

Efek Peningkatan Kadar CO₂ Atmosfir terhadap Interaksi Serangga - Tumbuhan dan Implikasinya dalam Pengendalian Hama

Shahabuddin ¹⁾, Yaherwandi ¹⁾, Roni Koneri ²⁾, Syafrida Manuwoto ³⁾

¹⁾ Mahasiswa Program Doktor Entomologi Pertanian Sekolah Pascasarjana IPB

²⁾ Mahasiswa Program Doktor Biologi Sekolah Pascasarjana IPB

³⁾ Gurubesar pada Departemen Hama dan Penyakit Tumbuhan IPB

Abstrak

Peningkatan kadar CO₂ di atmosfer pada saat ini dan dimasa datang yang diakibatkan oleh berbagai aktifitas manusia mempengaruhi berbagai bidang kehidupan, tidak terkecuali terhadap interaksi serangga-tumbuhan. Selain mempengaruhi fenotip dan kualitas nutrisi tumbuhan, peningkatan kadar CO₂ juga berpengaruh langsung terhadap serangga serta interaksinya dengan tumbuhan dan musuh alaminya. Efek peningkatan CO₂ atmosfer akan semakin kompleks jika terjadi interaksi dengan faktor lingkungan lainnya seperti peningkatan kadar nitrogen dan peningkatan suhu atmosfer. Analisis terhadap berbagai literatur yang tersedia menunjukkan bahwa meskipun efek peningkatan CO₂ di atmosfer bersifat spesifik spesies dan spesifik sistem interaksi serangga-tumbuhan namun secara umum hal ini berpotensi untuk meningkatkan serangan serangga hama dan mempengaruhi musuh alaminya. Pemahaman efek peningkatan kadar CO₂ atau atmosfer diperlukan secara menyeluruh untuk dapat dipilih strategi pengendalian hama yang tepat. Peningkatan CO₂ juga merupakan isu ekologis yang mempunyai dampak terhadap berbagai bidang kehidupan manusia, maka diperlukan sikap proaktif, komunikasi dan kerjasama dengan berbagai pihak untuk mengatasinya.

Kata kunci: Peningkatan CO₂, herbivori, interaksi serangga - tumbuhan, pengendalian hama

Pendahuluan

Sejak revolusi industri, jumlah CO₂ di atmosfer dan di laut meningkat lebih dari 30%, dari sekitar 275 part per million (ppm) pada awal tahun 1700 menjadi 365 ppm pada saat ini dan diprediksi bisa mencapai 450-600 ppm pada tahun 2100 (Pidwirny, 2004). Selanjutnya dikemukakan bahwa sumber utama gas CO₂ di atmosfer bumi berkaitan dengan aktifitas manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil dan

perubahan penutupan lahan alami pada padang rumput, hutan kayu, dan ekosistem hutan.

Di Indonesia, jumlah emisi CO₂ terbesar disebabkan oleh deforestasi dan konversi lahan (74%), diikuti konsumsi energi (23%) dan proses industri (3%). Pada tahun 1994 emisi total CO₂ adalah 748,607 sedangkan penyerapan CO₂ oleh hutan kurang lebih 364,726 Gg. Dengan demikian tingkat emisi CO₂ di Indonesia sudah lebih tinggi dari tingkat penyerapannya sehingga Indonesia sudah menjadi net emitter, sekitar 383,881 Gg sejak tahun 1994. Hasil perhitungan sebelumnya, pada tahun 1990, Indonesia masih sebagai net sink atau tingkat penyerapan lebih tinggi dari tingkat emisi (Sugandy *et al.*, 1999). Berapapun kecilnya Indonesia sudah memberikan kontribusinya bagi meningkatnya konsentrasi gas-gas rumah kaca secara global di atmosfer.

Pada periode yang pendek antara 100-1000 tahun, peningkatan CO₂ di atmosfer dapat mempengaruhi berbagai atribut abiotik di bumi seperti : (1) temperatur (suhu rata-rata lebih tinggi yang dapat mempercepat efek rumah kaca); (2) pola curah hujan; (3) kadar keasaman curah hujan; (4) tingkat permukaan samudera (permukaan laut lebih tinggi akan menggenangi area yang rendah); dan (5) daerah iklim (pergeseran zona yang akan mendorong kearah perubahan komposisi ekosistem dan distribusi tanaman dan hewan). Peningkatan CO₂ juga diramalkan dapat menyebabkan perubahan pada pengembalian material organik dan mengurangi kelembaban tanah. Perubahan seperti ini akan mempengaruhi biodiversitas melalui perubahan laju fotosintesis, komposisi jenis tanaman, dan kemampuan kompetisi tanaman (Coviella & Trumble, 1999).

