

PERUBAHAN IKLIM DALAM KONTEKS SISTEM PRODUKSI DAN PENGEMBANGAN KOPI DI INDONESIA

Climate Change in the Context of Production System and Coffee Development in Indonesia

¹M. Syakir dan ²E. Surmaini

¹Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian

Jalan Ragunan No. 29, Pasar Minggu, Jakarta Selatan 12540

Telp. (021) 7806202; (021) 7800644

E-mail: msyakir@litbang.pertanian.go.id; info@litbang.pertanian.go.id

²Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi

Jalan Tentara Pelajar no 1A, Bogor 16111

Telp. (0251) 8312760; (0251) 8312760

E-mail: elzasurmaini@gmail.com; balitklimat@litbang.pertanian.go.id

Diterima: 2 Maret 2017; Direvisi: 10 Oktober 2017; Disetujui: 27 Oktober 2017

ABSTRAK

Kopi merupakan salah satu komoditas ekspor yang berperan strategis dalam perekonomian hampir dua juta rumah petani di Indonesia. Potensi ekspor kopi Indonesia cukup tinggi karena cita rasanya yang disukai, namun tren peningkatan produksi kopi nasional hanya 1-2% per tahun. Di sisi lain, dampak perubahan iklim juga mengancam tercapainya target peningkatan produksi. Makalah ini merupakan tinjauan dampak perubahan iklim terhadap produksi kopi dan strategi adaptasinya di Indonesia. Daerah penghasil utama kopi seperti Aceh, Sumatera Utara, Sumatera Selatan, Lampung, Bengkulu, Jawa Timur dan Sulawesi Selatan rentan terhadap dampak perubahan iklim. Meningkatnya kejadian iklim ekstrim seperti kekeringan akibat El Niño mengakibatkan penurunan produksi kopi 10%. Sebaliknya, musim hujan yang panjang akibat La Niña menurunkan produksi kopi hingga 80%. Dampak tidak langsung perubahan iklim adalah meningkatnya serangan hama penggerek buah kopi dan penyakit karat daun yang menyebabkan penurunan produksi sekitar 50%. Akibat kenaikan suhu, sentra produksi kopi diproyeksikan akan berpindah ke wilayah dengan elevasi yang lebih tinggi. Berbagai teknologi adaptasi telah dihasilkan, namun tingkat adaptasi petani kopi umumnya masih rendah. Kondisi ini diperparah oleh terbatasnya akses sebagian besar petani terhadap informasi iklim, pasar, teknologi, kredit usaha tani, dan informasi pengelolaan risiko iklim. Untuk mengatasi masalah tersebut, pengambil kebijakan, stakeholder, dan petani harus mengakselerasi upaya adaptasi karena perubahan iklim telah terjadi dan akan terus berlangsung.

Kata kunci: Kopi, perubahan iklim, produksi, adaptasi

ABSTRACT

Coffee is one of the Indonesian largest export commodities and has a strategic role in the economy of nearly two million farmers' livelihood. The potency of Indonesia's coffee export is quite high because of its preferred taste, however the trend of national coffee production is only 1-2% per year. On the other hand, the impacts

of climate change also threaten the achievement of increased production targets. This paper reviews the impact climate change on coffee production and the adaptation strategies. The main coffee producing regions in Indonesia are Aceh, North Sumatera, South Sumatera, Lampung, Bengkulu, East Java and South Sulawesi Provinces. Most of these regions are vulnerable to climate change. The increasing of extreme climate events such as drought due to El Niño causes a decline in national coffee production to 10%. On the contrary, the longer wet season due to La Niña caused the decreased coffee production to 80%. Indirect impacts due to rising temperatures are increased incidence of coffee borer and leaf rust disease which can lead to a 50% decline on coffee production. Due to rising temperatures, the projected coffee production areas are projected to shift to higher elevations. Numerous adaptive technologies have been introduced, however adaptive capacity of farmers are still low. This condition is exacerbated by the limited access of most farmers to climate information, markets, technology, farming credits, and climate risk management information. To overcome the problem, policy makers, stakeholders and farmers have to accelerate the adaptation practices since the climate change has occurred and will continue to happen.

Keywords: Coffee, climate change, production, adaptation Top of Form

PENDAHULUAN

Kopi merupakan salah satu komoditas ekspor negara berkembang dengan nilai mencapai 15 miliar dolar Amerika Serikat (AS) pada tahun 2015. Tanaman ini tumbuh di 60-an negara tropis dan 65% produksi dunia dihasilkan oleh empat negara penghasil utama kopi yaitu Brazil, Vietnam, Indonesia, dan Columbia. Di antara hampir 100 spesies yang ditemukan, kopi arabika (*Coffea arabica* L.) dan kopi robusta (*Coffea canephora* var. *Robusta*) mendominasi perdagangan dunia. Kopi arabika mendominasi 70% konsumsi kopi dan sisanya diisi oleh

kopi robusta (Damatta dan Ramalho 2006). Kopi arabika tumbuh di dataran tinggi tropis dengan kualitas tinggi, sementara kopi robusta tumbuh di dataran rendah dengan kualitas rendah.

Di Indonesia, kopi merupakan komoditas ekspor terbesar setelah kelapa sawit dan kelapa. Karenanya, pengembangan kopi menjadi salah satu prioritas dalam pembangunan pertanian. Pengembangan kopi secara nasional berdampak positif terhadap peningkatan perekonomian masyarakat yang melibatkan sekitar 1,96 juta rumah tangga (RT) petani (BPS 2017). Menurut data Ditjenbun (2016), produksi nasional kopi pada tahun 2015 adalah 639.412 ribu ton. Kementerian Pertanian menargetkan produksi kopi pada tahun 2019 sebesar 0,79 juta ton. Namun, dalam periode 1970–2015 produksi kopi tidak mengalami kenaikan yang cukup signifikan, hanya 1–2% per tahun (Kementerian 2015).

Pencapaian target produksi kopi harus didukung oleh berbagai faktor pendukung seperti peningkatan luas areal tanam, penggunaan bibit/benih varietas unggul, penerapan teknologi budi daya yang tepat, intervensi pemerintah melalui kegiatan rehabilitasi, dan pemberdayaan petani. Di lain sisi, salah satu kendala dalam peningkatan produksi kopi dewasa ini adalah perubahan iklim. Berbagai penelitian menunjukkan produksi pertanian dipengaruhi oleh perubahan iklim (Brown dan Funk 2008; Lobell *et al.* 2008; Vermeulen *et al.* 2012). Hal ini antara lain ditandai oleh tingginya frekuensi kejadian iklim ekstrim dan suhu meningkat melebihi kondisi optimum bagi pertumbuhan tanaman (Hannah *et al.* 2013). Perubahan iklim itu sendiri ditandai antara lain oleh kenaikan suhu, keragaman curah hujan, dan meningkatnya kejadian iklim ekstrim. Kondisi ini menyebabkan penurunan produktivitas tanaman di daerah dengan suhu yang lebih tinggi karena cekaman panas, erosi tanah karena curah hujan tinggi, dan degradasi lahan akibat meningkatnya intensitas dan durasi kekeringan (Solomon *et al.* 2007).

Dalam laporan penilaian ke-5 (*Fifth Assessment Report*, AR5) *Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC* (2014) dinyatakan pada akhir abad ke-21 diproyeksikan kenaikan suhu udara akan melampaui 2°C jika tidak dilakukan upaya mitigasi atau dengan skenario *business as usual*. Walaupun dilakukan upaya mitigasi secara agresif tetap akan terjadi kenaikan suhu 1,5°C. Konsekuensi kenaikan suhu adalah pola hujan tidak teratur, meningkatnya kejadian iklim ekstrim seperti kemarau panjang yang menyebabkan kekeringan, curah hujan tinggi dalam periode cukup lama yang menyebabkan banjir, angin kencang, naiknya permukaan air laut, dan berkurangnya sumber air permukaan dan air tanah.

Perubahan iklim berdampak terhadap berbagai aspek kehidupan, termasuk di sektor pertanian yang merupakan sumber perekonomian sebagian besar masyarakat di perdesaan. Hasil simulasi tanaman berdasarkan skenario proyeksi iklim menyimpulkan dampak perubahan iklim

akan lebih parah di daerah tropis yang umumnya banyak terjadi krisis pangan (Cerri *et al.* 2007). Peningkatan frekuensi iklim ekstrim memicu peningkatan cekaman abiotik dan biotik pada tanaman.

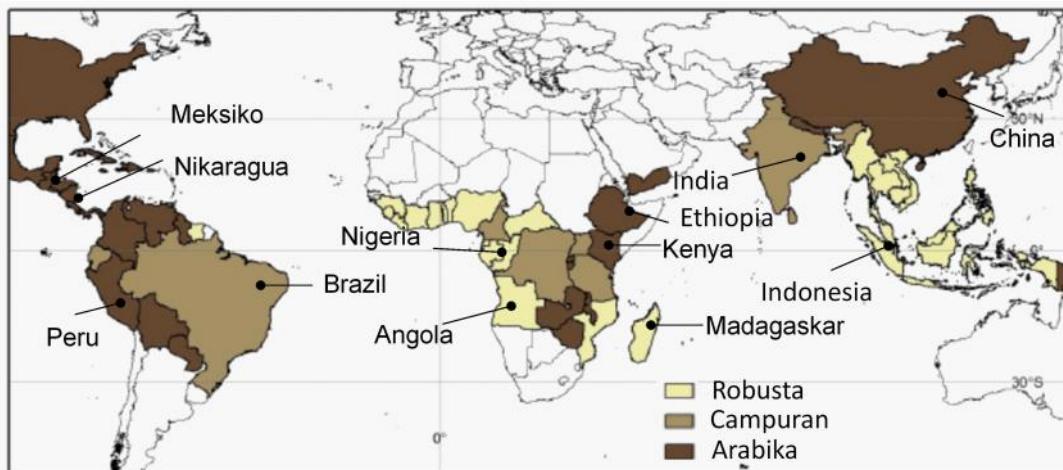
Kajian dampak perubahan iklim pada tanaman pangan sudah banyak dilakukan oleh para ahli, namun pada tanaman perkebunan masih terbatas. Tulisan ini merupakan hasil telaah pustaka tentang dampak perubahan iklim terhadap pertumbuhan dan produksi kopi, proyeksi pergeseran sentra produksi kopi di Indonesia, dan strategi pengelolaan tanaman kopi dalam menghadapi perubahan iklim.

