

Pemanfaatan Nilai Isotop Stabil pada Arthropoda sebagai Standar Pemantauan Perbaikan Agroekosistem Tanaman Tebu Ratun

Heri Prabowo

Balai Perakitan dan Pengujian Tanaman Pemanis dan Serat
Jalan Raya Karangploso Km.4 Kotak Pos 199, Kepuh Utara, Kepuharjo,
Kec. Karang Ploso, Kabupaten Malang, Jawa Timur
Email: heribalittas@gmail.com

ABSTRAK

Penanganan penurunan produktivitas pada sistem tebu ratun memerlukan upaya pengelolaan agroekosistem yang ramah lingkungan dan tidak mengganggu keseimbangan agroekosistem. Langkah untuk memaksimalkan pemantauan perbaikan pengelolaan agroekosistem memerlukan suatu standar dalam pengambilan keputusan pengelolaannya. Perbaikan agroekosistem tebu ratun dapat dilakukan melalui pemantauan nilai isotop stabil arthropoda pada tanaman tebu ratun sebagai upaya awal mengevaluasi perbaikan agroekosistemnya. Nilai isotop stabil arthropoda dengan peran sebagai herbivora dan dekomposer, pada lahan pengelolaan agroekositem dan tanpa pengelolaan, memiliki nilai isotop stabil karbon ($\delta^{13}\text{C}$) mendekati nol dan nilai isotop stabil nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) di bawah 10 %. Sedangkan arthropoda yang memiliki peranan sebagai musuh alami, memiliki nilai isotop stabil karbon ($\delta^{13}\text{C}$) mendekati nol dan nilai isotop stabil nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) di atas 10 %. Isotop stabil $\delta^{13}\text{C}$ dan $\delta^{15}\text{N}$ dapat digunakan untuk mengungkap peranan arthropoda di agroekosistem tebu ratun dengan melihat komposisi nilai kedua isotop. Kandungan isotop ($\delta^{13}\text{C}$) menunjukkan sumber makanan arthropoda di dalam agroekosistem, sedangkan nilai isotop ($\delta^{15}\text{N}$) menunjukkan peranan arthropoda dalam agroekosistem tebu ratun. Nilai isotop stabil karbon ($\delta^{13}\text{C}$) predator dan parasitoid adalah mendekati nol. Sedangkan nilai isotop stabil nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) pada arthropoda rata-rata berada di atas 10 %. Arthropoda yang memiliki nilai isotop stabil nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$), diduga memiliki peranan sebagai predator atau parasitoid. Pemantauan nilai isotop stabil karbon ($\delta^{13}\text{C}$) dan nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) arthropoda dapat digunakan sebagai standar untuk mengevaluasi perbaikan agroekosistem tebu ratun, memberikan gambaran tentang kesehatan ekosistem secara keseluruhan, dan membantu dalam pengambilan keputusan terkait praktik pertanian yang lebih berkelanjutan.

PENDAHULUAN

Kebutuhan pokok masyarakat dalam kehidupan sehari-hari tidak dapat lepas dari penggunaan gula. Dieraini, gaya hidup masyarakat mendorong peningkatan permintaan gula seiring dengan pertambahan jumlah penduduk dan pertumbuhan industri makanan maupun minuman di dalam negeri. Namun, perkembangan produksi gula cenderung mengalami penurunan dari tahun 2016 sampai dengan 2020. Produksi gula pada

tahun 2020 mengalami penurunan sebesar 55,32 ribu ton (4,65 %) jika dibandingkan dengan produksi gula tahun 2019. Selama lima tahun terakhir, peningkatan hanya terjadi pada tahun 2019 dengan produksi gula sebesar 2,23 juta ton (BPS, 2020). Pemerintah telah melakukan berbagai upaya untuk meningkatkan produktivitas gula di Indonesia, salah satunya dengan memperbaiki dan mengoptimalkan sistem penanaman tebu. Saat ini, sistem tanam tebu yang dikembangkan di lahan petani