Semua efek akibat peningkatan CO₂ dan interaksinya dengan faktor lingkungan lainnya akan dapat mengubah interaksi antara herbivora dengan tanaman (Lambert *et al.* 1986; Schoonhoven *et al.* 1998; Speight *et al.* 1999). Peningkatan kadar CO₂ pada awalnya berpengaruh terhadap tanaman, dampak berikutnya pada serangga herbivora dan efek kumulatif terjadi pada serangga parasitoid dan predatonya.

Pengaruh Terhadap Tumbuhan

Karbon merupakan komponen utama dalam fotosintesis. Peningkatan kadar CO₂ atmosfer akan mempengaruhi proses fotosintesis dan fenotip tumbuhan. Sebagai contoh, peningkatan CO₂ menyebabkan terjadinya peningkatan laju fotosintesis (Hinkle *et al.*, 1997), peningkatan laju pertumbuhan dan peningkatan biomassa tumbuhan (Leadley *et al.*, 1999; Owensby *et al.*, 1999; Stacey *et al.*, 2002). Peningkatan biomassa tumbuhan pada kondisi peningkatan CO₂ dapat menurunkan sekitar 15-20% kadar nitrogen pada jaringan tumbuhan sehingga meningkatkan nisbah C:N serta mengalokasikan karbon untuk sintesis pembentukan senyawa metabolit sekunder (Lindroth *et al.*, 1998 dalam Schoonhoven *et al.*, 1998; Wisley, 1996; Agrell *et al.*, 2000; Stacey *et al.*, 2002).

Peningkatan nisbah C:N pada jaringan tumbuhan, maka akan terjadi penurunan efikasi pertahanan tumbuhan yang berdasarkan pada kandungan nitrogen. Coviella *et al.* (2000), melaporkan bahwa tanaman kapas transgenik yang ditanam pada kadar CO₂ yang tinggi mengalami penurunan konsentrasi toksin protein Bt. Peningkatan konsumsi oleh larva *Spodoptera* sebagai kompensasi tingginya nisbah C:N meningkatkan pemaparan Bt terhadap serangga dan menyebabkan kematian yang lebih tinggi. Tetapi masih terlalu dini untuk menyimpulkan bahwa penggunaan tanaman transgenik Bt akan lebih bisa diterima pada kondisi peningkatan CO₂.

Respon tumbuhan terhadap peningkatan kadar CO₂ berbeda. Johns *et al.* (2003) melaporkan bahwa dalam eksperimen jangka-panjang konsumsi daun oleh imago serangga mobil seperti *Octotoma championi* dan *O. scabripennis* pada tumbuhan *Lantana camara* tidak meningkat secara signifikan. Hamilton *et al.* (2004) juga melaporkan bahwa tidak ada pengaruh peningkatan CO₂ pada tiga jenis tumbuhan pada kondisi lapangan (ekosistem hutan). Pada penenelitian sebelumnya Hamilton *et al.* (2001) juga melaporkan fenomena yang tidak mendukung *hipotesis keseimbangan karbon-nutrien* mengenai peningkatan metabolit sekunder pada kondisi peningkatan CO₂. Kandungan glikosida tanaman *Plantago lanceolata* juga dilaporkan tidak terpengaruh oleh peningkatan kadar CO₂ (Fajer *et al.* 1989, dalam Hunter, 2001).

Hal lain adalah adanya perbedaan respons terhadap kenaikan kadar CO₂ antara tanaman yang menggunakan siklus Calvin untuk fiksasi CO₂ dalam fotosintesis (tanaman C3) dan tanaman dengan jalur Hatch-Slack untuk fotosintesis (tanaman C4). Hasil survey dari 770 percobaan, menunjukkan terjadi peningkatan hasil masing-masing 14% dan 34% untuk tanaman C4 dan C3, yang tumbuh dalam kondisi CO₂ meningkat di atmosfer (Stoockle *et al.*, 1992 dalam Coviella and Trumble, 1999). Akibatnya terjadi perbedaan respons dari tanaman C3 dan C4. Tanaman C3 dipengaruhi secara positif oleh peningkatan CO₂ dan dipengaruhi secara negatif oleh respon serangga, sedangkan tanaman C4 kurang terpengaruh oleh kadar CO₂ yang tinggi sehingga akan kurang dipengaruhi oleh perubahan perilaku makan serangga (Lincoln *et al.*, 1984 dalam Coviella and Trumble, 1999).

