di puncak dan di kaki sampai bulan ke tiga terdekomposisi, selanjutnya terjadi penurunan kandungan unsur P, meskipun hal itu tidak terlihat begitu nyata untuk spesies *N mutabile*. Hal ini diduga karena proses perombakan dari kedua jenis spesies yang terjadi di puncak dan di kaki pada awal-awal didekomposisikan berjalan lebih cepat dibandingkan yang terjadi di lereng. Perombakan yang cepat ini menyebabkan tingginya kehilangan bobot dari serasah, sehingga dari hasil perombakan tersebut serasah dan mikroorganisme akan menyumbangkan unsur-unsur dan senyawa-senyawa organik lebih banyak, oleh karena itu terjadi peningkatan unsur P. Meningkatnya unsur P serasah ini diduga akibat melimpahnya senyawa-senyawa

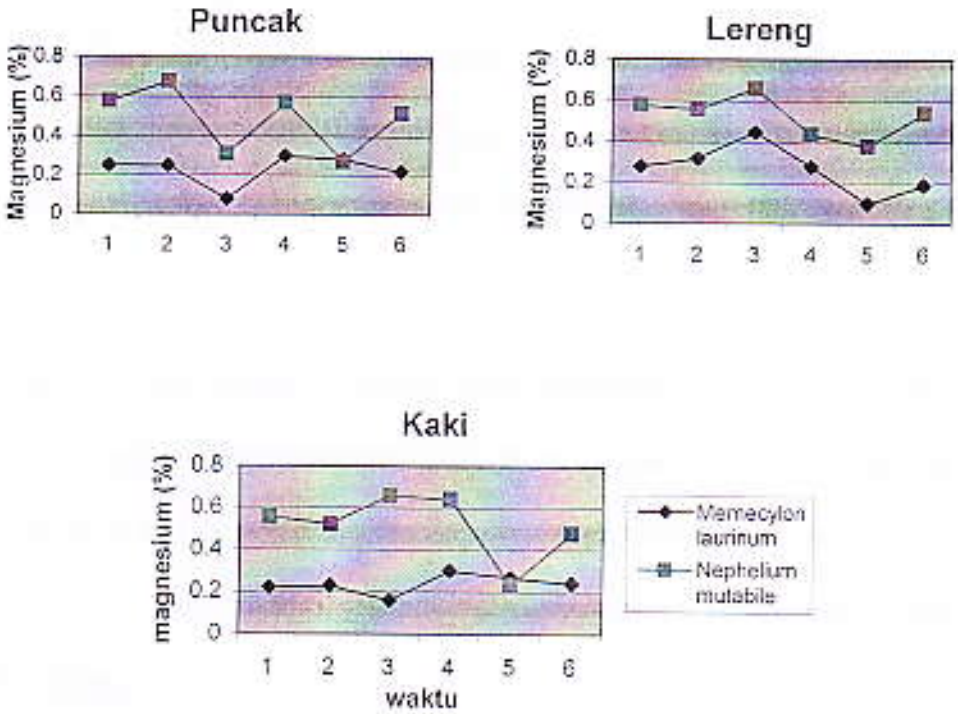
organik seperti asam nukleat dan Fosfolipid yang terdapat didalam jaringan tanaman dan didalam substansi sel-sel mikroba selama proses dekomposisi. Basyaruddi (1989) menyatakan bahwa bakteri, fungi, dan actinomycetes dapat menggunakan fosfolipida sebagai sumber fosfor dengan menggunakan lecithin sebagai sumber energi utama untuk melakukan aksi-aksi perombakan dalam proses pemisahan fosfor dari senyawa-senyawa organik.

E. Fluktuasi Kadar Kalium dan Magnesium Serasah Selama Dekomposisi

Hasil analisis kalium dan magnesium serasah *M laurinum* dan *N mutabile* disajikan pada gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Fluktuasi Persentase Kalium Serasah Selama Dekomposisi



Gambar 6. Fluktuasi persentase Magnesium serasah pada tiga topografi

Hasil uji statistik menunjukkan bahwa jenis spesies serasah berpengaruh nyata terhadap kalium dan magnesium serasah setelah di uji lanjut dengan uji BNT pada taraf 5 %. Sedangkan letak topografi berpengaruh tidak nyata. Interaksi antara jenis spesies serasah dengan topografi menunjukkan hasil tidak berbeda nyata.

