

BUDIDAYA TANAMAN KOPI UNTUK ADAPTASI DAN MITIGASI PERUBAHAN IKLIM

Cultivation of Coffee plant for Adaptation and Mitigation of Climate Change

HANDI SUPRIADI

Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar

Indonesian Research Institute for Industrial and Beverage Crops

Jl. Raya Pakuwon km 2, Parungkuda, Sukabumi 43357, Jawa Barat - Indonesia

E-mail: supriadihandi@yahoo.co.id

Diterima: 10 Januari 2014; Direvisi: 1 Maret 2014, Disetujui: 17 Maret 2014

ABSTRAK

Perubahan iklim yang ditandai dengan berubahnya musim dan pola hujan, meningkatnya intensitas anomali iklim El-Nino dan La-Nina serta meningkatnya suhu udara mengakibatkan kerusakan pada tanaman kopi, sehingga produksi menurun. Akibat EL-Nino terjadi bulan kering (curah hujan di bawah 60 mm per bulan) yang berkepanjangan mengakibatkan produksi kopi menurun sebesar 34,79%, begitu juga bulan basah (curah hujan di atas 100 mm per bulan) yang merata sepanjang tahun akibat La-Nina mengakibatkan produksi kopi menurun 98,5%. Bulan kering yang berkepanjangan (di atas 3 bulan) akibat dari kejadian El-Nino menyebabkan kualitas biji kopi menurun. Setiap kenaikan suhu 1 °C, maka akan menurunkan produksi biji kopi sebesar 30,04%. Namun suhu udara yang sangat rendah (-3 sampai -5 °C) dapat mematikan daun kopi. Upaya untuk mengatasi perubahan iklim pada tanaman kopi dapat dilakukan melalui penerapan teknologi budidaya yang bersifat adaptif dan mitigatif terhadap perubahan iklim yaitu penerapan tanpa olah tanah, penggunaan mulsa, pembuatan rorak, penanaman dan peramajaan kopi dengan bahan tanam unggul, penanaman penaung, pemangkasan, penanaman tanaman penutup tanah, penggunaan pupuk organik, pembuatan embung, irigasi dan sistem drainase.

Kata kunci: Tanaman kopi, perubahan iklim, dampak, mengatasi, budidaya

ABSTRACT

Climate change marked by the shift in rainfall patterns and season as well as, increasing intensity of climate anomaly El-Nino and La-Nina and the rising temperatures are causing damage to the coffee plant so

that production is declining. As a result of the EL-Nino occurs Months dry (rainfall below 60 mm per month) prolonged resulted in coffee production declined by 34-79%, as well as in wet (rainfall above 100 mm per month) are evenly distributed throughout the year due to the La-Nina in production of coffee dropped 98,5%. Besides the dry months of prolonged (over 3 months) as a result of the El-Nino events lead to decreased quality of coffee beans. Every 1 °c temperature rise then it will lose production of coffee beans by 30,04%. However at very low temperatures (-3 to-5 °c) can turn off coffee leaves. Efforts to address climate change on coffee plants can be done through the application of cultivation technology both are adaptation as well as mitigation to climate change, namely the application of no-tillage, mulching, making rorak, planting and rejuvenating coffee with superior planting material, shade tree planting, pruning, feeding ground cover plants, fertilizing the organic fertilizers, the making of dam, irrigation and drinase system.

Keyword : *Coffea* sp., climate change, impact, overcome, cultivation

PENDAHULUAN

Tanaman kopi merupakan komoditas perkebunan yang berperan penting dalam perekonomian Indonesia. Luas areal tanaman kopi pada tahun 2012 mencapai 1.235.289 ha yang melibatkan 1.899.502 kepala keluarga petani dan menyerap tenaga kerja sebanyak 62.105 orang. Selain itu komoditas kopi menyumbang devisa negara dari hasil ekspor ke berbagai mancanegara. Volume ekspor pada tahun 2012 mencapai 448.591 ton dengan nilai 1.249.520 US\$ (Ditjenbun, 2013).