Pengaruh Terhadap Serangga Herbivora

Efek lanjut dari rendahnya nisbah C:N adalah terjadinya peningkatan kerusakan daun tumbuhan (defoliiasi) akibat meningkatnya konsumsi daun oleh serangga herbivor (Lincoln *et al.* 1986; William *et al.*, 1997). Serangga penggigit-pengunyah dan larva Lepidoptera umumnya mengkonsumsi daun lebih banyak pada tanaman yang tumbuh dalam lingkungan yang kadar CO₂ nya tinggi (Hunter, 2001). Demikian juga dengan terjadinya peningkatan luas kerusakan daun oleh penggrogok daun (leaf-mining insects) (Stiling *et al.*, 2003). Namun perlu dikemukakan bahwa meningkatnya laju konsumsi

daun perkapita oleh serangga pada kondisi CO₂ yang tinggi tidak selalu berarti bahwa kerusakan pada tanaman lebih tinggi secara keseluruhan. Hal ini diakibatkan oleh terjadinya peningkatan biomassa tumbuhan pada kondisi peningkatan CO₂, sehingga secara keseluruhan mampu mengkompensasi peningkatan defoliasi (Caulfield & Bunce, 1994; Stacey *et al.*, 2002).

Meskipun serangga herbivora mengalami peningkatan konsumsi jaringan tumbuhan, namun dengan kualitas nutrisi yang rendah menyebabkan terjadinya peningkatan mortalitas serangga. Hal ini misalnya terjadi pada kupu-kupu buckeye (*Junonia coenia*) yang memakan pada tumbuhan *Plantago lanceolata* (Fajer *et al.*, 1991 dalam Hunter, 2001). Hal yang sama juga terjadi pada tiga jenis leafminer (*Stigmella*, *Cameraria* dan *Stilbosis*) (Stiling *et al.*, 1999). Meskipun demikian, beberapa jenis serangga dapat mengkompensasi dengan baik penurunan kualitas nutrisi daun. Larva sawfly dapat meningkatkan efisiensi penggunaan nitrogen sebagai respons terhadap penurunan kadar CO₂ tanaman loblolly pine akibat peningkatan CO₂ (Williams *et al.*, 1994). Selain itu beberapa jenis serangga mampu meningkatkan sintesis enzim detoksifikasi yang distimulasi oleh peningkatan kadar metabolit sekunder pada daun (Lindroth *et al.*, 1993).

Terlepas dari kemampuan beberapa jenis serangga mengkompensasi efek peningkatan CO₂, penurunan laju pertumbuhan atau peningkatan konsumsi daun oleh serangga herbivora akan menyebabkan peningkatan mortalitas serangga pada tingkat populasi. Hal ini terjadi karena penurunan waktu perkembangan serangga meningkatkan peluang mereka untuk ditemukan oleh serangga predator atau parasitoid atau lebih lama terekspose pada faktor lingkungan yang bisa mematikan. Selain itu peningkatan konsumsi daun akibat rendahnya kualitas nutrisi daun meningkatkan peluang untuk menelan bakteri atau virus patogen yang dapat menurunkan fekunditas atau mematikannya (Stiling *et al.*, 1999; Coviella and Trumble, 1999).

Sebaliknya, kepadatan populasi nampaknya juga mempengaruhi respons serangga terhadap peningkatan CO₂. Meskipun fekunditas individual Aphids generalis *Myzus persicae* dan yang spesialis *Brevicoryne brassicae* meningkat jika dipelihara pada tumbuhan yang ditumbuhkan pada kadar CO₂ tinggi tetapi hal ini tidak terjadi jika Aphids tersebut dipelihara dalam koloni. Hal ini mengindikasikan bahwa perubahan perubahan kualitas tumbuhan akan mempengaruhi interaksi intraspecies Aphid. Selain itu karena terjadi perbedaan nisbah *M. persicae* dan *B. brassicae* pada tumbuhan dalam kondisi peningkatan CO₂ juga menunjukkan adanya pengaruh peningkatan CO₂ terhadap hasil kompetisi diantara serangga herbivor (Stacey *et al.*, 2002).

