

## **Strategi Pengelolaan Serangga Hama dan Penyakit Tebu dalam Menghadapi Perubahan Iklim**

**Nurindah dan Titiok Yulianti**

Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat  
Jl. Raya Karangploso, Kotak Pos 199 Malang  
Email: nurarindatta@gmail.com

*Diterima: 4 April 2018; direvisi: 20 Mei 2018; disetujui: 26 Mei 2018*

### **ABSTRAK**

Fenomena perubahan iklim terjadi karena aktivitas manusia dalam mengelola lingkungan, diantaranya adalah deforestasi, emisi gas dari kegiatan industri, dan pembakaran biomassa. Komponen iklim yang berubah, yaitu peningkatan suhu udara, konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam atmosfer, dan hujan berpengaruh terhadap tanaman tebu, serangga serta mikro organisme yang berasosiasi dengan tanaman tebu. Perubahan iklim lebih banyak menyebabkan pengaruh negatif terhadap tanaman tebu dan interaksi trofik antara tanaman tebu, serangga herbivora dan mikro organisme penyebab penyakit tanaman dan musuh alami herbivora maupun antagonis mikro organisme. Peningkatan suhu udara menyebabkan perubahan fisiologis pada tanaman tebu yang berakibat meningkatnya infestasi serangga herbivora dan infeksi patogen penyebab penyakit tanaman. Peningkatan komposisi CO<sub>2</sub> dalam atmosfer menurunkan sistem ketahanan tanaman terhadap herbivora, sehingga dapat memicu terjadinya *out break*; dan berpengaruh positif, negatif, maupun tidak berpengaruh terhadap perkembangan penyakit tanaman. Perubahan iklim mengharuskan sistem pengelolaan serangga hama dan penyakit tanaman tebu untuk menerapkan aksi mitigasi maupun adaptasi perubahan iklim untuk memperoleh produksi tebu yang optimal dan sistem budidaya tebu yang berkelanjutan. Dalam tinjauan ini dibahas pengaruh perubahan iklim terhadap perkembangan serangga hama dan patogen penyebab penyakit pada tanaman tebu, serta strategi pengelolannya.

Kata kunci: penggerek tebu, luka api, tebu, perubahan iklim

### ***Management Strategy for Sugarcane Pests to Anticipate the Climate Change***

### **ABSTRACT**

Climate change phenomenon occurs due to human activities in managing the environment, such as deforestation, gas emissions from industrial activities, and biomass burning. The changing of climate components, ie, rising air temperatures, CO<sub>2</sub> concentration in atmosphere, and precipitation have an effect on sugarcane, as well as on insects and micro-organisms associated with sugarcane. Climate change causes negative effects on sugar cane and trophic interactions between sugarcane crops, herbivorous insects and plant-causing micro-organisms and natural enemies of herbivores as well as micro-organism antagonists. Increased temperatures lead to physiological changes in sugarcane resulting in increased insect infestation of herbivores and pathogenic infections o the plant. Increased CO<sub>2</sub> composition in atmosphere decreases the plant resistance system to herbivores, thus triggering an outbreak; and may have a positive, negative, or no effect on the development of the diseases. Climate change requires pest and sugarcane pest control systems to implement climate change mitigation and adaptation actions to obtain optimal cane production and sustainable sugarcane cultivation systems. In this review, we discussed the effects of climate change on the development of insect pests and pathogen causes of disease in sugarcane crops, and the strategy to manage them.

Keywords: climate change, sugarcane borer, sugarcane smut

## PENDAHULUAN

**I**klim dalam suatu wilayah didefinisikan sebagai suatu kondisi atau keadaan rata-rata cuaca pada suatu daerah yang luas, ditentukan berdasarkan perhitungan waktu yang lama (11 hingga 30 tahun) dan dipengaruhi oleh letak geografis dan topografi wilayah tersebut. Aktivitas di bidang pertanian yang berhubungan dengan kebutuhan tanaman atas komponen iklim, misalnya ketersediaan air dari curah hujan, suhu, kelembapan udara, dan intensitas penyinaran matahari, ditentukan berdasarkan pola iklim yang ada, sehingga waktu tanam maupun tindakan antisipasi proteksi tanaman dari cekaman biotik maupun abiotik dapat direncanakan. Pada saat sekarang, telah banyak bukti bahwa telah terjadi perubahan iklim dimana perubahan ini disebabkan karena aktivitas manusia dalam mengelola lingkungan hidupnya. Deforestasi, emisi pabrik hasil kegiatan industri, pembakaran biomassa karena alih fungsi lahan maupun dalam rangka manajemen lahan, secara nyata telah menyebabkan perubahan komposisi gas dalam atmosfer serta meningkatkan emisi gas-gas radioaktif, yang dikenal sebagai *greenhouse gases*, seperti gas CO<sub>2</sub>, methane, dan oksidasi N. Akibat lanjut dari terjadinya perubahan komposisi gas dalam atmosfer tersebut antara lain adalah perubahan pola hujan, waktu siklus kering dan banjir yang memendek, meningkatnya intensitas dan frekuensi gelombang panas dan dingin. Rata-rata kenaikan suhu pada permukaan bumi adalah 0.74±0.18°C pada abad lalu, dan akan terjadi kenaikan 1.1°C-6.0°C pada awal hingga akhir abad ini (Stefan Rahmstorf et al., 2007). Perubahan iklim berdampak luas terhadap sistem pertanian yang meliputi sumber daya, infrastruktur pertanian, dan sistem produksi, hingga ketahanan pangan, kesejahteraan petani dan masyarakat pada umumnya (Hannah et al., 2005).

Di Indonesia, salah satu dampak dari perubahan iklim dikenal sebagai anomali iklim,

yaitu berubahnya pola curah hujan dan makin meningkatnya intensitas kejadian iklim ekstrim, misalnya fenomena *El-Nino* dan *La-Nina*, serta naiknya permukaan air laut akibat pencairan gunung es di kutub utara (Las et al., 2011). Perubahan unsur iklim tersebut berdampak pada pergeseran musim, yaitu semakin singkatnya musim hujan namun dengan curah hujan yang lebih besar yang akhirnya menyebabkan kerusakan pada budidaya tanaman. Pada umumnya dampak dari perubahan faktor abiotik tersebut menyebabkan terjadinya penurunan hasil pertanian karena adanya perubahan dalam keragaman tanaman yang dibudayakan dan meningkatnya kejadian infestasi serangga hama dan infeksi oleh patogen penyebab penyakit tanaman. Pergeseran musim hujan dan perubahan suhu akan berakibat terhadap periode ketersediaan air sehingga terjadi perubahan musim tanam dan panen tebu. Perubahan iklim ini juga akan mempengaruhi ketersediaan lahan, transpirasi, fotosintesis, dan produksi biomassa.

Perubahan iklim yang terjadi di India menyebabkan kerusakan oleh serangga pada tanaman yang dibudidayakan sangat beragam pada zona agroklimat yang berbeda, karena adanya perbedaan pengaruh dari beberapa faktor abiotik, seperti suhu, kelembapan dan curah hujan (Sharma, 2016). Di Indonesia, pada kondisi *El Nino*, kedelai, padi sawah, dan jagung mengalami penurunan produksi masing-masing sebesar 10,7%, 2,9%, dan 7,4%, sebaliknya pada kondisi *La-Nina* padi dan jagung mengalami peningkatan produksi masing-masing sebesar 2,4% dan 3,9% (Santoso, 2016).

