

Cekaman Suhu Tinggi Ancaman Nyata Bagi Keberlanjutan Usaha Tani Kopi

Fitria Yuliasmara¹⁾

¹⁾Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Jl. PB. Sudirman 90 Jember 68118

Perubahan iklim yang mengarah pada pemanasan global telah menimbulkan dampak negatif di berbagai bidang termasuk pertanian dan perkebunan. Suhu tinggi merupakan salah satu *stress* lingkungan yang dapat menyebabkan gangguan pada pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Cekaman suhu tinggi secara langsung akan berpengaruh terhadap metabolisme tanaman baik morfologi, fisiologi, maupun biokimia yang pada akhirnya akan berpengaruh terhadap produktivitas tanaman. Suhu tinggi secara langsung juga menyebabkan peningkatan intensitas serangan hama dan penyakit yang berdampak pada kehilangan hasil panen. Kombinasi berbagai tekanan akibat suhu tinggi pada akhirnya akan berpengaruh terhadap kesesuaian lahan dan pola tanam dari suatu komoditas pertanian termasuk juga pada komoditas kopi.

Perubahan iklim yang mengarah pada pemanasan global adalah masalah penting yang dihadapi saat ini. Periode tahun 2006-2015 memiliki peningkatan suhu terbesar yaitu 0,87°C dengan variasi peningkatan suhu tahunan antara 0,75°C dan 0,99°C¹⁾. Pemanasan global mempengaruhi pola presipitasi, evaporasi, *water run-off*, kelembaban tanah dan variasi iklim yang fluktuatif sehingga secara keseluruhan mengancam keberhasilan usaha tani termasuk pada komoditas kopi²⁾. Frekuensi iklim ekstrim memicu peningkatan cekaman abiotik dan biotik yang menyebabkan perubahan kelas kesesuaian lahan, gangguan pertumbuhan tanaman, penurunan kualitas dan kuantitas hasil panen serta peningkatan intensitas serangan OPT.

Suhu merupakan salah satu faktor lingkungan yang sangat berpengaruh pada pertumbuhan dan perkembangan tanaman secara fisik maupun fisiologis. Suhu dapat memberikan pengaruh secara

langsung maupun tidak langsung³⁾. Secara langsung suhu memberikan pengaruh pada fungsi tanaman yaitu dengan mengontrol proses fisiologis dan biokimia. Suhu tinggi mengubah keseimbangan respirasi dan fotosintesis sehingga berpengaruh terhadap produksi dan akumulasi hasil fotosintesis yang berkaitan dengan pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Secara tidak langsung suhu mempengaruhi faktor lainnya terutama yang berkaitan dengan siklus hidrologi lingkungan, pergerakan dan distribusi air di dalam tubuh tanaman.

Pada tanaman kopi, suhu mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan hasil panen. Suhu udara optimum yang diperlukan untuk pertumbuhan kopi arabika berkisar antara 18-23°C, sedangkan kopi Robusta 22-26°C⁴⁾. Jika suhu lebih tinggi dari suhu optimum menyebabkan hambatan pada metabolisme tanaman terutama pada proses fotosintesis, respirasi, pembungaan, dan pembuahan yang berdampak terhadap penurunan produksi kopi. Produksi kopi di Indonesia antara tahun 2012–2015 berada pada

kisaran 675–739 ribu ton namun terjadi penurunan yang cukup signifikan dengan produktivitas sebesar 632 ribu ton pada tahun 2016 sebagai akibat anomali peningkatan suhu sebesar 0,8°C dan *El Nino* tahun 2015⁵⁾.