Adapun pengaruh peningkatan CO₂ atmosfer terhadap komunitas serangga tanah belum banyak dilaporkan namun diyakini mereka juga akan terpengaruh baik secara langsung akibat pemanasan tanah maupun secara tidak langsung melalui konsumsi serasah yang kadar nitrogennya relatif rendah. Coûteaux and Bolger (2000) misalnya telah menulis review tentang hal ini.

Variasi Respons Serangga

Peningkatan CO₂ tidak selamanya berefek negatif terhadap serangga sebagai respons atas perubahan fenotip tumbuhan. Paling tidak kinerja beberapa serangga penghisap cairan floem meningkat ketika memakan tanaman yang tumbuh pada kadar CO₂ tinggi (Bezemer and Jones, 1998). Sementara itu klon yang sama dari Aphid *Aulacorthum solani* memberikan respons yang berbeda terhadap peningkatan CO₂ pada dua tanaman yang berbeda. Pada tanaman kacang, rata-rata produksi nimpha Aphid meningkat 16 %, sedangkan laju perkembangannya tidak terpengaruh. Sebaliknya laju perkembangan Aphid pada tanaman Tansy lebih cepat dan laju reproduksinya tidak berubah. Namun demikian secara umum kedua klon Aphid tersebut merespons secara positif pada kondisi CO₂ yang meningkat (Awmack *et al.*, 1997).

Selain itu efek CO₂ dapat berbeda pada setiap musim mengikuti umur daun dan serangganya. Umumnya nisbah C:N meningkat mengikuti umur daun dan efek negatif peningkatan CO₂ lebih nyata pada larva instar awal yang memakan daun muda. Larva yang lebih tua lebih mampu mengkompensasi kualitas daun dibandingkan dengan yang muda (Williams *et al.*, 1998 dalam Hunter, 1999). Jadi nampak bahwa efek peningkatan CO₂ terhadap serangga herbivora tergantung pada jenis tumbuhan dan jenis serangga uji.

Pengaruh Langsung Terhadap Serangga

Tidak satupun dari studi yang telah diuji yang menyatakan bahwa peningkatan CO₂ pada tingkat 700 sampai 1100 ppm, mempunyai efek langsung pada pertumbuhan dan perkembangan serangga, jika efek melalui tanaman inang dikesampingkan. Bagaimanapun kemampuan untuk menemukan tanaman inang pada beberapa herbivora dapat terpengaruh. Beberapa serangga menggunakan konsentrasi CO₂ dalam hitungan menit untuk menemukan inang. Palpus labial *Helicoverpa armigera* (Hubner) misalnya bisa mendeteksi fluktuasi kepadatan CO₂ yang sangat kecil yaitu 0.14% atau 0.5 ppm. *Diabrotica virgifera virgifera* menggunakan konsentrasi CO₂ dalam tanah untuk menemukan dan menyerang akar jagung (Bjostad 1998; Stange, 1992, dalam Coveila *et al.*, 2001). Seberapa besar penemuan tanaman inang mungkin dipengaruhi oleh perubahan CO₂ di atmosfer, dan bagaimana kesiapan serangga beradaptasi terhadap perubahan ini, masih memerlukan kajian lebih lanjut. Bagaimanapun gas CO₂ telah lama digunakan dalam pengendalian hama gudang.

Pengaruh Terhadap Musuh Alami

Perubahan kinerja serangga herbivora akibat peningkatan CO₂ pada gilirannya akan mempengaruhi juga tingkat trofik yang lebih tinggi yaitu serangga predator dan parasitoid yang menjadi musuh alami mereka. Greenblatt *et al.* 1982 dalam Coviella and Trumble, 1999 misalnya melaporkan bahwa variasi berat parasitoid *Brachymeria intermedia* (Ness) (Hymenoptera: Chalcididae) dan *Coccigomimus turionellae* (L.) (Hymenoptera: Ichneumonidae) akibat perbedaan kualitas pakan (diet) berpengaruh terhadap kinerja parasitoid mereka. Dapat dipastikan bahwa perbedaan diet yang memperpanjang waktu perkembangan, meningkatkan laju konsumsi dan menurunkan laju pertumbuhan akan meningkatkan kerentanan terhadap musuh alami (Roth & Lindroth, 1995). Sebaliknya kualitas nutrisi yang rendah dari inang justru dapat menurunkan kebugaran parasitoid (Barbosa *et al.*, 1982 dalam and Trumble, 1999).

