

Efisiensi Penggunaan Nitrogen pada Tipe Vegetasi yang Berbeda di Stasiun Penelitian Cikaniki, Taman Nasional Gunung Halimun Salak, Jawa Barat

Nitrogen-use efficiency in different vegetation type at Cikaniki Research Station, Halimun-Salak Mountain National Park, West Java

SUHARNO^{1,*}, IMAM MAWARDI², SETIABUDI², NELLY LUNGA¹, SOEKISMAN TJITROSEMITO²

¹Jurusan Biologi FMIPA, Universitas Cenderawasih Jayapura, Papua

²SEAMEO BIOTROP, Bogor

ABSTRACT

A research about nitrogen-use efficiency (NUE) and trees identification was conducted at different vegetation type at Cikaniki, Halimun-Salak National Park, West Java. Plot quadrat methods (20 x 50 m) was used to analyze trees vegetation and Kjeldahl methods was used to analyze leaf nitrogen. The width and length of the leaf was also measured to obtain the leaf surface area. The result showed that there are 61 individual trees which consisted of 24 species was identified. The species which have 5 highest important value are *Altingia excelsa* (64,657), *Castanopsis javanica* (39,698), *Platea latifolia* (27,684), *Garcinia rostrata* (21,151), and *Schima walichii* (16,049). Furthermore *Eugenia lineata* (13,967), *Melanochyla caesa* (12,241), *Quercus lineata* (10,766), *platea excelsa* (10,766) have lower important value. Other trees have important value less than 10. Morphological and nitrogen content analyze were done on 4 species : *Quercus lineata*, *G. rostrata*, *A. excelsa*, and *E. lineata*. Among them, *Quercus lineata* has highest specific leaf area (SLA) (0,01153), followed by *G. rostrata* (0,00821), *A. excelsa* (0,00579), and *E. lineata* (0,00984 g/cm²). The highest number of stomata was found on *A. excelsa* (85,10/mm²), followed by *E. lineata* (74,40/mm²), *Q. lineata* (53,70/mm²), and *G. rostrata* (18,4 /mm²). The emergent species (*A. excelsa* and *Q. lineata*) have higher nitrogen content than the underlayer species (*G. rostrata* and *E. lineata*). *A. excelsa* have highest nitrogen use efficiency (28,19%) compare to *E. lineata* (23,81%) , *Q. lineata* (19,09%), and *G. rostrata* (14,87%). Although not significant, emergent species have higher NUE than underlayer species.

© 2007 Jurusan Biologi FMIPA UNS Surakarta

Key words: nitrogen-use efficiency, vegetation type, plants, West Java

PENDAHULUAN

Taman Nasional Gunung Halimun-Salak (TNGHS) merupakan salah satu taman nasional yang sebagian besar kawasannya mempunyai ekosistem berupa hutan hujan tropis dataran tinggi-pegunungan. Kawasan ini terletak pada ketinggian antara 500–1500 m dpl. Menurut Triono et al. (2002), curah hujan rata-rata antara 4–6 meter/tahun.

Berdasarkan SK Menteri Kehutanan No. 175/Kpts-II/2003, luas kawasan TNGHS adalah 113,357 ha yang terletak membentang dari Provinsi Jawa Barat hingga Banten. Kawasan ini berada di 3 wilayah kabupaten, yakni Kabupaten Sukabumi, Bogor dan Lebak. Keberadaan taman nasional ini sangat penting bagi kehidupan masyarakat sekitar karena berfungsi sebagai pengatur tata air dan iklim mikro, sumber air bersih bagi masyarakat, konservasi alam, lokasi penelitian, pendidikan lingkungan, ekowisata dan pelestarian budaya setempat. Kawasan ini berupa hutan yang masih luas yang merupakan satu-satunya hutan terluas yang ada di Pulau Jawa.

Diperkirakan lebih dari 1000 jenis tumbuhan berada di kawasan taman nasional ini. Penyebaran vegetasinya secara geografis banyak dipengaruhi oleh jenis-jenis dari

arah barat. Kawasan ini memiliki keragaman jenis flora yang tinggi, meliputi pohon, tumbuhan bawah, epifit, saprofit, dan lain sebagainya (Anonymous, 2006). Masalah utama yang dihadapi dalam pengelolaan kekayaan flora, fauna, dan ekosistem yang ada salah satunya adalah ketersediaan data dan informasi yang masih kurang.

Keberadaan hutan tropik pegunungan tergantung pada kondisi lingkungan yang diamati dari variasi ketinggian terhadap temperatur, air, cahaya dan tanah (Cavalier, 1996). Pada iklim tropik dataran rendah terjadi overlap yang relatif kecil pada variasi temperatur dengan iklim pegunungan tropik. Dengan adanya kenaikan ketinggian pada pegunungan tropik, maka akan menurunkan rata-rata temperatur udara dan tanah. Temperatur tanah pada ketinggian antara 500–1300 m berkisar antara 0.4–1.0 °C lebih rendah terhadap temperatur udara. Sedangkan pada 3300 dan 4100 m, temperatur tanah lebih tinggi 1.6–2.6 °C terhadap temperatur udara.

Radiasi cahaya matahari juga meningkat secara eksponensial dengan meningkatnya ketinggian. Pada daerah yang tinggi, radiasi pada lapisan tingkat bawah hutan canopy meningkat dari 0.05–0.2 % (500–1600 m) menjadi 0.4–1.0 % (3000–3400 m) dari total radiasi yang diterima melalui canopy (Cavalier, 1996).

Ketersediaan nitrogen yang dapat diabsorpsi oleh tumbuhan terbatas, walaupun ketersediaan gas nitrogen di udara melimpah. Oleh karena itu pada beberapa lingkungan pertumbuhan hal ini sangat penting untuk dikaji terutama mengenai efisiensi pemanfaatan tumbuhan

* Alamat Korespondensi:

Kampus Baru UNCEN-WAENA, Jayapura-Papua
Telp.; +62-967-572115 Fax.; +62-967-572115
Email: harn774@yahoo.com

sebagai sumber untuk pertumbuhan (Norby et al., 2000; Tateno & Kawaguchi, 2002). Sekitar 78% molekul nitrogen terdapat di atmosfer (Taiz & Zieger, 1991), sayangnya tidak dapat dimanfaatkan langsung oleh tumbuhan. Studi bagaimana tumbuhan memanfaatkan nitrogen yang ada, sangat menarik. Hubungan antara ketersediaan nitrogen di tanah, dan ketersediaan pada jaringan tumbuhan perlu dikaji, terutama tentang efisiensi penggunaan nitrogen (NUE, nitrogen-use efficiency) dalam suatu jaringan tumbuhan.

Nitrogen merupakan salah satu unsur penting untuk semua organisme. Keberadaannya dalam struktur komponen asam-asam amino (enzim dan protein), nukleotida, porpirin, alkaloid, dan beberapa lipid (Allen et al., 1974; Taiz & Zieger, 1991; Nielsen, 2006). Dalam berbagai ekosistem unsur ini sangat penting karena membatasi pertumbuhan (Norby et al., 2000; Hikosaka, 2005).