PENYEBARAN TANAMAN KOPI

Jenis kopi yang mendominasi di pasar dunia adalah kopi arabika dan kopi robusta. Dua jenis kopi lain adalah kopi liberika (*Coffea liberica*) dan kopi ekselsa (*Coffea excelsa*) dengan produksi hanya 1–2% dari produksi kopi dunia. Semua spesies kopi berasal dari benua Afrika. Kopi arabika berasal dari dataran tinggi (1.300–2.000 mdpl) Etiopia, Sudan, dan Kenya. Kopi robusta berasal dari Afrika tropis pada ketinggian kurang dari 1.000 mdpl. Kopi liberika dan kopi ekselsa berasal dari dataran rendah di bagian barat dan tengah Afrika. Kopi arabika dibudidayakan oleh lebih dari 80% negara produsen kopi dan terluas di Amerika. Di Asia, kopi spesies ini hampir punah, antara lain disebabkan oleh penularan penyakit karat daun (*Hemileia vastatrix*), dan saat ini hanya terdapat di dataran tinggi India, Filipina, dan bagian tenggara Indonesia. Daerah penghasil kopi (*coffee belt*) dewasa ini tersebar di sepanjang daerah ekuator dan perkebunan kopi tersebar di 25 negara, antara lain Meksiko, Brazil, Nikaragua, Costa Rica, Vietnam, dan Indonesia. Brazil merupakan negara produsen kopi utama dunia (Gambar 1).

Kopi arabika tumbuh dan berproduksi dengan baik di dataran tinggi tropis. Pertumbuhan, produktivitas, dan kualitas kopi arabika dipengaruhi oleh ketinggian tempat, panjang periode gelap dan terang (fotoperiodisme), distribusi hujan, dan suhu udara (Sihaloho 2009). Tempat yang sesuai bagi pertumbuhan kopi arabika berkisar antara 1.000–1.700 mdpl. Pada lokasi dengan ketinggian <1.000 mdpl, tanaman kopi arabika mudah terjangkit penyakit karat daun, sedangkan pada ketinggian tempat >1.700 mdpl produksinya tidak optimal karena pertumbuhan vegetatif lebih cepat dari generatif.

Suhu udara yang optimum untuk pertumbuhan kopi arabika berkisar antara 18–23°C dengan curah hujan 1.600–2.000 mm/tahun dengan bulan kering 3–4 bulan (Sylvain 1955). Beberapa kultivar dengan pengelolaan yang intensif dapat dikembangkan pada lahan marginal dengan suhu tahunan rata-rata 24–25°C seperti di bagian utara dan timur laut Brazil. Pada wilayah dengan suhu rata-rata tahunan di bawah 18°C tidak direkomendasikan pengembangan kopi karena kendala embun beku yang



Gambar 1. Negara penghasil kopi di dunia (Sumber: Bunn 2015).

menyebabkan rendahnya produksi (Damatta dan Ramalho 2006).

Kopi robusta berasal dari hutan hujan tropis dataran rendah di daerah aliran sungai Kongo sampai Danau Victoria, Uganda. Suhu udara rata rata di daerah tersebut berkisar antara 23–26°C dengan curah hujan 2.000 mm yang terdistribusi dalam 9–10 bulan. Suhu yang tinggi dan udara yang kering dapat merusak tanaman kopi (Coste 1992). Kopi robusta dapat tumbuh pada ketinggian 0–800 mdpl. Di luar daerah asalnya, kopi robusta dapat tumbuh baik pada daerah dengan suhu tahunan rata-rata 22–26°C. Menurut Djaenudin *et al.* (2003), kondisi optimal untuk pertumbuhan kopi robusta adalah pada daerah dengan kisaran suhu 22–25°C, curah hujan 2.000–3.000 mm/tahun, dan 2–3 bulan kering. Kopi robusta banyak dibudidayakan di Kongo, Brazil, Angola, Madagaskar, Pantai Gading, Vietnam, Indonesia, dan Uganda.

Setiap provinsi di Indonesia mempunyai perkebunan kopi, terutama milik rakyat, sebagian besar terletak pada 0–10°LS, antara lain di Provinsi Sumatera Selatan, Lampung, Bali, Jawa Barat, Jawa Timur, Sulawesi Selatan, dan sebagian kecil terletak pada 0–50°LU, seperti di Provinsi Aceh dan Sumatera Utara. Sentra produksi kopi robusta di Indonesia terdapat di Sumatera Selatan dan Lampung, sedangkan kopi arabika di dataran tinggi Sulawesi Selatan, Sumatera Utara, Aceh, dan beberapa daerah di Jawa (Gambar 2).

Lahan yang subur di Indonesia sesuai bagi pengembangan tanaman kopi. Namun saat ini luas areal pertanaman kopi arabika sangat terbatas dan produksinya rendah. Di lain pihak, permintaan akan kopi arabika Indonesia meningkat dari waktu ke waktu karena mempunyai citarasa dan aroma yang unik dengan harga yang lebih tinggi daripada jenis kopi lainnya. Sayangnya, perubahan iklim menjadi kendala bagi 1,5 juta petani Indonesia dalam meningkatkan produksi dan kualitas kopi.

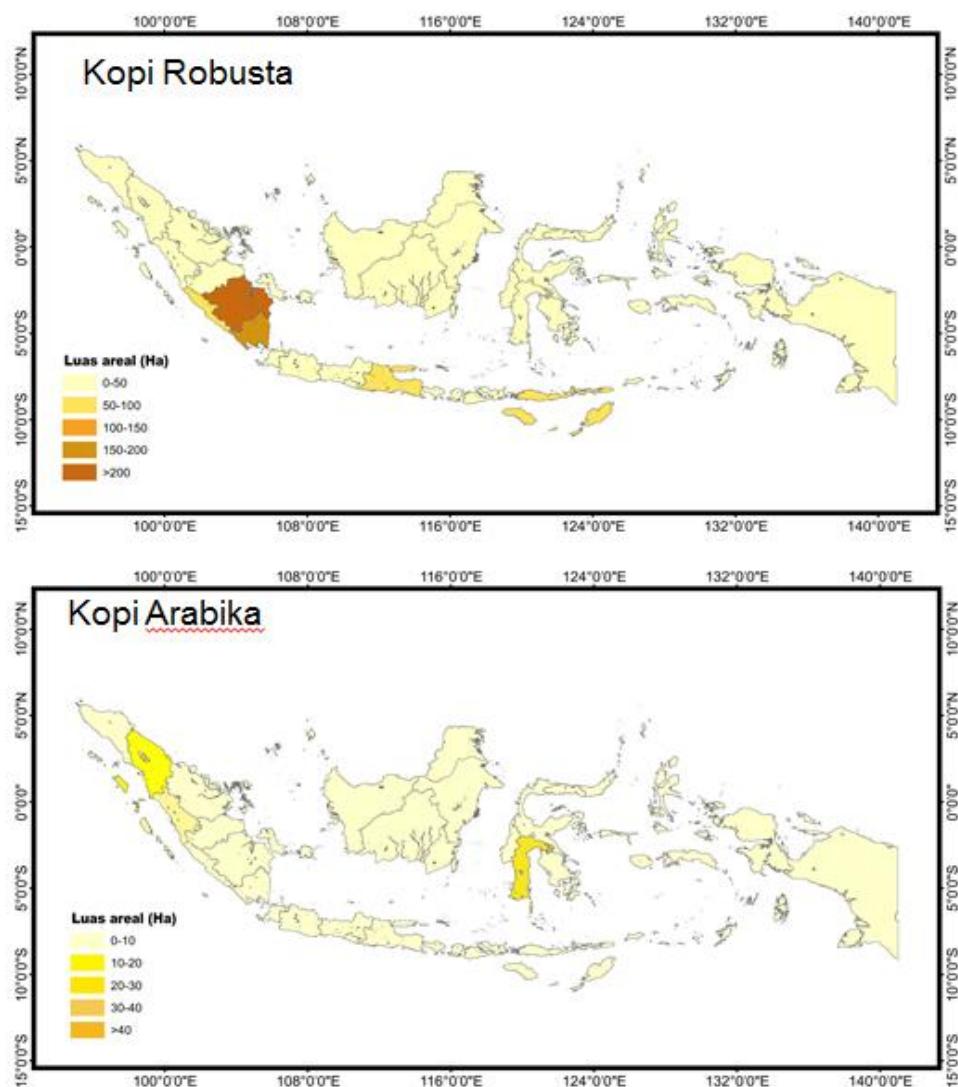
Kualitas kopi ditentukan oleh citarasa dan aroma. Citarasa kopi dipengaruhi oleh varietas, agroekologi, waktu panen, metode pemotongan, pengolahan, penyim-

panan (Siswoputranto 1993; Soonthornkamol 2004; Salla 2009), dan pengolahan (Avallone *et al.* 2002; Jackels dan Jackels 2005). Kopi dengan citarasa yang tinggi dihasilkan melalui proses fermentasi. Di Indonesia, sebagian besar kopi arabika diolah secara fermentasi. Kopi robusta umumnya tidak mendapat perlakuan fermentasi, terutama yang berasal dari perkebunan rakyat (Puslitkoka 2008). Pada proses fermentasi terbentuk senyawa prekursor citarasa yang lengkap. Senyawa prekursor yang sudah ada secara alami pada biji kopi adalah trigonelin, asam klorogenik, lipid, dan peptida (Buffo dan Fraire 2004; Janzen 2012; Wang 2012). Senyawa prekursor lainnya yaitu gula reduksi, asam amino, dan asam organik yang terbentuk pada proses fermentasi (Suslick *et al.* 2010; Yenetzian *et al.* 2012; Wang 2012).