Perilaku oviposisi *Trichogramma* juga peka terhadap variasi kualitas inang. Produksi asam amino pada inang sangat tergantung pada ketersediaan nitrogen dan kehadiran asam amino spesifik pada inang merupakan suatu stimulan oviposisi. Inang pada tingkat asam amino yang rendah dapat ditolak atau akan merangsang reduksi laju oviposisi (Barrett and Schmidt, 1991 dalam and Trumble, 1999). Pada sisi lain, respons terhadap alarm feromon pada beberapa aphid mengalami penurunan pada kondisi peningkatan CO₂ (Awmack *et al.*, 1997) dan dapat menyebabkan mereka lebih peka terhadap serangan musuh alami.

Sementara itu, tingkat serangan musuh alami tergantung pada tingkat kemudahan dalam menemukan inangnya. Perubahan dalam metabolisme sekunder tanaman akibat peningkatan CO₂ akan mempengaruhi pemanfaatan sinyal semiochemical seperti *sinomone* atau *kairomone* oleh musuh alami, dengan demikian akan mengganggu atau mempengaruhi kemampuan musuh alami untuk menemukan inangnya. Jadi, sukses reproduktif parasitoid dan efektivitasnya sebagai agen pengendali hayati dapat terpengaruh (Hare and Luck, 1994 dalam Coviella and Trumble, 1999).

Prediksi peningkatan efektifitas musuh alami pada kondisi peningkatan CO₂ banyak didukung oleh studi eksperimental. Stiling *et al.* (1999, 2003) misalnya melaporkan peningkatan tingkat parasitisasi leaf miner pada tumbuhan yang tumbuh pada kadar CO₂ yang tinggi dimana lebih dari 50 % kematian larva lebih disebabkan oleh pengaruh parasitoid. Sementara itu populasi predator dan parasitoid juga dilaporkan cukup menekan populasi Aphid pada kondisi peningkatan CO₂ dan O₃ walaupun kedua faktor ini tidak mempengaruhi waktu terjadinya kelimpahan tertinggi Aphid dan musuh alaminya (Awmack *et al.*, 2004).

Meskipun demikian studi lain melaporkan bahwa tingkat parasitisasi *Cotesia melanosca* pada larva ngengat gypsi pada kadar CO₂ yang tinggi tidak berbeda dengan pada kadar CO₂ normal ($\pm 350 \mu\text{L/L}$) (Rooth & Lindroth, 1995). Stacey *et al.* (2002)

juga melaporkan bahwa serangga herbivora (Aphid) tidak terpengaruh oleh perubahan kualitas tumbuhan pada kondisi peningkatan CO₂ yang diindikasikan oleh tidak adanya perubahan jumlah Aphid yang dikonsumsi oleh *H. convergens* (Coccinellidae) dan yang diparasit oleh *Diaeretiella rapae*. Bahkan studi terbaru oleh Hamilton *et al.*, (2004) melaporkan hal yang sebaliknya.

Adapun pengaruh peningkatan CO₂ terhadap interaksi serangga-patogen belum banyak dilaporkan. Tetapi paling tidak dilaporkan bahwa kerentanan larva ngengat Gypsi terhadap virus NVP tidak terpengaruh oleh perubahan kandungan senyawa fenol daun yang dimediasi oleh peningkatan CO₂ (Lindroth *et al.*, 1997 dalam Hunter, 2001).

Kompleksitas Ekologis dan Efek Interaksi

Studi tentang efek peningkatan CO₂ terhadap tumbuhan dan serangga herbivor lebih banyak dihasilkan dari penelitian skala laboratorium dimana tidak ada faktor pembatas bagi tumbuhan seperti ketersediaan nutrien dan cahaya, interaksi biotik yang terbatas, pilihan makanan bagi serangga terbatas dan fluktuasi lingkungan yang tidak menentu dihilangkan. Jadi mereka bebas dari kompleksitas ekologis. Pada kenyataannya efek peningkatan CO₂ terhadap fenotip tumbuhan dan respons serangga, dimediasi oleh ketersediaan sumberdaya bagi tumbuhan seperti air, cahaya, nutrient serta dimodifikasi oleh iklim dan variabilitas biotik.