Keberadaan dan pengembangan tanaman kopi saat ini dan masa mendatang akan dihadapkan kepada berbagai kendala, diantaranya masalah biofisik terutama ancaman perubahan iklim yang disebabkan oleh pemanasan global akibat peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK). Terjadinya perubahan iklim berdampak kepada perubahan sistem fisik dan biologis lingkungan, antara lain peningkatan intensitas badai tropis, perubahan pola presipitasi, salinitas air laut, perubahan pola angin, masa reproduksi hewan dan tanaman, distribusi spesies dan ukuran populasi, serta frekuensi serangan hama dan penyakit tanaman. Beberapa unsur iklim yang rentan mengalami perubahan di Indonesia antara lain pola curah hujan, permukaan air laut, suhu udara, dan peningkatan kejadian iklim ekstrim seperti banjir dan kekeringan (Badan Litbang Pertanian, 2011a). Kondisi ini akan berdampak serius terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman kopi.

Berdasarkan beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan iklim yang ditandai dengan peningkatan bulan kering (curah hujan di bawah 60 mm per bulan), peningkatan bulan basah (curah hujan di atas 100 mm per bulan) dan perubahan suhu udara dari kondisi rata-rata, dapat menghambat pertumbuhan dan menurunkan produksi serta kualitas kopi (DaMatta and Ramalho, 2006).

Upaya untuk mengatasi dampak perubahan iklim terhadap tanaman kopi perlu dikembangkan sistem budidaya tanaman kopi yang toleran (*resilience*) terhadap variabilitas dan perubahan iklim saat ini dan di masa yang akan datang. Teknologi inovatif dan adaptif tersebut antara lain adalah penggunaan bahan tanaman unggul, pembuatan parit, rorak dan embung, pemangkasan, pemberian mulsa dan tanaman penutup tanah serta penerapan sistem agroforestri berbasis kopi.

Makalah ini bertujuan untuk (1) mengevaluasi/mengidentifikasi dampak perubahan iklim terhadap tanaman kopi dan (2) mengidentifikasi dan membahas beberapa teknologi budidaya tanaman kopi yang adaptif/mitigatif

terhadap perubahan iklim, prospek dan implikasinya.

DAMPAK PERUBAHAN IKLIM

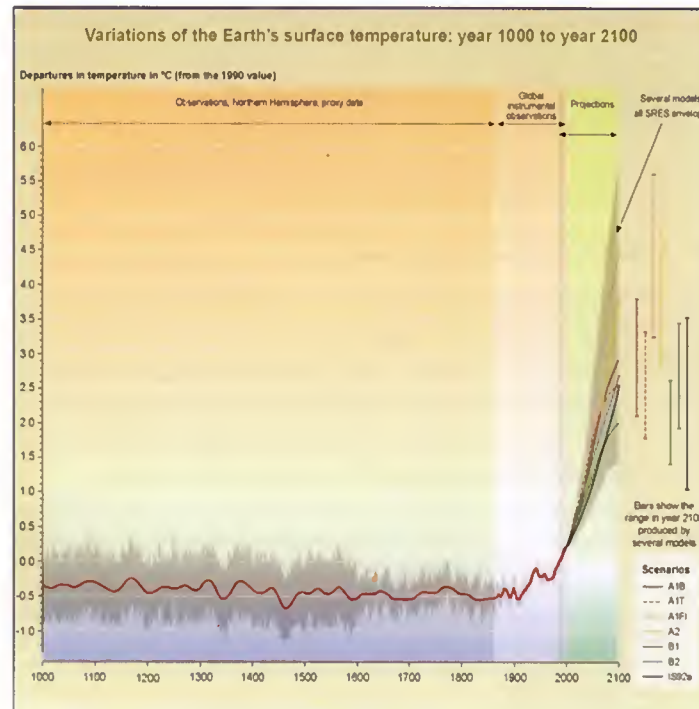
Perubahan iklim yang terjadi secara global sudah menjadi ancaman bagi kehidupan makhluk hidup di permukaan bumi ini. Pengertian perubahan iklim adalah kondisi beberapa unsur iklim (terutama curah hujan dan suhu udara) yang *magnitude* dan/atau intensitasnya cenderung mengalami perubahan atau menyimpang dari dinamika dan keadaan rata-rata, menuju ke arah (*trend*) tertentu (meningkat atau menurun). Kegiatan manusia (antropogenik) terutama yang berkaitan dengan meningkatnya emisi gas rumah kaca (GRK) seperti karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), nitrous oksida (N₂O) dan CFCs (*chlorofluorocarbons*) merupakan penyebab utama terjadinya perubahan iklim. Meningkatnya emisi GRK mendorong terjadinya pemanasan global dan telah berlangsung sejak hampir 100 tahun terakhir (Badan Litbang Pertanian, 2011b).