STATISTIK KOPI INDONESIA

Luas areal perkebunan kopi di Indonesia pada periode 1980–2014 cenderung meningkat dan pada tahun 2014 tercatat 1,23 juta ha dengan laju pertumbuhan 1,61% per tahun. Pada tahun 1980 areal perkebunan kopi hanya 0,71 juta ha, terluas terdapat di Sumatera Selatan (249 ribu ha), Lampung (155 ribu ha), Aceh (120 ribu ha), Jawa Timur (102 ribu ha), dan Bengkulu (91 ribu ha) (Ditjenbun 2015).

Produksi kopi Indonesia pada tahun 2015 tercatat 6,39 juta ton, 1,23 juta ha di antaranya berasal dari perkebunan rakyat dan sisanya dari perkebunan besar milik swasta (PBS) dan milik negara (PBN). Kopi robusta mendominasi produksi kopi Indonesia, mencapai 75,4% dan sisanya 24,6% adalah kopi arabika. Daerah penghasil kopi robusta di Indonesia terutama Sumatera Selatan, Lampung, Bengkulu, Jawa Timur, Jawa Tengah, dan Jawa Barat. Produksi tertinggi kopi arabika terdapat di Sumatera Utara, Aceh, Sulawesi Selatan, Sumatera Barat, dan Jawa Timur. Walaupun luas areal perkebunan kopi di Aceh lebih rendah, produksinya lebih tinggi dari beberapa provinsi lainnya (Gambar 3).



Gambar 2. Penyebaran perkebunan kopi di Indonesia (Sumber: Ditjenbun 2015).

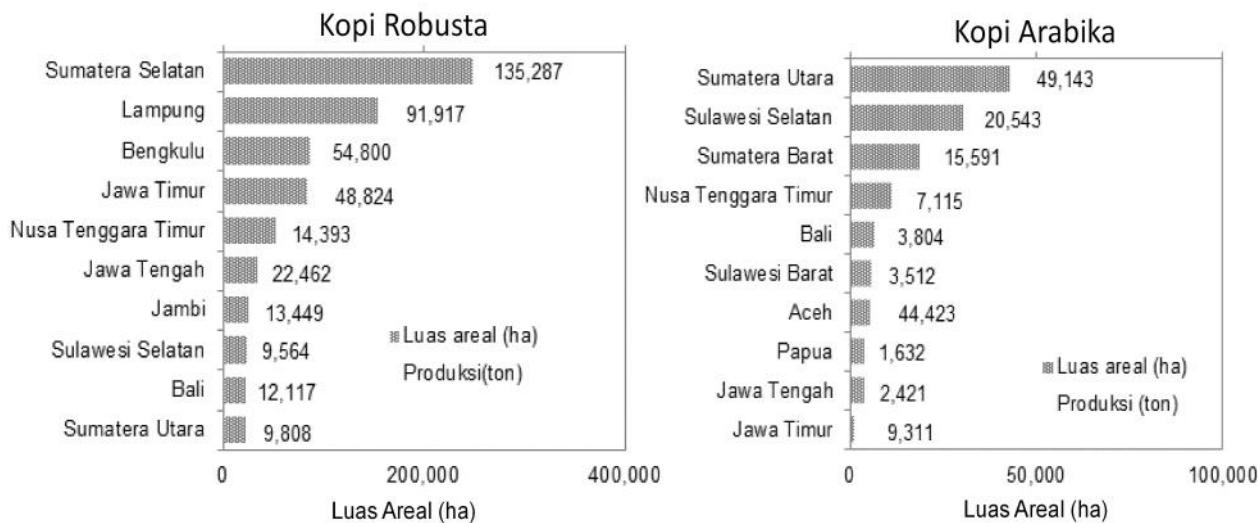
Indonesia tercatat sebagai produsen kopi terbesar ketiga di dunia setelah Brazil dan Vietnam (FAO 2013). Meskipun demikian, ekspor kopi Indonesia diperkirakan tidak lebih banyak dari Brazil, Vietnam, dan Kolombia. Indonesia dikenal sebagai penghasil *specialty coffee* melalui berbagai varian kopi. Kopi arabika yang dikenal dari Indonesia di antaranya kopi lintong, kopi toraja, dan kopi luwak. Ditinjau dari citarasa dan aromanya, kopi asal Indonesia berpeluang menguasai pasar kopi dunia.

Volume ekspor kopi Indonesia pada tahun 1980-2015 fluktuatif, namun cenderung meningkat dengan laju pertumbuhan rata-rata 4,39% per tahun. Jika pada tahun 1980 volume ekspor kopi Indonesia 238.677 ton dengan nilai ekspor 656 juta dolar AS, pada tahun 2015 meningkat menjadi 502.021 ton dengan nilai 1.198 juta dolar AS. Kopi Indonesia sebagian besar di ekspor ke Amerika, Jerman, Italia, Jepang, dan Malaysia.

DAMPAK PERUBAHAN IKLIM PADA TANAMAN KOPI

Sejak tahun 1850, suhu udara global meningkat rata-rata 1°C. Pada tahun 2100 mendatang, suhu diproyeksikan akan meningkat 2,6–4,8°C apabila tidak dilakukan upaya mitigasi yang agresif (IPCC 2014). Peningkatan suhu mempunyai konsekuensi yang kompleks pada pengembangan kopi karena 80–90% dari 25 juta petani kopi di dunia merupakan petani kecil, yang rentan terhadap dampak perubahan iklim. Pada saat suhu global meningkat, pasar kopi dunia akan mengalami ketidakpastian sehingga menjadi masalah bagi produsen dan konsumen kopi (*International Coffee Organization* 2014).

Dampak lain dari perubahan iklim adalah meningkatnya kejadian iklim ekstrim. Indonesia, yang oleh para pakar iklim disebut sebagai benua maritim, dipengaruhi



Gambar 3. Luas areal dan produksi kopi robusta dan arabika pada 10 provinsi di Indonesia tahun 2015 (Sumber: Ditjenbun 2016).

oleh berbagai sirkulasi iklim seperti *El Niño Southern Oscillation* (ENSO), *Indian Ocean Dipole* (IOD), *Madden Julian Oscillation* (MJO), dan beberapa osilasi lainnya. Pada saat terjadi anomali iklim akibat dua atau lebih sirkulasi tersebut secara bersamaan berdampak terhadap kejadian iklim ekstrim seperti kekeringan, banjir, dan angin kencang. IPCC (2013) dalam *Assessment Report 5* memproyeksikan kawasan yang dipengaruhi oleh monsun seperti Indonesia, awal musim akan lebih cepat dan akhir musim lebih lambat sehingga musim berlangsung lebih panjang. Selanjutnya dinyatakan bahwa pengaruh ENSO terhadap curah hujan akan semakin menguat.

Perubahan iklim dapat berpengaruh baik langsung maupun tidak langsung terhadap tanaman kopi. Perubahan iklim secara langsung mempengaruhi pertumbuhan dan produksi kopi, dan secara tidak langsung mendorong berkembangnya hama dan penyakit tanaman kopi (Tabel 1).

Pertumbuhan dan Produksi Kopi

Perubahan iklim di daerah tropis menyebabkan kerusakan tanaman, penurunan produksi, erosi tanah, dan kegagalan pengolahan tanah karena kejadian hujan lebat dan degradasi lahan akibat longsor dan kekeringan (Solomon *et al.* 2007). Hasil simulasi tanaman menggunakan skenario proyeksi iklim berbasis *Global Circulation Model* (GCM) menyimpulkan penurunan produksi pertanian akan lebih parah di daerah tropis (Cerri *et al.* 2007). Perubahan iklim menyebabkan kenaikan suhu yang akan menurunkan laju pertumbuhan, pembungan, dan pembuahan tanaman kopi (Villers *et al.* 2009). Petani kopi di Nikaragua melaporkan perubahan pola hujan dalam 20 tahun terakhir berdampak terhadap

ketidakteraturan pembungan, tidak sempurnanya pematangan buah, dan sering terjadi gugur buah (Jaramillo *et al.* 2009).

Salah satu fenomena anomali iklim yang mempengaruhi produksi kopi adalah *El Niño Southern Oscillation* (ENSO). Pengaruh ENSO lebih kuat di daerah tropis yang juga merupakan kawasan penghasil kopi (*coffee belt*) dunia. Fase hangat ENSO, yang dikenal sebagai *El Niño* menyebabkan musim kemarau lebih panjang 2–4 bulan dari kondisi normal. Tanaman kopi hanya memerlukan bulan kering 2–3 bulan, sehingga bulan kering yang lebih panjang akibat *El Niño* menyebabkan menurunnya produksi kopi. Menurut Sumirat (2008), kekeringan lebih dari tiga bulan berturut-turut menyebabkan daun dan ranting mengering dan banyak biji yang kosong. Data FAO menunjukkan kejadian *El Niño* yang kuat pada tahun 1972/73, 1982/83, dan 1997/98 menurunkan produksi kopi di hampir semua negara produsen utama kopi dunia (Tabel 2).