Studi McDonald *et al.* (1999) melaporkan bahwa terjadi penurunan kinerja yang drastis (penurunan daya bertahan hidup 62 %, penurunan laju pertumbuhan dan berat pupa) pada serangga ngengat tussock (*Orgyia leucostigma*) yang diberi daun tanaman Aspen (*Populus tremuloides*) yang tumbuh pada kondisi intensitas cahaya dan kadar CO₂ yang tinggi. Kedua faktor ini nampaknya memicu peningkatan glikosida phenol. Hal yang sama dilaporkan oleh Agrell *et al.* (2000) bahwa tingkat perubahan fenotip tumbuhan pada kondisi peningkatan CO₂ dan efeknya terhadap serangga tergantung pada ketersediaan cahaya.

Adapun efek interaksi antara peningkatan CO₂ dan nitrogen terhadap populasi Aphids pada beberapa jenis tumbuhan telah dilaporkan oleh banyak peneliti. Dari 39 studi yang telah dilakukan secara independen, 9 studi melaporkan peningkatan populasi secara signifikan, 5 studi yang melaporkan hasil yang sebaliknya dan 25 studi yang melaporkan tidak ada efek yang signifikan terhadap populasi Aphid (Newman, *et al.*, 2003). Selanjutnya diprediksi bahwa pada tanah yang kaya nitrogen, jenis yang kebutuhan nitrogennya lebih rendah dan kurang peka pada kepadatan populasi akan menghasilkan populasi yang lebih besar.

Faktor lingkungan lainnya yang berinteraksi dengan peningkatan kadar CO₂ adalah peningkatan suhu udara. Dari studi yang telah ada kecenderungan bahwa

gabungan penurunan kualitas nutrisi akibat peningkatan CO₂ dan peningkatan suhu yang menyebabkan pemanasan global dapat mereduksi secara signifikan kualitas tumbuhan bagi serangga herbivor. Namun demikian adanya interaksi yang kompleks antara suhu, kualitas tumbuhan dan kinerja serangga membuat prediksi terhadap masalah hama pada masa yang akan datang menjadi semakin sulit (Hunter, 1999). Misalnya, interaksi antara suhu yang tinggi dengan peningkatan CO₂ atmosfer tidak menyebabkan penurunan laju pertumbuhan serangga (Fajer *et al.*, 1991 *dalam* Hunter, 2001).

Studi terbaru tentang efek interaksi antara peningkatan CO₂ dan temperatur terhadap interaksi tritrofik rerumputan, Aphid dan parasitoidnya melaporkan bahwa meskipun populasi parasitoid berpengaruh terhadap dinamika populasi Aphid, namun pengaruhnya tidak sangat signifikan (Hoover and Newman, 2004). Hasil yang mirip juga dilaporkan oleh Aumack *et al.* (2004) bahwa kinerja Aphid secara individual tidak dapat memprediksi respons populasi Aphid terhadap peningkatan CO₂ atau O₃, karena fekunditas individual tidak dapat memprediksi laju pertumbuhan populasi yang sangat mungkin disebabkan oleh perubahan dalam kemampuan kompetisi intraspecies.

Dalam jangka panjang, karena waktu generasi yang pendek dan potensi turnover genetik yang cepat pada banyak spesies serangga, maka peningkatan CO₂ dalam jangka panjang, akan menjadi pendorong proses evolusi yang kuat yang mempengaruhi evolusi serangga herbivora dan musuh alaminya. Berdasarkan teori *koevolusi komunitas* (Schonhoven *et al.*, 1998), serangga herbivora diduga akan semakin mengembangkan kemampuan untuk mengkompensasi efek tidak langsung peningkatan CO₂ seperti dengan meningkatkan efisiensi pemanfaatan nutrisi yang kurang berkualitas, atau memperpendek masa perkembangannya. Sebaliknya musuh alami pun akan melakukan adaptasi sebagai respons terhadap perubahan kinerja inangnya.

Apa yang Dapat Kita Lakukan ?

Melihat fenomena semakin meningkatnya emisi CO₂ didunia dan di Indonesia serta potensi dampak yang ditimbulkannya, maka diperlukan kepedulian kita terhadap issue ini. Diperlukan kepedulian terhadap fenomena penebangan dan pembakaran hutan serta sumber emisi CO₂ lainnya dari berbagai jenis industri. Hal ini dapat dimulai dari diskusi akademik intern yang kemudian diperluas dengan melibatkan para ekolog, pemerhati lingkungan dan instansi terkait lainnya sehingga diperoleh informasi menyeluruh dan solusi terbaik yang dapat dilakukan.