Nitrogen diabsorpsi sebagai NO_3^- , dan diasimilasikan menjadi asam amino dan didesain untuk membentuk protein. Nitrogen selalu terdapat dalam keadaan tidak cukup, maka pada daun yang mendekati luruh, senyawa-senyawa nitrogen akan didegradasi menjadi amina dan ditranslokasi lagi ke titik tumbuh. Oleh karenanya kandungan N pada daun yang luruh selalu lebih kecil daripada daun yang masih segar.

Keberadaan unsur nitrogen juga sangat penting terutama kaitannya dengan pembentukan klorofil. Klorofil dinilai sebagai "mesin" tumbuhan karena mampu mensintesis karbohidrat yang akan menunjang pertumbuhan tanaman. Keberadaan nitrogen dalam struktur tumbuhan dipengaruhi oleh beberapa faktor terutama ketersediaan air, unsur hara dalam tanah terutama nitrogen. Intensitas cahaya berpengaruh terhadap aktivitas fotosintesis. Untuk membentuk klorofil, dibutuhkan ATP (energi) yang cukup tinggi dan untuk asimilasi CO_2 juga diperlukan enzim yang sebagian besar berupa protein.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efisiensi penggunaan nitrogen pada tipe vegetasi yang berbeda di stasiun penelitian Cikaniki, Taman Nasional Gunung Halimun-Salak, Jawa Barat.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Stasiun Penelitian Cikaniki, Taman Nasional Gunung Halimun-Salak (TNGHS), Jawa Barat mulai bulan Mei-Juni 2007. Tentang lokasi penelitian selengkapnya di utarakan oleh Triono et al. (2002). Analisis vegetasi dan pengambilan sampel dilakukan pada tanggal 25-29 Mei 2007. Analisis vegetasi dilakukan pada posisi geografis $6^{\circ}40'56,8''\text{S}$ dan $106^{\circ}32'0,3''\text{E}$ (GPS, Garmin) dengan ketinggian ± 1095 m dpl.

Analisis Vegetasi Pohon

Analisis vegetasi pohon dilakukan menggunakan metode plot dengan modifikasi. Plot kuadrat dibuat dengan luas 20 X 50 m. Di dalam plot tersebut dibuat subplot dengan luas 10 X 10 m, sehingga jumlah pengamatan seluruhnya 10 subplot. Jenis-jenis tumbuhan yang dijumpai dicatat dan diidentifikasi. Jenis tumbuhan tersebut diambil sampel secukupnya untuk keperluan herbarium, dan

identifikasi lebih lanjut jika belum dapat teridentifikasi di lapangan. Dari tiap jenis tumbuhan yang termasuk kelompok tumbuhan pancang (diameter >10 cm) diidentifikasi dan diukur diameternya. Pada plot tersebut juga dilakukan pemetaan terhadap struktur vegetasi.

Analisis vegetasi dilakukan berdasarkan atas nilai penting masing-masing jenis dengan cara menghitung *densitas*, yakni jumlah individu jenis di bagi dengan jumlah total individu yang dijumpai dalam plot, *dominansi*, yakni jumlah dominasi jenis berdasarkan luas basal area dibagi jumlah total basal area, dan *frekuensi*, yaitu keberadaan suatu jenis dalam plot di bagi dengan jumlah seluruh plot yang diamati. Densitas, dominansi dan frekuensi relatif dihitung dengan mengalikan 100% dari masing-masing nilai tersebut. Nilai Penting (NP) merupakan penjumlahan dari densitas relatif, dominansi relatif dan frekuensi relatif. Metode plot kuadrat ini diadopsi dari Muller-Dombois & Ellenberg (1974).

Pemilihan jenis pohon dan penentuan efisiensi penggunaan nitrogen

Beberapa jenis tumbuhan dengan tipe vegetasi yang berbeda, yang terdapat di stasiun penelitian Cikaniki ditentukan berdasarkan hasil analisis vegetasi jenis pohon, walaupun tidak semua jenis yang mempunyai nilai tinggi digunakan sebagai sampel. Dari tipe vegetasi dibawah naungan (*underlayer*) diambil 2 jenis, yakni: Kitamaga (*Garcinia rostrata*) dan Renyung (*Eugenia lineata*). Untuk tipe *emergen* juga pilih 2 jenis, Rasamala (*Altingia excelsa*) dan Pasang (*Quercus lineata*).

Untuk mengetahui efisiensi penggunaan nitrogen, maka dari setiap jenis tumbuhan tersebut diambil masing-masing 5 (lima) ulangan terhadap daun yang dewasa (*mature*) dan daun yang telah tua (*senescent*). Daun yang dewasa dicirikan dengan adanya perubahan warna dan bentuk daun yang telah stabil, sedangkan daun yang tua dicirikan dengan adanya perubahan warna dari bentuk dewasa menjadi warna kuning dan daun tersebut akan lekas gugur.

Sampel daun kemudian dikeringkan pada suhu 60°C selama ± 24 jam. Selanjutnya dianalisis kandungan nitrogennya dengan metode Kjeldahl (Allen, 1974; Sulaeman, 2005). Dari 2 (dua) data sampel daun yang dewasa dan tua tersebut dapat dihitung resorpsi nitrogennya.

Resorpsi nitrogen (%) dihitung dengan persamaan (Tateno & Kawaguchi, 2002; Cardenas & Campo, 2007):

$$\% \text{RN} = \{(\text{Nd} - \text{Nt})/(\text{Nd})\}.100$$

dimana :

RN = resorpsi nitrogen

Nd = kandungan nitrogen daun dewasa (g/m^2)

Nt = kandungan nitrogen daun tua (g/m^2)

Analisis morfologi dan jumlah stomata daun

Pada daun yang masih segar akan dilakukan pengamatan terhadap lebar dan panjang daun. Untuk melihat morfologi tersebut, dilakukan dengan mengukur panjang helaian daun mulai dari pangkal hingga ujung daun, sedangkan lebar daun dilakukan pengukurannya pada bagian terlebar dari daun. Sampel daun yang diukur sebanyak 50 lembar helaian daun dari masing-masing perlakuan.

Selain itu dilakukan pengamatan terhadap kerapatan struktur stomata pada daun. Pengamatan stomata dilakukan dengan menghitung jumlah stomata per satuan

luas bidang pengamatan. Metode yang digunakan dengan cara sederhana, yakni dengan cara mencetak permukaan daun menggunakan cat kuku (*cutex*). Pencetakan permukaan daun dilakukan pada permukaan atas dan permukaan bawah dari daun. Mula-mula *cutex* dioleskan pada permukaan daun hingga kering, kemudian cetakan tersebut diambil dan diletakkan pada kaca obyektif mikroskop dan ditutup dengan *cover glass*. Penghitungan dilakukan dengan cara menghitung jumlah stomata per milimeter persegi (mm^2) bidang pengamatan.

Analisis data

Data hasil pengamatan dianalisis menggunakan ANOVA (analysis of variance), dan jika terdapat perbedaan yang signifikan dilanjutkan dengan uji BNT (Beda Nyata Terkecil) pada taraf uji kepercayaan 95%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Keragaman struktural

Hasil penelitian yang dilakukan di stasiun penelitian Cikaniki TNGHS, hutan tersebut berada pada ketinggian 1.090 m dpl. Berdasarkan klasifikasi van Steenis (2006) hutan tersebut termasuk dalam formasi hutan sub-pegunungan (sub-montana). Menurut Laumonier (1989) pada hutan sub-montana terletak pada ketinggian antara

800–1400 m dpl.