Perubahan iklim berdampak terhadap penurunan kualitas dan produksi kopi (Baker dan Haggar 2007). Peningkatan suhu mempengaruhi metabolisme tanaman seperti pembungan, fotosintesis, dan respirasi yang berdampak terhadap penurunan produksi kopi. Menurut Franco (1958), suhu udara di atas 23°C menyebabkan pembentukan dan pematangan buah lebih cepat sehingga kualitas kopi menurun. Suhu udara 30°C dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman tidak normal seperti daun menguning. Suhu udara yang tinggi selama fase pembungan menyebabkan gugur bunga.

Selain bulan kering ($CH < 100 \text{ mm/bulan}$) yang panjang, bulan basah ($> 100 \text{ mm/bulan}$) yang terjadi sepanjang tahun juga menurunkan proses persarian bunga kopi hingga 95%, sehingga populasi tanaman yang produktif lebih rendah. Bulan basah yang panjang sering terjadi pada kejadian iklim *La Niña* menyebabkan

Tabel 1. Pengaruh langsung dan tidak langsung perubahan iklim terhadap tanaman kopi.

Gangguan iklim	Dampak langsung	Dampak tidak langsung
Suhu tinggi	> 23°C: pematangan buah lebih cepat yang mengakibatkan penurunan kualitas buah > 25°C: penurunan laju fotosintesis > 30°C: pertumbuhan daun, batang, dan bunga tidak normal yang menyebabkan gugur buah dan daun.	Meningkatnya serangan hama dan penyakit
Hujan lebat, hujan es, angin	Kerusakan pohon, gugur buah menjelang panen	Tingginya pencucian hara yang menyebabkan kerusakan tanah miskin hara. Erosi tanah dan longsor yang menyebabkan kerusakan infrastruktur yang akan akan meningkatkan biaya.
Hujan di luar musim	Frekuensi pembungaan yang lebih tinggi	Meningkatnya serangan penyakit Mengganggu pengeringan hasil panen
Musim hujan panjang	Mengurangi pembungaan dan buah karena laju fotosintesis yang rendah akibat penutupan awan yang tinggi	Meningkatnya penyakit karena jamur dan hama serangga seperti penggerek buah kopi
Musim kemarau panjang	Meningkatkan kematian tanaman muda	Tanaman yang mengalami cekaman lebih rentan terhadap hama tertentu

(Sumber: UNDP 2005).

Tabel 2. Penurunan produksi kopi pada tahun El Niño kuat di beberapa negara penghasil kopi.

Negara	Penurunan produksi kopi (%) pada tahun El Niño			Rata-rata
	1972/1973	1982/1982	1997/1998	
Brazil	22,6	35,3	10,0	22,6
Columbia	7,7	1,4	4,0	4,4
Costa Rica	11,8	-	14,0	4,7
India	37,5	-	14,5	17,3
Indonesia*	8,6	10,7	6,7	8,7
Venezuela	30,8	2,6	14,0	15,8
Kenya	-	13,0	30,0	14,3

Sumber: FAOSTAT data diolah, *DITJENBUN (2015), - tidak terjadi penurunan produksi (<http://www.fao.org/faostat/>).

penurunan produksi kopi di Kebun Percobaan Sumber Asin, Malang, hingga 98% (Nur 2000). Bulan basah yang terjadi sepanjang tahun La Nina 1996 menurunkan produksi kopi di KP Jollong, Pati, sebesar 48% (Supriadi 2014).

Kualitas kopi sangat sensitif terhadap suhu dan curah hujan. Peningkatan suhu dan penurunan curah hujan yang diproyeksikan terjadi di selatan wilayah khatulistiwa berdampak terhadap penurunan produksi kopi. Sebagai contoh, produktivitas kopi yang hanya 150 kg/ha di Sulawesi antara lain disebabkan oleh kurangnya periode kering (Marsh dan Neilson 2007; Neilson *et al.* 2013). Periode kering yang cukup (2–3 bulan) diperlukan untuk mendorong pertumbuhan bunga, sedangkan curah hujan yang tinggi menyebabkan gugurnya buah. Sentra produksi kopi yang diproyeksikan mengalami kenaikan suhu dan peningkatan curah hujan disarankan mengganti tanaman kopi dengan komoditas yang toleran perubahan iklim.

Assamha (2017) menggunakan skenario *Representative Concentration Pathway* (RCP) 8,5 untuk memproyeksikan produktivitas kopi di Tana Toraja, Sulawesi Selatan. 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%.

Hama dan Penyakit

Hama dan penyakit tanaman merupakan masalah penting yang dihadapi dalam usaha tani kopi. Hama dan penyakit utama tanaman kopi adalah penggerek buah (*Hypothenemus hampei*) dan penyakit karat daun yang

disebabkan oleh jamur *H. vastatrix*. Serangan hama penggerak buah kopi menurunkan produksi sampai 50% (Samosir *et al.* 2013). Penyakit karat daun cukup sulit dikendalikan karena berkembang pada daun tanaman yang hidup. Kopi merupakan tanaman tahunan yang membentuk daun sepanjang tahun sehingga siklus infeksi terus berlangsung dari waktu ke waktu (Deepak *et al.* 2012).

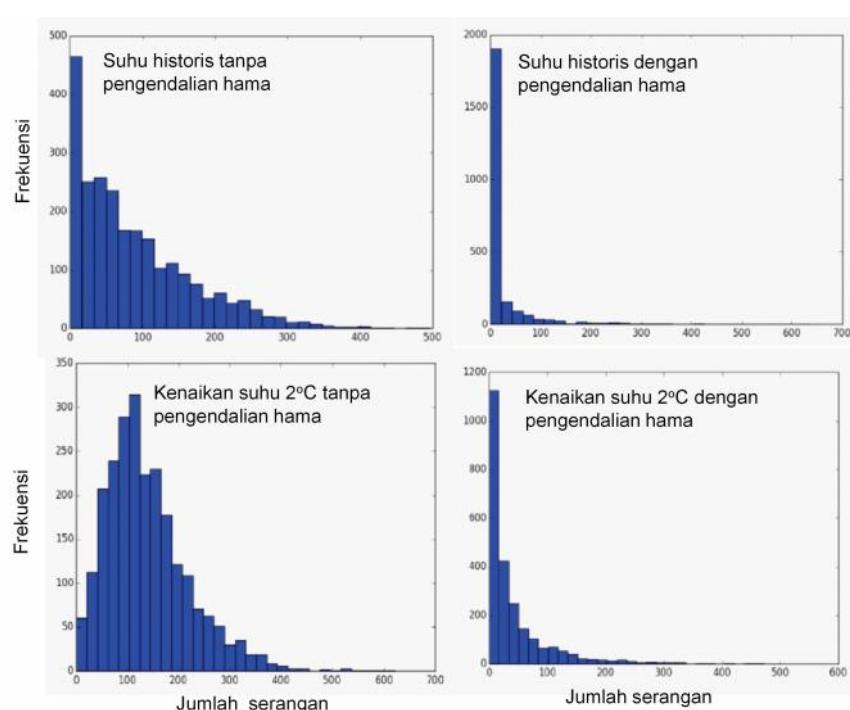
Kajian dampak perubahan iklim terhadap perkembangan hama dan penyakit tanaman kopi di Indonesia masih terbatas. Namun kajian di negara sentra produksi tropis lainnya dapat dijadikan acuan. Hasil kajian Ghini *et al.* (2011) menunjukkan peningkatan kejadian iklim ekstrim sebagai salah satu dampak perubahan iklim meningkatkan perkembangan hama dan penyakit tanaman perkebunan dengan tingkat kehilangan produksi global 10%, terutama di negara tropis (Agrios 2005).

Menurut Magina *et al.* (2011), ledakan hama dan penyakit tanaman disebabkan oleh peningkatan suhu udara. Hama utama yang menyerang tanaman kopi adalah penggerek buah (*H. hampei*) (Jaramillo *et al.* 2011). Dalam kondisi peningkatan suhu sangat kecil pun sulit mempertahankan produktivitas kopi (Gay *et al.* 2006). Jaramillo *et al.* (2009) memprediksi perkembangan hama penggerek buah kopi pada setiap peningkatan suhu 1°C melahirkan generasi yang lebih banyak sehingga memperluas jangkauan penyebarannya. Hama ini terutama menyerang kopi arabika dengan tingkat kerugian yang lebih besar, apalagi pada tanaman kopi berkualitas tinggi seperti *specialty coffee* (Schroth *et al.* 2009).

Peningkatan suhu juga menyebabkan kondisi yang sesuai bagi perkembangan organisme pengganggu

tanaman (OPT) di dataran tinggi (Alves *et al.* 2011; Koebler 2013). Berbagai kajian umumnya menggunakan pendekatan modeling untuk mengetahui distribusi OPT di bawah skenario iklim, hanya sedikit yang menggunakan pendekatan lapang (Ghini *et al.* 2008a; 2008b). Salah satu model yang dikembangkan adalah proyeksi serangan penyakit karat daun terhadap penurunan hasil kopi di beberapa sentra produksi seperti Kostarika, Peru, India, dan Ethiopia. Georgiou *et al.* (2014) menganalisis hubungan antara perubahan suhu bulanan dengan periode inkubasi jamur karat daun (*H.-vastatrix*) menggunakan model nonlinear. Model ini mengasumsi faktor yang mempengaruhi perkembangan penyakit karat daun adalah suhu dan kesehatan tanaman inang. Skenario yang digunakan adalah kejadian suhu historis dengan kenaikan suhu 2°C tanpa pengendalian. Kerusakan parah tanaman dihitung jika 1/3 daun kopi terinfeksi jamur karat daun. Luas wilayah yang diamati berukuran grid 30 x 30, sehingga terdapat 900 wilayah.