adalah sistem tebu ratun. Sistem ratun tebu banyak diterapkan karena produksi ratun tebu tidak jauh berbeda dengan tanaman induknya. Ratun merupakan tunas yang muncul dari tanaman induknya bila tanaman induk sudah dipanen. Sisa tanaman yang telah dipanen akan menghasilkan bibit baru yang kemudian dipelihara menjadi tanaman baru sehingga pada sistem ratun tidak diperlukan bibit baru maupun pengolahan tanah. Hal ini tentu saja akan menguntungkan

karena efisien menekan biaya produksi pada tanaman musim pertama sehingga keuntungan petani dapat meningkat. Selain itu, sistem ratun juga menawarkan kemudahan dan kepraktisan dalam budidayanya. Berdasarkan data Ditjenbun (2020), pada tahun 2021 tercatat sebanyak 11.250 hektar dari total 443.501 hektar lahan tebu di Indonesia telah berhasil direvitalisasi menjadi tebu tanam baru atau *plant cane* (PC).

Seiring dengan adanya tekanan produktivitas dalam sistem tebu ratun, menyebabkan adanya praktik budi daya yang mengganggu keseimbangan dalam agroekosistem. Beberapa di antaranya yaitu penggunaan pupuk nitrogen secara berlebihan yang dapat menyebabkan rusaknya struktur tanah; penggunaan pestisida kimia secara terus-menerus yang menyebabkan resistensi hama dan penyakit; pembakaran lahan yang berdampak terhadap hilangnya gulma yang berfungsi sebagai tempat berlindung dan sumber makanan bagi musuh alami; tidak adanya pengembalian bahan organik ke lahan sehingga menyebabkan penurunan kesuburan tanah; penanaman dengan jarak tanam rapat sehingga menciptakan iklim mikro yang cocok untuk perkembangan hama dan penyakit; serta adanya dorongan terjadinya penanaman monokultur skala luas (Prabowo, *et al.*, 2021). Praktik budi daya dalam sistem tebu ratun yang tidak memperhatikan keseimbangan agroekosistem seperti ini, akan mendorong permasalahan baru yaitu penurunan produktivitas tanaman tebu ratun.

Penurunan produktivitas pada sistem tebu ratun memerlukan upaya pengelolaan agroekosistem tebu ratun yang ramah lingkungan dan tidak mengganggu keseimbangan agroekosistem, sehingga memberikan dampak peningkatan

produktivitas secara berkelanjutan. Pengelolaan agroekosistem diharapkan dapat menciptakan keseimbangan dalam lingkungan, hasil yang berkelanjutan, kesuburan tanah yang dikelola secara biologis, pengaturan populasi organisme pengganggu tanaman (OPT) melalui keragaman hayati, serta penggunaan input yang rendah (Altieri, 2004).

Pengelolaan agroekosistem tebu ratun berbasis ekologi banyak dikembangkan di negara maju, sedangkan konsep ini belum banyak diterapkan secara luas pada berbagai lahan tanaman tebu ratun di Indonesia. Paradigma pendekatan baru ini diharapkan dapat menekan keberadaan OPT sehingga mampu meningkatkan produktivitas tebu ratun. Oleh karena itu, guna memaksimalkan pemantauan perbaikan pengelolaan agroekosistem diperlukan suatu standar untuk pengambilan keputusan pengelolaannya. Pemantauan indikator perbaikan agroekosistem dapat melalui pemantauan nilai isotop stabil arthropoda pada tanaman tebu ratun sebagai upaya awal untuk evaluasi perbaikan agroekosistem tebu ratun.