Kerusakan akibat suhu tinggi ditandai oleh gejala kerusakan oksidatif pada daun maupun pucuk sebagai usaha tanaman untuk mempertahankan kandungan air (*virgor*) tanaman. Secara morfologis karakteristik tanaman yang tercekam suhu tinggi memiliki daun kecil-kecil dengan jaringan parenkim tebal, daun dilapisi oleh lilin maupun kutikula, dan sudut daun mengecil sehingga posisi daun lebih vertikal. Bahkan, panas yang tinggi >35°C dengan durasi panjang akan menyebabkan tanaman mengalami kematian. Adapun suhu tinggi pada tanaman kopi akan menyebabkan:

1. Gangguan Pertumbuhan dan Metabolisme Tanaman Kopi

Kondisi termal dan ketersediaan air dianggap sebagai faktor terpenting dalam pertanaman kopi tanpa naungan, suhu tinggi lebih sering terjadi akibat paparan cahaya matahari langsung yang menyebabkan suhu udara lebih dari 30°C. Suhu tinggi dan cekaman air merupakan faktor utama pembatas proses fotosintesis karena menyebabkan penutupan stomata. Peningkatan suhu udara dan intensitas cahaya akan menurunkan persentase kelembaban relatif udara di sekitar tanaman kopi dan selanjutnya meningkatkan defisit tekanan uap (VPD, *Vapour Pressure Deficit*) antara bagian dalam daun dan atmosfer. Pada kondisi defisit tekanan uap yang besar akan menyebabkan stomata menutup untuk mengurangi kehilangan cairan akibat transpirasi. Namun di sisi lain penutupan stomata akan menurunkan konduktansi stomata yaitu kemampuan stomata untuk melakukan penyerapan CO₂⁷⁾. Penurunan konduktansi stomata akan menghambat proses fotosintesis dimana CO₂ dan H₂O menjadi bahan utamanya serta pengurangan proses fisiologis lainnya dari tanaman⁸⁾.

Gejala yang ditimbulkan akibat cekaman panas pada tanaman ditandai dengan penebaran

daun atau klorosis karena penurunan kandungan klorofil. Membran tilakoid yang berada di dalam stroma yang merupakan tempat terjadinya fotosintesis, sangat sensitif terhadap panas, gangguan pada proses fotosintesis adalah salah satu indikator stres pertama. Hal tersebut direspon tanaman dengan mempercepat transport elektron dan sintesis ATP. Aktivitas fotosistem II (PSII) dan enzim secara bertahap menurun dan ultrastruktur kloropis dapat terganggu⁹⁾. Gangguan pada klorofil secara umum ditandai dengan hilangnya warna hijau akibat degradasi klorofil secara masif menjadi produk pemecahan nonfototoksik seperti akumulasi karotenoid dan/atau antosianin¹⁰⁾.

Tanaman kopi relatif tahan terhadap suhu yang tinggi dan kekeringan, tetapi peningkatan kondisi ekstrem dapat menyebabkan tekanan fisiologis, seperti pengurangan efisiensi fotosintesis dan pembentukan senyawa dan enzim untuk pertahanan diri. Suhu tinggi lebih dari 30°C dilaporkan mengganggu metabolisme tanaman dengan cara mempercepat reaksi biokimia tanaman, ikatan antar makromolekul menjadi lebih dilonggarkan dan lapisan lemak/lipid dari biomembran menjadi lebih encer. Suhu tinggi pada kondisi air cukup tersedia akan direspon tanaman dengan membentuk daun dan buah berukuran kecil. Sedangkan apabila suhu tinggi terjadi pada kondisi air tidak tercukupi, maka akan terjadi cekaman kekeringan yang menuntut tanaman untuk memulai sinyal intraseluler dan melakukan fisiologis jaringan untuk secara cepat merespon dan secara efisien menetralkan tekanan tersebut¹¹⁾.

Jika cekaman terlalu kuat (baik intensitas dan/atau durasi) maka tanaman akan mengaktifkan jalur pensinyalan menuju mekanisme biologi untuk membuang sel yang sudah tidak diperlukan oleh tubuh (*apoptosis*)³⁾. Suhu tinggi yang disebabkan oleh intensitas cahaya yang tinggi akan direspon oleh tanaman kopi dengan meningkatkan produksi molekul reaktif seperti *Reactive Oxygen Species* (ROS) yang berfungsi mendegradasi dan merusak daun yang disebut sebagai kerusakan fotooksidatif¹²⁾.