Berdasarkan kejadian historis, dari 900 wilayah yang diamati terdapat 490 kejadian atau 54% areal pertanaman terkena infeksi berat. Dengan pengendalian terdapat sekitar 1.900 kejadian tanpa serangan sedangkan tanpa pengendalian hanya terdapat 470 kejadian tanpa serangan. Peningkatan suhu di atas normal (2°C) meningkatkan kemampuan jamur untuk berkembang biak. Dalam kondisi kenaikan suhu 2°C, tanpa pengendalian hanya terdapat 60 kejadian tanpa serangan, sedangkan dengan pengendalian meningkat menjadi 1.150 kejadian tanpa serangan (Gambar 4).



Gambar 4. Distribusi serangan penyakit karat daun pada tanaman kopi akibat kenaikan suhu udara (Sumber: Sachs *et al.* 2015).

PROYEKSI PERGESERAN KESESUAIAN IKLIM TANAMAN KOPI

Kesesuaian Iklim

Pengembangan komoditas tertentu pada suatu daerah harus mempertimbangkan kesesuaian iklim karena berkaitan dengan fotosintesis tanaman yang menentukan pertumbuhan dan produktivitas. Kesesuaian iklim merupakan bagian dari kesesuaian lahan. Djaenudin *et al.* (2003) menjelaskan kesesuaian lahan adalah tingkat kecocokan sebidang lahan untuk penggunaan tertentu. Kesesuaian lahan dinilai berdasarkan biofisik tanah atau sumber daya lahan yang salah satunya adalah iklim, sebelum lahan diberikan masukan yang diperlukan untuk mengatasi kendala. S adalah lahan yang dapat digunakan secara berkelanjutan untuk suatu tujuan yang telah dipertimbangkan. N adalah lahan yang apabila dikelola menghadapi kesulitan sehingga pencegahan penggunaannya untuk tujuan tertentu telah direncanakan.

Tingkat kesesuaian lahan yang ditandai dengan simbol S dapat dibagi lagi menjadi beberapa kelas, yaitu S1, S2, dan S3. S1 (sangat sesuai) adalah kelas lahan yang tidak mempunyai faktor pembatas serius dalam pengelolaan atau hanya mempunyai faktor pembatas yang tidak berarti dan secara tidak sengaja berpengaruh terhadap produktivitas. S2 (cukup sesuai) adalah kelas

lahan yang mempunyai faktor pembatas agak berat dalam penggunaannya. S3 (sesuai marginal) adalah kelas lahan yang mempunyai pembatas sangat berat untuk penggunaan berkelanjutan. Kesesuaian iklim bagi tanaman kopi arabika dan robusta dapat dilihat masing-masing pada Tabel 3 dan 4.

Proyeksi Pergeseran Sentra Produksi

IPCC (2014) telah melaporkan dampak peningkatan suhu udara global terhadap produksi kopi di beberapa negara seperti Amerika dan Afrika. Beberapa dekade mendatang diproyeksikan akan terjadi peningkatan suhu yang menyebabkan kondisi iklim tidak optimal bagi pertumbuhan kopi di sentra produksi. Daerah yang sesuai bagi tanaman kopi akan bergerak ke wilayah dengan elevasi lebih tinggi (Sachs *et al.* 2015). Dalam kondisi demikian, negara penghasil kopi saat ini akan kehilangan sentra produksi seperti Nikaragua, Meksiko, dan Tanzania. Selanjutnya dinyatakan dampaknya akan lebih besar pada dataran rendah. Daerah pada ketinggian kurang dari 500 mdpl akan mengalami penurunan potensi produksi yang tinggi. Sebaliknya, daerah pada ketinggian lebih dari 700 mdpl berpotensi menjadi sentra produksi baru, antara lain dataran tinggi di Afrika Tmur, Indonesia, Papua Nugini, dan Andes.

Tabel 3. Tingkat kesesuaian iklim bagi tanaman kopi arabika.

Tingkat kesesuaian iklim		S1	S2	S3	N
Suhu udara (°C)	Suhu rata-rata	16–22	15–16 22–24	14–15 24–26	<14 >26
	Suhu maksimum	25–28	28–30	30–32	>32
	Suhu minimum	15–19	19–21	21–23	>23
Curah hujan (mm)	Tahunan	1.200–1.800	1.000–1.200 1.800–2.000	800–1.000 2.000–3.000	< 800 >3.000
	Panjang bulan kering (CH<100 mm/bulan)	1–4	> 4–5	> 5–6	> 6

Sumber: Wintgens (2012)

Tabel 4. Tingkat kesesuaian iklim bagi tanaman kopi robusta.

Tingkat kesesuaian iklim		S1	S2	S3	N
Suhu udara (°C)	Suhu rata-rata	22–25	25–28	19–22 28–32	<19 >32
	Suhu maksimum	27–29	24–27	22–24	>22
	Suhu minimum	18–20	16–18	14–16	<14
Curah hujan (mm)	Tahunan	2.000–3.000	1.750–2.000 3.000–3.500	1.500–1.750 3.500–4.000	<1.500 >4.000
	Panjang bulan kering (CH<100 mm/bulan)	2–3	>3–5	>5–6	>6

(Sumber: Wintgens 2012).

Berbagai kajian kesesuaian iklim untuk tanaman kopi pada saat ini dan masa mendatang telah dilakukan di beberapa negara penghasil kopi dunia seperti Nikaragua dan Meksiko (Laderach *et al.* 2009), Kenya (CIAT 2010), Ethiopia (Davis *et al.* 2012), Haiti (Eitzinger 2013), Rwanda (Nzeyimana *et al.* 2014), Indonesia (Schroth *et al.* 2015), dan secara global (Bunn *et al.* 2015; Ovella-Riviera *et al.* 2015). Kajian tersebut menunjukkan luas areal perkebunan kopi yang ada saat ini akan berkurang pada tahun 2050. Beberapa negara diproyeksikan tidak sesuai lagi untuk pengembangan kopi, seperti Ghana dan Nigeria. Sebaliknya, terdapat beberapa negara yang potensial bagi pengembangan kopi, misalnya Florida dan Afrika Selatan. Di Kolombia, Amerika Tengah, Brazil, dan Indonesia, wilayah yang sesuai bagi pengembangan kopi bergeser ke daerah dengan elevasi lebih tinggi. Sentra produksi kopi arabika yang saat ini terdapat di Uganda dan Tanzania akan bermigrasi ke Kenya dan Kongo dalam beberapa tahun mendatang (Sach *et al.* 2015).

Di Brazil akan terjadi penurunan luas lahan yang sesuai untuk tanaman kopi, seperti di negara bagian Parana 10%. Minas Gerais dan Sao Paulo 50%, sedangkan di negara bagian Goias tidak ada lagi lahan yang sesuai (Schroth *et al.* 2009; Tucker *et al.* 2010). 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 ekstrim.

Sebagai negara kepulauan dan memiliki topografi pegunungan, Indonesia mempunyai wilayah dengan ketinggian di atas 1.000 mdpl yang cukup luas dan cocok untuk pengembangan kopi arabika. Di Aceh, Sumatera Utara, Sulawesi Selatan, Jawa Timur, Bali, dan Flores saat ini terdapat 96 ribu ha areal perkebunan kopi arabika

(Ditjenbun 2015). Berdasarkan hasil kajian Schroth *et al.* (2015), di daerah tersebut terdapat 360 ribu ha lahan yang sesuai untuk pengembangan kopi dan terluas di Sumatera Utara. Di luar lahan yang diusahakan saat ini, terdapat 324 ribu ha yang belum digunakan untuk budi daya tanaman kopi (Tabel 5).

Schroth *et al.* (2015) juga memproyeksikan pergeseran kesesuaian lahan untuk tanaman kopi arabika pada tahun 2050 menggunakan skenario SRESA2 dengan asumsi tidak ada upaya mitigasi untuk menurunkan emisi gas rumah kaca (*business as usual*). Berdasarkan rata-rata 19 model GCM, pada tahun 2050 diproyeksi terjadi kenaikan suhu 1,7°C. Curah hujan diproyeksi lebih tinggi 5-14% di bagian utara (Sumatera dan Sulawesi). Sebaliknya, curah hujan di bagian selatan (Bali, Jawa, dan Flores) menurun.