Hasil pengamatan terhadap jenis-jenis pohon menunjukkan bahwa terdapat 24 jenis pohon yang telah diidentifikasi dari hasil pengamatan pada plot dengan ukuran 20 x 50 m^2 (Tabel 1.). Dari luas pengamatan tersebut diketahui terdapat 61 pohon dengan tipe vegetasi yang beragam.

Jenis-jenis tanaman yang mempunyai nilai penting (NP) tinggi (Tabel 2.) diantaranya adalah *Altingia excelsa* (64,657), *Castanopsis javanica* (39,698), *Platea latifolia* (27,684), *Garcinia rostrata* (21,151), dan *Schima walichii* (16,049). Selanjutnya adalah *Eugenia lineata* (13,967), *Melanochyla caesa* (12,241), *Quercus lineata* (10,766), *Platea excelsa* (10,766). Jenis-jenis yang lain mempunyai nilai penting di bawah 10,00.

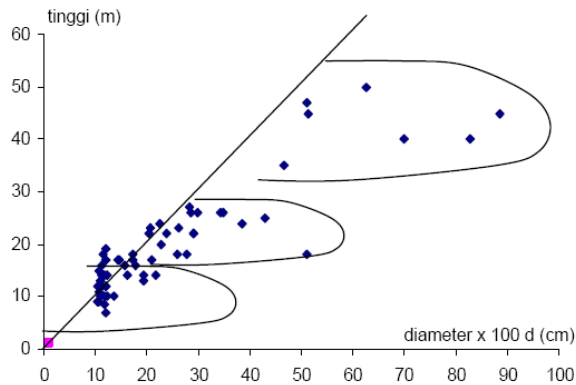
Tumbuhan dengan nilai penting tinggi mempunyai pengaruh yang besar terhadap pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan jenis lain yang mempunyai nilai penting lebih rendah. Hal ini juga akan mempengaruhi ekosistem hutan secara keseluruhan. Banyak faktor yang mempengaruhi ekosistem hutan, termasuk faktor-faktor lingkungan (cahaya, suhu, kelembaban, ketersediaan unsur hara, ketinggian tempat, dan lain-lain).

Berdasarkan atas grafik hubungan antara diameter (cm) dan tinggi tanaman (m) dapat diketahui bahwa hutan di lokasi pengamatan mempunyai 3 lapisan tajuk (stratifikasi)(Gambar 1). Hasil ini berbeda dengan pengamatan yang dilakukan oleh Laumonier (1989) di Sumatera, yang menemukan hutan sub-montana pada

Tabel 1. Kerapatan, frekuensi dan dominasi dari tumbuhan pohon yang dijumpai di Stasiun Penelitian Cikaniki, Taman Nasional Gunung Halimun–Salak, Jawa Barat.

| NO | JENIS TUMBUHAN | KERAPATAN (K) | KR | FREKUENSI (F) | FR | DOMINANSI (D) | DR | INP |
|----|----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------|---------------|
| 1 | <i>Altingia excelsa</i> | 0.115 | 11.475 | 0.700 | 13.462 | 0.3425 | 39.720 | 64.657 |
| 2 | <i>Castanopsis javanica</i> | 0.098 | 9.836 | 0.300 | 5.769 | 0.2078 | 24.093 | 39.698 |
| 3 | <i>Platea latifolia</i> | 0.098 | 9.836 | 0.500 | 9.615 | 0.0710 | 8.232 | 27.684 |
| 4 | <i>Garcinia rostrata</i> | 0.098 | 9.836 | 0.500 | 9.615 | 0.0147 | 1.699 | 21.151 |
| 5 | <i>Schima walichii</i> | 0.066 | 6.557 | 0.300 | 5.769 | 0.0321 | 3.722 | 16.049 |
| 6 | <i>Eugenia lineata</i> | 0.066 | 6.557 | 0.300 | 5.769 | 0.0141 | 1.641 | 13.967 |
| 7 | <i>Melanochyla caesa</i> | 0.049 | 4.918 | 0.300 | 5.769 | 0.0134 | 1.554 | 12.241 |
| 8 | <i>Quercus lineata</i> | 0.033 | 3.279 | 0.200 | 3.846 | 0.0314 | 3.641 | 10.766 |
| 9 | <i>Platea excelsa</i> | 0.049 | 4.918 | 0.200 | 3.846 | 0.0124 | 1.439 | 10.203 |
| 10 | <i>Prunus arborea stipulacea</i> | 0.033 | 3.279 | 0.200 | 3.846 | 0.0187 | 2.171 | 9.296 |
| 11 | <i>Eugenia altenuata</i> | 0.033 | 3.279 | 0.200 | 3.846 | 0.0165 | 1.915 | 9.040 |
| 12 | <i>Horsfielda glabra</i> | 0.033 | 3.279 | 0.200 | 3.846 | 0.0106 | 1.233 | 8.358 |
| 13 | <i>Calophyllum sp</i> | 0.033 | 3.279 | 0.200 | 3.846 | 0.0082 | 0.954 | 8.079 |
| 14 | <i>Castanopsis tungumut</i> | 0.033 | 3.279 | 0.100 | 1.923 | 0.0220 | 2.550 | 7.752 |
| 15 | <i>Garcinia dioica</i> | 0.016 | 1.639 | 0.100 | 1.923 | 0.0125 | 1.447 | 5.010 |
| 16 | <i>Nothapoebe umbelliflora</i> | 0.016 | 1.639 | 0.100 | 1.923 | 0.0108 | 1.258 | 4.820 |
| 17 | <i>Polyathia laterifolia</i> | 0.016 | 1.639 | 0.100 | 1.923 | 0.0069 | 0.805 | 4.367 |
| 18 | <i>Prunus adenopoda</i> | 0.016 | 1.639 | 0.100 | 1.923 | 0.0046 | 0.539 | 4.101 |
| 19 | <i>Eugenia spicata</i> | 0.016 | 1.639 | 0.100 | 1.923 | 0.0022 | 0.253 | 3.815 |
| 20 | <i>Prismatomeris javanica</i> | 0.016 | 1.639 | 0.100 | 1.923 | 0.0022 | 0.253 | 3.815 |
| 21 | <i>Eugenia sp</i> | 0.016 | 1.639 | 0.100 | 1.923 | 0.0021 | 0.239 | 3.802 |
| 22 | <i>Acer laurinum</i> | 0.016 | 1.639 | 0.100 | 1.923 | 0.0020 | 0.233 | 3.795 |
| 23 | <i>Alserdaphne sp</i> | 0.016 | 1.639 | 0.100 | 1.923 | 0.0018 | 0.207 | 3.770 |
| 24 | <i>Helicopsis lanceolata</i> | 0.016 | 1.639 | 0.100 | 1.923 | 0.0017 | 0.201 | 3.764 |
| | | | 100.0 | | 100.0 | | 100.0 | 300.0 |

Ket: KR: kerapatan relatif; FR: frekuensi relatif; DR: dominansi relatif; INP: indeks nilai penting.