Menurut Srivastava (2012), pertumbuhan tanaman tebu sangat tergantung jumlah dan lama presipitasi, sinar matahari, curah hujan, kelembapan, serta suhu dan kadar air tanah. Sebagai contoh, Fageria et al. (2010) menyatakan bahwa suhu optimum untuk tebu adalah 32-38°C. Suhu di atas 38°C akan meningkatkan respirasi tetapi mengurangi kecepatan fotosintesis. Bahkan suhu di atas

35°C sudah membahayakan tunas dan daun muda. Sementara itu, Gouvêa et al. (2009) memprediksi bahwa potensi produksi tanaman tebu akan meningkat dengan meningkatnya suhu udara karena suhu udara kenaikan suhu meningkatkan efisiensi fotosintesis tanaman C4. Curah hujan 600-3000 mm dibutuhkan tebu untuk pertumbuhan vegetatifnya, baik pemanjangan ruas, maupun pembentukan buku, namun saat pembentukan gula dibutuhkan curah hujan yang lebih rendah. Dengan demikian, fenomena perubahan iklim global, maupun perubahan kondisi cuaca lokal akan sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan produksi tebu.

Komponen iklim, seperti suhu, kelembapan udara, konsentrasi CO<sub>2</sub> pada atmosfer, tidak hanya berpengaruh negatif terhadap pertumbuhan tanaman tebu, tetapi juga berpengaruh negatif terhadap mikroorganisme yang secara langsung maupun tidak langsung terlibat dalam pertumbuhan maupun produksi tebu. (Park et al., 2008) melaporkan bahwa perubahan suhu dapat berakibat terjadinya infestasi serangga hama spesies baru dan infeksi patogen penyebab penyakit jenis baru di areal pertanaman tebu.

Fenomena perubahan iklim berpengaruh terhadap agroekosistem dan secara langsung maupun tidak langsung, yaitu adanya perubahan penyebaran geografis serangga hama dan musuh alaminya, perubahan ketersediaan sumber pakan yang selanjutnya berpengaruh terhadap perubahan jenis hama. Perubahan-perubahan tersebut memungkinkan berkurangnya spesies hama dan berpotensi munculnya hama sekunder dengan penyebaran yang lebih luas (Tripathi et al. 2016; War et al., 2016; Sharma, 2014). Peningkatan suhu dan kelembapan udara akibat perubahan iklim sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan, reproduksi, dan daya hidup serangga (Sharma, 2014). Perubahan iklim menyebabkan *Helicoverpa armigera* (Hubner) yang sebelumnya hanya dilaporkan ditemukan di Asia, telah dilaporkan sebagai hama baru di Brazil dan Amerika Utara

sebagai akibat perubahan iklim (Tay et al., 2013; War et al. 2016), sementara kutu putih *Ceratovacuna lanigera* Zehntner menjadi hama utama tebu di Maharashtra, India (Bade & Ghorpade, 2009).

Komponen iklim yang berpengaruh terhadap perkembangan, penyebaran, dan daya hidup patogen penyebab penyakit tanaman adalah suhu, hujan, kelembapan, embun, radiasi, dan kecepatan angin (Linnenluecke et al., 2018). Peningkatan suhu, kelembapan udara, dan curah hujan berakibat pada percepatan penyakit tanaman, karena kondisi vegetasi yang basah memberikan lingkungan yang optimal bagi perkecambahan spora dan perkembangbiakan bakteri dan jamur, serta berpengaruh terhadap siklus hidup nematoda tanah dan organisme lainnya.

Tindakan pencegahan terhadap perubahan iklim agar tidak berpengaruh negatif terhadap sistem produksi pertanian tidak mungkin dilakukan, tetapi upaya untuk mengurangi dampak negatif (mitigasi) perubahan iklim masih mungkin dilakukan. Selain mitigasi yang merupakan strategi mengatasi dampak dalam jangka pendek, strategi adaptasi terhadap perubahan iklim merupakan tindakan yang harus dilakukan untuk mengatasi pengaruh negatifnya terhadap sistem budidaya tebu yang berkelanjutan dan untuk jangka panjang. Terjadinya perubahan iklim dan perubahan teknik budidaya tanaman menyebabkan perlunya dilakukan penyusunan strategi untuk mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim tersebut, diantaranya adalah strategi dalam pengelolaan hama dan penyakit tanaman, sehingga penurunan hasil yang disebabkan oleh hama dan penyakit dapat ditekan. Untuk pengembangan tindakan adaptasi terhadap perubahan iklim dalam sistem pengelolaan serangga hama dan penyakit tanaman tebu memerlukan pemahaman tentang pengaruh langsung perubahan komponen iklim terhadap serangga hama dan patogen penyebab penyakit, serta interaksi yang ada antara

tanaman dan serangga maupun mikro organisme yang berasosiasi dengan tanaman tebu. Tinjauan ini membahas dampak perubahan iklim terhadap serangga dan mikro organisme yang berasosiasi dengan tanaman tebu, termasuk dinamika infestasi hama dan infeksi patogen penyebab penyakit pada tebu, serta penyusunan strategi pengelolaannya sebagai aksi mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim tersebut

### **PENGARUH PERUBAHAN IKLIM TERHADAP SERANGGA YANG BERASOSIASI DENGAN TANAMAN TEBU**

Perubahan iklim yang merupakan kondisi adanya perubahan komponen iklim, diantaranya adalah peningkatan suhu udara, peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam atmosfer, dan kelembapan udara, atau biasanya disebut faktor abiotik, mempunyai pengaruh langsung maupun tidak langsung terhadap serangga-serangga, baik herbivora (pemakan tumbuhan) maupun karnivora (pemakan serangga lain atau musuh alami serangga) yang berasosiasi dengan tanaman tebu. Pengaruh langsung perubahan faktor abiotik tersebut terhadap serangga meliputi pengaruh terhadap perubahan fisiologi, perilaku, dan penyebaran populasi (Lastvka, 2009). Pengaruh tidak langsung perubahan faktor abiotik berhubungan dengan perubahan yang terjadi pada tanaman tebu sebagai sumber pakan serangga herbivora yang juga berpengaruh terhadap perilaku, kebugaran, dan penyebaran populasi.

Kenaikan suhu udara akibat dari perubahan iklim diproyeksikan berpengaruh terhadap fisiologis tanaman tebu yang berakibat pada peningkatan pertumbuhan pada waktu musim dingin dan meningkatkan efisiensi panen di Zimbabwe, akan tetapi berpengaruh terhadap peningkatan populasi serangga hama dan luas infeksi penyakit (Chandiposha, 2013). Kenaikan suhu udara berpengaruh negatif terhadap pertumbuhan kecambah benih tebu (Rizwan Rasheed et al.,

2011), sehingga berakibat pada penurunan populasi tanaman. Selain itu, kondisi suhu udara di atas 32°C menyebabkan ruas memendek, jumlah ruas bertambah banyak, kandungan serat dalam batang tebu meningkat, dan kandungan sukrosa menurun (Bonnett, 2014).

Perubahan fenologi dan fisiologi tanaman sebagai akibat dari perubahan iklim, berpengaruh terhadap perkembangan herbivora, ketersediaan inang dan mangsa bagi musuh alami serangga herbivora (Boullis et al., 2015; Walther et al., 2002). Perubahan iklim menyebabkan tanaman seringkali mengalami cekaman kekeringan, hal ini akan menurunkan sistem pertahanan tanaman (Dhaliwal et al., 2010). Perubahan komponen iklim sebagai akibat dari fenomena perubahan iklim, seperti peningkatan suhu, CO<sub>2</sub>, kelembapan udara, dan pola hujan, akan mengubah sistem dalam tanaman maupun herbivora. Pengaruh perubahan iklim ini terhadap interaksi antara tanaman dan herbivora di daerah tropis sangat nyata (Zvereva & Kozlov, 2006; Niziolek et al., 2012).

Perubahan pada tanaman, yang merupakan inang bagi herbivora, menyebabkan perubahan juga terhadap penyebaran dan dinamika populasi serangga hama, interaksi antara serangga dan tanaman inangnya, aktivitas dan kelimpahan populasi musuh alami, serta efektivitas teknik pengendalian hama. Seringkali dengan menurunnya sistem pertahanan tanaman akibat fenomena perubahan iklim menyebabkan terjadinya peningkatan populasi serangga hama yang drastis (*pest outbreak*). Selama tahun 2002 hingga 2003, di India terjadi kehilangan hasil tebu hingga 30% yang disebabkan karena adanya infestasi aphid *Ceratovacuna lanigera* yang menyerang daun, sehingga menurunkan daya pemulihan tanaman (Joshi & Viraktamath, 2003; Srikanth et al. 2009).