Nilai Isotop Stabil Karbon ($\delta^{13}\text{C}$) dan Nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$)

Isotop stabil merupakan elemen isotop yang stabil secara aktif dan tidak mengalami kerusakan atau pembusukan serta tidak termasuk ke dalam unsur radioaktif. Beberapa isotop stabil yang banyak dimanfaatkan sebagai bahan pelacak antara lain: $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$, δD (Duarte, *et al.*, 2018). Penggunaan isotop stabil sebagai indikator perbaikan agroekosistem merupakan pendekatan baru untuk mengungkap hubungan interaksi antar organisme di ekosistem. Isotop stabil yang saat ini banyak digunakan

sebagai pelacak di dalam ekosistem adalah isotop stabil karbon ($\delta^{13}\text{C}$) dan nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$). Penggunaan isotop stabil ini pada awalnya banyak digunakan di ekosistem perairan, akan tetapi dalam perkembangannya saat ini banyak juga digunakan untuk mengungkap hubungan interaksi antar organisme di daratan. Penggunaan isotop stabil untuk memantau perbaikan agroekosistem adalah dengan pendekatan perubahan kandungan kimia makanan yang diserap oleh makhluk hidup dan tersimpan atau terdekomposisi di dalam tubuh makhluk hidup tersebut.

Isotop stabil karbon ($\delta^{13}\text{C}$) biasa digunakan untuk mempelajari aliran karbon di dalam ekosistem. Unsur karbon merupakan unsur di ekosistem yang hanya bisa diproduksi oleh tanaman autotrof atau produsen melalui proses fotosintesis. Nilai isotop stabil karbon ($\delta^{13}\text{C}$) digunakan sebagai pembeda komponen sumber karbon produsen primer yang diasimilasi oleh konsumen yang lebih tinggi (tritrofik level dua dan tiga). Selain itu, nilai isotop karbon dapat digunakan untuk mengetahui proses metabolisme yang terjadi di dalam tubuh arthropoda. Asimilasi karbon biasanya dipengaruhi oleh adanya kemampuan serta tipe makan tritrofik level di atasnya.

Seperti isotop karbon, nilai isotop stabil nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) juga mempunyai fungsi untuk mendeskripsikan perubahan komposisi nitrogen yang terjadi di agroekosistem. Nilai isotop stabil nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) memberikan informasi bahwa komposisi nitrogen konsumen yang sama dengan isotop nitrogen dari sumber makanannya. Nilai isotop stabil nitrogen lebih digunakan pada tingkat trofik di komunitasnya. Semakin tinggi nilai isotop stabil nitrogen, menunjukkan bahwa organisme tersebut memiliki peranan sebagai predator

atau menjalankan peran dalam agroekosistem sebagai trofik level tiga.

Nilai Isotop Stabil Karbon ($\delta^{13}\text{C}$) dan Nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) Arthropoda sebagai Standar Pemantauan Perbaikan Agroekosistem Tanaman Tebu Ratun

Arthropoda tanah pada agroekosistem tebu ratun bisa menguntungkan dan bisa juga merugikan. Deskripsi peranan arthropoda di dalam agroekosistem diperlukan untuk memaksimalkan peranannya terutama peranan sebagai musuh alami serta dekomposer. Akhirnya diharapkan dapat memaksimalkan layanan ekosistem untuk meningkatkan produktivitas tanaman tebu ratun.

Pendekatan yang banyak digunakan untuk mengungkap peranan arthropoda dalam interaksi tritrofik yakni pendekatan isotop stabil. Metode ini dapat digunakan untuk mengungkap proses ekologi dan biologi yang terjadi dalam ekosistem terutama proses pemanfaatan sumber makanan, struktur interaksi tritrofik, dispersal arthropoda, predasi, tingkat serangan herbivora, dan lain lain (Hood-Nowotny and Knols, 2007). Nilai isotop stabil pada arthropoda dapat digunakan untuk mengevaluasi perbaikan agroekosistem tebu ratun yang telah dilakukan telah sesuai atau tidak (Gambar 1).

Tebu sebagai produsen primer dalam agroekosistem tebu ratun memiliki rata-rata isotop karbon dan nitrogen bervariasi (Tabel 1). Nilai rata-rata karbon ($\delta^{13}\text{C}$) dan nitrogennya ($\delta^{15}\text{N}$) berturut turut sebesar -12,26 % dan 4,29 %. Nilai karbon pada tebu memiliki kisaran nilai isotop karbon ($\delta^{13}\text{C}$) antara -12,26 % sampai dengan 16,00 % (Symes, *et al.*, 2017). Sedangkan kisaran nilai isotop



Gambar 1. Pemantauan Perbaikan Agroekosistem Tanaman Tebu Ratun Menggunakan Nilai Isotop Stabil Karbon ($\delta^{13}\text{C}$) dan Nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) Arthropoda

Tabel 1. Rata-rata nilai (SD) $\delta^{13}\text{C}$ dan $\delta^{15}\text{N}$ (%) tebu ratun.