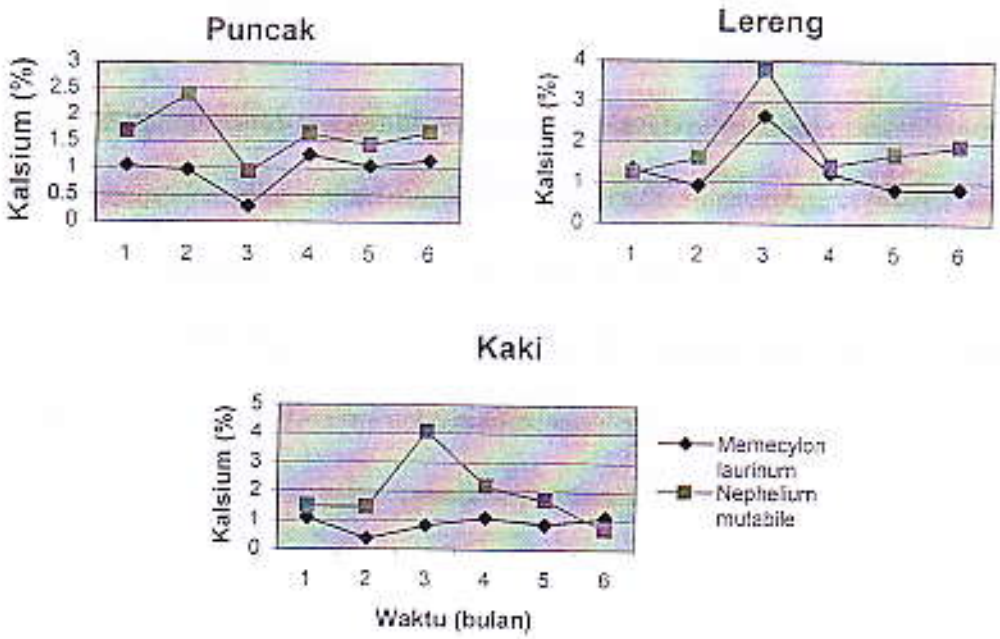
Jenis spesies serasah berpengaruh nyata terhadap K dan Mg serasah hasil dekomposisi. Hal itu tidak lepas dari perbedaan komposisi penyusun jaringan daun serasah tumbuhan itu masing-masing. Pitchet and Richard (1987) menyatakan serasah segar terdiri dari senyawa organik komplek dalam jumlah yang besar, persentasenya relatif bervariasi dilihat dari bagian-bagian tanaman yang berbeda, pada spesies yang berbeda dan umur dari bahan. Kandungan K

segar *M laurinum* lebih rendah (0,04%) dari pada *N mutabile* (0,08%), dan kandungan Mg segar *M laurinum* tidak jauh berbeda (0,02 %) dengan *N mutabile* (0,01 %). Seama proses dekomposisi kedua jenis spesies tersebut menunjukkan peningkatan unsur K dan Mg serasah hasil dekomposisi yang tidak jauh berbeda pula.

Gambar 5 dan 6 memperlihatkan, baik pada speseies *N mutabile* maupun *M laurinum* menunjukkan terjadinya peningkatan unsur K dan Mg yang cukup mencolok pada awal-awal proses dekomposisi. Selanjutnya kandungan unsur K dan Mg sersah tersebut mendekati kontan seiring dengan bertambahnya waktu. Hal ini diduga karena pada awal-awal proses dekomposisi terjadi lebih cepat akibat aktifitas mikroorganisme yang merombak dan memanfaatkan C organik yang masih tersedia dalam jumlah yang tinggi sebagai sumber energi dan pembentukan sel-sel baru mikrobia. Dibuktikan dengan penurunan berat serasah yang sangat mencolok, dan kemudian lama kelamaan semakin menurun hingga mendekati konstan. Sehingga secara langsung dapat berakibat pada kandungan K dan Mg serasah masing-masing spesies serasah, karena giatnya perombakan oleh mikroorganisme pada awal-awal proses dekomposisi. Kandungan K dan Mg semakin menurun seiring dengan ,menurunnya aktifitas mikroorganisme dalam proses dekomposisi. Menurut Soegiman(1982), hasil sederhana dekomposisi bahan organik dari aktifitas jasad mikro dapat berupa karbon, nitrogen, sulfur, kalium, magnesium dan lain-lain.