Gejala kerusakan oksidatif daun akibat suhu tinggi yang disebabkan paparan sinar matahari

2. Gangguan Pembungaan dan Pemasakan

Hasil simulasi tanaman menggunakan skenario proyeksi iklim berbasis *Global Circulation Model* (GCM) menyimpulkan penurunan produksi pertanian akan lebih parah di daerah tropis¹³. Perubahan iklim menyebabkan kenaikan suhu yang akan menurunkan laju pertumbuhan, pembungaan, dan pemasakan tanaman kopi¹⁴. Petani kopi di berbagai negara melaporkan perubahan pola hujan dalam 20 tahun terakhir berdampak terhadap ketidakteraturan pembungaan, tidak sempurnanya pematangan buah, dan sering terjadi kerontokan buah.

Sedangkan menurut Assamha menggunakan skenario *Representative Concentration Pathway* (RCP) 8,5 untuk memproyeksikan produktivitas kopi di Tana Toraja, Sulawesi Selatan¹⁵. RCP 8,5 merupakan skenario *business as usual* dengan asumsi pertumbuhan populasi dan emisi terus meningkat namun minim upaya menekan laju penumpukan GRK di atmosfer, sehingga suhu rata-rata dapat meningkat melampaui 2°C. Hasil kajian menyimpulkan produktivitas kopi Arabika

dan Robusta pada tahun 2050 akan menurun masing-masing 20% dan 40%¹⁵.

Fase kritis pada tanaman kopi yang berkaitan dengan suhu adalah pembentukan bunga dan buah. Pada suhu tinggi (>2°C) di atas suhu optimal akan mempercepat tanaman kopi berbunga lebih cepat, menyebabkan kerontokan bunga dan mempercepat pemasakan buah⁶. Pada pembungaan, suhu tinggi akan mempengaruhi pembentukan primordia bunga, pematangan dormansi kuncup bunga, bunga mekar (*blossoming*), penyerbukan dan pemasakan. Sedangkan pada pemasakan, kematian buah muda, gangguan pengisian biji, dan pemasakan buah yang terlalu cepat¹⁴.

Nilai ekonomis seringkali berkaitan dengan perkembangan organ seperti daun, batang, akar, biji, dan buah. Masalah kualitas akan muncul akibat proses pematangan buah yang lebih cepat. Suhu udara di atas 23°C diketahui menyebabkan pembentukan dan pemasakan buah lebih cepat sehingga kualitas kopi menurun¹⁶. Suhu udara >30°C yang disertai dengan cekaman kekeringan selama fase pengisian buah akan menyebabkan pembentukan dan akumulasi asimilat menjadi kurang optimal sehingga biji yang dihasilkan kurang bernas¹².

Beberapa penelitian menyebutkan bahwa suhu udara yang sangat bervariasi dapat meningkatkan cacat biji, merubah komposisi biokimia, dan cita rasa¹⁷. Setiap kenaikan suhu udara 1°C di atas suhu 30°C akan menurunkan produksi bahan kering tanaman kopi sebesar 10% dan produksi biji 30,04%¹⁷. Cekaman suhu tinggi juga akan mendorong tanaman untuk mempercepat pemasakan buah dengan memproduksi hormon etilen secara berlebihan sehingga akan mengakibatkan munculnya gejala penuaan organ/ *senescence* pada daun dan ranting kopi. Sehingga pengelolaan suhu udara yang optimal untuk kopi sangat menentukan distribusi dan eksploitasi ekonomi dari tanaman kopi⁸.