Pengelolaan hama pada tanaman tebu di Indonesia pada umumnya menerapkan sistem pengendalian secara hayati, yaitu memanfaatkan musuh alami dalam sistem pengendalian hama. Oleh karena itu perlu pemahaman yang menyeluruh tentang

pengaruh perubahan iklim terhadap fisiologi dan fenologi tanaman, dinamika populasi serangga hama dan musuh alaminya, sehingga dapat dilakukan pengelolaan hama yang efektif dan efisien. Hal yang penting untuk dipahami adalah pengaruh lingkungan abiotik akibat perubahan iklim terhadap interaksi tritrofik antara tanaman inang, herbivora, dan musuh alaminya, sehingga dapat dikembangkan teknik pengendalian hayati yang efektif.

Perkembangan serangga sangat dipengaruhi oleh suhu udara (ecothermal) (Tripathi et al., 2016; Bale et al., 2002), sehingga perubahan suhu akan berpengaruh terhadap interaksi serangga dengan tanaman, musuh alami, polinator, dan organisme lain, yang berperan penting dalam pelayanan ekologi (Boullis et al., 2015; Sharma, 2014). Pada suhu yang masih dalam batas toleransi, kenaikan suhu dapat meningkatkan laju perkembangan serangga, sehingga siklus hidup lebih pendek dan jumlah generasi dalam satuan waktu lebih banyak. Suhu yang tinggi akan memperpendek umur serangga. Perubahan suhu juga mengubah pola aktivitas diurnal serangga dan interaksi interspesifik, sehingga juga mengubah efektivitas musuh alami, misalnya pengaruh terhadap fekunditas dan sex ratio parasitoid (Dhillon & Sharma, 2009). Dengan demikian, peningkatan suhu akan berpengaruh dalam strategi pengelolaan hama secara hayati. .

Selain suhu, CO<sub>2</sub> dilaporkan dapat menurunkan pertahanan tanaman terhadap serangga hama (IPCC, 2014; Niziolet al., 2012). Meningkatnya konsentrasi CO<sub>2</sub> menyebabkan menurunnya kandungan nitrogen dalam daun, sehingga terjadi peningkatan konsumsi oleh serangga pemakan daun hingga 40% (Belskaya & Vorobeichik, 2013). Pada kondisi kekeringan dan adanya peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer, menyebabkan terjadinya *outbreak* populasi herbivora (Sharma, 2014). Peningkatan CO<sub>2</sub>, suhu dan hujan menyebabkan menurunnya kualitas nutrisi tanaman bagi herbivora yang selanjutnya berpengaruh terhadap kebugaran herbivora tersebut. Penurunan kebugaran herbivora akan berpengaruh negatif terhadap

perkembangan musuh alaminya (parasitoid dan predator) (Boullis et al. 2015; Huang et al. 2008; Selvaraj 2013). Tanaman yang mempunyai daya adaptasi rendah terhadap perubahan iklim akan berdampak positif terhadap herbivora yang memanfaatkan tanaman tersebut. Interaksi antara serangga herbivora dengan musuh alaminya dipengaruhi oleh toleransi herbivora terhadap kondisi lingkungan yang ekstrim dan laju pergerakannya (War et al., 2016). Selain dipengaruhi oleh kondisi inangnya, perkembangan musuh alami serangga hama juga dipengaruhi secara langsung oleh komponen iklim. Parasitisasi oleh parasitoid telur *Trichogramma* spp meningkat dengan menurunnya jumlah curah hujan, dan sebaliknya menurun dengan meningkatnya jumlah curah hujan (Prasad & Bambawale, 2010).

Interaksi interspesies antara tanaman dan herbivora melibatkan senyawa volatil, yaitu senyawa metabolit sekunder yang diproduksi oleh tanaman yang dapat dideteksi oleh herbivora, sehingga terjadi penemuan inang tanaman (*host location*) oleh serangga. Interaksi tritrofik antara tanaman, herbivora dan musuh alaminya juga melibatkan senyawa volatil, baik yang diproduksi oleh tanaman maupun oleh herbivora, sehingga musuh alami dapat menemukan inang atau mangsanya. Perubahan iklim, khususnya suhu dan konsentrasi CO<sub>2</sub>, berpengaruh terhadap penyebaran dan emisi senyawa volatil yang diproduksi oleh tumbuhan (dikenal sebagai *Herbivore Induced Plant Volatiles*-HIPV) dan digunakan oleh musuh alami untuk menemukan inang atau mangsanya (Helmig et al., 2007; Thomson et al., 2010). Selain itu, peningkatan CO<sub>2</sub> juga berpengaruh terhadap persepsi musuh alami pada volatil tersebut, sehingga kemampuan untuk menemukan inang atau mangsa berkurang (Yuan et al., 2009; Thomson et al., 2010; Veromann et al., 2013). Adanya perubahan emisi volatil ini menyebabkan *host location* oleh musuh alami menjadi terganggu, sehingga berakibat pada efektivitas pengendalian alami hama oleh parasitoid atau predatornya.

Hasil interaksi trofik dapat diamati sebagai suatu kondisi dalam satu ekosistem, misalnya tingkat kerusakan tanaman oleh serangga herbivora, tingkat parasitisasi serangga herbivora oleh parasitoidnya atau tingkat pemangsaan oleh predatornya, dipengaruhi oleh komponen iklim. Cekaman akan keterbatasan air (*water stress*) juga berpengaruh terhadap pelepasan senyawa volatil oleh tanaman (Takabayashi et al., 1994), sehingga berpengaruh juga terhadap *host location* herbivora terhadap tanaman inangnya. (Pare & Tumlinson, 1999) melaporkan bahwa tanaman yang mengalami cekaman kekeringan lebih mudah ditemukan oleh herbivora dibandingkan dengan tanaman yang tidak mengalami cekaman kekeringan. Adanya perubahan interaksi multitrofik ini berakibat pada berubahnya dinamika populasi serangga hama (Stavrinides et al., 2010), sehingga strategi pengelolaan hama juga harus berubah untuk meningkatkan efektivitas teknik pengendalian dan menekan kehilangan hasil.

### **PENGARUH PERUBAHAN IKLIM TERHADAP PATOGEN PENYEBAB PENYAKIT TEBU**

Penyakit juga merupakan faktor yang berpengaruh terhadap penurunan produksi tebu di Indonesia. Diperkirakan kerugian akibat penyakit ini mencapai 0,6-1,2 trilyun rupiah setiap tahunnya. Ada tiga faktor utama yang saling berinteraksi sehingga menyebabkan munculnya suatu penyakit (Francl, 2001), inang yang rentan, keberadaan patogen yang virulen, dan lingkungan yang optimum bagi pertumbuhan suatu patogen penyebab penyakit termasuk manusia dan serangga vektor (Rott et al., 2013). Jika ketiga faktor tersebut tidak selaras, maka tidak akan terjadi suatu penyakit.

