

INDEKS DAN LUAS BIDANG DIBATASI KURVA GRADIENT SUHU UDARA SEBAGAI PARAMETER IKLIM MIKRO EKOSISTEM MANGROVE DAN INTERAKSI DENGAN LINGKUNGANNYA

(Christophil S. Medellu¹,

Abstrak

Iklm mikro hutan biasanya dideskripsikan oleh parameter: perbedaan kuantitas variable di dalam, di tepi dan di luar ekosistem, kedalaman efek tepi dan gradient: (1) intensitas radiasi, (2) suhu udara, (3) kelembaban udara. Besaran yang digunakan untuk mendeskripsikan iklim mikro hutan adalah nilai maksimum harian dari parameter-parameter tersebut. Parameter-parameter diterima oleh kalangan pakar sebagai deskripsi interaksi iklim mikro ekosistem dengan lingkungan. Pemodelan matematik yang menghasilkan fungsi kontinu perubahan temporal dan variasi spasial variable-variabel iklim mikro, memungkinkan pengembangan parameter baru berdasarkan dinamika harian gradient variable iklim mikro. Luas bidang yang dibatasi kurva dinamika gradient dengan garis kesetimbangan termal dapat mendeskripsikan difusi termal total antara ekosistem dengan lingkungan. Indeks dinamika harian merupakan perbandingan antara luas bidang dinamika gradient malam dengan siang hari. Tulisan ini memaparkan sebagian hasil pengembangan parameter luas bidang dan indeks dinamika harian gradient iklim mikro, dalam hal ini suhu udara. Penelitian dilakukan pada tiga transek yang berbeda kondisi ekosistem dan lingkungannya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa luas bidang yang dibentuk oleh kurva dinamika gradient suhu udara berbeda untuk ketiga transek. Luas bidang siang dan malam hari lebih besar pada transek berbatasan dengan laut yang kanopinya rapat dan homogen. Luas bidang dan indeks dinamika harian gradient suhu udara juga dapat menunjukkan pengaruh fragmentasi terhadap iklim mikro hutan mangrove.

Kata kunci: iklim mikro, dinamika harian, gradien suhu udara

A. Pendahuluan

Variabel iklim mikro yang digunakan banyak peneliti dalam mendeskripsikan iklim mikro ekosistem hutan adalah: intensitas radiasi matahari, suhu udara, kelembaban udara, kecepatan angin (Newmark, 2001; Hennenberg et al, 2008, Davies_Colley et al (2000), Williams-Linera et al.,1997). Parameter yang digunakan untuk menyatakan kuantitas iklim mikro ekosistem adalah: selisih harga maksimum variable iklim mikro di dalam dan di luar hutan, kedalaman efek tepi, gradient variable pada batas hutan. Kedalaman efek tepi dan gradient yang dinyatakan sebagai karakteristik iklim mikro ekosistem adalah harga tertinggi dari perubahan harian variable-variable tersebut. Besaran-besaran ini tidak dapat menunjukkan kapasitas ekosistem dalam mengendalikan total difusi termal harian antara ekosistem dengan lingkungan. Kedalaman efek tepi hanya menunjukkan jarak terjauh pengaruh perubahan iklim mikro lingkungan ke dalam hutan. Gradien variable iklim mikro hanya menunjukkan selisih harga terbesar iklim mikro antara serbelah luar dan sebelah dalam batas hutan. Data gradien tersebut tidak dapat menunjukkan fluktuasi difusi, perubahan arah difusi, dan kapasitas ekosistem mengendalikan perubahan iklim mikro di dalam dan di luar hutan sepanjang hari.