F. Kalsium Serasah

Hasil analisis Kalsium serasah *M laurinum* dan *N mutabile* disajikan pada gambar 7, dan hasil sidik ragam pada lampiran 9. Hasil uji statistik menunjukkan bahwa jenis spesies serasah berpengaruh nyata terhadap kandungan Ca serasah seelah diuji lanjut dengan uji BNT pada taraf 5 %. Sedangkan letak topografi berpengaruh tidak nyata dan tidak ada interaksi antara jenis spesies dengan topografi.



Gambar 7. Fluktuasi Persentase Kalsium serasah pada tiga topografi

Jenis spesies serasah berpengaruh nyata terhadap Ca serasah hasil dekomposisi. Hal ini tidak terlepas dari perbedaan komposisi penyusun jaringan daun serasah tumbuhan itu sendiri. Kandungan Ca serasah *M laurinum* dan *N mutabile* tidak jauh berbeda yaitu 0,20 % dan 0,15 %. Dan selama proses

dekomposisi kedua jenis serasah inii juga menunjukkan trend atau pola peningkatan unsur Ca yang tidak jauh berbeda.

Dari gambar dapat dilihat bahwa peningkatan unsur Ca serasah hasil dekomposisi secara umum meningkat di awal-awal proses dekomposisi hingga kandungan Ca tesebut mencapai perubahan yang mendekati konstan, kecuali pada bulan ke tiga. Pada bulan tesebut kandungan Ca serasah di lereng dan di kaki pada kedua spesies terlihat peningkatan yang sedikit mencolok. Hal ini diduga karena tidak seragamnya sampel yang digunakan.

Peningkatan kandungan Ca serasah sealama proses dekomposisi adalah karena aktifitas mikroorganisme dalam merombak bahan organik menjadi senyawa-senyawa sederhana. Basyaruddin (1989) menyatakan melalui proses dekomposisi beberapa unsur-unsur lain yang terkandung dalam bahan organik seperti K, Ca, Mg dan lain-lain dibebaskan ke larutan tanah menjadi bentuk tesedia.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

a). Bahan serasah tumbuhan yang memiliki kandungan hara yang berbeda, (Al tinggi dan Al rendah) memeperlihatkan kecepatan dekomposisi yang berbeda. Kecepatan dekomposisi serasah tumbuhan yang mengandung Al yang tinggi (akumulator Al,*Memecylon laurinum*) mempunyai nilai k lebih tinggi (1,94), dibandingkan dengan tumbuhan non alumulator Al (*Nephelium mutabile*) yang hanya besar k = 1,01 setelah didekomposisikan secara alami selama enam bulan di hutan hujan tropik Pinang Pinang Gunung Gadut Padang.

b) Posisi topografi memberikan pengaruh yang berbeda terhadap kecepatan dekomposisi setiap jenis spesies serasah tumbuhan. Hal ini dapat dilihat dari perbedaan kecepatan dekomposisi dari spesies tumbuhan akumulator Al (*Memecylon laurinum*) dan spesies tumbuhan non akumulator Al (*Nephelium mutabile*) setelah didekomposisikan selama enam bulan pada tiga topografi yang berbeda (puncak, lereng dan di kaki plot Pinangpinang). *Memecylon laurinum* menunjukkan kehilangan bobot tertinggi di puncak yaitu mencapai 61,67 %, sedangkan *Nephelium mutabile* menunjukkan kecenderungan yang berbeda, dengan memperlihatkan kehilangan bobot tertinggi di kaki yang hanya mencapai 47,13 %.

B. Saran

Perlu diteliti lebih lanjut tentang proses dekomposisi bahan serasah dari berbagai spesies dengan karakteristik kadnungan hara yang berbeda-beda. Sehingga dapat diketahui mekanisme siklus unsur hara dan keseimbangan ekosistem hutan hujan tropik, dalam menjaga dan melestarikan sumber daya alam yang dapat digunakan secara berkesinambungan.

Daftar Pustaka

Aflizar, Z. 2003. Sarasah dan karakteristik fisika dan unsur hara tanah hutan hujan tropik super basah Pinang-Pinang. Thesis Program Pascasarjana Universitas Andalas. Padang. 1-10.

Ariani, S. 2003. Peranan *Trichoderma harzianum* terhadap kecepatan dekomposisi berbagai sumber bahan organik dan kualitas komos yang dihasilkannya. Skripsi Sarjana Pertanian Universitas Andalas. Padang. 50 hal.

Basyaruddin, M.L. 1989. Biologi tanah. Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Malang. 114 hal.