3. Peningkatan Serangan Hama dan Penyakit

Kajian dampak perubahan iklim terhadap perkembangan hama dan penyakit tanaman kopi di Indonesia masih terbatas. Namun kajian di negara sentra produksi tropis di Amerika Selatan menunjukkan bahwa peningkatan kejadian iklim

ekstrim sebagai salah satu dampak perubahan iklim meningkatkan perkembangan hama dan penyakit tanaman perkebunan dengan tingkat kehilangan produksi global 10%, terutama di negara tropis¹⁸.

Hama dan penyakit tanaman merupakan masalah penting yang dihadapi dalam usaha tani kopi. Hama dan penyakit utama tanaman kopi adalah penggerek buah kopi (*Hypothenemus hampei*) dan penyakit karat daun yang disebabkan oleh *H. vastatrix*. Penyakit karat daun cukup sulit dikendalikan karena berkembang pada daun tanaman yang hidup. Iklim dengan rerata suhu antara 21,6°C dan 23,6°C dengan kelembaban daun yang terkait dengan kelembaban relatif tinggi (>80%) adalah kondisi dengan tingkat infeksi *H. vastatrix* tertinggi pada daun kopi¹⁹. Kopi merupakan tanaman tahunan yang membentuk daun sepanjang tahun sehingga siklus infeksi terus berlangsung dari waktu ke waktu²⁰.

4. Pergeseran Areal Produksi

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) telah melaporkan dampak peningkatan suhu udara global terhadap produksi kopi di beberapa negara seperti Amerika dan Afrika. Daerah yang sesuai bagi tanaman kopi akan bergerak ke wilayah dengan elevasi lebih tinggi²³. Dalam kondisi demikian, negara penghasil kopi saat ini akan kehilangan sentra produksi seperti Nikaragua, Meksiko, dan Tanzania²². Selanjutnya dinyatakan dampaknya akan lebih besar pada dataran rendah. Daerah pada ketinggian kurang dari 500 m dpl. akan mengalami penurunan potensi produksi yang tinggi. Sebaliknya, daerah pada ketinggian lebih dari 700 m dpl. berpotensi menjadi sentra produksi baru, antara lain dataran tinggi di Afrika Timur, Indonesia, Papua Nugini, dan Andes.

Diproyeksikan akan terjadi penurunan luas lahan yang sesuai untuk tanaman kopi, di Brazil seperti di negara bagian Parana 10%, Minas Gerais dan Sao Paulo 50%, sedangkan di negara bagian Goias tidak ada lagi lahan yang sesuai²⁴. Sementara itu, areal baru yang sesuai untuk tanaman kopi terdapat di Santa Catarina dan Rio Grande do Sul. Namun luas areal di kedua daerah tersebut tidak mencukupi untuk menggantikan lahan yang tidak lagi sesuai di wilayah lainnya. Di beberapa negara bagian di Amerika Latin diproyeksi terjadi penurunan kualitas dan

produksi kopi karena suhu lebih tinggi, penurunan curah hujan dan perubahan pola hujan yang berdampak terhadap peningkatan risiko kejadian iklim ekstrim²².

Sebagai negara kepulauan dan memiliki topografi pegunungan, Indonesia mempunyai wilayah dengan ketinggian di atas 1.000 m dpl. yang cukup luas dan cocok untuk pengembangan kopi Arabika. Saat ini terdapat 96 ribu ha areal perkebunan kopi Arabika yang tersebar di Aceh, Sumatera Utara, Sulawesi Selatan, Jawa Timur, Bali, dan Flores. Diluar area tersebut terdapat 360 ribu ha lahan yang sesuai untuk penanaman kopi Arabika sehingga berpotensi sebagai areal pengembangan kopi dengan wilayah terluas ada di Sumatera Utara²⁵.