Hansen et al. (2006) menyatakan bahwa dalam tiga dasa warsa terakhir, suhu udara telah meningkat sekitar 0.6 °C sehingga menyebabkan perubahan siklus air. Kondisi

ini memicu terjadinya cuaca ekstrim (kekeringan atau curah hujan yang berlebihan). Kenaikan suhu dan perubahan iklim secara global adalah akibat naiknya konsentrasi CO<sub>2</sub>, dan gas-gas '*green house*' lainnya dalam atmosfer. Menurut Canadell et al. (2007), sejak tahun 2000, laju peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> di udara sangat cepat dibanding beberapa dasa warsa sebelumnya. Kondisi tersebut sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman tebu maupun patogen penyebab penyakit. Bahkan Srivastava & Rai, (2012) menyebutkan bahwa perubahan iklim juga berpengaruh terhadap semua mikroorganisme yang berperan secara langsung maupun tidak langsung dalam pertumbuhan maupun produksi gula. Perubahan cuaca baik musim dan curah hujan serta suhu akan berpengaruh terhadap masa tanam tebu dan kesesuaian lahan, dan ini akan berkaitan erat dengan dinamika populasi dan sebaran patogen. Pergeseran serta introduksi tanaman tebu ke area baru untuk menyesuaikan perubahan iklim ini juga berpotensi menyebarkan patogen ke daerah baru atau menginfeksi tanaman inang lain yang baru. Kondisi tersebut akan mempengaruhi dinamika populasi patogen dan juga epidemiologi suatu penyakit. Genus-genus seperti *Rhizoctonia*, *Sclerotinia* *Sclerotium* dan jamur nekrotrofik lainnya bisa membentuk strain baru yang lebih agresif dengan inang yang lebih luas, dan migrasi dari agroekosistem ke ekosistem alam. Bahkan patogen-patogen penghuni ekosistem alam yang tadinya kurang agresif akan migrasi ke agroekosistem yang monokultur di dekatnya dan menimbulkan kerusakan (Chakraborty et al., 2000) Hal ini terjadi karena jamur mampu beradaptasi dengan cepat dalam lingkungan yang baru (Chakraborty & Datta, 2003)

Peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> dan suhu di udara dapat berpengaruh positif, negatif, atau tidak terlalu berpengaruh terhadap kehidupan patogen penyebab penyakit. Banyak pakar memprediksi bahwa peningkatan

an kadar CO<sub>2</sub> akan meningkatkan pertumbuhan daun, batang, dan akar, bahkan juga jumlah anakan dan biomasa tanaman serta kualitas nutrisi yang otomatis akan menaikkan produksi. Meningkatnya pertumbuhan tanaman akan meningkatkan konsentrasi karbohidrat yang dihasilkan oleh tanaman, akibatnya patogen-patogen yang sangat tergantung dengan karbohidrat akan semakin tinggi populasinya. Kerapatan kanopi dan tanaman yang lebih subur akan meningkatkan kelembapan sehingga sporulasi dan penyebaran jamur-jamur tersebut juga meningkat (Ghini et al., 2008) sehingga kejadian penyakit-penyakit daun lebih meningkat akibat naiknya kelembapan mikro dan luas area daun (Burdon, 1987). Akibatnya, penggunaan pestisida diprediksi naik 15-20 kali (Chakraborty & Newton, 2011). Peningkatan CO<sub>2</sub> juga meningkatkan persaingan tanaman dengan gulma yang juga mengalami peningkatan pertumbuhan. Hal ini juga berarti terjadi peningkatan kesempatan patogen untuk tumbuh di dalam inang lain. Itulah sebabnya, Torriani et al., (2007) menyatakan bahwa di negara-negara tropis, perubahan iklim global secara tidak langsung menyebabkan produksi beberapa komoditas pertanian menurun meskipun secara teori seharusnya meningkat. Biaya produksipun diperkirakan meningkat.

### **Kejadian Penyakit pada Tanaman Tebu Meningkat akibat Perubahan Iklim Global**

Keparahan beberapa penyakit tanaman meningkat disertai kisaran yang lebih luas akibat perubahan iklim global (Evans et al., 2008). Dalam kondisi cukup air, meningkatnya kadar CO<sub>2</sub> meningkatkan pertumbuhan dan produksi biomasa kering tanaman C4 rumput-rumputan dari famili Poaceae (Wand et al. 1999; Ziska et al. 1999). Pada tanaman tebu luas area daun naik 56%, berat kering naik 74% dan volume nira naik 164% ketika ditumbuhkan dalam ruang yang mengandung konsentrasi CO<sub>2</sub> dua kali normal (700

umol/mol) dan suhu 5°C di atas normal (Vu et al., 2002). Suhu optimum untuk fotosintesis bagi tanaman tebu (C4) lebih tinggi dibandingkan tanaman kelompok C3, kapasitas fotosintesis tanaman C4 juga lebih tinggi pada suhu yang lebih tinggi dibandingkan tanaman C3 (Matsuoka et al., 2001). Sementara itu, Vara Prasad et al. (2009) menambahkan bahwa pertumbuhan vegetatif lebih besar pada suhu 36/26 °C dibanding pada suhu 30/20°C. Meningkatnya biomasa tanaman serta pengembalian residu tanaman tebu ke lahan berpotensi meningkatkan sumber inokulum patogen-patogen yang mampu hidup sebagai saprofit. Sementara itu, meningkatnya CO<sub>2</sub> di dalam tanah akan memperlambat proses dekomposisi (Ball, 1997) sehingga penumpukan sisa-sisa tanaman yang digunakan sebagai mulsa atau sumber nutrisi bagi tanaman tebu menjadi tempat yang paling sesuai untuk bertahan hidup bagi jamur-jamur patogen tular tanah seperti *Sclerotium rolfsii*, *Rhizoctonia solani*, *Tanatheporus cucumeris*, *Xylaria warbugii* dan *Fusarium moniliforme*. Hal ini didukung oleh hasil penelitian Melloy et al. (2010) yang melaporkan bahwa kemampuan *Fusarium graminearum* penyebab penyakit busuk pada gandum bertahan hidup sebagai saprofitik tidak berubah pada kondisi di mana konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam tanah meningkat, sementara biomasa gandum pun meningkat, sehingga inokulum patogen yang bertahan pada sisa-sisa tanaman maupun tunggul gandum semakin tinggi. Peningkatan CO<sub>2</sub> juga menyebabkan peningkatan kejadian penyakit rebah kecambah oleh *Rhizoctonia solani* pada tanaman kapas (Runion et al. 1994). Garrett et al. (2006) menyatakan bahwa kenaikan suhu akibat pemanasan global meningkatkan kemampuan jamur-jamur patogen tular tanah bertahan hidup dan kisaran inangnya menjadi lebih banyak. Dengan demikian, kenaikan suhu juga akan meningkatkan kemampuan jamur-jamur yang menginfeksi akar sehingga kejadian penyakit diprediksi akan meningkat di musim berikut-

nya, meskipun keparahannya tergantung kepada kelembapan tanah (Sukumar & Chakraborty, 2008). Pengendalian yang paling efektif untuk kasus ini adalah dengan menambahkan mikroba antagonis yang sekaligus memiliki kemampuan dekomposisi baik ke dalam serasah tebu atau di dalam tanah yang ditutup mulsa/residu daun tebu. *Trichoderma* spp. merupakan jamur antagonis yang sangat populer sekaligus mampu sebagai dekomposer (Sharma et al., 2012). Penambahan *vermicompost* atau introduksi cacing ke dalam tanah juga akan meningkatkan ketahanan tanaman karena meningkatkan aktivitas dan keragaman mikroorganisme-mikroorganisme yang mampu berfungsi sebagai antagonis, penghasil hormon & enzim perangsang pertumbuhan (Pathma & Sakthivel, 2012).

Meskipun peningkatan CO<sub>2</sub> mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman, namun peningkatan suhu udara akan meningkatkan evapotranspirasi sehingga tanaman akan kehilangan air lebih banyak, dan mengakibatkan tanaman mengalami stres air (Coakley et al., 1999). Tanaman yang stress cenderung rentan terhadap serangan patogen. Kondisi panas namun sedikit lembab di malam hari merupakan kondisi yang cocok bagi jamur luka api (*Sporisorium scitamineum*). Suhu optimum bagi jamur ini adalah 30-31°C. Penyakit luka api merupakan penyakit yang paling banyak ditemui di hampir seluruh perkebunan tebu di Indonesia, terutama di Jawa. Kerugian yang diakibatkan oleh penyakit ini semakin tinggi akibat keprasan yang lebih dari tiga kali. Pada tahun 2016 terjadi ledakan penyakit luka api di beberapa sentra perkebunan tebu di Jawa dan Sulawesi. Bahkan varietas BL yang dulu merupakan varietas yang toleran-tahan, hampir 80% terserang (*Eka Sugiharta*, komunikasi pribadi). Menurut (Rott et al. 2013) ketahanan tebu terhadap *S. scitamineum* hampir konsisten sampai beberapa dekade, meskipun ada 2-3 ras yang berbeda di Hawaii, Pakistan, Filipina, dan Taiwan. Namun sejarah membuktikan

bahwa penanaman satu jenis varietas tebu selama kurun waktu yang lama akan menimbulkan masalah penyakit baru (Magarey et al., 2011). Varietas BL merupakan varietas yang paling disukai petani dan ditanam secara luas sejak tahun 2003. Tampaknya selain sistem ketahanan berdasarkan interaksi *gen to gen* (Rott et al., 2013), perubahan iklim juga ikut berpengaruh terhadap ledakan penyakit ini.