Gradien iklim mikro tidak konstan sepanjang hari (Newmark, 2001). Perubahan gradient iklim mikro sepanjang hari berkaitan dengan kapasitas ekosistem mengendalikan pengaruh perubahan iklim mikro di luar ekosistem. Pemodelan matematik perubahan temporal, dan variasi spasial dapat menghasilkan data gradient iklim mikro pada tepi hutan. Dinamika harian gradient iklim mikro dapat dimodelkan untuk menghasilkan fungsi matematis. Informasi-informasi menarik yang dapat diperoleh dari grafik fungsi dinamika gradient iklim mikro ini adalah: lamanya difusi termal dari lingkungan ke dalam ekosistem dan dari ekosistem ke lingkungan, waktu terjadinya peralihan difusi (ditandai dengan nilai gradient = 0), dan luas bidang perpotongan kurva dinamika gradient dengan garis kesetimbangan termal. Bidang yang dibentuk oleh kurva dinamika gradient suhu udara dan kelembaban udara dapat terdiri dari dua bidang atau satu bidang saja, bergantung pada kondisi ekosistem dan lingkungan berbatasan. Jika kurva membentuk dua bidang dinamika gradient, maka bidang yang satu menunjukkan difusi termal dari lingkungan ke dalam ekosistem, dan bidang lainnya difusi termal pada arah berlawanan. Hasil-hasil penelitian telah membuktikan bahwa difusi dan kompetisi species di sekitar tepi hutan mengikuti radiasi matahari dan difusi termal sekitar tepi hutan (Chen et al., 1999; Malanson and Carins, 1995; Davies-Colley et al., 2000; Meerman, 2000; Gradstein, 2008; Godefroid et al., 2007). Luas bidang dinamika harian dan indeks dinamika gradient iklim mikro adalah parameter potensial untuk mengkaji dan mendeskripsikan konsentrasi dan pergerakan species di sekitar tepi hutan

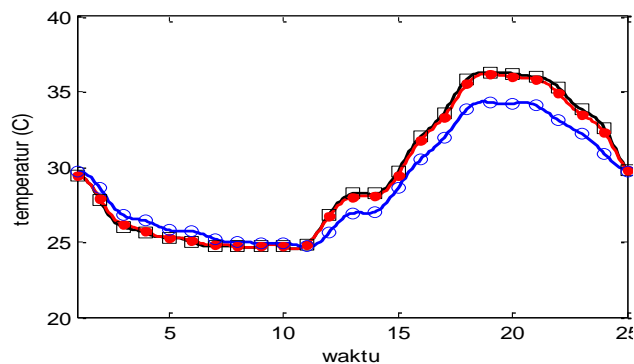
B. Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan parameter baru yakni luas bidang dan indeks dinamika harian gradient iklim mikro untuk mengkarakterisasi ekosistem, mengevaluasi kapasitas ekosistem mengendalikan perubahan iklim mikro dalam lingkungan berbatasan

C. Metode

Pengembangan parameter luas bidang dan indeks dinamika harian gradient iklim mikro merupakan lanjutan dari pemodelan efek tepi dan gradient iklim mikro (Medellu et al., 2011.a). Konsep dasar pemodelan adalah difusi energy termal yang disebabkan oleh penyinaran matahari dan proses absorpsi, emisi termal oleh medium (tanah, air, vegetasi dll). Perbedaan penetrasi radiasi matahari melalui tutupan lahan, perbedaan absorpsi dan emisi termal permukaan bumi menyebabkan perbedaan suhu udara di atas permukaan bumi. Perbedaan suhu udara (dan kelembaban udara) menyebabkan difusi termal horizontal memotong batas ekosistem dengan lingkungan. Difusi energy termal horizontal ini mengendalikan difusi species tertentu dan kompetisi antar species di sekitar tepi ekosistem. Faktor dominan menentukan difusi termal antara ekosistem mangrove dengan lingkungannya adalah: (1) kondisi lingkungan misalnya laut, atau pantai, atau jalan aspal dst., (2) kerapatan tutupan kanopi mangrove, (3) fragmentasi dalam ekosistem mangrove dan ukurannya (Medellu dkk, 2011.b). Penelitian untuk penentuan parameter luas bidang dan indeks dinamika harian gradient suhu udara dilakukan pada tiga transek yang berbeda kondisi ekosistem dan lingkungannya. Transek-1: memotong batas mangrove dengan jalan aspal dan terfragmentasi pada bagian dalam, transek-2: memotong batas mangrove dengan laut, ditumbuhi satu jenis mangrove dengan kerapatan kanopi tinggi; transek-3, memotong batas mangrove dengan pantai bervegetasi. Lokasi penelitian adalah hutan mangrove di desa Ratatotok Timur, Kecamatan Ratatotok, Kabupaten Minahasa Tenggara. Langkah-langkah pemodelan dan penentuan parameter luas bidang dan indeks dinamika harian gradient suhu udara adalah sebagai berikut:

1. Pemodelan perubahan temporal suhu udara pada setiap posisi pengamatan, untuk selang waktu 25 jam dan interval pengamatan satu jam. Pemodelan ini menggunakan prosedur penentuan fungsi Fourier (deret waktu). Contoh hasil pemodelan perubahan temporal suhu udara pada transek-1 lokasi Ratatotok Timur adalah sebagai berikut:
 - a. Grafik fungsi perubahan temporal suhu udara:



Gambar-1. Grafik dinamika harian suhu udara pada posisi 4 m di luar tepi (warna hitam), di tepi (warna merah) dan pada posisi 16 m dalam hutan mangrove (warna biru)

Waktu pengukuran dimulai jam 19.00 dan bersesuaian dengan data absis 1 dalam Gambar-1. Data absis 5 bersesuaian jam 23.00 dst.