Komponen Perubahan Iklim

Dampak dari perubahan iklim yaitu peningkatan suhu udara, peningkatan intensitas anomali iklim (iklim ekstrim) yang menyebabkan peningkatan/penurunan curah hujan (bulan kering/bulan basah) atau suhu udara secara ekstrim, peningkatan permukaan air laut dan perubahan pola musim/curah hujan.

Peningkatan Suhu Udara

Hasil penelitian IPCC (2007) menunjukkan bahwa kenaikan suhu udara dunia pada periode 2000-2100 diprediksi sebesar 2,1-3,9 °C (Gambar 1), sedangkan di Indonesia dalam periode 2005-2035 rata-rata suhu udara akan meningkat 1-1,5 °C. Runtunuwu dan Kondoh (2008) melaporkan telah terjadi peningkatan suhu udara global selama 100 tahun terakhir, rata-rata 0,57 °C. Para ahli memperingatkan bahwa suhu akan naik hingga 5,8 °C di daerah tropis pada akhir abad ke -21 (Camargo, 2010).



Gambar 1. Prediksi peningkatan suhu udara periode 2000-2100
Sumber : IPCC, 2007

Peningkatan intensitas iklim ekstrim

Terjadinya kejadian iklim ekstrim di Indonesia biasanya terkait dengan peristiwa El-Nino dan La-Nia. El-Nino umumnya terjadi pada musim kemarau, menurunkan curah hujan dan mengakibatkan musim kemarau yang lebih panjang. Sebaliknya, La-Nina umumnya terjadi pada musim hujan dan menimbulkan peningkatan curah hujan.

Penciri utama kejadian El-Nino adalah meningkatnya suhu permukaan laut (*sea surface temperature*) dari keadaan normal di Samudra Pasifik. Sedangkan pada kejadian La-Nila terjadi penurunan suhu permukaan laut di kawasan Samudera Pasifik dari suhu normalnya (Trenberth, 1997). Ketika El-Nino maupun La-Nina terjadi, keduanya berinteraksi dengan osilasi selatan (*Southern Oscillation*) dan fenomena tersebut dikenal sebagai ENSO (*El-Nino Southern Oscillation*) (McBride *et al.*, 2003).

Kejadian El-Nino dan La-Nina dinyatakan dengan nilai *Southern Oscillation Index* (SOI) dan perubahan suhu permukaan laut di Samudera

Pasifik (Fox, 2000; Nicholls and Beard, 2000). Ketika terjadi El-Nino, nilai SOI turun dibawah kisaran normal (negatif) dan curah hujan berada dibawah normal, sebaliknya pada kejadian La-Nina nilai SOI berada di atas kisaran normal (positif) sehingga mengakibatkan peningkatan curah hujan (Yoshino *et al.*, 2000). Secara umum jika nilai SOI mencapai -10 atau kurang maka akan terjadi penurunan curah hujan di bawah normal, sebaliknya jika nilai SOI mencapai 10 atau lebih maka akan terjadi peningkatan curah hujan di atas normal (Fox, 2000).

Perubahan iklim menyebabkan terjadinya peningkatan siklus ENSO dari 3-7 tahun sekali menjadi 2-5 tahun sekali (Ratag, 2001 dalam Badan Litbang Pertanian). Pemanasan global sebagai penyebab perubahan iklim cenderung meningkatkan terjadinya iklim ekstrim El-Nino dan menguatkan fenomena La-Nina (Hansen *et al.*, 2006). Boer dan Subbiah (2005) melaporkan bahwa pada periode tahun 1844 sampai 2009 masing-masing telah terjadi 47 dan 38 kali kejadian El-Nino dan La-Nina yang menimbulkan kekeringan dan banjir.