Kita mendukung sepenuhnya pemerintah Indonesia yang secara resmi sudah meratifikasi Protokol Kyoto sebagai upaya untuk mengurangi gas CO₂ dan gas rumah kaca lainnya. Demikian juga pelestarian hutan sebagai bagian dari *clean development*

mechanism (CDM). Selanjutnya diperlukan kerjasama dengan berbagai pihak untuk ikut memantau sejauh mana keseriusan pemerintah dalam menerapkan protokol Kyoto.

Kesimpulan

Dari berbagai hasil studi tentang efek peningkatan CO₂ atmosfer terhadap interaksi serangga-tumbuhan dapat disimpulkan beberapa hal berikut :

1. Ada kecenderungan penurunan konsentrasi nitrogen, peningkatan karbohidrat dan metabolit sekunder fenol pada jaringan tumbuhan pada banyak studi di tingkat individu
2. Ada variasi respons diantara serangga herbivora :
 - Kelompok pengigit-pengunyah (*leaf-chewing insects*) cenderung untuk meningkatkan konsumsi daun sebagai kompensasi terhadap rendahnya kualitas nutrisi dan masih bisa mempertahankan berat pupanya.
 - Kelompok serangga pengorok daun (*leaf mining insects*) hanya dapat mengkompensasi secara tidak penuh dengan meningkatkan konsumsi daun tetapi tetap mengalami penurunan berat pupa.
 - Kelompok serangga pengisap cairan tanaman (*phloem-feeding dan whole-cell-feeding insects*) merespons secara positif peningkatan CO₂ atmosfer, dengan meningkatnya kepadatan populasi dan menurunkan waktu perkembangan.
3. Serangga herbivor cenderung lebih rentan terhadap predasi dan parasitisasi baik karena lebih panjangnya masa perkembangan larva maupun karena rendahnya kualitas nutrisi serangga herbivor.

Studi pada tingkat populasi dan komunitas tentang efek peningkatan CO₂ terhadap herbivori (Bezemer *et al.*, 1999; Hamilton *et al.*, 2001, 2004; Awmack *et al.*, 2004) memperlihatkan hasil yang tidak mendukung sepenuhnya studi pada tingkat individual (Stiling *et al.*, 1999, 2003). Selain itu dimasa yang akan datang efek peningkatan CO₂ atmosfer terhadap interaksi serangga tumbuhan semakin kompleks karena adanya efek interaksi dengan perubahan kondisi faktor lingkungan lainnya seperti peningkatan suhu bumi, peningkatan deposit nitrogen dan ketersediaan air. Semua ini tentunya semakin membuat kita untuk lebih sulit dalam memprediksi bagaimana prospek pengendalian hama dengan menggunakan musuh alami dimasa yang akan datang.

Daftar Pustaka

- Agrell, J., McDonald, E.P. & Lindroth, R.L. 2000. Effects of CO₂ and light on tree phytochemistry and insect performance. *Oikos*, 88: 259-272.

- Awmack, C.S., Harrington, R. and Leather, S.R. 1997. Host plant effects on the performance of the aphid *Aulacorthum solani* (Kalt.) (Homoptera: Aphididae) at ambient and elevated CO₂. (Abstracts) *Global Change Biology*, 3:545.
- Awmack, C.S., Harrington, R and Richard L. 2004. Aphid individual performance may not predict population responses to elevated CO₂ or O₃ (Abstract). *Global Change Biology* 10 (8):1414
- Bezemer, T.M and Jones, T.H. 1998. Plant-insect herbivore interactions in elevated atmospheric CO₂ : quantitative analyses and guild effects. *Oikos*, 82. 212-222.
- Coviella, C.E., D. J. W. Morgan, J. T. Trumble. 2000. Interactions of Elevated CO₂ and Nitrogen Fertilization: Effects on production of *Bacillus thuringiensis* toxins in transgenic plants *Environ. Entomol.* 29 (4) : 781-787
- Coviella, C.E., and Trumble J. T. 1999. Effects of Elevated Atmospheric Carbon Dioxide on Insect -Plant Interactions, Review : *Conservation Biology* 13 (4): 700-712
- Coûteaux M.M., and Bolger, T., 2000. Interactions between atmospheric CO₂ enrichment and soil fauna. *Plant and Soil* 224: 123-134, 2000
- Hamilton J.G, Zangerl A.R, DeLucia E.H., Berenbaum M.R. 2001. The carbon nutrient balance hypothesis: its rise and fall. *Ecol.Lett* 4:86-95
- Hamilton, J.G., Zangerl, A.R., Berenbaum, M.R., Phippen J., Aldea, M., DeLucia, E.H. 2004. Insect herbivory in an intact forest understory under experimental CO₂ enrichment. *Oecologia* 138: 566-573
- Hoover J. K. and Newman, J.A. 2004. Tritrophic interactions in the context of climate change: a model of grasses, cereal Aphids and their parasitoids (Abstract). *Global Change Biology* 10 (7): 1197.
- Hunter, M.D. 2001. Effects of elevated atmospheric dioxide on insect-plant interactions. *Agricultural and Forest Entomology* 3 : 153-159
- Johns, C.V., Beaumont L.J., and Hughes, L. 2003. Effects of elevated CO₂ and temperature on development and consumption rates of *Octotoma championi* and *O. scabripennis* feeding on *Lantana camara*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* (Abstracts). 108 (3):169
- Lincoln, D.E., Couvet, D. & Sionit, N. 1986. Response of an insect herbivore to host plants grown in carbon dioxide enriched atmospheres (Abstracts). *Oecologia* 69:556