Gambar 1. Hubungan antara diameter dan tinggi tanaman dalam stratifikasi pohon.

ketinggian sekitar 1000 m dpl., dijumpai 4 stratifikasi yang berbeda. Walaupun demikian jelas bahwa pada dua tingkat stratifikasi tertinggi (emergen) sulit dibedakan antara lapisan pertama dan kedua.

Secara horizontal, struktur hutan ini dikuasai oleh dominansi jenis tumbuhan *Altingia excelsa* (39.72%), dan diikuti oleh jenis-jenis kodominan *Castanopsis javanica* (24.09%), *Platea excelsa* (8.23%), *Schima walichii* (3.72%), *Quercus lineata* (3.64%) (Tabel 1) yang dilihat berdasarkan atas luas bidang dasar masing-masing jenis. Jenis-jenis tersebut umumnya mempunyai nilai penting yang tinggi karena termasuk jenis-jenis tumbuhan emergen. Tumbuhan yang termasuk emergen merupakan tumbuhan yang mampu tumbuh menjulang tinggi menerobos lapisan canopy hutan.

Secara garis besar, hutan sub-montana tersebut masih dapat dikatakan sebagai hutan yang masih utuh (hutan primer) tetapi sedang dalam tahap suksesi sekunder karena dijumpai tumbuhan dari jenis tipe vegetasi sekunder seperti *Macaranga* sp.

Mueller-Dombois & Ellenberg (1974) mengungkapkan bahwa stratifikasi biomasa dapat digunakan sebagai kriteria dalam klasifikasi bentuk kehidupan. Spektrum bentuk kehidupan ini dapat digunakan sebagai ide stratifikasi atau lapisan dalam komunitas. Stratifikasi biomasa dapat digunakan sebagai indikasi secara diagramatik, jika penutupan dan tinggi beberapa lapisan dapat digunakan sebagai data lapangan.

Berdasarkan struktur vertikal, persentase penutupan tajuk dari jenis-jenis tumbuhan yang termasuk pohon ($\varnothing > 10$ cm) sekitar 80%. Walaupun demikian, hal ini tidak berarti bahwa 20% sisanya merupakan lahan terbuka, karena areal tersebut masih tertutup oleh jenis-jenis pohon dan tumbuhan dengan diameter < 10 cm.

Ketersediaan cahaya merupakan faktor pembatas dalam pertumbuhan, kelangsungan hidup, dan reproduksi.

Cahaya untuk fotosintesis merupakan komponen utama dalam respon regenerasi dinamika dan suksesi vegetasi hutan (Chazdon et al., 1995). Kita ketahui bahwa lingkungan cahaya dalam hutan tropik mempunyai peranan penting.

Holscher et al. (2004) mengungkapkan tentang konversi hutan primer tropik ke tipe hutan sekunder. Hutan sekunder disominasi oleh jenis-jenis pohon dengan karakteristik fisiologi dengan laju pertumbuhan yang tinggi pada intensitas cahaya yang tinggi, fotosintesis maksimum tinggi dan laju respirasi pada saat "gelap" yang tinggi pula.

Beberapa faktor yang berhubungan dengan dengan pola interaksi ekologi dan fisiologi dengan distribusi tumbuhan antara lain adalah: *lingkungan mikro*, yang akan membatasi jangkauan secara ekologi atau geografik; *toleransi*, yakni spesies akan melangsungkan kehidupan dan reproduksinya di bawah kondisi fisiologi tertentu; *Plastisitas fisiologi*, yakni setiap spesies mempunyai kapasitas terhadap morfologi dan fisiologi pada kisaran kondisi lingkungan tertentu; *perbedaan ekotipe*, yaitu setiap jenis secara genetik berbeda dalam ekotipe untuk beradaptasi secara lokal yang berpengaruh terhadap kondisi lingkungan (Hogan, 1996).

Keragaman Fungsional

Morfologi daun

Hasil pengamatan terhadap morfologi daun menunjukkan bahwa luas daun spesifik (SLA, specific leaf area) pada jenis *Quercus lineata* mempunyai nilai tertinggi (0.01153 g/cm²) diikuti dengan *Eugenia lineata* (0.00984), *Garcinia rostrata* (0.00821), dan *Altingia lineata* (0.00579). Sedangkan luas daun spterkecil diketahui terdapat pada jenis tanaman Renyung (*Eugenia lineata*) dengan luas rata-rata 10.06 cm² (Tabel 2).

Tumbuhan dengan tipe vegetasi underlayer merupakan jenis-jenis yang tidak dapat tumbuh menembus lapisan canopy hutan, sedangkan tipe emergen akan mampu menembus lapisan canopy. Hal ini berpengaruh terhadap kebutuhan beberapa faktor lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman, misalnya ketersediaan intensitas cahaya matahari. Pada lapisan underlayer daun tumbuhan akan menerima cahaya matahari sangat terbatas dibandingkan dengan tumbuhan emergen yang secara langsung mempunyai ketersediaan cahaya tidak terbatas. Hal ini juga berlaku terhadap ketinggian tempat dimana tumbuhan tersebut berada.

Perbedaan secara signifikan ini, juga diikuti dengan hasil analisis bobot daun dan jumlah stomata. Hasil analisis menunjukkan bahwa tumbuhan rasamala (*Altingia excelsa*) mempunyai jumlah stomata lebih tinggi (85.10 per mm²) dibandingkan dengan renyung (*Eugenia lineata*), Pasang (*Quercus lineata*), dan Kitamaga (*Garcinia rostrata*), yang masing-masing mempunyai jumlah stomata 74.4; 53.7; dan

Tabel 2. Morfologi daun dan jumlah stomata beberapa jenis tumbuhan dari beberapa tipe vegetasi.

| Tipe vegetasi | Jenis tumbuhan | Luas daun (cm ²) | | | Bobot daun (g) | Luas daun spesifik (g/cm ²) | Jumlah stomata (mm ²) |
|---------------|---------------------------------------|------------------------------|------|---------------------|---------------------|---|-----------------------------------|
| | | P | L | Luas | | | |
| Underlayer | Kitamaga (<i>Garcinia rostrata</i>) | 9.24 | 4.38 | 24.53 ^{bc} | 0.201 ^b | 0.00821 ^c | 18.4 ^d |
| | Renyung (<i>Eugenia lineata</i>) | 6.21 | 2.71 | 10.06 ^d | 0.099 ^c | 0.00984 ^b | 74.4 ^b |
| | <i>Rerata</i> | | | 17.30 | | 0.00984 x | 46.4 x |
| | | | | | | | |
| Emergen | Rasamala (<i>Altingia excelsa</i>) | 9.10 | 4.10 | 22.77 ^c | 0.132 ^{bc} | 0.00579 ^d | 85.1 ^a |
| | Pasang (<i>Quercus lineata</i>) | 14.1 | 8.48 | 84.70 ^a | 0.977 ^a | 0.01153 ^a | 53.7 ^c |
| | <i>Rerata</i> | | | 53.74 | | 0.00866 x | 69.4 x |
| | | | | | | | |

18.4). Menurut Richard (1954) dalam Calevier (1996) mengungkapkan bahwa ukuran daun berubah dengan ketinggian secara vertikal (seperti adanya lapisan vegetasi) di ekosistem hutan hujan pegunungan dan hutan hujan dataran rendah.