Peningkatan permukaan air laut

Akibat dari perubahan iklim muka air laut di Indonesia periode 1993 sampai 2008 mengalami kenaikan berkisar 0,2 sampai 0,6 cm/tahun (Boer, 2011 dalam Badan Litbang Pertanian, 2011a). Dalam kurun waktu 1925 sampai 1989, muka air laut naik di Jakarta, Semarang dan Surabaya naik masing-masing 4,38, 9,27 dan 5,47 mm/tahun (Meiviana *et al.*, 2004 dalam Badan Litbang Pertanian, 2011b).

Perubahan pola musim/curah hujan

Terjadinya perubahan iklim menyebabkan musim dan pola hujan mengalami perubahan ke arah *tren* tertentu, selain itu menyebabkan suhu udara mengalami peningkatan. Di Bagian Barat Indonesia, terutama di Bagian Utara Sumatera dan Kalimantan, intensitas curah hujan cenderung lebih rendah, tetapi dengan periode yang lebih panjang. Sebaliknya, di Wilayah Selatan Jawa dan Bali intensitas curah hujan cenderung meningkat tetapi dengan periode yang lebih singkat (Naylor *et al.*, 2007). Secara nasional, Boer *et al.* (2009) dalam Badan Litbang Pertanian (2011a) mengungkapkan tren perubahan secara spasial, di mana curah hujan pada musim hujan lebih bervariasi dibandingkan dengan musim kemarau.

Kondisi ENSO baik El Nino atau La Nina menyebabkan penurunan atau peningkatan curah hujan di sebagian Indonesia yang berdampak pada makin panjangnya musim kemarau atau pendeknya musim kemarau (Hendon, 2003; Hamada *et al.*, 2002). Penurunan curah hujan yang signifikan di musim kemarau bisa diharapkan selama kejadian El-Nino (episode hangat ENSO) dan peningkatan curah hujan yang signifikan selama La-Nina (episode dingin ENSO).

Terdapat hubungan yang kuat antara ENSO dan variabilitas curah hujan yang terjadi di sebagian besar wilayah Indonesia dengan pengecualian di beberapa bagian Sumatera (Boer *et al.*, 2011). Dampaknya lebih kuat di sebagian besar Kalimantan, Sulawesi dan sebagian Jawa, Nusa Tenggara dan Papua. Selain itu, selama El Nino-musim kemarau biasanya berakhir lebih akhir dari kondisi normal sedangkan selama La-Nina berakhir lebih awal. Permulaan musim hujan juga mundur selama El-Nino dan maju selama La- Nina (Yoshino *et al.*, 2000). Fluktuasi kejadian ENSO di

Samudra Pasifik sangat berhubungan dengan curah hujan di Indonesia.

Dampak Terhadap Tanaman Kopi

Tanaman kopi sangat tergantung kepada lingkungan (Cheserek and Gichimu, 2012). Kopi Robusta dan Arabika memerlukan curah hujan 1.250 - 2.000 mm/tahun sedangkan untuk kopi Liberika 1.250 - 3.000 mm/tahun. Bulan kering (curah hujan kurang dari 60 mm per bulan) yang diperlukan untuk kopi Robusta, Arabika dan Liberika sama yaitu 1-3 bulan per tahun. Suhu udara untuk ke tiga jenis kopi tersebut bervariasi, kopi Robusta 21 - 24 °C, Arabika 15 - 25 °C dan Liberika 21 - 30 °C (Ditjenbun, 2012).

Dampak ekstrem perubahan iklim terhadap tanaman kopi adalah penurunan produksi akibat perubahan pola curah hujan dan peningkatan suhu udara. Periode kering pendek, yang berlangsung 2-4 bulan, penting untuk merangsang pembungaan. Periode basah yang terjadi sepanjang tahun sering mengakibatkan panen tidak merata dan produksi menurun.