- Lindroth, R.L., Kinney, K.K. & Platz, C.L. 1993. Responses of deciduous trees to elevated atmospheric CO₂: productivity, phytochemistry, and insect performance. *Ecology* 74 : 763-777.
- McDonald, E.P., Agrell, J., Lindroth, R.L. 1999. CO₂ and light effects on deciduous trees : growth, foliar chemistry, and insect performance. *Oecologia*, 119:389-399.
- Newman J. A., Gibson, D. J., Parsons, A.J., Thomley, H.M. 2003. How predictable are aphid population responses to elevated CO₂? *Journal of Animal Ecology* 72 : 556-566
- Pidwirny, M. 2004. The carbon Cycle. *Physical Geography.net*.
<http://www.physicalgeography.net/fundamentals/9r.html>
- Roth, S.K. & Lindroth, R.L. (1995) Elevated atmospheric CO₂ effects on phytochemistry, insect performance and insect parasitoid interactions. (Abstract). *Global Change Biology*, 1:173
- Schoonhoven, L M., T. Jermy, J.J.A. van Loon. 1998. *Insect-Plant Biology, From physiology to evolution*. Chapman & Hall, London pp.112-113
- Stiling, P., Moon, D.C., Hunter, M.D., Colson, J., Rossi, A.M., Hymus, G.J., Drake, B.G. 2002. Elevated atmospheric CO₂ lowers herbivore abundance, but increases leaf abscission rates. *Global Change Biology*. (Abstracts), 8 (7):658
- Stiling, P., Moon, D.C., Hunter, M.D., Colson, J., Rossi, A.M., Hymus, G.J., Drake, B.G. 2003. Elevated CO₂ lowers relative and absolute herbivore density across all species of a scrub-oak forest. *Oecologia* 134:82-87
- Sugandhy, A., A. Bey., Gunardi., R. Boer., H. Pawitan., S. Wigenasantana., A. Hidayat & P. Utomo (editors). 1999. *Indonesia : The First National Communication Under the United Nations Framework Convention on Climate Change*. State Ministry for Environment. Jakarta.
- Speight. M.R., Hunter, M.D., Watt, A.D., 1999. *Ecology of Insects, Concepts and Applications*. Blackwell Science, Ltd. Pp 169 - 217.
- Stacey, D.A. and Fellowes, M.D. E. 2002. Influence of elevated CO₂ on interspecific interactions at higher trophic levels *Global Change Biology* (Abstracts) 8 (7) 668
- Stiling, P., Rossi, A.M., Hungate, B., Dijkstra, P., Hinkle, C.R., Knott, W.M. & Drake, B. (1999) Decreased leaf-miner abundance in elevated CO₂: reduced leaf quality and increased parasitoid attack. *Ecological Applications*, 9: 240-244.

Shahabuddin *et al* : *Efek Peningkatan Kadar CO₂ Atmosfir* _____

Williams, R.S., Lincoln, D.E. & Thomas, R.B. 1994. Loblolly pine grown under elevated CO₂ affects early instar pine sawfy performance. *Oecologia*, 98, 64-71.

Diskusi

Tidak ada Pertanyaan / diskusi