Organisme	$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$	
	Rerata (%)	Kisaran (%)	Rerata (%)	Kisaran (%)
Tebu Varietas PS 862	-12,26	-11,97 s/d -12,35	4,29	3,01 s/d 6,03

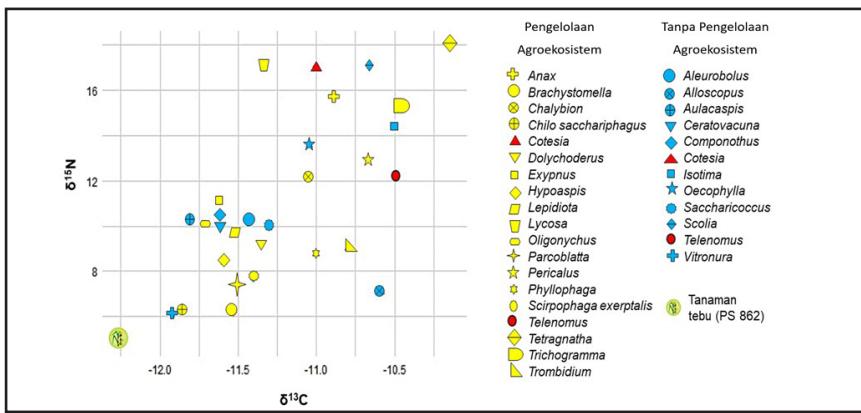
nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) antara 3,2 % sampai dengan 5,00 % (Ferger, *et al.*, 2013). Material organik dari tanaman tebu menyumbang kandungan karbon di agroekosistem, mulai dari kontribusi karbon di udara dan kandungan karbon di dalam tanah.

Nilai isotop stabil karbon dan nitrogen dipengaruhi beberapa faktor. Nilai isotop karbon dimungkinkan karena adanya pengaruh dari faktor fisik seperti naungan, habitat, cahaya, dan temperatur. Menurut Grice, *et al.*, (1996) cahaya memengaruhi nilai $\delta^{13}\text{C}$, hal ini dikarenakan meningkatnya ^{13}C dari sumber C eksternal dan meningkatnya penggunaan kembali (*recycling*) dari CO_2 . Nilai karbon yang ada di daun merupakan gambaran dari sumber karbon, cahaya matahari, dan temperatur (Hemminga and Mateo, 1996).

Arthropoda dalam agroekosistem tebu ratun berperan pada tritrofik level dua dan tiga. Peranannya sebagai herbivora, dekomposer, dan musuh alami. Nilai rata-rata karbon ($\delta^{13}\text{C}$) dan nitrogennya ($\delta^{15}\text{N}$) berturut turut sebesar -10,14 sampai dengan -11,92 % dan 5,93

% sampai dengan 18,43 % (Tabel 2, Gambar 1). Kisaran nilai ini masih dalam kisaran nilai isotop karbon ($\delta^{13}\text{C}$) arthropoda yang berada pada kisaran -29,00% dan 4 % (Hernández-Castellano, *et al.*, 2021). Kisaran nilai isotop nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) arthropoda masih berada pada kisaran 1,8 sampai dengan 16,00% (Birkhofer, *et al.*, 2016).