Tumbuhan *Altingia excelsa* mempunyai jumlah stomata tertinggi dibandingkan dengan jenis lainnya. Keberadaan somata berkaitan dengan proses evolusi tumbuhan yang berlangsung akibat ketersediaan air yang terbatas, sehingga tumbuhan akan mengatur kebutuhan air dengan cara membatasi jumlah stomata. Tumbuhan mengalami evolusi panjang yang berasal dari tumbuhan air. Umumnya tumbuhan air mempunyai stomata lebih banyak dibandingkan dengan tumbuhan terestrial. Hal ini menarik karena tumbuhan air mempunyai stomata pada permukaan atas dan bawah daun, sedangkan tumbuhan terestrial yang hidup saat ini sebagian besar hanya mempunyai stomata pada permukaan bawah daun.

Hasil pengamatan pada tumbuhan 4 jenis pohon tersebut menunjukkan bahwa tidak dijumpai stomata pada permukaan atas daun, hal ini merupakan proses penyesuaian tumbuhan terhadap ketersediaan air. Umumnya tumbuhan yang mampu tumbuh sebagai tumbuhan emergen mempunyai jumlah stomata lebih sedikit dengan tingkat ketebalan daun yang relatif kecil. Pada *Altingia excelsa* jumlah stomata lebih banyak, namun mempunyai luas daun spesifik yang lebih kecil dibandingkan dengan jenis tumbuhan lainnya.

Lain halnya dengan *Quercus lineata* yang mempunyai luas daun spesifik yang besar (0.01153 g/cm^2), namun beradaptasi dengan cara membentuk stomata dalam jumlah yang lebih sedikit dibandingkan dengan *Altingia excelsa* dan *Eugenia lineata*. Oleh karena itu *Quercus lineata* yang merupakan tipe vegetasi emergen akan mengurangi penguapan dengan cara membentuk stomata dalam jumlah yang lebih sedikit.

Variasi pada ukuran daun dengan adanya ketinggian secara vertikal pada hutan berkabut di Venesuela, berhubungan dengan keseimbangan antara proses fotosintesis tumbuhan secara umum dan pemanfaatan energi untuk air dalam proses transpirasi (Calevier, 1996). Variasi ukuran daun terhadap fungsi besarnya helaian dianalisis oleh Parkhurs & Loucks (1971) dengan pendekatan metode ekofisiologi yang mengasumsikan ukuran daun terhadap optimalisasi efisiensi penggunaan air (WUE, water-use efficiency).

Menurut Donovan et al. (2007) efisiensi penggunaan air diharapkan berpengaruh terhadap kesegaran tumbuhan dan hal ini merupakan salah satu faktor dalam seleksi alam pada habitat yang tergolong kering. Walaupun banyak kajian mengenai hal ini, namun hanya sedikit yang menghubungkan WUE pada kesegaran tumbuhan. Lebih

lanjut, penentuan WUE apakah secara langsung maupun tidak langsung mempunyai hubungan fungsional di lapangan diperoleh hasil yang tidak konsisten. Penelitian terhadap tanaman *Helianthus anomalus* dan *H. deserticola* secara langsung diketahui WUE rendah. Data menggunakan analisis fenotipik dengan biomasa vegetatif. Hal ini juga untuk melihat hubungan terhadap nitrogen, luas dan sukulensi. Pada tumbuhan *Helianthus anomalus* WUE rendah, namun diketahui nitrogennya tinggi. Hal ini kemungkinan karena tumbuhan membuang air untuk meningkatkan pengiriman nitrogen melalui aliran transpirasi.

Selain temperatur, 4 faktor lingkungan lain yang berperan terhadap reduksi ukuran daun dengan meningkatnya ketinggian adalah: 1) ketersediaan air tanah sepanjang tahun, 2) frekuensi pengembunan yang mengalami peningkatan cukup besar, 3) daun kanopi yang besar pada daerah yang tinggi berpengaruh besar terhadap nitrogen dan unsur hara lain yang mungkin tidak tersedia. Terbatasnya ketersediaan N menurunkan perkembangan daun, menghasilkan daun yang lebih kecil. Daun yang besar rata-rata meningkatkan LAI, namun kelangsungannya tidak ekonomis dengan adanya cahaya matahari dan ketersediaan unsur hara pada daerah yang tinggi, dan 4) lingkungan bebas angin pada hutan berkabut mungkin menyeleksi untuk daun yang kecil dimana tidak adanya gerakan yang besar akibat angin.

Efisiensi pemanfaatan nitrogen

Hasil pengamatan terhadap kandungan nitrogen daun menunjukkan bahwa pada tumbuhan dengan tipe vegetasi emergen mempunyai kandungan nitrogen lebih tinggi dibandingkan dengan tipe vegetasi dibawah naungan (underlayer). Secara signifikan, kandungan nitrogen daun dewasa pada tanaman *Altingia excelsa* (1.85 ± 0.06) dan *Quercus lineata* (1.80 ± 0.06) menunjukkan nilai tertinggi dibandingkan dengan tanaman *Garcinia rostrata* dan *Eugenia lineata* (Tabel 3).

Hasil analisis pada daun tua menunjukkan bahwa pada tanaman *Quercus lineata* mempunyai jumlah nitrogen yang lebih tinggi. Hasil ini berbeda dengan pengamatan yang dilakukan oleh Tateno & Kawaguchi (2002) yang melakukan penelitian pada beberapa jenis tumbuhan canopy dan subcanopy. Menurut Tateno & Kawaguchi (2002) konsentrasi nitrogen (N_c) pada daun dewasa lebih rendah pada canopy dibandingkan pohon subcanopy. Walaupun demikian, hasil yang sama diperoleh pada jumlah nitrogen yang diserap kembali oleh tumbuhan. Ratio N yang diserap kembali pada daun yang tua terhadap kandungan N pada daun yang hijau lebih tinggi pada pohon canopy dibandingkan subcanopy. Lebih lanjut menurut Cardenas & Campo (2007), konsentrasi nitrogen pada daun dewasa untuk setiap tipe vegetasi berbeda. Daun dari tumbuhan suksesi-awal mempunyai konsentrasi nitrogen tinggi dibandingkan dengan hutan primer dan hutan suksesi-akhir.

Jumlah nitrogen daun yang diserap kembali oleh tumbuhan bervariasi dari keempat jenis tumbuhan tersebut. Namun jika dilihat dari tipe vegetasi, tumbuhan emergen mampu menyerap kembali nitrogen lebih besar dibandingkan tumbuhan underlayer. Tumbuhan emergen *A. excelsa* mampu menyerap nitrogen lebih besar dibandingkan dengan *Q. lineata*.