Cuaca ekstrim seperti hujan di musim kemarau akan memicu terjadinya ledakan penyakit noda kuning yang disebabkan oleh jamur *Mycovellosiella koepkei*. Jamur ini akan berkembang pesat pada suhu antara 28°C (optimum) dan 34°C (maksimum) dan kelembapan udara di atas 80% disertai frekuensi mendung yang lebih sering dan periode hujan yang lama (Ricaud & Autrey, 1989). Koike & Gillaspie (1989) juga menyatakan bahwa kondisi tersebut di atas juga akan meningkatkan kejadian penyakit mosaik. Selain itu, meningkatnya populasi serangga vektor akibat meningkatnya suhu udara juga akan meningkatkan kejadian penyakit mosaik, terutama saat tanaman tebu masih muda dan rentan.

### **Kejadian Penyakit pada Tanaman Tebu Menurun akibat Perubahan Iklim Global**

Perubahan iklim diperkirakan akan memberikan perubahan terhadap morfologi, fisiologi, nutrisi, dan keseimbangan air yang berakibat kepada perubahan ketahanan tanaman. Perilaku, stadia maupun perkembangan dan siklus hidup patogen juga berubah sehingga perubahan iklim ini secara tidak langsung akan berpengaruh terhadap interaksi antara tanaman dan patogen (Chakraborty & Datta, 2003). Spora *Colletotrichum gloeosporoides* terhambat perkecambahannya dalam ruangan yang mengandung CO<sub>2</sub> 400-700 ppm (Hibberd et al., 1996). Sementara itu, jumlah stomata tanaman yang menutup kerapatan stomata mengalami penurunan pada kondisi CO<sub>2</sub> tinggi sehingga kesempatan jamur (terutama yang



masuk melalui stomata) penetrasi ke dalam tanaman makin berkurang, semakin untuk meskipun produksi spora meningkat. Jadi, dalam kasus ini perkembangan penyakit menjadi terhambat. Penyakit nanas yang disebabkan oleh *Ceratocystis paradoxa* juga akan menurun dengan meningkatnya suhu udara karena penyakit ini lebih sesuai jika suhu tanah rendah (Wismer & Bailey, 1989).

### **Kejadian Penyakit Tidak Terpengaruh oleh Perubahan Iklim Global**

Untuk patogen-patogen yang bersifat sistemik seperti *Clavibacter xyli* subsp. *xyli*, penyebab penyakit kerdil pada tanaman keprasan (Gillaspie and Teakle, 1989) dan *Xanthomonas albilineans* penyebab penyakit blendok tidak begitu terpengaruh oleh perubahan iklim ini karena hampir seluruh siklus hidupnya ada di dalam tanaman inang. Mereka lebih tergantung kepada kondisi inang. Jika ketersediaan bahan makanan dalam inang melimpah, sementara kondisi tanaman lemah, maka penyakit-penyakit sistemik akan berkembang cepat.

### **STRATEGI PENGENDALIAN SERANGGA HAMA DAN PENYAKIT TANAMAN TEBU**

Tanaman tebu sangat peka terhadap suhu, curah hujan, intensitas cahaya, dan komponen-komponen iklim lainnya. Oleh karena itu, perubahan iklim sangat berpengaruh terhadap perubahan produktivitasnya. Pengembangan varietas tebu yang cepat beradaptasi terhadap perubahan iklim, persiapan lahan yang sesuai dengan waktu dan pola tanam, pengelolaan hama dan penyakit yang optimal, dan pengelolaan air yang tepat merupakan tindakan mitigasi dan adaptasi yang perlu dilakukan dalam menghadapi perubahan iklim, sehingga diperoleh produktivitas tebu dan gula yang optimal. Perakitan varietas tebu yang mempunyai karakter toleran terhadap panas lebih bermanfaat daripada perakitan varietas yang tahan kekeringan. Selain itu, pengembangan tebu pada areal yang

beririgasi merupakan aksi adaptasi yang efektif untuk mengurangi dampak negatif perubahan iklim terhadap pertanaman tebu.

Perubahan kelimpahan dan keragaman spesies karena adanya fenomena perubahan iklim berpengaruh terhadap efektivitas pengelolaan hama, oleh karena itu perlu penajaman sistem monitoring untuk mendeteksi potensi perubahan distribusi, penghitungan kerusakan, dan kehilangan hasil (Dhaliwal et al., 2010). Pengembangan varietas tahan hama dan penyakit tanaman, pemanfaatan musuh alami, dan praktek-praktek agronomi yang mendukung konservasi musuh alami merupakan tindakan pengelolaan hama dan penyakit yang efektif. Akan tetapi, tindakan pengelolaan hama dan penyakit tanaman akan berubah dengan adanya fenomena pemanasan global akibat perubahan iklim. Keberhasilan pengendalian hayati yang dipertimbangkan sebagai satu komponen pengelolaan hama terpadu (PHT) yang efektif sangat dipengaruhi oleh perubahan iklim, karena interaksi tritrofik yang menghasilkan pengendalian populasi hama juga mengalami perubahan.

Serangga hama tebu yang sampai saat ini dipertimbangkan sebagai hama utama tanaman tebu adalah komplek penggerek batang dan penggerek pucuk. Pengendalian hayati dengan menggunakan parasitoid merupakan tindakan pengendalian yang telah lama dilakukan untuk mengatasi masalah infestasi kompleks penggerek tebu tersebut. Pelepasan parasitoid *Trichogramma japonicum* telah dilakukan untuk pengendalian kompleks penggerek pucuk tebu sejak tahun 1970an. Hasil evaluasi (Nurindah et al., 2016) tentang efektivitas pelepasan parasitoid telur dengan menggunakan spesies *T. japonicum* menunjukkan bahwa pelepasan parasitoid tersebut tidak efektif dalam menyebabkan kejadian parasitisasi pada telur penggerek pucuk maupun penggerek batang tebu. Secara alami, telur penggerek pucuk banyak diparasit oleh *Telenomus* spp, dan telur penggerek batang oleh *T. chilonis* dan

*Telenomus* spp. Hasil evaluasi ini merekomendasikan untuk mempertimbangkan kembali pelepasan massal parasitoid telur *T. japonicum*, sehingga juga mengubah sistem produksi massal dan aplikasi spesies parasitoid tersebut.

Dalam sistem pengelolaan hama tebu berbasis pemanfaatan musuh alami, peningkatan atau konservasi populasi musuh alami (parasitoid dan predator) pada pertanaman tebu perlu dilakukan. Konservasi musuh alami dapat dilakukan dengan memberikan lingkungan yang optimal bagi musuh alami untuk berperan sebagai faktor mortalitas biotik yang efektif, sedangkan peningkatan populasi musuh alami dapat dilakukan dengan menyediakan lingkungan yang dapat mendukung perkembangan populasi musuh alami melalui penyediaan pakan yang sesuai. Kedua pendekatan ini dapat dilakukan dengan pengembangan varietas yang menghasilkan volatil yang dapat diterima oleh parasitoid dan predator untuk menemukan inang atau mangsanya. Penambahan keragaman vegetasi pada pertanaman tebu melalui penanaman tanaman-tanaman berbunga yang menyediakan nektar bagi parasitoid dan predator juga dapat meningkatkan populasi musuh alami pada agroekosistem tersebut. Selain itu, penambahan tanaman yang berfungsi sebagai tanaman perangkap dapat dilakukan untuk mengurangi infestasi hama pada pertanaman tebu. Spesies tebu liar *Erianthus arundinaceus* dilaporkan oleh Nibouche et al. (2012) disukai oleh imago *C. sacchariphagus* (penggerek batang tebu bergaris) sebagai tempat peletakan telur, tetapi daya ketahanan hidup larva penggerek tebu tersebut sangat rendah pada *E. arundinaceus*. Oleh karena itu, *E. arundinaceus* dapat digunakan sebagai tanaman perangkap.