Nilai isotop stabil pada lahan dengan pengelolaan agroekositem dan tanpa pengelolaan memiliki rata-rata isotop karbon dan nitrogen bervariasi (Gambar 2). Baik pada lahan pengelolaan agroekositem dan tanpa pengelolaan, arthropoda berperan sebagai herbivora dan dekomposer memiliki nilai isotop stabil karbon ($\delta^{13}\text{C}$) mendekati nol dan nilai isotop stabil nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) di bawah 10%. Sedangkan arthropoda yang memiliki peranan sebagai musuh alami memiliki nilai isotop stabil karbon ($\delta^{13}\text{C}$) mendekati nol dan nilai isotop stabil nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) di atas 10 %. Perbedaan kisaran nilai isotop karbon dan nitrogen pada arthropoda dipengaruhi beberapa faktor yakni peranan dalam ekosistem, lingkungan, cahaya matahari,



Gambar 2. Nilai rasio isotop stabil $\delta^{13}\text{C}$ dan $\delta^{15}\text{N}$ arthropoda pada ekosistem tebu ratun.

keberadaan sumber makanan, penguapan, kandungan nutrien tanah, tipe penggunaan lahan, dan peran dalam agroekosistem (Susanti, *et al.*, 2021).

Nilai Asimilasi Isotop Stabil Karbon ($\delta^{13}\text{C}$) dan Nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) Arthropoda sebagai Standar Pemantauan Perbaikan Agroekosistem Tanaman Tebu Ratun

Rasio asimilasi karbon ($\delta^{13}\text{C}$) arthropoda terhadap tanaman tebu berkisar antara -1,4 sampai dengan -5,45 %. Sedangkan rasio asimilasi nitrogennya ($\delta^{15}\text{N}$) arthropoda terhadap tanaman tebu berkisar antara 3,86 sampai dengan 39,7%. Penggunaan isotop karbon dan nitrogen digunakan untuk menggambarkan interaksi antar sumber makanan dengan level tritrofik dua serta tiga. Adanya asimilasi antara kedua isotop menyebabkan perubahan nilai isotop karbon dan nitrogen pada arthropoda yang diukur (Schallhart, *et al.*, 2011).

Nilai asimilasi arthropoda pada sumber makanan memperlihatkan hasil yang berbeda tergantung dengan jenis dan peran arthropoda di dalam agroekosistem tebu ratun. Nilai asimilasi ini menunjukkan bahwa asal sumber makanan yang digunakan sebagai sumber energi untuk menunjang kehidupan

arthropoda. Morfospesies yang nilai asimilasinya mendekati produsen adalah Vitronura, *Chilo sacchariphagus*, *Brachystomella*, *Alloscopus*, dan *Parcoblatta* dengan nilai asimilasi berturut turut sebesar 3,86; 4,17; 4,28; 6,72; dan 7,64 %. Sedangkan nilai asimilasi isotop karbon ($\delta^{13}\text{C}$) dan isotop nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) pada lahan pengelolaan agroeksositem berturut turut berkisar antara 0,09-2,35% dan 0,21-12,69% dengan morfospesies yang mendekati produsen adalah *Alloscopus* dan *Vitronura*.

Nilai rasio asimilasi karbon sumber makanan oleh konsumen pada level tritrofik di atasnya berada pada kisaran -2 sampai dengan +2 % (Bouillon, *et al.*, 2008). Untuk rasio asimilasi nitrogen sumber makanan oleh konsumen biasanya pada kisaran kisaran -0,7 sampai dengan +9,2%. Perbedaan asimilasi sumber makanan dipengaruhi oleh morfospesies, kondisi fisik mikrohabitat, kondisi lingkungan, ukuran tubuh, predasi, musim, serta peranan dalam ekosistem (Aya and Kudo, 2010).

Nilai isotop karbon ($\delta^{13}\text{C}$) predator menunjukkan sumber makanan yang biasa dikonsumsi.

Isotop karbon mampu menggambarkan posisi predator dalam agroekosistem dengan melacak aliran nutrisi serta membuat struktur jejaring makanan. Nilai isotop stabil karbon mencerminkan beberapa aspek makanan predator dengan pendekatan sumber energi utama penunjang kehidupannya.