Kandungan nitrogen daun dewasa tertinggi dijumpai pada jenis-jenis tumbuhan emergen (*A. excelsa* dan *Q. lineata*) dibandingkan dengan

Tabel 3. Kandungan nitrogen dan efisiensi penggunaannya beberapa jenis tumbuhan pada tipe vegetasi yang berbeda di TNGHS, Jawa Barat.

| Tipe vegetasi | Jenis Tumbuhan | N daun (%) | | SLA (g/cm^2) | RN (%) | NUE |
|---------------|---------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|
| | | Tua | Dewasa | | | |
| Underlayer | Kitamaga (<i>Garcinia rostrata</i>) | 1.33 ^a | 1.56 ^b | 0.00821 ^c | 14.87 ^b | 17.29 ^{ab} |
| | Renyung (<i>Eugenia lineata</i>) | 0.94 ^b | 1.26 ^c | 0.00984 ^b | 23.81 ^{ab} | 34.04 ^a |
| | Rerata | | | 0.00984 | 19.34 | 25.67 |
| Emergen | Rasamala (<i>Altingia excelsa</i>) | 1.33 ^a | 1.85 ^a | 0.00579 ^d | 28.19 ^a | 39.10 ^{ab} |
| | Pasang (<i>Quercus lineata</i>) | 1.46 ^a | 1.80 ^a | 0.01153 ^a | 19.09 ^{ab} | 22.29 ^b |
| | Rerata | | | 0.00866 | 23.64 | 30.70 |

Keterangan: SLA: specific leaf area (luas daun spesifik) RN: resorpsi nitrogen; NUE: nitrogen-use efficiency

tumbuhan tipe bawah naungan (underlayer) (*G. rostrata* dan *E. lineata*). Demikian pula dengan kandungan nitrogen pada daun tua. Penyerapan nitrogen tertinggi dijumpai pada tanaman *A. excelsa* yang mencapai 28.19%, disusul dengan tumbuhan *E. lineata* (23.81%), *Q. lineata* (19.09%) dan *G. rostrata* (14.87%). Dari empat jenis tumbuhan tersebut rata-rata tipe vegetasi emergen mempunyai NUE (nitrogen-use efficiency) tinggi dibandingkan dengan tipe bawah naungan (underlayer). Nilai NUE tertinggi dijumpai pada tumbuhan *E. lineata* (107.32), sedangkan *A. excelsa*, *G. rostrata*, dan *Q. lineata* masing-masing 78.02, 75.54, dan 68.86.

Menurut Cardenas & Campo (2007), resorpsi nitrogen bervariasi untuk setiap jenis tumbuhan yang berkisar antara 16–42%, sedangkan menurut Singh et al., (2005) rata-rata tumbuhan menarik sekitar 50% nitrogen daun dan fosfor, namun variasi tiap jenis berkisar antara 5–80% nitrogen daun dan 0–95% fosfor daun.

Tingginya nilai NUE dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya adalah ketersediaan nitrogen tanah, cahaya, temperatur, kapasitas fotosintesis, musim dan lain sebagainya. Efisiensi penggunaan nitrogen meningkat dengan menurunnya ketersediaan nitrogen tanah (Tateno & Kawaguchi, 2002; Singh et al., 2005). Peningkatan ini mungkin rendahnya konsentrasi nitrogen pada jaringan hidup, dan merupakan hasil dari penyerapan kembali nitrogen (Tateno & Kawaguchi, 2002). Dari studi sebelumnya diketahui bahwa menurunnya konsentrasi nitrogen jaringan tumbuhan ketersediaan nitrogen tanah juga rendah (Hikosaka et al., 1994; Hikosaka & Hirose, 2000).

Beberapa peneliti telah melakukan pengamatan terhadap pengaruh peningkatan cahaya pada gradien vertikal dengan komunitas hutan terhadap efisiensi penggunaan nitrogen daun pada tingkat pohon secara individu. Menurut Tateno & Kawaguchi (2002), kandungan nitrogen daun dewasa (*mature*) dan tua (*senescent*) pada pohon canopy dan subcanopy, terutama pada tumbuhan koniferous (*Podocarpus nagi*) dan jenis tumbuhan kayu *Neolitsea aciculata*. Dari hasil pengamatan NUE diketahui lebih tinggi pada pohon canopy (*N. aciculata*), walaupun demikian laju mineralisasi nitrogen tanah pada canopy dan subcanopy tidak ada perbedaan secara signifikan.

Hikosaka & Hirose (2000) menghubungkan antara nitrogen dan kapasitas fotosintetik mengungkapkan bahwa kapasitas fotosintetik per unit nitrogen daun sangat bervariasi setiap jenis dari habitat yang berbeda dan hubungannya dengan karakteristik ekologi secara umum, seperti rentang waktu hidup daun dan massa daun per satuan luas.

Jika ketersediaan nitrogen rendah, maka efisiensi penyerapan kembali nitrogen tinggi (Tateno & Kawaguchi, 2002; Yasumura et al., 2002; Singh et al., 2005; Hikosaka, 2005). Killingback (1996) dalam Hikosaka (2005) konsentrasi nitrogen terhadap luas dasar atau masa daun yang mati. Hasil survey, diketahui bahwa sekitar 0.7% atau 0.5 g/m² pada titik akhir daun tumbuhan dengan kandungan nitrogen pada daun yang mati lebih tinggi dibandingkan jumlah perkiraan resorpsi nitrogen.

Singh et al. (2005) penyerapan kembali unsur hara utama pada daun yang akan luruh merupakan salah satu kunci dalam proses penghematan tumbuhan. Proses ini mereduksi unsur hara yang hilang melalui runtuhnya seresah ke permukaan lapisan bawah hutan. Unsur hara tersebut akan diangkat kembali ke jaringan baru seperti daun dan struktur reproduksi atau disimpan untuk digunakan kemudian. Cardenas & Campo (2007),

mengungkapkan bahwa jika tidak diserap, sirkulasi melalui seresah yang gugur akan membutuhkan waktu yang lama untuk dapat diserap kembali oleh tumbuhan.

Hikosaka (2005) dan Cardenas & Campo (2007) menjelaskan bahwa nitrogen merupakan salah satu unsur penting yang membatasi pertumbuhan tanaman pada berbagai ekosistem, oleh karena itu tumbuhan membutuhkan nitrogen dalam jumlah yang besar, terutama dalam proses fotosintesis. Pada tingkat spesies, hubungan antara kapasitas fotosintesis dan kandungan nitrogen pada daun sangat penting. Laju fotosintesis pada canopy meningkat pada saat kandungan nitrogen meningkat. Pada canopy tumbuhan mengalokasikan nitrogen pada daun cukup banyak (seperti daun diperuntukkan dalam PFD), mempunyai kandungan nitrogen yang tinggi. Dengan meningkatnya PFD, kandungan nitrogen optimal akan menghasilkan produktivitas fotosintesis per unit nitrogen yang meningkat.

Dalam pengaturan penuaan daun, tumbuhan memilih faktor laju penuaan daun dengan lingkungan cahaya. Dalam teori alokasi nitrogen daun, retranslokasi dari tempat ternaungi ke daun yang terkena cahaya akan meningkatkan keuntungan fotosintesis tumbuhan secara menyeluruh. Hirose et al. (1988) dalam Hikosaka (2005) mengungkapkan bahwa pada tumbuhan herba perenial *Lysimachia vulgaris*, dengan densitas tumbuhan yang berbeda dan terdapatnya perbedaan secara vertikal kandungan nitrogen daun berbeda pada tempat yang padat. Hal ini menguntungkan daun yang ternaungi untuk memindahkan nitrogen. Dalam penelitian lain, diketahui lebih jelas bahwa nitrogen di pindahkan dari daun pada naungan ke daun yang tidak ternaungi (Hikosaka, 2005). Beberapa hasil penelitian mungkin bertentangan dengan hasil ini, karena daun yang ternaungi mungkin menunda penuaan. Penuaan daun yang ternaungi dipengaruhi oleh cara daun tersebut ternaungi, misalnya sebagian atau keseluruhan daun.