Sistem pemantauan hama dan penyakit tanaman tebu berdasarkan kondisi cuaca perlu dikembangkan untuk mendukung analisis risiko terjadinya *out break* hama pada kondisi iklim yang berbeda, sehingga *out*

*break* hama dapat diantisipasi dan kehilangan hasil dan kerugian ekonomi karena hama dapat dicegah.

### **Pengendalian Penyakit Tanaman Tebu dalam Menghadapi Perubahan Iklim Global**

Penyakit Luka Api merupakan salah satu penyakit yang terdampak oleh perubahan iklim global. Untuk mengantisipasi agar kejadian penyakit ini tidak meluas maka diperlukan penggantian varietas baru yang lebih tahan terhadap penyakit ini dan lebih mampu beradaptasi terhadap suhu tinggi dan kekeringan. Adanya variasi genetik patogen menyebabkan mereka mampu beradaptasi dengan cepat terhadap varietas yang tahan (Strange & Scott, 2005). Penggantian varietas secara berkala atau peningkatan keragaman varietas akan memperkecil kemungkinan jamur bermutasi atau beradaptasi dengan varietas yang baru. Karena menurut (McDonald & Linde, 2002), patogen mampu berubah dengan cepat menjadi tahan terhadap pestisida maupun dalam beradaptasi/mengatasi ketahanan suatu varietas yang baru atau terhadap perubahan lingkungan. Penyakit luka api merupakan penyakit yang terbawa angin dan bahan tanaman yang terinfeksi jamur secara sistemik. Monitoring secara berkala diikuti sanitasi dan eradikasi 'cambuk' akan membantu mengurangi penyebaran penyakit; Sanitasi kebun dengan membersihkan gulma atau tumbuhan inang alternatif yang tumbuh di sekitar pertanaman tebu; Penggunaan bahan tanaman bebas patogen merupakan alternatif pengendalian yang sangat bermanfaat untuk mencegah terjadinya ledakan penyakit luka api di daerah baru. Perawatan bahan tanaman dengan air panas (PAP) suhu 52 °C selama 30-45 menit atau perendaman bahan tanaman dengan fungisida yang mengandung bahan aktif cyproconazole, propiconazole, triadimefon atau azoxystrobin. Penggunaan fungisida tersebut pada benih sebelum tanam mampu mengendalikan luka api sampai 6–9 bulan (Bhuiyan et al., 2012).

Penyakit lain yang perlu diwaspadai adalah penyakit mosaik bergaris. Penyakit ini baru ditemukan pertengahan 2000, di Jawa Timur, namun saat ini sudah menyebar di 59 perkebunan tebu di Jawa dengan tingkat keparahan penyakit 1–62% (Damayanti & Putra, 2011). Perkembangannya yang cukup pesat akibat penanaman varietas yang rentan dan penyebaran bahan tanaman yang terinfeksi ke luar Pulau Jawa. Hasil survei ACIAR (belum dipublikasi) menunjukkan bahwa penyebaran penyakit ini sudah terlihat di beberapa perkebunan tebu di Sumatera Utara dan Selatan serta Sulawesi Selatan. Kenaikan suhu yang terjadi akhir-akhir ini mempercepat perkembangan penyakit ini. Penggunaan varietas yang tahan dan bahan bebas penyakit, terutama di daerah baru merupakan pencegahan tersebarnya mosaik bergaris. PAP dengan suhu 53°C selama 10 menit pada bagal sebelum ditanam mengurangi keparahan penyakit mosaik bergaris meskipun virus mosaik bergaris tidak tereliminasi 100% (Damayanti et al., 2010). Untuk mengeliminasi virus, PAP dengan suhu 55°C selama 30 menit atau 60°C selama 10 menit, namun viabilitas benih menurun (Damayanti et al., 2010). Salaudeen et al. (2016) menyarankan untuk menggunakan pengendalian biologis terhadap vektor dan rekayasa genetika untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap virus

Untuk mencegah serasah digunakan sebagai sumber makanan dan tempat bertahan hidup patogen-patogen tular tanah, maka klenthek dan sanitasi seludang secara berkala dan pemberian antagonis pada serasah daun.

## KESIMPULAN

Perubahan iklim berpengaruh terhadap tanaman tebu, perkembangan serangga dan patogen tanaman serta interaksi multitrofik yang ada. Komponen iklim yang sangat berpengaruh adalah suhu, kandungan CO<sub>2</sub>

dalam atmosfer, dan curah hujan. Fenomena perubahan iklim mengharuskan dilakukan aksi mitigasi dan adaptasi sehingga sistem pertanian berkelanjutan dapat diwujudkan. Oleh karena itu, pengelolaan hama dan penyakit tanaman tebu memerlukan penyusunan strategi pengelolaan dengan mempertimbangkan pengaruh abiotik, terutama suhu, kandungan CO<sub>2</sub> dalam atmosfer, dan curah hujan, terhadap perkembangan serangga dan patogen tanaman serta interaksi multitrofik pada ekosistem pertanaman tebu.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada para mitra bestari yang telah memberikan saran dan masukan yang baik, sehingga tulisan review ini menjadi lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bade, B., Ghorpade, S., 2009. Life fecundity tables of sugarcane woolly aphid, *Ceratovacuna lanigera* Zehntner. *J. Insect Sci.* 22, 402–405.
- Bale, J.S., Masters, G.J., Hodkinson, I.D., Awmack, C., Bezemer, T.M., Brown, V.K., Butterfield, J., Buse, A., Coulson, J.C., Farrar, J., Good, J.E.G., Harrington, R., Hartley, S., Jones, T.H., Lindroth, R.L., Press, M.C., Symrnioudis, I., Watt, A.D., Whittaker, J.B., 2002. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Glob. Chang. Biol.* 8, 1–16. <https://doi.org/doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00451.x>
- Ball, A., 1997. Microbial decomposition at elevated CO<sub>2</sub> levels: effect of litter quality. *Glob. Chang. Biol.* 3, 379–386. <https://doi.org/.1046/j.1365-2486.1997.t01-1-00089.x>
- Belskaya, E.A., Vorobeichik, E.L., 2013. Responses of leaf-eating insects feeding on aspen to emissions from the Middle Ural copper smelter. *Russ. J. Ecol.* 44, 108–117. <https://doi.org/10.1134/S1067413613020045>