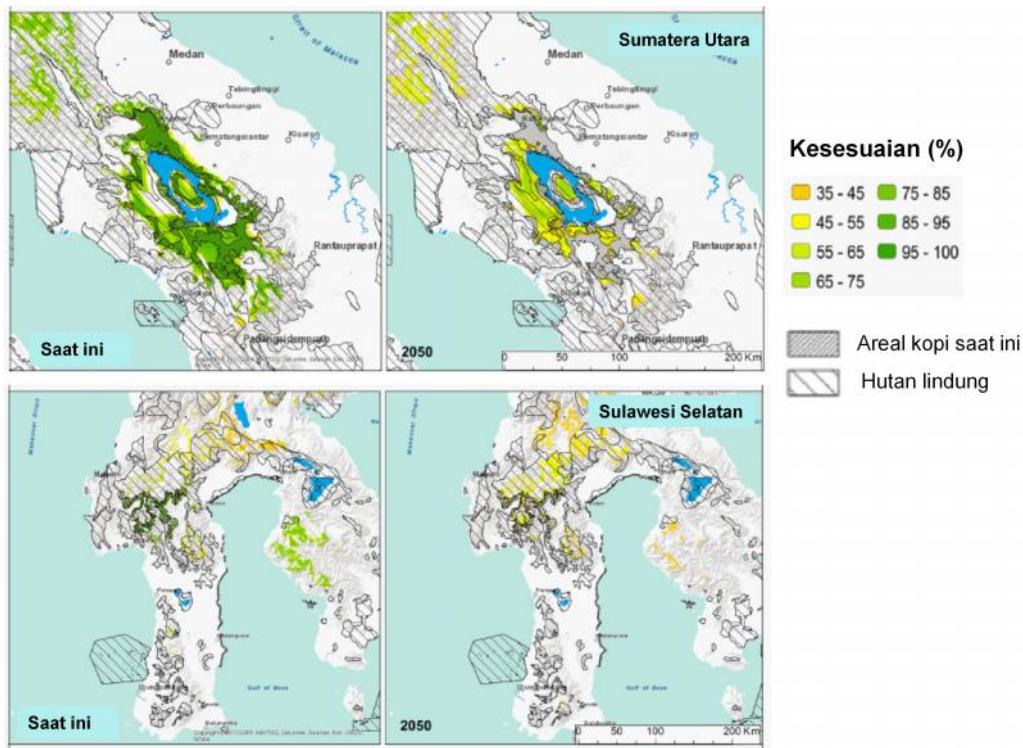
Peningkatan suhu menyebabkan lahan yang sesuai untuk tanaman kopi arabika saat ini akan bermigrasi ke daerah yang lebih tinggi. Artinya, luas areal yang sesuai akan menurun drastis dari 360 ribu ha menjadi hanya 57 ribu ha pada tahun 2050. Sumatera Utara dan Aceh akan kehilangan hampir 90% lahan yang sesuai pada saat ini, begitu pula di Bali dan Sulawesi Selatan. Di Flores tidak ada lagi lahan yang sesuai untuk tanaman kopi arabika. Luas areal yang sesuai di luar sentra produksi saat ini menurun dari 324 ribu ha menjadi 183 ribu ha pada tahun 2050. Peta kesesuaian iklim bagi tanaman kopi arabika saat ini dan tahun 2050 di Sumatera Utara dan Sulawesi Selatan disajikan pada Gambar 5.

Kajian proyeksi kesesuaian iklim untuk tanaman kopi arabika dan robusta di Tana Toraja, Sulawesi Selatan, mengindikasikan areal yang sangat sesuai untuk tanaman kopi (S1) pada masa datang akan mengalami perubahan (Assamha 2017). Kesesuaian iklim tanaman kopi arabika pada saat ini dan masa depan terbagi menjadi dua kelas, yaitu S1 dan S2. Pada tahun 2050, luas areal kelas S1 untuk tanaman kopi arabika diproyeksi menurun karena bermigrasi ke kelas S2. Sebaliknya, kesesuaian iklim kopi robusta diproyeksikan berubah dari kelas S2 ke kelas S1.

Tabel 5. Kesuaian iklim dan topografi lahan kopi arabika pada saat ini dan proyeksi tahun 2050 untuk beberapa provinsi sentra produksi.

Provinsi	Areal yang sesuai di sentra produksi saat ini (ha)	Areal yang sesuai di luar sentra produksi saat ini (ha)	Areal yang sesuai di sentra produksi tahun 2050 (ha)	Areal yang sesuai di luar sentra produksi tahun 2050 (ha)	Perubahan areal yang sesuai di sentra produksi tahun 2050 (%)	Perubahan di seluruh lahan sesuai tahun 2050 (%)
Aceh	51.318	106.808	4.808	51.956	-91	+11
Sumatera Utara	210.749	122.496	22.643	47.140	-89	-67
Jawa Timur	6.589	5.811	6.774	223	+3	+6
Bali	28.397	7.464	7.424	4.095	-74	-59
Flores	16.518	24.128	230	85	-99	-98
Sulawesi Selatan	46.029	57.629	25.405	79.437	-67	+106
Jumlah	359.600	324.336	57.284	182.936	-84	-33

Keterangan: areal tidak termasuk lahan sesuai yang saat ini digunakan di kawasan hutan atau hutan lindung.
(Sumber: Schroth *et al.* 2015).



Gambar 5. Kesesuaian iklim bagi tanaman kopi arabika saat ini dan tahun 2050 (Sumber: Schroth *et al.* 2015).

STRATEGI BUDI DAYA KOPI YANG ADAPTIF PERUBAHAN IKLIM

Dalam beberapa dekade ke depan, perubahan iklim akan terus berlangsung dan mempengaruhi berbagai sistem produksi kopi. Pada saat iklim lebih kering, kejadian iklim ekstrim meningkat dan suhu meningkat melebihi kisaran optimal bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Dalam kondisi kondisi tersebut petani harus mengubah praktik budi daya dan varietas, diversifikasi dengan komoditas lain yang lebih toleran (Thornton *et al.* 2009; Schroth *et al.* 2009), atau petani beralih profesi dari sektor pertanian ke sektor lain. Hal ini tentu berdampak terhadap ketahanan pangan dan kehilangan pendapatan dari ekspor pertanian.

Berbagai teknologi telah diaplikasikan dalam upaya mengatasi dampak perubahan iklim pada perkebunan kopi, seperti pola agroforestri (pola tanam dengan tanaman penaung), penggunaan klon adaptif, dan teknologi konservasi tanah (Yuliasmara 2016).

Sistem Agroforestri

Sistem agroforestri telah lama diterapkan pada perkebunan kopi. Tanaman penaung merupakan salah satu teknologi budi daya yang dapat diterapkan sebagai langkah antisipasi terhadap pemanasan global. Dari sisi

fisiologis, tanaman kopi merupakan tanaman tipe C3 yang membutuhkan cahaya yang tidak penuh untuk dapat tumbuh optimal (Sanger 1998; Carelli *et al.* 2003). Tanaman kopi akan berfotosintesis dengan baik apabila cahaya matahari yang diterima tidak lebih dari 60% (Prawoto 2007). Lamtoro dan sengon merupakan tanaman penaung yang banyak digunakan (Yahmadi 2007). Keuntungan ekologis dan lingkungan dari penerapan sistem agroforestri antara lain mengurangi erosi tanah, meningkatkan cadangan karbon, menjaga kesuburan tanah dan keanekaragaman hayati.

Selain untuk adaptasi, sistem agroforestri pada tanaman kopi juga memiliki aspek mitigasi, yaitu untuk menambah serapan karbon 10–15 Mg/ha (Hairiah dan Rahayu 2007), bahkan mencapai 19 Mg/ha (Wibawa *et al.* 2010). Nilai tambah lain sistem agroforestri adalah memperbaiki kesuburan tanah karena peningkatan kandungan bahan organik dari daun yang gugur. Naungan juga akan meningkatnya mutu produk, terutama citarasa kopi. Dalam kondisi ternaungi, proses pemasakan buah kopi lebih optimal. Sebaliknya, tanpa naungan, buah kopi lebih cepat masak karena tercekat cahaya (Yuliasmara 2016).

Klon Adaptif Perubahan Iklim

Kekeringan merupakan dampak perubahan iklim yang dialami dalam budi daya kopi. Penggunaan bibit kopi

dengan batang bawah klon unggul dengan perakaran kuat terbukti mampu meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kekeringan dan penurunan kesuburan tanah. Penggunaan bahan tanam toleran akan mengurangi biaya untuk mitigasi dampak cekaman air. Klon BP 409, BP 42, dan BP 234 toleran terhadap kekeringan. Kopi robusta klon BP 308 juga toleran kekeringan karena memiliki perakaran yang lebih lebat (Nur *et al.* 2000).

Nematoda yang intensitasnya meningkat akibat pemanasan global banyak menimbulkan kerugian pada tanaman kopi robusta. Penggunaan klon tahan atau toleran nematoda sebagai batang bawah merupakan cara yang paling efisien. Hasil penelitian menunjukkan jenis kopi ekselsa (*Coffea excelsa*) klon Bgn 121.09 dan kopi robusta BP 308 memiliki ketahanan yang tinggi terhadap nematoda. Klon BP 308 dianjurkan sebagai batang bawah tahan nematoda dan toleran kering (Nur *et al.* 2000). Beberapa klon kopi yang toleran karat daun adalah S 795, Andungsari 2K, dan Komasti. Klon Andungsari 2K dan Komasti agak tahan penyakit karat daun, sedangkan klon S795 relatif tahan penyakit karat daun dan berdaya hasil cukup tinggi dengan kualitas sangat baik ((Yuliasmara 2016).

Teknologi Konservasi Tanah

Peningkatan suhu udara, penuruan curah hujan, dan kemarau panjang menjadi penyebab kekeringan tanaman dan tanah retak akibat tingginya evapotranspirasi. Upaya adaptasi dapat melalui penerapan teknik konservasi untuk meningkatkan ketersediaan air bagi tanaman. Beberapa teknologi konservasi yang dapat diterapkan pada tanaman kopi adalah penggunaan mulsa organik, pembuatan rorak dan biopori (Yuliasmara 2016). Mulsa organik berfungsi mengurangi evaporasi dan erosi, menjaga lengas tanah di sekitar perakaran, menambah kandungan bahan organik sehingga memperbaiki struktur dan tekstur tanah dan menekan pertumbuhan gulma, mengurangi evaporasi dan erosi. Setelah mengalami dekomposisi, mulsa organik melepas unsur hara di sekitar perakaran tanaman budi daya (Agus dan Widianto 2004; Abdoellah 2016). Bahan alami yang mudah terurai seperti daun dan kulit kopi, seresah pangkas tanaman kopi dan tanaman penaung dapat digunakan sebagai mulsa organik. Mulsa diaplikasikan di sekeliling tanaman kopi dengan diameter sesuai lebar tutup tanaman.