Retranslokasi nitrogen daun yang tua dipengaruhi tidak hanya status fisiologi daun, tetapi lebih dari itu adalah perkembangan kebutuhan organ ketika tumbuhan pertumbuhannya cepat. Banyak nitrogen dibutuhkan untuk membentuk jaringan baru dengan mempercepat penuaan pada daun yang tua. Pada saat semua daun ternaungi, pertumbuhan tanaman dibatasi oleh cahaya. Retranslokasi dari daun yang tua mungkin lambat dengan aktivitas penyerapan yang rendah, namun disaat daun yang lain ternaungi maka proses retranslokasi akan dipercepat karena tuntutan kebutuhan nitrogen untuk perkembangan organ (Hikosaka, 2005).

Kekurangan nitrogen diketahui mempercepat penuaan daun. Hal ini berhubungan dengan tuntutan kebutuhan nitrogen terhadap penyerapan organ. Untuk membuat jaringan baru, tumbuhan mempunyai 2 sumber nitrogen (gambar 2). Pertama, diserap oleh akar dan yang lain retranslokasi dari organ yang tua. Jika laju penyerapan nitrogen dari akar rendah, maka penyerapan organ akan mempercepat penuaan pada daun yang tua karena tuntutan kebutuhan nitrogen.

Ono et al. (1996) dalam Hikosaka (2005) menunjukkan bahwa defisiensi nitrogen pada organ baru bervariasi dengan perkembangan kebutuhan dan laju penyerapan nitrogen serta laju penuaan daun yang dihubungkan dengan defisiensi nitrogen. Studi ekologi secara umum menunjukkan bahwa masa hidup daun yang panjang pada pertumbuhan tanaman di bawah kondisi ketersediaan unsur hara yang rendah, yang mana nampak bahwa adanya kontradiksi hasil dari studi fisiologi. Hal ini berhubungan

dengan perbedaan defisiensi nitrogen. Umumnya, tanggapan hasil berbeda antara studi ekologi dan fisiologi terhadap tanggapan pada defisiensi unsur hara. Umur daun merupakan pengaruh yang signifikan terhadap fotosintesis ketika faktor-faktor lingkungan tidak berubah. Daun yang tua pada *Ipomoea tricolor* pertumbuhannya mendatar untuk menghindari keuntungan naungan. Ketika semua daun nampak tersinar secara menyeluruh, alokasi nitrogen daun dipengaruhi oleh ketersediaan unsur hara.

Dengan ketersediaan nitrogen yang rendah, nitrogen akan ditranslokasikan kembali dari daun tua menuju daun yang lebih muda. Hal ini nampak jelas pada perbandingan daun yang muda dan tua sangat jauh, yang mana pada daun yang tua mengandung jumlah N yang lebih tinggi dibandingkan dengan daun yang muda.

Hikosaka (2005) mengatakan bahwa alokasi nitrogen pada daun *I. tricolor*, menunjukkan bahwa daun yang tua pada tumbuhan mengandung nitrogen yang tinggi tanpa naungan, walaupun demikian jumlahnya kecil dalam hal protein-protein fotosintesis, seperti RuBP karboksilase, sitokrom *f* dan fotosistem, yang berperan terhadap kapasitas fotosintesis. Hal ini menunjukkan bahwa dengan adanya nitrogen yang tinggi pada daun tua, tidak berarti mempunyai kapasitas fotosintesis yang tinggi pula.

Pola penuaan daun pada jenis tumbuhan kayu yang sedang tumbuh tidak sama dengan jenis tumbuhan herbaceous. Beberapa hal yang mempengaruhi antara lain adalah kondisi suhu lokal dan masa hidup daun yang lama. Pada kondisi ini, penurunan kapasitas fotosintesis tidak dibutuhkan sehubungan dengan kandungan nitrogen daun (Hikosaka, 2005). Walaupun demikian dari hasil pengamatan, dari jenis yang sama didapat bahwa kapasitas fotosintesis berangsur-angsur menurun ketika kandungan nitrogen relatif konstan sebelum masa hidup daun berakhir. Beberapa penyebab penurunan kapasitas fotosintesis pada sejumlah spesies tumbuhan belum diketahui. Hal ini mungkin diatur oleh beberapa faktor kapasitas fotosintesis, antara lain adalah umur dan degradasi protein yang dikontrol oleh hubungan antara sumber penyerapan (Hikosaka, 2005). Pada akhir pertumbuhan tanaman daun tua selalu dikaitkan dengan re-alokasi nitrogen sebab tingginya laju pertumbuhan membutuhkan re-translokasi nitrogen dari daun tua.

Menurut Norby et al. (2000), Hikosaka (2005) dan Singh et al. (2005) jika nitrogen sebagai unsur terbatas pada sejumlah tumbuhan, re-siklus nitrogen akan sangat penting bagi tumbuhan. Bahkan Hikosaka (2005) menyatakan jika resorpsi nitrogen tidak berlangsung, maka pertumbuhan tanaman akan dihentikan sementara.

Tateno & Kawaguchi (2002) peningkatan NUE bertentangan dengan defisiensi nitrogen tanah. Tingginya NUE pada tumbuhan tipe canopy *P. nagi* dan *N. aniculata* dimungkinkan karena nitrogen tanah terbatas dibandingkan subcanopy. Walaupun semua tumbuhan hidup dalam kondisi ketersediaan nitrogen yang sama. Kull et al. (1995) dalam Tateno & Kawaguchi (2002) membandingkan NUE dari 3 lapis pohon, yakni pohon, herba dan *mass layer*.

Cardenas & Campo (2007) mengungkapkan bahwa penghematan unsur hara sangat penting untuk tumbuhan pada lingkungan yang miskin unsur hara. Penghematan ini dapat digunakan untuk memanipulasi konsentrasi unsur hara pada bagian yang akan digugurkan. Dalam hal ini penyerapan unsur hara selama daun mengalami penuaan sangat penting untuk penghematan unsur hara. Penyerapan unsur hara dari daun yang tua merupakan suatu tingkat kemampuan tumbuhan untuk menurunkan konsentrasi unsur hara pada daun sebelum digugurkan.

KESIMPULAN

Hasil analisis vegetasi pohon di TNGHS, Jawa Barat dijumpai 24 jenis tumbuhan. Beberapa jenis tumbuhan diantaranya mempunyai nilai indeks nilai penting tinggi yakni *Altingia excelsa* (64,657), *Castanopsis javanica* (39,698), *Platea latifolia* (27,684), *Garcinia rostrata* (21,151), *Schima walichii* (16,049), *Eugenia lineata* (13,967), *Melanochyla caesa* (12,241), *Quercus lineata* (10,766), dan *Platea excelsa* (10,766).