Menurut Prabowo, *et al.*, (2022), isotop stabil $\delta^{13}\text{C}$ dan $\delta^{15}\text{N}$ dapat digunakan untuk mengungkap peranan arthropoda di agroekosistem tebu ratun dengan melihat komposisi nilai kedua isotop. Kandungan isotop ($\delta^{13}\text{C}$) menunjukkan sumber makanan arthropoda di dalam agroekosistem, sedangkan nilai isotop ($\delta^{15}\text{N}$) menunjukkan peranan arthropoda dalam agroekosistem tebu ratun. Nilai isotop stabil karbon predator dan parasitoid mendekati nol. Sedangkan nilai isotop stabil nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) pada arthropoda rata-rata berada di atas 10%. Arthropoda yang memiliki nilai isotop stabil nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) diduga memiliki peranan sebagai predator atau parasitoid.

Pemantauan perbaikan agroekosistem tanaman tebu ratun dapat dilakukan menggunakan perubahan nilai isotop stabil arthropoda. Hal ini sesuai dengan karakteristik arthropoda yang sensitif terhadap perubahan lingkungan sehingga ideal digunakan sebagai indikator perubahan kesehatan agroekosistem. Keragaman dan kelimpahan arthropoda dapat mencerminkan kondisi tanah, penggunaan pestisida, dan mekanisme budi daya yang diterapkan.

Perubahan fluktuatif nilai isotop stabil mengindikasikan pergeseran sumber nutrisi atau struktur rantai makanan di dalam agroekosistem. Hal ini mencerminkan perubahan dalam praktik pertanian, penggunaan pestisida dan pupuk, atau rotasi tanaman yang diterapkan. Pemantauan nilai isotop stabil dapat

Tabel 2. Rata-rata nilai (SD) $\delta^{13}\text{C}$ dan $\delta^{15}\text{N}$ (%) arthropoda pada lahan tebu ratun

Morfospesies/Ordo	$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$	
	Rerata (%)	Kisaran (%)	Rerata (%)	Kisaran (%)
Brachystomella	-11,53	-11,97 s/d -12,35	6,35	5,88 s/d 6,48
Vitronura	-11,92	-11,4 s/d -11,6	5,95	5,78 s/d 6,56
Alloscopus	-10,59	-11,87 s/d -11,99	7,22	5,78 s/d 8,86
Trombidium	-10,79	-10,11 s/d -11,44	8,99	9,2 s/d 9,2
Hypoaspis	-11,59	-10,2 s/d -11,87	8,91	7,64 s/d 9,14
Parcoblatta	-11,51	-11,55 s/d -11,66	7,33	6,89 s/d 7,77
Aleurolobus	-11,45	-11,21 s/d -11,8	10,02	9,54 s/d 10,5
Lepidiota	-11,51	-11,21 s/d -11,66	9,75	9,38 s/d 10,12
Pericalus	-10,68	-9,96 s/d -11,21	13,36	11,52 s/d 15,2
<i>Chilo sacchariphagus</i>	-11,87	-11,3 s/d -12,66	6,16	5,77 s/d 6,55
<i>Scirphophaga excerptalis</i>	-11,40	-11,02 s/d -11,66	7,79	7,12 s/d 8,19
Exygnus	-11,62	-11,34 s/d -11,9	11,27	10,9 s/d 11,44
Aulacaspis	-11,81	-11,58 s/d -11,97	10,34	10,24 s/d 10,34
Saccharicoccus	-11,29	-11,1 s/d -11,58	10,10	9,56 s/d 10,1
Oligonychus	-11,72	-11,3 s/d -11,97	10,20	9,99 s/d 10,5
Ceratovacuna	-11,61	-11,33 s/d -11,84	9,82	9,54 s/d 10,32
Phyllophaga	-11,00	-11,21 s/d -11,43	9,06	8,11 s/d 9,3
Lycosa	-11,34	-10,96 s/d -11,78	17,06	16,11 s/d 18,02
Tetragnatha	-10,14	-10,09 s/d -10,23	18,43	16,97 s/d 19,89
Dolichoderus	-11,32	-11,06 s/d -11,67	9,71	8,09 s/d 10,31
Componothus	-11,62	-11,32 s/d -12,22	10,68	10,22 s/d 11,04
Oecophylla	-11,04	-10,79 s/d -11,23	12,28	9,68 s/d 16,04
Anax	-10,89	-10,52 s/d -11,11	15,65	15,09 s/d 16,14
Scolia	-10,66	-9,66 s/d -11,66	16,39	15,24 s/d 16,2
Telenomus	-10,50	-10,1 s/d -11,2	13,29	10,22 s/d 18,64
Isotima	-10,50	-10,3 s/d -10,9	14,55	13,24 s/d 15,22
Chalybion	-11,06	-10,9 s/d -11,37	13,16	10,22 s/d 14,1
Trichogramma	-10,46	-10,22 s/d -10,37	15,32	15,09 s/d 15,55
Cotesia	-11,00	-10,44 s/d -11,69	16,52	16,02 s/d 18,11