Teknologi Budidaya yang Adaptif Terhadap Peningkatan Suhu

- Pola Tanam Kopi dengan Penaung (Agroforestry)

Implementasi peningkatan sistem produksi kopi harus menekankan persyaratan keberlanjutan, hasil yang konsisten, dan tetap menjaga lingkungan ekologis yang sehat. Fungsi utama dari pohon penaung terhadap fisiologi tanaman antara lain penurunan kecepatan angin, fluktuasi suhu (sebanyak 4-5°C), peningkatan kelembaban relatif udara, dan perubahan kekasaran aerodinamis dari area yang dipangkas yang pada gilirannya akan memungkinkan pembukaan stomata yang lebih lama sehingga mendukung penyerapan CO₂, tanpa peningkatan proporsional akibat evaporasi²⁶. Naungan yang memadai dapat mempertahankan status air tanah dan tanaman kopi setelah kekeringan yang berkepanjangan.

Persentase naungan yang sesuai untuk tanaman kopi adalah yang dapat menghasilkan intensitas cahaya masuk 60-80%, intensitas cahaya masuk lebih dari 70% akan menyebabkan cekaman bagi tanaan kopi, sehingga diperlukan pengaturan cahaya pada kisaran 55% bermanfaat untuk fotosintesis tajuk kopi yang lebih besar dibandingkan dengan tanaman kopi di bawah sinar matahari penuh melalui penurunan signifikan dari stress stomata²⁶. Intensitas cahaya yang sesuai untuk proses fotosintesis tanaman kopi berkisar

2000-6000 fc. Pengurangan intensitas cahaya matahari melalui pemberian naungan berhubungan langsung dengan perubahan iklim mikro yang akan mempengaruhi proses asimilasi karbohidrat dan pertumbuhan tanaman³⁾.

Selain itu, pohon penaung menyebabkan *input* radiasi yang lebih rendah pada tingkat kanopi, sehingga mengurangi tingkat kerusakan fotooksidatif, sebuah fenomena yang sering diamati pada kopi yang ditanam pada paparan penuh di zona marginal⁹⁾. Meskipun asli dari lingkungan teduh, kultivar kopi modern seperti Conilon di Brasil, BP 409, BP 308, BP 939, BP 534, AS 2K, dan Komasti di Indonesia. TR 1-14 di Vietnam memiliki toleransi yang luas dalam menanggapi berbagai radiasi. Kultivar seperti itu tumbuh dengan baik tanpa naungan dan bahkan dapat menunjukkan produksi yang lebih tinggi daripada pohon-pohon di bawah naungan, terutama di zona dengan iklim dan tanah yang sesuai. Terdapat kecenderungan peningkatan dalam ekspansi penanaman kopi ke lahan marginal dimana kekurangan air dan suhu yang tidak menguntungkan dapat secara signifikan menghambat produksi tanaman. Perkebunan kopi juga telah diperluas ke daerah yang lebih hangat dengan kekeringan yang berkepanjangan dan tidak terduga sehingga penggunaan pohon penaung sangat dianjurkan²⁸⁾.

Penurunan intensitas cahaya matahari akibat adanya pohon penaung berakibat pada penurunan suhu dan peningkatan kelembaban di dalam kebun. Berdasarkan kajian sistem agroforestri kopi-karet di Brasil menunjukkan penurunan suhu lingkungan hingga 3°C pada bulan-bulan hangat dan periode kritis berbunga dan berbuah. Nilai suhu udara tertinggi diperoleh pada musim panas di bawah sinar matahari penuh (36,8°C pada jam 14.00), dan suhu 32,9°C dicatat pada saat yang sama pada tanaman yang ditumbuhkan dengan perbedaan 3,9°C. Oleh karena itu, asalkan agroekosistem dikelola dengan benar (pilihan spesies pohon penaung yang tepat, evaluasi yang tepat terhadap kepadatan penanaman, tipe tanah, air, dan suhu), maka penggunaan pohon penaung merupakan opsi yang sangat dianjurkan.