Kandungan nitrogen daun dewasa pada beberapa jenis tumbuhan menunjukkan bahwa tipe vegetasi emergen mengandung nitrogen lebih tinggi dibandingkan dengan underlayer. Efisiensi penggunaan nitrogen tertinggi dijumpai pada tanaman *A. excelsa* yang mencapai 39.10%, disusul dengan tumbuhan *E. lineata* (34.04%), *Q. lineata* (22.29%) dan *G. rostrata* (17.29%). Walaupun tidak signifikan, tumbuhan dengan tipe vegetasi emergen mempunyai NUE rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan dengan tipe bawah naungan (underlayer).

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, S.E., H.M. Grimshaw, J.A. Parkinson, and C. Quarmby. 1974. Chemical analysis of ecological materials. Blackwell Scientific Publications. Oxford. Pp: 184–206.
- Anonimous. 2006. Laporan kegiatan monitoring plot permanen di resort Cikaniki, TNGHS tahun 2006. Seksi Konservasi Wilayah II Bogor, Balai TNGHS, Jawa Barat.
- Birk, E.M., and P.M. Vitousek. Nitrogen availability and nitrogen use efficiency in loblolly pine stands. *Abstract. Ecology*. 67(1): 69–79.
- Bregard, A., G. Belanger, and R. Michaud. 2000. Nitrogen use efficiency and morphological characteristics of Timothy populations selected for low and high forage nitrogen concentration. *Crop Science*. 40: 422–429.
- Calevier, J. 1996. Environmental factors and ecophysiological processes along altitudinal gradient in wet tropical mountains. In: *Tropical Forest Plant Ecophysiology*. (Mulkey, S.S., R.L. Chazdon, A.P. Smith, Eds.). Cahpman & Hall, Avenue. New York. Pp: 399–439.
- Cardenas, I. and J. Campo. 2007. Foliar nitrogen and phosphorous resorption and decomposition in the nitrogen-fixing tree *Lysiloma microphyllum* in primary and secondary seasonally tropical dry forests in Mexico. *Journal of Tropical Ecology*. 23: 107–113.
- Chazdon, R., R. Pearcy, D. Lee, and N. Fetcher. 1996. Photosynthetic responses of tropical forest plant ecophysiology In: *Tropical Forest Plant Ecophysiology*. (Mulkey, S.S., R.L. Chazdon, A.P. Smith, Eds.). Cahpman & Hall, Avenue. New York. Pp: 5–55.
- Craine, J.M. and M.C. Mack. 1998. Nutrients in Senescent leaves: Comment. *Ecology*. 79:1818–1820.
- Donovan, L.A., S.A. Dudley, D.M. Rosenthal and F. Ludwig. 2007. Phenotypic selection on leaf water use efficiency and related ecophysiological traits for natural populations of desert sunflowers. *Abstract. Oecologia*. 152(1): 13–25.
- Durand, L.Z., and G. Goldstein. 2004. Photosynthesis, photoinhibition, and nitrogen use efficiency in native and invasive tree fern in Hawaii. *Oecologia*. 126(3): 345–354.
- Green, D.S., J.E. Erickson, and E.L. Kruger. 2003. Foliar morphology and canopy nitrogen as predictors of light-use efficiency in terrestrial vegetation. *Agricultural and Forest Meteorology*. 115: 153–171.
- Hikosaka, K. and T. Hirose. 2000. Pothosynthetic nitrogen use efficiency in evergreen broad-leaved woody species coexisting in awarm-temperate forest. *Tree physiology*. 20: 1249–1254.
- Hikosaka, K. 2005. Leaf canopy as a dynamic system: ecophysiology and optimality in leaf turnover. *Annals of botany*. 95(3): 521–533.
- Hogan, K.P. 1996. Ecotypic variation in the physiology of tropical plants. In: *Tropical Forest Plant Ecophysiology*. (Mulkey, S.S., R.L. Chazdon, A.P. Smith, Eds.). Cahpman & Hall, Avenue. New York. Pp: 497–530.
- Holscher, D., C. Leuschner, K. Bohman, M. Hagemeyer, J. Jührbandt, and S. Tjitrosemito. 2005. Leaf gas exchange of trees in old-growth and young secondary forest stands in Sulawesi, Indonesia. *Trees*
- Holscher, D., C. Leuschner, K. Bohman, J. Jührbandt, and S. Tjitrosemito. 2004. Photosynthetic characteristics in relation to leaf traits in eight co-existing pioneer tree species in Central Sulawesi, Indonesia. *Journal of Tropical Ecology*. 20: 157–164.
- Laumonier, Y. 1989. The vegetation of Sumatera. SEAMEO-BIOTROP, Bogor. Indonesia.
- Muller-Dombois, D., and H. Ellenberg. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley & Sons, New York.

- Nielsen, R.L. 2006. N loss mechanism and nitrogen use efficiency. Purdue Nitrogen Management Workshops. Purdue University. p: 1–5.
- Norby, R.J., T.M. Long, J.S. Hartz–Rubin, and E.G. O’Neill. 2000. Nitrogen resorption in senescing tree leaves in a warmer, CO₂-enriched atmosphere. *Plant and Soil*. 224: 15–29.
- Oguchi, R., K. Hikosaka, T. Hiura and T. Hirose. 2006. Leaf anatomy and light acclimation in woody seedlings after gap formation in a cool-temperate deciduous forest. *Oecologia*. 149(4): 571–582.
- Pérez, C.A., J.J. Armesto, C. Torrealba and M.R. Carmona. 2003. Litterfall dynamics and nitrogen use efficiency in two evergreen temperate rainforests of southern Chile. *Abstract. Austral Ecology* 28 (6): 591–600.
- Robinson, D.E., R.G. Wagner, F.W. Bell, and C. J. Swanton. 2001. Photosynthesis, nitrogen-use efficiency, and water-use efficiency of jack pine seedlings in competition with four boreal forest plant species. *Abstract. Can. J. For. Res.* 31(11): 2014–2025.
- Singh, S.P. K. Bargali, A. Joshi and S. Chaudhry. 2005. Nitrogen resorption in leaves of tree and shrub seedlings in response to increasing soil fertility. *Current Science*. 89(2): 389–396.
- Sulaeman, Suprpto dan Eviati. 2005. Petunjuk teknis analisis kimia tanah, tanaman, air dan pupuk. Balai penelitian tanah, Balitbang Pertanian. DEPTAN, Bogor. Pp: 47–56.
- Taiz, L., and E. Zeiger. 1991. *Plant Physiology*. The Benjamin/Cumming Publishing Company, Inc. California. Pp: 292–307.
- Tateno, R. and H. Kawaguchi. 2002. Differences in nitrogen use efficiency between leaves from canopy and subcanopy trees. *Ecological Research* 17(6): 695–704.
- Triono, T., N. Keiji., G.N.S. Mulcahy., O. Seiji., A. Muzakkir, A. Supriatna, and Sopian. 2002. A guide to Cikaniki–Citalahap looptrail Gunung Halimun National Park, West Java, Indonesia. Biodiversity Conservation Project–JICA.
- van Steenis, C.G.G.J. 2006. *Flora Pegunungan Jawa* (penerjemah dan penyunting oleh J.A. Kartawinata). Penerbit LIPI–Bogor, Indonesia.
- Yasumura, Y., K. Hikosaka, K. Matsui, and T. Hirose. 2002. Leaf-level nitrogen-use efficiency of canopy and understorey species in a beech forest. *Functional Ecology*. 16(6): 826–834.