- Bhuiyan, S.A., Croft, B.J., James, R.S., Cox, M.C., 2012. Laboratory and field evaluation of fungicides for the management of sugarcane smut caused by *Sporisorium scitamineum* in seedcane. *Australas. Plant Pathol.* 41, 591–599.
- Bonnett, G.D., 2014. Developmental Stages (Phenology), in: Moor, P.H., Botha, F.C. (Eds.), *Sugarcane Physiology, Biochemistry & Functional Biology*. John Wiley & Sons, Inc., Iowa, USA. Boonpradub, pp. 35–53.
- Boullis, A., Francis, F., Verheggen, F., 2015. Climate Change and Tritrophic Interactions: Will Modifications to Greenhouse Gas Emissions Increase the Vulnerability of Herbivorous Insects to Natural Enemies? *Environ. Entomol.* 44, 277–286. <https://doi.org/10.1093/ee/nvu019>
- Burdon, J., 1987. *Diseases and Population Biology*, 1st ed. Cambridge Univ. Press, New York.
- Canadell, J.G., Le Quéré, C., Raupach, M.R., Field, C.B., Buitenhuis, E.T., Ciais, P., Conway, T.J., Gillett, N.P., Houghton, R.A., Marland, G., 2007. Contributions to accelerating atmospheric CO<sub>2</sub> growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 104, 18866–70. <https://doi.org/10.1073/pnas.0702737104>
- Chakraborty, S., Datta, S., 2003. How will plant pathogens adapt to host plant resistance at elevated CO<sub>2</sub> under a changing climate? *New Phytol.* 159, doi:10.1046/j.1469-8137.2003.00842.x.
- Chakraborty, S., Newton, A.C., 2011. Climate change, plant diseases and food security: an overview. *Plant Pathol.* 60, 2–14. <https://doi.org/doi:10.1111/j.1365-3059.2010.02411.x>
- Chakrabortya, S., Tiedemann, V., Teng, S., 2000. Environmental Pollution Keynote review Climate change: potential impact on plant diseases. *Environ. Pollut.* 108, 317–326.
- Chandiposha, M., 2013. Potential impact of climate change in sugarcane and mitigation strategies in Zimbabwe. *African J. Agric. Res.* 8, 2814–2818. <https://doi.org/10.5897/AJAR2013.7083>
- Coakley, S.M., Scherm, H., Chakraborty, S., 1999. Climate Change and Plant Disease Management. *Annu. Rev. Phytopathol.* 37, 399–426.
- Damayanti, T.A., Putra, L.K., 2011. First occurrence of sugarcane streak mosaic virus infecting sugarcane in Indonesia. *J. Gen. Plant Pathol.* 77, 72–74. <https://doi.org/httphttps://doi.org/10.1007/s10327-010-0285-7>
- Damayanti, T.A., Putra, L.K., Giyanto, 2010. Hot Water Treatment of Cutting-Cane Infected With Sugarcane Streak Mosaic Virus ( Scsmv ). *J. Int. Soc. Southeast Asian Agric. Sci.* 16, 17–25.
- Dhaliwal, G., Jindal, V., Dhawan, A., 2010. Insect pest problems and crop losses: Changing trends. *Indian J. Ecol.* 37, 1–7.
- Dhillon, M., Sharma, H., 2009. Temperature influences the performance and effectiveness of field and laboratory strains of the ichneumonid parasitoid, *Camponotus chloridae*. *Biocontrol* 54, 743–750.
- Evans, N., Baierl, A., Semenov, M.A., Gladders, P., Fitt, B.D., 2008. Range and severity of a plant disease increased by global warming. *J. R. Soc. Interface* 5, 525–531. <https://doi.org/10.1098/rsif.2007.1136>
- Fageria, N.K., Baligar, V.C., Jones, C.A., 2010. *Growth and Mineral Nutrition of Field Crops*, 3rd ed. CRC Press.
- Francl, L.J., 2001. The Disease Triangle: A plant pathological paradigm revisited. *Plant Heal. Instr.* <https://doi.org/10.1094/PHI-T-2001-0517-01>
- Garrett, K.A., Dendy, S.P., Frank, E.E., Rouse, M.N., Travers, S.E., 2006. Climate Change Effects on Plant Disease: Genomes to Ecosystems. *Annu. Rev. Phytopathol.* 44, 489–509.
- Ghini, R., Hamada, E., Bettiol, W., 2008. Climate change and plant diseases. *Sci. Agric.* 65, 98–107. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162008000700015>
- Gillaspie, A., Teakle, D., 1989. Ratoon stunting disease, in: Ricaud, C., Egan, B. T., Gillaspie, A.G., Hughes, C. G. (Eds.), *Diseases of Sugarcane Major Diseases*. Elsevier, Amsterdam, pp. 59–80.

- Gouvêa, J., Sentelhas, P., Gazzola, S., Santos, M., 2009. Climate changes and technological advances: impacts on sugarcane productivity in tropical southern Brazil. *Sci. Agric.* 66, 593–605.
- Hannah, L., Lovejoy, T.E., Schneider, S.H., 2005. Biodiversity and climate change in context, in: Lovejoy, T.E., Hannah, L. (Eds.), *Climate Change and Biodiversity*. New Haven, Yale, pp. 3–14.
- Helmig, D., Ortega, J., Duhl, T., Tanner, D., Guenther, A., Harley, P., Wiedinmyer, C., Milford, J., Sakulyanontvittaya, T., 2007. Sesquiterpene Emissions from Pine Trees – Identifications, Emission Rates and Flux Estimates for the Contiguous United States. *Environmental Sci. Technol.* 41, 1545–1553. <https://doi.org/10.1021/es0618907>
- Hibberd, J.M., Whitbread, R., Farrar, J.F., 1996. Effect of elevated concentrations of CO<sub>2</sub> on infection of barley by *Erysiphe graminis*. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 48, 37–53. <https://doi.org/10.1006/pmpp.1996.0004>
- Huang, F., Leonard, R., Moore, S., Yue, B., Parker, R., Reagan, T., Stout, M., Cook, D., Akbar, W., Chilcutt, C., White, W., Lee, D., Biles, S., 2008. Geographical susceptibility of Louisiana and Texas populations of the sugarcane borer, *Diatraea saccharalis* (F.) (Lepidoptera: Crambidae) to *Bacillus thuringiensis* Cry1Ab protein. *Crop Prot.* 27, 799–806. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.11.007>
- IPCC, 2014. *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Pachauri RK., Meyer LA (Eds). Geneva, Switzerland.
- Joshi, S., Viraktamath, C.A., 2003. The sugarcane woolly aphid, *Ceratovacuna lalligera* Zehntner (Hemiptera: Aphididae): its biology, pest status and control. *Curr. Sci.* 87, 307–316.
- Koike, H., Gillaspie, A.G.J., 1989. Mosaic, in: Ricaud, C., Egan, B.T., Gillaspie, J.A.G., Hughes, C. (Eds.), *Diseases of Sugarcane: Major Diseases*. Elsevier Science, Amsterdam, pp. 301–322.
- Las, I., Pramudia, A., Runtunuwu, E., Setyanto, P., 2011. Antisipasi Perubahan Iklim Dalam Mengamankan Produksi Beras Nasional. *Pengemb. Inov. Pertan.* 4, 76–86.
- Linnenluecke, M.K., Nucifora, N., Thompson, N., 2018. Implications of climate change for the sugarcane industry. *Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Chang.* 9, 1–34. <https://doi.org/10.1002/wcc.498>
- Magarey, R., Royal, A., Williams, D., Bull, J., 2011. A brief history of disease epidemics in Queensland and of some economic outcomes [WWW Document].
- Matsuoka, M., Furbank, R.T., Fukayama, H., Miyao, M., 2001. Molecular Engineering Of C<sub>4</sub> Photosynthesis. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 52, 297–314.
- McDonald, B.A., Linde, C., 2002. Pathogen Population Genetics, Evolutionary Potential, And Durable Resistance. *Annu. Rev. Phytopathol.* 40, 349–379.
- Melloy, P., Hollaway, G., Luck, J., Norton, R., Aittken, E., Chakraborty, S., 2010. Production and fitness of *Fusarium pseudograminearum* inoculum at elevated carbon dioxide in FACE. *Glob. Chang. Biol.* 16, 3363–3373. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02178.x>
- Nibouche, S., Tibère, R., Costet, L., 2012. The use of *Erianthus arundinaceus* as a trap crop for the stem borer *Chilo sacchariphagus* reduces yield losses in sugarcane: Preliminary results. *Crop Prot.* 42, 10–15. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.06.003>
- Niziolek, O., Berenbaum, M., DeLucia, E., 2012. Impact of elevated CO<sub>2</sub> and temperature on Japanese beetle herbivory. *Insect Sci.* 20, 513–23.
- Nurindah, N., Sunarto, D.A., Sujak, S., 2016. Evaluasi pelepasan *Trichogramma* spp. untuk pengendalian penggerek pucuk dan batang tebu. *J. Entomol. Indones.* 13, 107–116. <https://doi.org/10.5994/jei.13.2.107>
- Pare, P.W., Tumlinson, J.H., 1999. Update on plant-insect interactions plant volatiles as a defense against insect herbivores. *Plant Physiol.* 121, 325–331. <https://doi.org/10.1104/pp.121.2.325>
- Park, S., Creighton, C., Howden, M., Matthieson, L., 2008. Climate change and the Australian Sugarcane Industry: Impacts, adaptation and