- Penggunaan Klon Kopi Toleran Hama dan Penyakit

Seperti telah disebutkan sebelumnya bahwa peningkatan aktivitas organisme pengganggu tanaman (OPT) juga merupakan salah satu dampak perubahan iklim yang mengarah pada pemanasan global. Penggerak Buah Kopi (PBKo) menyerang buah mulai buah muda hingga buah masak dan buah yang mengering. Serangan hama PBKo menyebabkan buah berlubang dan biji kopi



Suhu harian pada perkebunan kopi dengan penaung karet dan tanpa penaung di Brasil

(Sumber: Araujo et al., 2016)

rusak sehingga dapat mengurangi produktivitas dan mutu. Pengendalian kultur teknis meliputi: sanitasi untuk emutus siklus hidup hama PBKo, pengaturan naungan dan tajuk tanaman kopi, dan menanam jenis kopi yang masak serentak. Sanitasi dilakukan dengan cara melakukan panen buah kopi hingga tuntas (petik bubuk hingga lelesan) dan tidak meninggalkan buah di kebun setelah masa panen. Buah-buah sisa yang terjatuh harus dibersihkan dari kebun. Pengendalian biologis dilakukan dengan cara penggunaan agens hayati *Beauveria bassiana*, serta penggunaan senyawa penarik/atraktan (Hypotan)³⁰.

Kenaikan suhu tahunan sebesar rata-rata 0,3°C sangat berpengaruh terhadap budidaya kopi Arabika di Indonesia yang merupakan negara beriklim tropis. Kopi Arabika di Indonesia akan optimal jika dibudidayakan di dataran tinggi dengan ketinggian >1000 m dpl. yang beriklim sejuk. Budidaya kopi Arabika pada ketinggian <1000 m dpl. yang bersuhu lebih tinggi memerlukan input serta perlakuan khusus sebab serangan penyakit karat daun akan meningkat seiring dengan peningkatan suhu lingkungan dan curah hujan dengan potensi kerugian mencapai 40% di Peru¹⁹. Penggunaan jenis kopi tahan/toleran karat daun menjadi metode yang paling efisien untuk diaplikasikan³¹. Beberapa jenis kopi yang toleran terhadap karat daun yaitu S 795, Andungsari Dua Klonal (AS 2K), Komposit Andungsari Tiga (KOMASTI).

Penutup

Kenaikan suhu yang diprediksi akan terjadi di masa depan akan berpengaruh negatif pada tanaman kopi baik secara morfologis, fisiologis maupun biokimia. Pada komoditas kopi, seperti yang terjadi pada sebagian besar spesies tanaman tropis, perubahan dalam fenomena fisiologis yang berhubungan dengan perubahan suhu meliputi asimilasi dan fotosintesis, hubungan hormon, metabolisme karbon dan nitrogen, mekanisme pertahanan melawan stres oksidatif. Suhu tinggi juga akan meningkatkan serangan hama dan penyakit tanaman serta akan berpengaruh terhadap tingkat kesesuaian lahan untuk budidaya kopi dan bukan tidak mungkin

akan terjadi pergeseran setra produksi kopi. Aplikasi sistem budidaya kopi dengan naungan (*agroforestry*) serta penggunaan klon toleran hama penyakit merupakan alternatif untuk mengurangi kemungkinan cekaman suhu pada tanaman kopi.