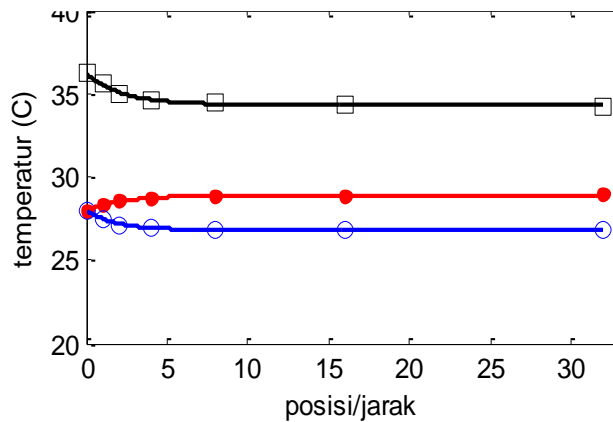
- b. Fungsi matematik perubahan temporal suhu udara transek-1 lokasi Rataotok Timur. Posisi pengukuran $x=0$ (Gambar-1, grafik warna merah)

$$T(t) = 29.316 + 1.938 \cos(2\pi t)/12 - 5.554 \sin(2\pi t)/12 - 0.891 \cos(4\pi t)/12 - 0,606 \sin(4\pi t)/12 - 0.071 \cos(6\pi t)/12 + 0.046 \sin(6\pi t)/12 + 0.245 \cos(8\pi t)/12 - 0,01 \sin(8\pi t)/12 - 0.264 \cos(10\pi t)/12 - 0.029 \sin(10\pi t)/12 + 0.062 \cos(\pi t) + 0.165 \sin(\pi t) \dots(1)$$

T adalah suhu udara dan t waktu. Presisi fungsi pemodelan mencapai 100 persen (seluruh harmonic dimasukan sebagai suku fungsi Fourier. Fungsi kontinu ini memungkinkan kita menurunkan pasangan data pemodelan (t, T(t)) sebanyak yang kita butuhkan dalam interval $1 < t < 25$. Kita dapat melakukan sinkronisasi data suhu udara antar posisi yang diukur pada waktu (t) berbeda.

2. Sinkronisasi data suhu udara antar posisi pengamatan. Sinkronisasi harus dilakukan untuk data yang diukur tidak serempak (moving station system). Sinkronisasi akan menghasilkan data dengan basis waktu yang sama untuk semua posisi pengukuran sepanjang transek.
3. Pemodelan variasi spasial suhu udara sepanjang transek, untuk setiap waktu pengukuran. Pemodelan variasi spasial suhu udara dapat juga dilakukan untuk sembarang variable waktu, karena kita dapat menurunkan pasangan data dari fungsi kontinu
4. Pemodelan fungsi gradient suhu udara $gT(x)$, sebagai turunan pertama fungsi spasial suhu udara (dT/dx). T adalah suhu udara, dan x adalah jarak terhadap acuan (tepi atau batas mangrove). Contoh variasi spasial suhu udara pada transek-1 adalah sebagai berikut:

- a. Grafik fungsi spasial suhu udara:



Gambar-2. Grafik perubahan spasial suhu udara sepanjang transek, pada jam 07.00 (warna biru), jam 13.00 (warna hitam) dan jam 19.00 (warna merah)