digunakan sebagai standar perbaikan yang menggambarkan bagaimana praktik manajemen pengelolaan dapat memengaruhi agroekosistem serta menginformasikan strategi selanjutnya yang bisa diambil untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan agroekosistem tebu ratun.

PENUTUP

Pemantauan indikator perbaikan agroekosistem dapat melalui pemantauan nilai isotop stabil arthropoda pada tanaman tebu ratun sebagai upaya awal untuk

evaluasi perbaikan agroekosistem tebu ratun. Nilai isotop stabil arthropoda yang berperan sebagai herbivora dan dekomposer pada lahan pengelolaan agroeksositem dan tanpa pengelolaan memiliki nilai isotop stabil karbon ($\delta^{13}\text{C}$) mendekati nol dan nilai isotop stabil nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) di bawah 10 %. Sedangkan arthropoda yang berperan sebagai musuh alami memiliki nilai isotop stabil karbon ($\delta^{13}\text{C}$) mendekati nol dan nilai isotop stabil nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) di atas 10 %.

Pemantauan nilai isotop stabil arthropoda pada tanaman tebu ratun merupakan upaya awal yang efektif untuk mengevaluasi

perbaikan agroekosistem tebu ratun. Isotop stabil karbon ($\delta^{13}\text{C}$) dan nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) digunakan untuk mengungkap peranan arthropoda dalam agroekosistem ini. Nilai $\delta^{13}\text{C}$ menunjukkan sumber makanan arthropoda, sementara nilai $\delta^{15}\text{N}$ mengindikasikan perannya dalam ekosistem. Arthropoda herbivora dan dekomposer umumnya memiliki nilai $\delta^{13}\text{C}$ mendekati nol dan $\delta^{15}\text{N}$ di bawah 10%, sedangkan musuh alami seperti predator dan parasitoid memiliki nilai $\delta^{13}\text{C}$ mendekati nol dan $\delta^{15}\text{N}$ di atas 10%.

Pemantauan isotop stabil karbon ($\delta^{13}\text{C}$) dan nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) memberikan gambaran

komprehensif tentang struktur dan fungsi agroekosistem tebu ratun. Dengan menganalisis komposisi nilai kedua isotop, *stakeholder* tanaman tebu ratun dapat menilai kesehatan ekosistem secara keseluruhan, mengidentifikasi perubahan dalam rantai makanan, dan mengevaluasi efektivitas praktik pengelolaan yang diterapkan. Informasi ini sangat berharga untuk pengambilan keputusan terkait praktik pertanian yang lebih berkelanjutan, strategi pemupukan, pengendalian hama, dan konservasi tanah. Pemantauan isotop stabil arthropoda menjadi penting dalam upaya meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan agroekosistem tebu ratun.