Sumber Pustaka

- ¹Delmotte, M.; P. Zhai; H.O. Portner; D. Roeberts; J. Skeal; P.R. Shuklal; A. Pirani; W. Moufouma-Okia; C. Pean; R. Pidcock; S. Connors; J.B.R. Matthews; Y. Chen; X. Zhou; M.I. Gomis; E. Lonnoy; T. Maycock; M. Tignor & T. Waterfield (2018). Summary for Policymakers. *In: Global warning of 1.5°C. World Meteorological Organization*. Geneva, Switzerland. 32 pp.
- ²Solomon, S.; D. Qin & M. Manning (2007). *Climate Change 2007. The Physical Science Basis*. Cambridge University Press. UK.
- ³Krishna, P. (2004). Plant responses to heat stress. pp. 72–101. *In: Hirt, H. & K. Shinozaki (eds), Plant Responses to Abiotic Stress*. Topics in Current Genetics, Springer-Verlag, Berlin.
- ⁴Syakir, M. & E. Sumaini (2017). Perubahan Iklim dalam Konteks Sistem Produksi dan Pengembangan Kopi di Indonesia. *Jurnal Litbang Pertanian*, 366(2), 77–90.
- ⁵Anonim (2017). *Outlook Kopi Tahun 2017*. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Sekretariat Jenderal Kementerian Pertanian. 106p.
- ⁶Araujo, A.V.; F.L. Partelli; G. Oliosi & J.R.M. Pezzopane (2016). Microclimate, development and productivity of robusta coffee shaded by rubber trees and at full sun. *Rev. Cienc. Agron*, 47(4), 700–709.
- ⁷Kanechi, M.; N.U. Uchida; T. Yasuda & T. Yamaguchi (1995). Water stress effects on leaf transpiration and photosynthesis of *Coffea arabica* L. under different irradiance conditions. p. 520–527. *In: Proceedings of the 16th International Scientific Colloquium on Coffee, Kyoto. Association Scientifique Internationale du Cafe*.
- ⁸Camargo, M.B.P. (2009). The Impact of Climate Variability in Coffee Crop. *Agrometeorologia*, 69(1), 239–247.
- ⁹Mano, J. (2002). *Early events in environmental stresses in plants-Induction mechanisms of oxidative stress*. *In: Inzé, D. & M. Van Montagu (eds), Oxidative Stress in Plants*, Taylor & Francis, London. pp. 217–245.
- ¹⁰Ramalho, J. C.; A.P. Rodrigues; J.N. Semedo; I. P. Pais; L.D. Martins & M.C. Simões-Costa (2013). Sustained photosynthetic performance of *Coffea* spp. under long-term enhanced CO₂. *PLoS ONE*, 8:e82712.
- ¹¹Wang, Q.L.; J.H. Chen; N.Y. He & F.Q. Guo (2018). Metabolic Reprogramming in Chloroplasts under Heat Stress in Plants. *International Journal Mol. Science*. 19, 1–22.
- ¹²Melke, A. & M. Fetene (2014). Eco-physiological basis of drought stress in coffee (*Coffea arabica*, L.) in Ethiopia. *Plant Physiol.*, 26, 225–239.