- b. Fungsi matematik variasi spasial suhu udara transek-1 lokasi Ratatotok Timur, untuk jam 23.00 (Gambar-2, grafik warna hitam) adalah:

$$T(x) = 34.328 + 0.286.e^{1.875 - 0.451.x} \dots\dots\dots(2)$$

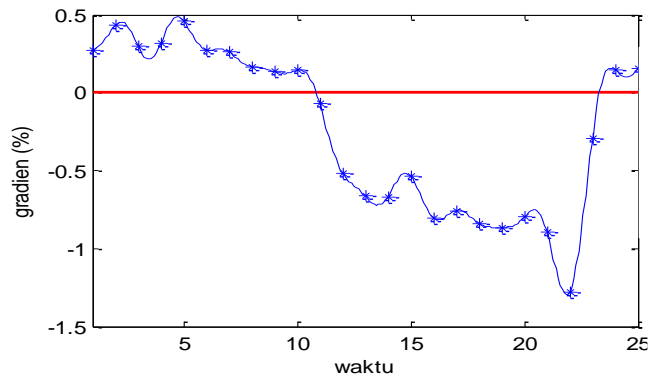
x adalah jarak sepanjang transek, dari tepi ke tengah hutan mangrove. Rataan simpangan data pemodelan terhadap data pengukuran adalah 0.05496. Persamaan 2 memungkinkan untuk: (1) memprediksi suhu udara pada posisi yang lebih jauh ke tengah hutan mangrove (ekstrapolasi), (2) menentukan suhu udara pada sembarang posisi x dalam jarak 0 – 32 m (interpolasi), (3) menentukan fungsi gradient sebagai $(dT(x)/dx)$, (4) menentukan nilai gradient pada sembarang posisi x, termasuk di tepi mangrove ($x=0$), (5) menentukan kedalaman efek tepi suhu udara ($dT(x)/dx \sim$ konstan)

5. Penentuan nilai gradient suhu udara di batas mangrove ($gT(x)$ untuk $x=0$). Nilai gradient di batas mangrove ini berubah menurut waktu, sehingga diperoleh pasangan data waktu (t) dengan gradient suhu udara di batas mangrove
6. Pemodelan dinamika harian gradient suhu udara sepanjang transek. Pemodelan ini dikonstruksi dari pasangan data dengan gradient suhu udara (langkah ke-5). Pemodelan ini menggunakan fungsi Fourier sesuai dengan perubahan gradient suhu yang bersifat periodic mengikuti perubahan temporal suhu udara
7. Penentuan luas bidang dinamika harian gradient suhu udara dan ineks dinamika harian suhu udara.

Tim kami telah membuat program untuk analisis dan pemodelan dinamika harian gradient iklim mikro yang mencakup semua tahapan tersebut di atas

D. Hasil Penelitian dan Pembahasan

1. Grafik, fungsi hasil pemodelan, luas bidang dan indeks dinamika harian suhu udara transek-1 adalah sebagai berikut:



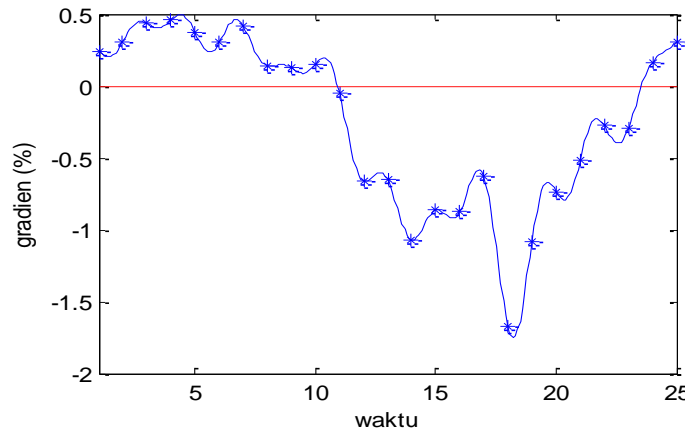
total luas siang hari = 8.994
 total luas malam hari = 2.842
 Indeks dinamika gradien = 0.316

Fungsi dinamika harian gradient suhu udara :

$$\begin{aligned}
 T(t) = & -0.237 + 0.198 \cos(2\pi t)/24 + 0.648 \sin(2\pi t)/24 + \\
 & 0.07\cos(4\pi t)/24 + 0.09 \sin(4\pi t)/24 + 0.015 \cos(6\pi t)/24 + \\
 & 0.069 \sin(6\pi t)/24 + 0.043 \cos(8\pi t)/24 - 0,041 \sin(8\pi t)/24 + \\
 & 0.107 \cos(10\pi t)/24 - 0.046 \sin(10\pi t)/24 - 0.048 \cos(12\pi t)/24 - \\
 & 0.066 \sin(12\pi t)/24 - 0.034 \cos(13\pi t)/24 - 0.053 \sin(13\pi t)/24 - \\
 & 0.096 \cos(14\pi t)/24 + 0.03 \sin(14\pi t)/24 - 0.054 \cos(16\pi t)/24 + \\
 & 0.009 \sin(16\pi t)/24 + 0.015 \cos(18\pi t)/24 + 0.027 \sin(20\pi t)/24 \\
 & + 0.007 \cos(22\pi t)/24 + 0.026 \sin(22\pi t)/24 + 0.031 \cos(\pi t) + \\
 & 0,041 \sin(\pi t)
 \end{aligned}$$