Rorak berfungsi memperbesar resapan air ke tanah dan menampung tanah yang tererosi, unsur hara yang terbawa erosi meresap di sekitar perakaran tanaman, menampung bahan organik yang ada, dan merangsang pembentukan akar serabut tanaman kopi sehingga penyerapan hara oleh tanaman lebih optimal (Yuliasmara 2016). Rorak umumnya dibuat berukuran panjang 0,5-1,0 m, lebar 25-50 cm, dan dalam 25-50 cm. Pada tanah miring, rorak dibuat di antara larikan tanaman kopi sejajar kontur. Hal yang perlu diwaspadai dalam penerapan rorak dan

teknologi pemanenan air lainnya adalah air hanya boleh tergenang beberapa saat. Apabila penggenangan berlanjut dikhawatirkan akan terjadi masalah berupa penyakit yang merusak akar tanaman. Pada daerah dengan curah hujan dan kadar liat tanah tinggi, pembuatan rorak dapat menyebabkan penggenangan air yang berlangsung lama (Agus dan Widinato 2004).

Biopori adalah lubang dengan kedalaman 80-100 cm dan diameter 10–30 cm dimaksudkan sebagai lubang resapan penampung air hujan dan meresapkannya kembali ke tanah (Brata 2009). Biopori juga yang ditutupi material organik dapat menyerap dan menyimpan air, menambah hara tanah, memberi nafas pada perakaran, dan menjadi habitat hewan dan jasad renik. Menurut Bambang dan Sibarani (2009), biopori meningkatkan resapan air tanah hingga tiga kali lebih cepat dibanding areal terbuka. Pembuatan biopori pada areal pertanaman kopi cukup efektif mempertahankan dan meningkatkan lengas tanah.

KESIMPULAN

Penelitian dampak perubahan iklim pada tanaman kopi di Indonesia masih terbatas. Di sisi lain, perubahan iklim menurunkan produksi dan kualitas kopi serta meningkatkan serangan hama dan penyakit tanaman. Kondisi ini diperparah oleh ketidaksiapan petani kopi menghadapi dampak perubahan iklim dan terbatasnya akses terhadap informasi perkembangan iklim, pasar, teknologi, kredit usaha tani, dan pengelolaan risiko. Petani kopi tidak terorganisasi dengan baik seperti petani padi yang telah memiliki kelompok tani. Selain itu, pelatihan teknologi budi daya yang adaptif bagi petani kopi dalam menghadapi perubahan iklim sangat terbatas.

Berbagai teknologi budi daya kopi yang adaptif perubahan iklim sudah dikembangkan namun tingkat adopsinya oleh petani sangat lambat. Oleh karena itu, upaya percepatan adopsi teknologi perlu segera dilakukan karena diperlukan dalam adaptasi perubahan iklim. Penerapan teknologi tersebut dapat meningkatkan produktivitas dan sistem usaha tani kopi yang toleran perubahan iklim. Para ahli dan pengambil kebijakan harus berpacu dengan waktu untuk mengakselerasi adopsi inovasi teknologi oleh petani karena dampak perubahan iklim telah dirasakan dan akan terus berlangsung.

Permintaan kopi Indonesia terus meningkat sehingga pengembangan budi daya kopi di daerah yang lebih tinggi dengan iklim yang lebih sesuai berperan penting mengantikan sentra produksi saat ini. Di Indonesia terdapat cukup luas dataran tinggi yang dapat dikembangkan untuk perkebunan kopi guna mengantisipasi dampak perubahan iklim. Namun pengembangan kawasan ini untuk budi daya kopi memerlukan strategi dan kebijakan yang tepat agar sesuai secara klimatologi, pedologi, dan ekologi. Dengan mempertimbangkan dampak ekologi akibat perluasan

perkebunan kopi diperlukan pengelolaan yang intensif untuk meningkatkan produktivitas. Selain itu, peningkatan produktivitas kopi juga bertujuan untuk mengatasi masalah terbatasnya luas areal yang sesuai untuk menggantikan areal lama yang tidak lagi sesuai dengan kondisi iklim saat ini dan ke depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdoellah. 2016. Kopi dan Lingkungan Hidup: Sejarah Botani Proses Produksi, Pengolahan, Produk Hilir dan Sistem Kemitraan. Gadjah Mada University Press. 890 p.
- Agrios, G.N. 2005. Plant Pathology, 5th ed. London, UK: Elsevier.
- Agus, F. dan Widianto. 2004. Petunjuk Praktis Konservasi Tanah Lahan Kering. World Agroforestry Centre (ICRAF) SE Asia Regional Office, Bogor. 102 pp.
- Alves, M.d. C., L. de Carvalho, E. Pozza, L. Sanches, dan J.d.S Maia. 2011. Ecological zoning of soybean rust, coffee rust and banana black sigatoka based on Bazilian climate changes. *Procedia Environmental Sciences*, 6: 35–49.
- Assamha, F.H. 2017. Dampak Perubahan Iklim Terhadap Produktivitas Tanaman Kopi di Kabupaten Tana Toraja. Skripsi. Departemen Geofisika dan Meteorologi. Institut Pertanian Bogor. 33 pp.
- Avallone, S., J. M. Brillouet, B. Guyot, E. Olguin, and J. P. Guiraud. 2002. Involvement of pectolytic micro-organisms in coffee fermentation. *International Journal of Food Science and Technology* 37: 191–198.
- Baker, P.S. and J. Haggar. 2007. Global Warming: The Impact on Global Coffee. Los Angeles (US): Specialty Coffee Association of America.
- BPS (Badan Pusat Statistik). 2017. Jumlah rumah tangga usaha perkebunan tanaman tahunan menurut provinsi dan jenis tanaman. <https://st2013.bps.go.id/dev2/index.php/site/tabel?tid=40&wid=0>. [30 Maret 2017].
- Bambang, D., dan R.T. Sibarani. 2009. Penelitian Biopori Untuk Menentukan Laju Resap Air Berdasarkan Variasi Umur dan Jenis Sampah. Jurusan Teknik Lingkungan FTSP. ITS – Surabaya
- Brata, R.K. 2009. Lubang Resapan Biopori untuk Mitigasi Banjir, Kekeringan dan Perbaikan. Prosiding Seminar Lubang Biopori (LBR) dapat Mengurangi Bahaya banjir. Jakarta.
- Brown, M.E. and C.C.Funk. 2008. Food security under climate change. *Science* 319: 580–581.
- Buffo, R.A. and C.C. Freire. 2004. Coffee flavour: an overview. *Flavour and Fragrance Journal* 19: 99–104.
- Bunn, C. 2015. Modeling the climate change impacts on global coffee production. Dissertation. Faculty of Life Sciences, Humboldt-Universität zu Berlin. 181 p.
- Carelli, M.L.C., R.B.Q Voltan, J.I. Fahl and P.C.O Trivelin. 2003. Leaf Anatomyand Carbon Isotope Composition in Coffee Species Related to Photosynthetic Pathway. *Plant Physiol*, 15(1): 19–24.
- Cerri C.E.P., G. Sparovek, M. Bernoux, W.E. Easterling, J.M. Melillo, and C.C. Cerri. 2007. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. *Scientia Agricola* 64: 83–99.
- Coste, R. 1992. Coffee: The plant and the product. 1ed. London: MacMillan Press. 328 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 2010. Climate adaptation and mitigation in the Kenyan coffee sector. Technical report, International Center for Tropical Agriculture, Cali, Colombia.
- Ditjenbun (Direktorat Jenderal Perkebunan). 2016. Statistik perkebunan Indonesia Komoditas kopi 2015–2017. 83 hlm.
- Djaenudin, D., H. Marwan, H. Subagyo, dan A. Hidayat. 2003. Petunjuk Teknis untuk Komoditas Pertanian. Edisi Pertama tahun 2003. Balai Penelitian Tanah, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat.
- Damatta, F.M., and J.D.C Ramalho. 2006. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review, 18(1): 55–81.
- Davis, A. P., T.W. Gole, S. Baena, and J. Moat. (2012). The impact of climate change on indigenous arabica coffee (*coffea arabica*): predicting future trends and identifying priorities. *PloS one. PLoS ONE* 7(11): e47981. [8 Oktober 2017].
- Deepak, K., B.T Hanumantha, and H.L Sreenath. 2012. Viability of coffee leaf rust *Hemileia vastatrix*. Urediniospores stored at different temperatures. *Biotechnol Biomate* 2(5): 1–3.
- Eitzinger, A., P.L. Laderach, S. Carmona, C. Navarro, and L. Collet. 2013. Prediction of the impact of climate change on coffee and mango growing areas in haiti. Technical report, Full Technical Report. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.
- FAO (Food and Agricultural Organization). 2015. FAO Coffee pocketbook 2015. FAO. 194 p.
- Franco, C.M. 1958. Influence of temperature on growth of coffee plant. IBEC Research Institute, New York. Bulletin No. 16.
- Gay, C., C.G. Estrada, C. Conde, H. Eakin, and L. Villers, 2006. Potential impacts of climate change on agriculture: a case of study of coffee production in Veracruz, Mexico. *Climatic Change* 79: 259–88.
- Ghini, R., E. Hamada, and W. Bettoli. 2008a. Climate change and plant diseases. *Scientia Agricola* 65: 98–107.
- Ghini, R., E. Hamada, M.J. Pedro Junior, J.A. Marengo, and R.R.V. Goncalves. 2008b. Risk analysis of climate change on coffee nematodes and leaf miner in Brazil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 43: 187–94.
- Ghini, R., W. Bettoli and E. Hamada. 2011. Diseases in tropical and plantation crops as affected byclimate changes: current knowledge and perspectives. *Plant Pathology* 60:122–132
- Hairiah, K. and S. Rahayu. 2007. Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan. World Agroforestry Center-ICRAF. Bogor.
- Hannah, L., P.R. Roehrdanz, M. Ikegami, A.V. Shepard, M.R. Shaw, G Tabor, L.Zhi, P.A. Marquet, and R.J. Hijmans. 2013. Climate change, wine, and conservation. *Proc Natl Acad Sci*.
- International Coffee Organization. 2014. World coffee trade (1963–2013): A review of the markets challenges and opportunities facing the sector. London. International Coffee Organization.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part a: Global and sectoral aspects. Contribution of working group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Technical Report.
- Jackels, S.C. and C.H. Jackels. 2005. Characterization of the coffee mucilage fermentation process using chemical indicator: a field study in Nicaragua. *Journal of Food Science* 70(5): 321–325.
- Janzen, S. O. 2010. Chemistry of coffee. In Comprehensive Natural Products II, Chemistry and Biology. Editor L. Mender and H.W. Liu. Elsevier Ltd. The Boulevard, Lanfod Lane, Kidlington OX5 1GB, United Kingdom. p. 1085–1113.