Ewusie, J. Y. 1990. Pengantar ekologi tropika. Penerbit ITB. Bandung.

Foth, H. D. 1998. Dasar – dasar ilmu tanah. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Hakim, N., M.Y. Nyakpa, A.M. Lubis, S.G. Nugroho, M.A. Diha, G.B. Hong dan H.H. Bailey. 1986. Dasar-dasar ilmu tanah. Universitas Lampung. Lampung.

Hermansah, Z. Aflizar., D. Kubota., T. Wakatsuki., 2003. Karakteristik kualitas tanah dalam hubungannya dengan keanekaragaman species tumbuhan di hutan hujan tropik. Sumatra Barat. Prosiding Kongres Nasional VIII HITI. Padang. 1-10.

Hotta, M (ed). 1984. Forest ecology and flora of Gunung Gadut, West Sumatra. Sumatra Nature Study (Botany). Kyoto University. Kyoto. 220 pp.

Jamaludheen, V dan B. M. Kumar. 1998. Litter of multipurpose trees in Kerala, India; variation in the amount, quality, decay rates and release of nutrients. Journal of Forest Ecology and Management. India.

Kuswanto, E. 2002. Makalah pengantar falsafah sains (PPS702). Program Pasca Sarjana (S3) IPB. Bogor.

Masunaga, T., D. Kubota., M. Hotta., and T. Wakatsuki. 1996. Nutritional characteristics of mineral elements in tree species of tropical rain forest, West Sumatra, Indonesia. Shimane University. Japan. 315-328.

_____. 1998. Mineral composition of leaves and bark in aluminium accumulators in a tropical rain forest in Indonesia. Shimane University and Kagoshima University. Japan. 347-357.

Muljadi, D. 1983. Penuntun analisa tanaman. Buletin Teknik Pertanian IPB. Bogor. 47 hal.

Nuraini, Y. 1990. Dekomposisi beberapa tanaman penutup tanah dan pengaruhnya terhadap sifat-sifat tanah, serta pertumbuhan dan produksi jagung pada ultisol Lampung. Thesis Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor. 104 hal.

Nyakpa, N., M.Y. Nyakpa, A.M. Lubis, M.A. Pulung, A.G. Amrah, A. Munawar, G.B. Hong dan N. Hakim. 1988. Kesuburan tanah. Universitas Lampung. Lampung.

Pichett, W. L and F. Richard. 1987. Properties and management of forest soils. John Willey and Sons Inc. United States of America. 63-94.

Polunin, N. 1990. Pengantar geologi tumbuhan dan beberapa ilmu serumpun. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. 522-523.

Salisbury, F.B dan C. W. Ross. 1995. Fisiologi Tumbuhan Jilid 2. Penerbit ITB. Bandung.

Sitorus, S.R.P., O. Haridjaja., Brata, R. Kamir. 1981. Penuntun praktikum fisika tanah. Departemen Ilmu-Ilmu Tanah Fakultas Pertanian IPB. Bogor.

Soedarsono, J. 1981. Mikrobiologi tanah. Departemen Mikrobiologi Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Soegiman. 1982. Ilmu Tanah. Terjemahan dari the property and nature of soil oleh H.O. Buckman dan N. C. Brady. 1969. Bharata Karya Aksara. Jakarta. 160-182.

Spurr, S. H. dan Burton V. B. 1980. Forest ecology (third edition). Krieger Publishing Company. Florida. 687p.

Sundarapandian, S. M., P.S. Swamy. 1999. Litter production and leaf litter decomposition of selected tree species in tropical forest at Kodayar in the Western ghats, India. Forest Ecology and Management Journal. India. 231-242.

Syekhfani. 1997. Hara-air-tanah-tanaman. Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. malang. 114 hal.

User, W. 1999. Tree bark nutritional characteristics in tropical rain forest, west Sumatra, Indonesia. Master Thesis. Shimane University. Japan. 36-49.

Vickery, M. L. 1984. Ecology of tropical plants. Pittman Press Limited. Great Britain.

Vitausek, P. M. 1984. Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forest. Ecological Society of America Journal. America. 285-289.

Wiharto, M. 2003. Produktifitas vegetasi hutan hujan tropik. Makalah Pengantar Falsafah sains Program pasca srjana IPB. Bogor.

Yurif, D. 2003. Kandungan hara hasil dekomposisi *Azolla microphylla* dengan pengkayaan nutrisi medium tumbuh di laboratorium. Skripsi Sarjana Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor. Bogor. 13-14.