- ¹³Cerri, C.E.P.; G. Sparovek; M. Bernoux; W.E. Easterling; J.M. Melillo & C.C. Cerri (2007). Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. *Scientia Agricola*, 64, 83–99.
- ¹⁴Villers, L.; N. Arizp; R. Orellana; C. Conde & J. Hernandez (2009). Impacts of climatic change on coffee flowering and fruit development in Veracruz, México. *Intersciencia*, 34(5), 322–329.
- ¹⁵Assamha, F.H. (2017). Dampak Perubahan Iklim Terhadap Produktivitas Tanaman Kopi di Kabupaten Tana Toraja. *Skripsi*. Departemen Geofisika dan Meteorologi. Institut Pertanian Bogor. 33pp.
- ¹⁶Martins, M.Q.; W.P. Rodrigues; A.S. Fortunato; A.E. Leita; A.P. Rodrigues & I.P. Pais (2016). Protective response mechanisms to heat stress in interaction with high CO₂ conditions in *Coffea* spp. *Frontiers in Plant Science*. 7:art947.
- ¹⁷Silva, E.A.; P. Mazzafera; O. Brunini; E. Sakai; F. B. Arruda; L.H.C. Mattoso; C.R.L. Carvalho & R.C.M. Pires (2005). The influence of water management and environmental conditions on the chemical composition and beverage quality of coffee beans. *Brazil Journal Plant Physiology*, 17 (2), 229–238.
- ¹⁸Magina, F.; R. Makundi; A. Maerere; G. Maro & J. Teri (2011). *Temporal variations in the abundance of three important insect pests of coffee in kilimanjaro region, tanzania*. In Proceedings, 23rd International Scientific Colloquium on Coffee. Association Scientifique Internationale du Caffe (ASIC), Bali, Indonesia, p. 1114–1118.
- ¹⁹Capucho, S.; L. Zambolim; P.G.C. Cabral; E. Maciel-Zambolim & E.T. Caixeta (2012). Climate favourability to leaf rust in Conilon coffee. *Australasian Plant Pathol*, 1–5.
- ²⁰Ghini, R.; W. Bettiol & E. Hamada (2011). Diseases in tropical and plantation crops as affected by climate changes: current knowledge and perspectives. *Plant Pathology*, 60, 122–132.
- ²¹Jaramillo, J.; A. Chabi-Olaye; C. Kamonjo; A. Jaramillo; F.E. Vega; H.M. Poehling & C. Borgemeister (2009). Thermal tolerance of the coffee berry borer *hypothenemus hampei*: predictions of climate change impact on a tropical insect pest. *PLoS One*, 4(8), e6487.
- ²²Koebler, J. (2013). How Climate Change Could Eventually End Coffee. <http://www.usnews.com/news/articles>. Diakses : 21 April 2019.
- ²³Sachs, J.; J. Rising; T. Foreman; J. Simmons & M. Brahm (2015). *The impacts of climate change on coffee: trouble brewing*. Columbia University. 153 p.
- ²⁴Schroth, G.; P. Laderach; J. Dempewolf; S.M. Philpott; J.P. Hagggar; H. Eakin; T. Castillejos; J. Garcia-Moreno; H. Soto-Pinto; R. Hernandez; A. Eitzinger & J. Ramirez-Villegas (2009). Towards a climate change adaptation strategy for coffee communities and ecosystems in the Sierra Madre de Chiapas, Mexico. *Mitig Adapt Strateg Glob Chang*, 14, 605–625.
- ²⁵Ditjenbun (2016). *Statistik perkebunan Indonesia Komoditas kopi 2015–2017*. Direktorat Jenderal Perkebunan. 83p.
- ²⁶Franck, N. & P. Vaast (2009). Limitation of coffee leaf photosynthesis by stomatal conductance and light availability under different shade levels. *Trees*. 23(4), 761–769
- ²⁷Thomaziello, R.A.; L.C. Fazuoli; J.R.M. Pezzopane; J.I. Fahl & M.L. Carelli (2000). *Arabic Coffee: Culture and Techniques of Production*. Instituto Agronômico, Campinas, Brazil.
- ²⁸DaMatta, F.M. & A.B. Rena (2002). Ecofisiologia de cafezais sombreados e a pleno Sol. *In*: L. Zambolim (ed), *O Estado da Arte de Tecnologias na Produção de Café*, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. pp. 93–135.
- ²⁹Campanha, M.M.; R.H.S. Santos, G.B. Freitas; H.E.P. Martinez; S.L.R. Garcia & F.L. Finger (2004). Growth and yield of coffee plants in agroforestry and monoculture systems in Minas Gerais, Brazil. *Agroforestry Systems*, 63, 75–82.
- ³⁰Deepak, K.; B.T. Hanumantha & H.L. Sreenath (2012). Viability of coffee leaf rust *Hemileia vastatrix*. Urediniospores stored at different temperatures. *Biotechnol Biomate*, 2(5), 1–3.
- ³¹Samosir, F.A.; M.U. Tarigan & S. Oemry (2013). Survei faktor kultur teknis terhadap perkembangan populasi hama penggerek buah kopi (*Hypothenemus hampei*) di Kabupaten Simalungun. *Agroteknologi*: 1(4), 1–14.