- Jaramillo, J., A. Chabi-Olaje, C. Kamonjo, A.Jaramillo, F. E., Vega, H.-M. Poehling, and 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.
- Jaramillo, J., E. Muchugu, F.E. Vega, A. Davis, C. Borgemeister, and A. Chabi-Olaje. 2011. Some like it hot: the influence and implications of climate change on coffee berry borer (*hypothenemus hampei*) and coffee production in East Africa. PLoS One, 6(9): e24528.
- Kementerian (Kementerian Pertanian). 2015. Rencana Strategis Kementerian Pertanian 2015–2019. Sekretariat Jenderal Kementerian Pertanian. 339 hlm.
- Koebler, B. 2013. How Climate Change Could Eventually End Coffee,’ US News and World Report. <http://www.usnews.com/news/articles/2013/03/27/buzzkill-how-climate-change-could-eventually-end-coffee>. [3 Maret 2017].
- Läderach, P., J. Haggard, C. Lau, A. Eitzinger, O. Ovalle, M. Baca, A. Jarvis, and M. Lundry. 2009. “Mesoamerican coffee: building a climate change adaptation strategy.” CIAT Policy brief No. 2, CIAT.
- Lobell, D.B., M.B. Burke, C. Tebaldi, M.D. Mastrandrea, W.P. Falcon, and R.L. Naylor. 2008. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. Science 319: 607–610.
- Magina, F., R. Makundi, A. Maerere, G. Maro, and 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, pages 1114–1118.
- Marsh, T. and J. Neilson. 2007. Securing the profitability of the Toraja coffee industry. ACIAR, Canberra
- Neilson, J., D.S.F. Hartari, and Y.F. Lagerqvist. 2013. Coffee-based livelihoods in South Sulawesi, Indonesia. Appendix 8 to the final report for ACIAR Project SMAR/2007/063. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra
- Nur, A.M. 2000. Dampak La Nina terhadap produksi kopi Robusta. Studi kasus tahun basah Studi kasus tahun basah 1998. Warta Puslitkoka 16(1): 50–58.
- Nur, A.M., Zaenudin dan S. Wirayadiputra. 2000. Morfologi dan sebaran akar kopi Robusta klon BP 308 pada lahan endemik nematoda parasit, *Pratylenchus coffeae*. Pelita Perkebunan, 16: 121–131.
- Nzeyimana, I., A.E.Hartemink, and V. Geissen. 2014. Gis-based multi-criteria analysis for Arabica coffee expansion in Rwanda. PLoS one, 9(10): e107449
- Ovalle-Rivera, O., P. Laderach, C. Bunn, M. Obersteiner, and G. Schroth. 2015. Projected shifts in coffee arabica suitability among major global producing regions due to climate change.
- Prawoto, A. 2007. Materi Kuliah Fisiologi Tumbuhan. Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia. Jember
- Puslitkoka (Pusat Penelitian Kopi dan Kakao). 2008. Pengolahan biji kopi primer. Leaflet, Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Jember.
- Samosir, F.A., M.U. Tarigan dan S. Oemry. 2013. Survei faktor kultur teknis terhadap perkembangan populasi hama penggerek buah kopi (*Hyphantemus Hampei*) di Kabupaten Simalungun. Agroteknologi: 1(4): 1–14.
- Sachs, J., J. Rising, T. Foreman, J. Simmons, and M. Brahm. 2015. The impacts of climate change on coffee: trouble brewing. Columbia University. 153 p.
- Salla, M. H. 2009. Influence of Genotype, Location and Processing Methods on The Quality of Coffee (*Coffea arabica* L.). MSc. Thesis Hawassa University. Hawassa, Ethiopia. 105 p.
- Sanger, A. 1998. Mathematics for Biologists Part Biology. *Mathematics for Biologists*.
- Schroth, G., P. Läderach, D. Blackburn, J. Neilson, and C. Bunn. 2015. Winner or loser of climate change. A modeling study of current and future climatic suitability of Arabica coffee in Indonesia. Regional Environmental Change. p. 1–10.
- Schroth, G., P. Läderach, J. Dempewolf, S.M. Philpott, J.P. Haggard, H. Eakin, T. Castillejos, J. Garcia-Moreno, H. Soto-Pinto, R. Hernandez, A. Eitzinger, and 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.
- Sihaloho, T.M. 2009. Strategi Pengembangan agribisnis Kopi Di kabupaten Humbang Hasundutan Sumatera Utara. Skripsi. Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Siswoputran, P. S. 1993. Kopi Internasional dan Indonesia. Kanisius. Jakarta. 417 hlm.
- Solomon, S., D. Qin, and M. Manning. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I for the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Soonthornkamol, P. 2004. Effect of Diffrent Species Procedure and Degree of Roasting on Volatile Compounds Production in Thai Coffee. Thesis Master of Science Departement of Food Technology Silpakorn University. Bangkok. 69 p.
- Sumirat, U. 2008. Dampak kemarau panjang terhadap sifat fisik biji kopi Robusta (*Coffea canephora*). Pelita Perkebunan 24(2): 80–94.
- Supriadi, H. 2014. Budi daya tanaman kopi untuk adaptasi dan mitigasi perubahan iklim. Perspecti 13(1): 35–52.
- Suslick, B. A., L. Feng, and K. S. Suslick. 2010. Discrimination of complex mixtures by a colorimetric sensor array: *coffee aromas*. *Analytical Chemistry* 82 (5): 2067–2073.
- Sylvain, P.G. 1955. Some observations on *Coffea arabica* L. in Ethiopia. Turrialba 5: 37–53.
- Thornton, P.K., J. van de Steeg, A. Notenbaert, and M. Herrero. 2009. The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: a review of what we know and what we need to know. Agric Syst 101: 113–127.
- Tucker, C.M., H. Eakin, and E.J.Castellanos. 2010. Perceptions of risk and adaptation: coffee producers, market shocks, and extreme weather in Central America and Mexico. Glob Environ Chang
- United Nations Development Programme (UNDP). 2005. Adaptation Policy Frameworks for Climate Change. Cambridge University. U.K. 248 p.
- Vermeulen, S., P.K. Aggarwal, A. Ainslie, C. Angelone, B.M. Campbell, A.J. Challinor, J.W. Hansen, J.S.I. Ingram, A. Jarvis, P. Kristjanson, C. Lau, G.C. Nelson, P.K. Thornton, and E. Wollenberg. 2012. Options for support to agriculture and food security under climate change. Environ Sci Policy 15: 136–144.
- Villers, L., N. Arizp, R. Orellana, C. Conde, and J. Hernandez. 2009. Impacts of climatic change on coffee flowering and fruit development in Veracruz, México. Intersciencia 34(5): 322–329.
- Wang, N. 2012. Physicochemical Changes of Coffee Beans during Roasting. Thesis Master of Science University of Guelph. Ontario, Canada. 82 p.
- Wibawa, A., F. Yuliasmara dan R. Erwiyono. 2010. Estimasi Cadangan Karbon pada Perkebunan Kopi di Jawa Timur. Pelita Perkebunan 26: 1–11.

- Wintgens, N.J. 2012. Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production. A Guidebook for Growers, Processors, Traders, and Researchers. Weinheim (GE): Wiley-VCH.
- Yahmadi, M. 2007. Rangkaian Perkembangan dan Permasalahan Budidaya dan Pengolahan Kopi di Indonesia. Asosiasi Eksportir Kopi Indonesia, Surabaya.
- Yenetzian, C., F. Wieland, and A.N. Gloess. 2012. Progress on coffee roasting: a progress control tool for a consistent roast degree-roast after roast. *Newfood* 15: 22–26.
- Yuliasmara, F. 2016. Strategi Mitigasi Perkebunan Kopi Menghadapi Perubahan Iklim. *Warta Pusat Penelitian Kopi dan Kakao*, 28(3): 1–7.