DAFTAR PUSTAKA

- Altieri, M. A., 2004. Linking Ecologists and Traditional Farmers in the Search for Sustainable Agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2: 35–42.
- Aya, F. A., Kudo, I., 2010. Isotopic Shifts with Size, Culture Habitat, and Enrichment Between the Diet and Tissues of the Japanese Scallop *Mizuhopecten Yessoensis* (Jay, 1857). *Marine Biology*, 157(10):2157–2167. <https://doi.org/10.1007/s00227-010-1480-y>.
- Bouillon, S., Connolly, R. M., Lee, S. Y., 2008. Organic Matter Exchange and Cycling in Mangrove Ecosystems: Recent Insights from Stable Isotope Studies, *Journal of Sea Research*. 59 (1-2): 44-58. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2007.05.001>
- BPS, 2020. Statistik Tebu Indonesia. BPS, Jakarta. <https://www.bps.go.id/>.
- Birkhofer, K., Dietrich, C., John K., Schorpp, Q., Zaitsev, A.S., Wolters V., 2016. Regional Conditions and Land-Use Alter the Potential Contribution of Soil Arthropods to Ecosystem Services in Grasslands, *Frontiers in Ecology and Evolution*. 3 (JAN). <https://doi.org/10.3389/fevo.2015.00150>.
- Ditjenbun, 2020. Statistik Perkebunan Unggulan Nasional Tahun 2019-2021. Direktorat Jenderal Perkebunan. Jakarta.
- Duarte, C. M., Delgado-Huertas, A., Anton, A., Carrillo-de-Albornoz, P., López-Sandoval, D. C., Agustí, S., Almahasheer, H., Marbá, N., Hendriks, I.E., Krause-Jensen, D., Garcias-Bonet, N., 2018. Stable Isotope (δ 13C, δ 15N, δ 18O, δ D) Composition and Nutrient Concentration of Red Sea Primary Producers. *Frontier Marine Science*, 5: 298.
- Grice, A. M., Loneragan, N. R., Dennison, W. C., 1996. Light intensity and the Interactions Between Physiology, Morphology and Stable Isotope Ratios in Five Species of Seagrass. *Journal of Experimental Marine Biology Ecology*, 195: 91-110.
- Ferger, S. W., Böhning-Gaese, K., Wilcke, W., Oelmann, Y., Schleuning, M., 2013. Distinct Carbon Sources Indicate Strong Differentiation between Tropical Forest and Farmland Bird Communities. *Oecologia*, 171 (2): 473–486. <https://doi.org/10.1007/s00442-012-2422-9>.
- Hemminga, M. A., Mateo, M. A., 1996. Stable Carbon Isotopes in Seagrasses: Variability in Ratios and Use in Ecological Studies. *Marine Ecology Progress Series*, 140: 285–298.
- Hernández-Castellano, C., Piñol, J., Espadaler, X., 2021. Distinct Macroinvertebrate Soil Food Webs at One-Meter Scale in A Mediterranean Agroecosystem. *Pedobiologia*-*Journal of Soil and Ecology*, 87-88: 150751. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2021.150751>.
- Hood-Nowotny, R., Knols, B. G. J., 2007. Stable Isotope Methods in Biological and Ecological Studies of Arthropods. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 124 (1): 3-16. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2007.00572.x>.
- Prabowo, H., Rahardjo, B. T., Mudjiono, G., Rizali, A., 2021. Impact of Habitat Manipulation on the Diversity and Abundance of Beneficial and Pest Arthropods in Sugarcane Ratoon. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 22 (9). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220948>.
- Prabowo, H., Rahardjo, B. T., Mudjiono, G., Rizali, A., 2022. Stable Isotope Analysis to Assess the Trophic Level of Arthropod in Sugarcane Ratoon Agroecosystem. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23 (6).
- Schallhart, N., Tusche, M. J., Staudacher, K. Wallinger, C., Traugott M., 2011. Stable Isotope Analysis Reveals Whether Soil-Living Elaterid Larvae Move between Agricultural Crops. *Soil Biol. Biochem*, 43: 1612–1614.
- Susanti, W. I., Widayastuti, R., Scheu, S., Potapov, A., 2021. Trophic Niche Differentiation and Utilisation of Food Resources in Collembola is Altered by Rainforest Conversion to Plantation Systems. *PeerJ*, 9: e10971. <https://doi.org/10.7717/peerj.10971>.
- Symes, C., Loubser, E., Woodborne, S., 2017. Stable Isotope (δ 13c) Profiling of Xylitol and Sugar in South Africa. *South African Journal of Science*, 113 (5–6). <https://doi.org/10.17159/sajs.2017/20160276>.