.....(3)

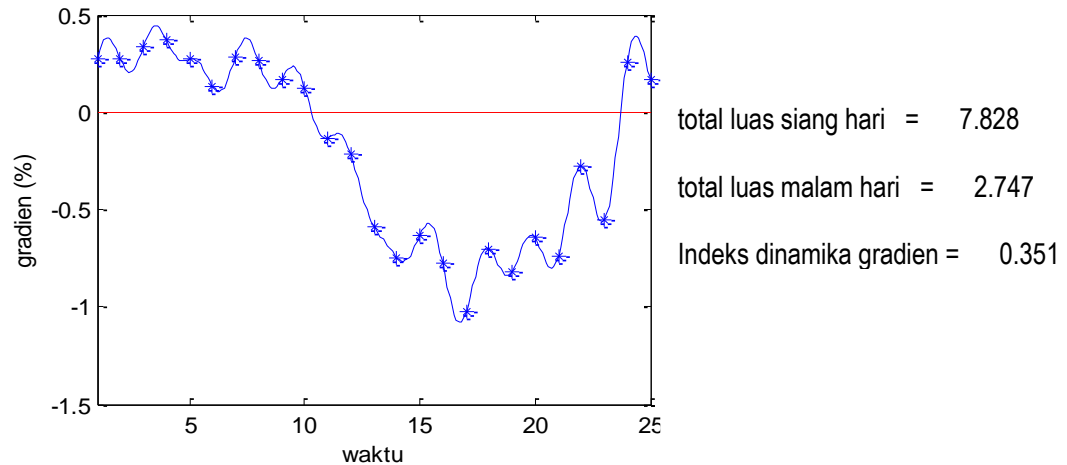
2. Grafik, luas bidang dan indeks dinamika harian suhu udara transek-2 adalah sebagai berikut:



total luas siang hari = 9.399
total luas malam hari = 3.134
Indeks dinamika gradien = 0.333

Transek-2 memiliki fungsi dinamika harian gradient suhu udara tersendiri, mirip dengan transek-1.

3. Grafik, luas bidang dan indeks dinamika harian suhu udara transek-2 adalah sebagai berikut:



Transek-3 memiliki fungsi dinamika harian gradient suhu udara tersendiri, mirip dengan transek-1.

Perbandingan ketiga transek memberikan kesimpulan sebagai berikut:

1. Ketiga transek menunjukkan pola difusi termal yang sama dimana terjadi dua kali peralihan arah difusi dalam satu hari. Waktu terjadinya peralihan arah difusi termal hampir sama untuk ketiga transek. Waktu terjadinya peralihan difusi energy ditunjukkan oleh perpotongan kurva dinamika gradient (warna biru) dengan garis kesetimbangan termal (garis berwarna merah). Peralihan arah difusi pertama terjadi sekitar jam 19.00 (angka 10 dalam skala waktu: Gambar-1 s/d Gambar-3), dimana arah fluks termal dari hutan mangrove ke lingkungan. Peralihan arah difusi termal kedua terjadi sekitar jam 05.00 (angka 23 dalam skala waktu: Gambar-1 s/d Gambar-3), dimana arah fluks termal dari lingkungan ke dalam hutan mangrove. Fenomena ini sama dengan hasil-hasil penelitian iklim mikro sepanjang transek memotong batas hutan dengan lahan terbuka (Moore et al., 2005; Spittlehouse, 2004)
2. Ketiga transek menunjukkan perbedaan luas bidang yang dibentuk oleh kurva dinamika gradient suhu udara. Transek-2 menunjukkan luas bidang siang dan malam hari lebih besar dibanding transek-1 dan transek-3. Transek-3 menunjukkan luas bidang terkecil, baik siang maupun malam hari. Perbedaan luas bidang siang dan malam hari bergantung pada kondisi ekosistem (kerapatan kanopi) dan perubahan suhu udara pada lingkungan. Transek-2 berbatasan dengan laut, homogen, ditumbuhi mangrove jenis *Rhizophora* dengan tutupan kanopi : 85 – 92 %. Fluktuasi suhu udara yang lebih tinggi di atas permukaan laut terbuka dan kemampuan kanopi mangrove mereduksi aliran fluks termal dari lingkungan ke dalam hutan mangrove, menyebabkan gradient suhu udara yang tinggi sepanjang siang hari. Pada malam hari, energy termal yang tersimpan dalam hutan mangrove yang tutupan kanopinya rapat, dapat mengendalikan difusi termal keluar. Ketika suhu udara luar turun drastis, suhu dalam hutan mangrove masih cukup tinggi sehingga luas bidang dinamika gradient suhu udara malam hari lebih besar dibanding hutan yang kanopinya kurang rapat. Perbedaan ini terjadi antara transek-2 dengan transek-3. Transek-1 menunjukkan luas bidang siang dan malam hari lebih kecil dari transek-2 namun lebih besar dari transek-3. Bagian depan transek-1 (berbatasan dengan jalan aspal), ditumbuhi (ditanam oleh masyarakat) mangrove jenis *Rhizophora* dengan kerapatan kanopi: 86% – 95%. Lebar bagian yang ditanami mangrove jenis