- R&D opportunities. Sugar Research Australia Ltd, Brisbane.
- Pathma, J., Sakthivel, N., 2012. Microbial diversity of vermicompost bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential. Springerplus 1, 1–19. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-1-26>
- Prasad, Y.G., Bambawale, O.M., 2010. Effects of Climate Change on Natural Control of Insect Pests. Res. Dev 25, 1–12.
- Rizwan Rasheed, Wahid, A., Farooq, M., Hussain, I., Basra, S.M.A., 2011. Role of proline and glycinebetaine pretreatments in improving heat tolerance of sprouting sugarcane (*Saccharum* sp.) buds. Plant Growth Regul. 65, 35–45.
- Rott, P.C., Girard, J.-C., Comstock, J.C., 2013. Impact of pathogen genetics on breeding for resistance to sugarcane diseases. Int. Soc. Sugar Cane Technol. 28, 1–11.
- Runion, G.B., Curl, E.A., Rogers, H.H., Backman, P.A., Rodriguez-Kabana, R., Helms, B., 1994. Effects of free-air CO<sub>2</sub> enrichment on microbial populations in the rhizosphere and phyllosphere of cotton. Agric. For. Meteorol. 70, 117–130.
- Salaudeen, M., Adama, C., Abdullahi, A., Ayeleke, D., Ibrahim, A., 2016. Climate change and viral diseases in relation to crop productivity and food security: A REVIEW. Int. J. Appl. Biol. Res. 7, 56–65.
- Santoso, A.B., 2016. Pengaruh Perubahan Iklim terhadap Produksi Tanaman Pangan di Provinsi Maluku. Penelit. Pertan. Tanam. Pangan 35, 29–38.
- Sharma, B.L., Singh, S.P., Sharma, M.L., 2012. Bio-degradation of Crop Residues by Trichoderma Species vis-à-vis Nutrient Quality of the Prepared Compost. Sugar Tech 14, 174–180.
- Sharma, H.C., 2016. Climate change vis-a-vis pest management: Conference on National Priorities in Plant Health Management February 4-5, 2016, Tirupati. Int. Crop. Res. Inst. Semi-Arid Trop. (ICRISAT), Patancheru 502324, Telengana, India 17–25.
- Sharma, H.C., 2014. Climate Change Effects on Insects: Implications for Crop Protection and Food Security. J. J. Crop Improv. 28, 229–2259.
- Srikanth, J., Mukunthan, N., Singaravelu, B., Kurup, N.K., Santhalakshmi, G., 2009. Rearing dipha aphidivora, the pyralid predator of sugarcane woolly aphid *Ceratovacuna lanigera*, on its frozen host may be unfeasible. Sugar Tech 11, 80–82. <https://doi.org/10.1007/s12355-009-0015-7>
- Srivastava, A.K., 2012. Sugarcane production: Impact of climate change and its mitigation. Biodiversitas, J. Biol. Divers. 13, 214–227. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d130408>
- Stavriniades, M.C., Lara, J.R., Mills, N.J., 2010. Comparative influence of temperature on development and biological control of two common vineyard pests (Acari: Tetranychidae). Biol. Control 55, 126–131. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2010.07.006>
- Stefan Rahmstorf, Cazenave, A., Church, J.A., Hansen, J.E., Keeling, R.F., Parker, D.E., Somerville, R.C.J., 2007. Recent Climate Observations Compared to Projections. Science (80- ). 316, 709. <https://doi.org/10.1126/science.1136843>
- Strange, R.N., Scott, P.R., 2005. Plant Disease: A Threat to Global Food Security. Annu. Rev. Phytopathol. 43, 83–116. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.43.113004.133839>
- Sukumar Chakraborty, S., 2008. Impacts of global change on diseases of agricultural crops and forest trees. CAB Rev. Perspect. Agric. Vet. Sci. Nutr. Nat. Resour. 3. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20083054>
- Takabayashi, J., Dicke, M., Posthumus, M.A., 1994. Volatile herbivore-induced terpenoids in plant-mite interactions: Variation caused by biotic and abiotic factors. J. Chem. Ecol. 20, 1329–1354. <https://doi.org/10.1007/BF02059811>
- Tay, W., Soria, M., Walsh, T., Thomazoni, D., Silvie, P., 2013. A brave new world for an old world pest: *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. PLoS ONE 8 8. <https://doi.org/journal.pone.0080134>
- Thomson, L.J., Macfadyen, S., Hoffmann, A. a., 2010. Predicting the effects of climate change on natural enemies of agricultural pests. Biol.

- Control 52, 296–306.  
<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.01.022>
- Torriani, D., Calanca, P., Lips, M., Ammann, H.B., Jürg, M., 2007. Regional assessment of climate change impacts on maize productivity and associated production risk in Switzerland. *Reg. Environ. Chang.* 7, 209–221.
- Tripathi, A., Tripathi, D.K., Chauhan, D.K., Kumar, N., Singh, G.S., 2016. Paradigms of climate change impacts on some major food sources of the world: A review on current knowledge and future prospects. *Agric. Ecosyst. Environ.* 216, 356–373.  
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.09.034>
- Vara Prasad, P. V., Vu, J.C. V., Boote, K.J., Allen, L.H.J., 2009. Enhancement in leaf photosynthesis and upregulation of Rubisco in the C4 sorghum plant at elevated growth carbon dioxide and temperature occur at early stages of leaf ontogeny. *Funct. Plant Biol.* 36, 761–769.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1071/FP09043>
- Veromann, E., Toome, M., Kännaste, A., Kaasik, R., Copolovici, L., Flink, J., Kovács, G., Narits, L., Luik, A., Niinemets, Ü., 2013. Effects of nitrogen fertilization on insect pests, their parasitoids, plant diseases and volatile organic compounds in *Brassica napus*. *Crop Prot.* 43, 79–88.  
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.09.001>
- Vu, J., Allen, L.J., Gallo-Meagher, M., 2002. Crop plant responses to rising CO<sub>2</sub> and climate change, in: Pessaraki, M. (Ed.), *Handbook of Plant and Crop Physiology*. Marcel Dekker, New York, pp. 35–55.
- Wand, S.J., Midgley, G.F., Jones, M.H., Curtis, P.S., 1999. Responses of wild C<sub>4</sub> and C<sub>3</sub> grass (Poaceae) species to elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentration: a meta-analytic test of current theories and perceptions. *Glob. Chang. Biol.* 5, 723–741.  
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.1999.00265.x>
- War, A.R., Taggar, G.K., War, M.Y., Hussain, B., 2016. Impact of climate change on insect pests, plant chemical ecology, tritrophic interactions and food production. *Int. J. Clin. Biol. Sci.* 1, 16–29.
- Wismer, C., Bailey, R., 1989. Pineapple disease, in: Ricaud, C., Egan, B.T., Gillaspie, A.G., Hughes, C.G. (Eds.), *Diseases of Sugarcane - Major Diseases*. Elsevier, Amsterdam, p. 145–156.
- Yuan, J.S., Himanen, S.J., Holopainen, J.K., Chen, F., Stewart, C.N., 2009. Smelling global climate change: mitigation of function for plant volatile organic compounds. *Trends Ecol. Evol.* 24, 323–331.  
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.01.012>
- Ziska, L.H., Sicher, R.C., Bunce, J.A., 1999. The impact of elevated carbon dioxide on the growth and gas exchange of three C<sub>4</sub> species differing in CO<sub>2</sub> leak rates. *Physiol. Plant.* 105, 74–80. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1999.105112.x>
- Zvereva, E., Kozlov, M., 2006. Consequences of simultaneous elevation of carbon dioxide and temperature for plant-herbivore interactions: a metaanalysis. *Glob. Chang. Biol.* 12, 27–41.