Rhizopora bervariasi antara 13 meter – 14 meter. Pada bagian dalam terdapat fragmen dengan jenis tumbuhan bervariasi dan kerapatan kanopi rendah (65% – 72 %). Luas bidang dinamika gradient suhu udara siang hari yang lebih kecil dibanding transek-2 (kendatipun kanopi bagian depan lebih lebat pada transek-1) menunjukkan pengaruh fragmentasi terhadap difusi termal. Hal ini bersesuaian dengan hasil penelitian Pinto et al (2010), De Siqueiran et al (2004), yang mengemukakan bahwa tutupan hutan dan area fragmen merupakan faktor yang sangat signifikan mempengaruhi konfigurasi iklim mikro. Pada malam hari, energy termal yang tersimpan dalam hutan mangrove lebih cepat turun karena terjadi difusi termal arah vertical pada bagian hutan sebelah dalam yang lebih terbuka.

Luas bidang dinamika harian gradient suhu udara yang kecil pada transek-3 disebabkan oleh rendahnya suhu dan fluktuasi suhu pada bagian pantai yang ditumbuhi vegetasi. Bagian dalam hutan mangrove dengan kerapatan kanopi rendah (68 % - 74%) dan lebih mudah ditembusi radiasi matahari, menyebabkan perbedaan suhu yang rendah dengan lingkungan, baik siang maupun malam hari.

Indeks dinamika harian untuk ketiga transek tidak menunjukkan perbedaan signifikan; hal ini menunjukkan kecenderungan ekosistem yang lebih mampu mereduksi difusi energy termal dari luar pada siang hari akan lebih mampu mengendalikan pelepasan energy termal pada malam hari. Hal ini terutama berkaitan dengan kerapatan tutupan kanopi. Parameter luas bidang dan indeks dinamika harian gradient suhu udara dapat menunjukkan kapasitas ekosistem mengendalikan kenaikan atau penurunan suhu udara lingkungan. Parameter ini dapat menjadi indicator terjadinya perubahan struktur ekosistem (penebangan hutan, pembabatan area dll), serta perubahan yang terjadi di lingkungan (misalnya kenaikan suhu udara pada saat pemanasan global atau adanya sumber-sumber energy selain radiasi matahari). Parameter ini melengkapi parameter iklim mikro lainnya seperti kedalaman efek tepi sehingga dapat mendeskripsikan lebih lengkap iklim mikro dalam hutan atau ekosistem lainnya.

E. Kesimpulan

Hasil penelitian dan pengembangan parameter luas bidang dan indeks dinamika harian suhu udara dalam hutan mangrove menunjukkan bahwa parameter ini dapat menunjukkan perbedaan ekosistem hutan mangrove dan interaksi ekosistem dengan lingkungan. Perubahan harga parameter ini berasosiasi dengan perubahan dalam ekosistem ataupun perubahan di lingkungan. Parameter ini memberikan informasi yang lebih komprehensif tentang difusi termal sepanjang hari dan dapat digunakan untuk memantau perubahan ekosistem maupun lingkungan. Parameter ini juga dapat menjadi acuan yang lebih komprehensif dalam mengkaji keberadaan dan pergerakan species di sekitar tepi hutan mangrove (atau ekosistem lainnya).

F. Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada pemerintah Kabupaten Minahasa Tenggara atas izin dan dukungan dalam pelaksanaan penelitian. Terimakasih juga disampaikan kepada kepolisian sector Ratatotok yang menjamin keamanan pelaksanaan penelitian. Ucapan terimakasih yang sangat mendalam perlu kami sampaikan kepada mahasiswa jurusan Fisika FMIPA Unima yang telah berpartisipasi secara luar biasa dalam melakukan pengukuran/pengambilan data di lapangan.

Daftar Pustaka

- Chen J, S. C. Saunders, T. R. Crow, R. J. Naiman, K. D. Brosofske, B. L. Brookshire, and J. F. Franklin, 1999. Microclimate forest ecosystem and landscape ecology. *BioScience* : 49 (4) : 288 – 297
- Davies Colley R. J., G. W. Payne, and M. van Elswijk, 2000. Microclimate gradients across a forest edge. *New Zealand Journal of Ecology* (2000) 24(2): 111-121
- De Siqueiran L.P, M. B. de Matos, D. M. S. Matos, R. de Cássia Q. Portela, M. I. G. Braz, and L. Silva-Lima, 2004. Using the variances of microclimate variables to determine edge effects in small Atlantic rain forest fragment, South-Eastern Brazil. *Ecotropica* 10:59-64
- Godefroid S., D. Monbaliu, N. Koedam, 2007. The role of soil and microclimatic variables in the distribution patterns of urban wasteland flora in Brussels, Belgium. *Landscape and Urban Planning* 80: 45–55
- Gradstein R., 2008. Influence of forest modification and climate change on epiphytic bryophyte diversity in the tropics. Paper presented at Annual Meeting of the Association for Tropical Biology and Conservation, Panamaribo 9-13 June, 2008
- Hennenberg K.J, D. Goetze, J. Szarzynski, B. Orthmann, B. Reineking, I. Steinke and S. Porembski, 2008. Detection of seasonal variability in microclimatic borders and ecotones between forest and savanna. *Basic and Applied Ecology*, vol 9, Issue 3, pp: 275 – 285.
- Malanson G.P., and D.M. Cairns, 1995. Effects of increased cloud-cover on a montane forest landscape. *Ecoscience* 2(1) pp: 75 - 82
- Medellu Ch., Soemarno, Marsoedi, S. Berhimpon, 2011. Mathematical modelling of microclimate edge effect in mangrove. Paper presented in Internasional Seminar “Interdisciplinary Research in Natural Resources and Environmental Development”, Brawijaya University, 22 August 2011
- Medellu Ch, S. Tengko, J. Rende, H. Tumundo, 2011. Dinamika harian iklim mikro hutan mangrove di desa Ratatotok Timur. Lapaoran Hasil Penelitian Kolaborasi Dosen – Mahasiswa, Lemlit Unima.
- Meerman, J. 2000. Feasibility Study of the Proposed Northern Belize Biological Corridors Project (NBBCP) Volume II: Monitoring Report. <http://www.biodiversity.bz/downloads/monitoring.pdf>
- Moore R.D., D. L. Spittlehouse, and A. Story, 2005. Riparian microclimate and stream temperature response to forest harvesting: a review journal of the American Water Resources Association, August 2005. pages 813-834. http://www.fire.ca.gov/CDFBOFDB/pdfs/Moore_etal_JAWRA05_TemperatureReview.pdf. tanggal 15 - 03 – 2011
- Newmark, W.D., 2001. Tanzanian Forest Edge Microclimatic Gradients: Dynamic Patterns[†] *Biotropica* Volume 33, Issue 1, pages 2–11
- Pinto S.R.R., G. Mendes, A.M.M. Santos, M. Dantas, M. Tabarelli, and F.P. L. Melo, 2010. Landscape attributes drive complex spatial microclimate configuration of Brazilian Atlantic forest fragments *Tropicl Conservation Science* Vol.3 (4):389-402

Spittlehouse D.L, R.S. Adams, and R.D. Winkler, 2004. Forest, Edge, and Opening Microclimate at Sicamous Creek. Research Report of Forest Science Program, Ministry of Forest British Columbia