Curah hujan

Kekeringan dari sudut pandang meteorologi hanya mengacu ke periode di mana curah hujan lebih kecil dibandingkan evapotranspirasi potensial. Namun demikian, khususnya di daerah tropis, periode kekeringan sangat diperburuk oleh radiasi matahari tinggi dan suhu tinggi, sehingga kekeringan harus dipertimbangkan sebagai stres multidimensi (DaMatta *et al.*, 2003).

Proses fotosintesis menjadi terbatas ketika stres air terjadi, karena penutupan stoma dan pengurangan kegiatan fisiologis lainnya (Camargo, 2010). Kekeringan merupakan faktor lingkungan yang menyebabkan defisit air atau stres air pada tanaman kopi (Pinheiro *et al.*, 2005).

Menurut laporan Australian Bureau of Meteorology, pada tahun 1991/1992 terjadi El-Nino dengan durasi 9 bulan (Irawan, 2006) kondisi ini menyebabkan terjadinya bulan kering (curah hujan kurang dari 60 mm per bulan) selama lima bulan berturut-turut di Kebun Jollong, Pati pada tahun 1991, yang mengakibatkan produktivitas kopi pada tahun 1992 menurun sebesar 56,35%. Pada tahun 1992 bulan kering hanya terjadi satu

bulan, hal tersebut berpengaruh positif terhadap produktivitas kopi tahun 1993, yaitu produksi meningkat sebesar 139,55%. Tahun 1993 dan 1994 kembali terjadi El-Nino dengan durasi masing-masing 6 dan 9 bulan (Irawan, 2006), yang mengakibatkan terjadinya bulan kering yang panjang (5 bulan) pada tahun 1993 dan 1994. Keadaan tersebut menyebabkan produktivitas kopi kembali menurun sebesar 36,18% pada tahun 1994 dan 41,03% pada tahun 1995. Pada tahun 1995 dan 1996 kondisi iklim dalam keadaan normal sehingga produktivitas tahun 1996 kembali meningkat sebesar 194,12% karena pada tahun 1995 hanya terjadi satu bulan kering (Tabel 1).

Bulan basah yang terjadi sepanjang tahun pada tahun 1996 di Kebun Jollong, Pati (kondisi iklim normal) mengakibatkan produktivitas tahun 1997 menurun 48,00%, produktivitas pada tahun 1998 kembali menurun sebesar 13,63% karena pada tahun sebelumnya (1997) terjadi bulan kering yang panjang (5 bulan) akibat adanya anomali iklim El-Nino dengan durasi 14 bulan (Irawan, 2006). Bulan kering yang terjadi selama 5 bulan berturut-turut di Kebun Getas, Semarang dan Sukamangli, Kendal pada tahun 1997 juga mengakibatkan produksi pada tahun 1998 menurun. Jika pada tahun 1997 produktivitas di Kebun Getas dan Sukamangli mencapai masing-masing 2.129 kg/ha dan 880 kg/ha, pada tahun 1998 produktivitasnya hanya masing-masing 708 kg/ha dan 184 kg/ha atau menurun sebesar masing-masing 66,74% dan 79,09% (Prihasty, 2002; Alpaseno, 2005). Pada tahun 1999 dan 2000 di

Kebun Jollong, Pati terjadi peristiwa La-Nila selama 6 bulan sehingga produktivitas kembali meningkat, karena bulan kering hanya terjadi satu bulan.

Produktivitas kopi di Kebun Getas, Semarang pada tahun 2002 mencapai 1.709 kg/ha, akibat terjadi El-Nino di tahun tersebut (terjadi bulan kering selama empat bulan berturut-turut) produktivitas pada tahun 2003 menurun menjadi 1.090 kg/ha atau sebesar 36,22% (Alpaseno, 2005). Kemarau panjang yang terjadi selama 5 bulan berturut-turut, menyebabkan produksi kopi Robusta menurun 34 - 68% (Yahmadi, 1973; PTP XXIII, 1984).

Kekeringan yang berkepanjangan (di atas tiga bulan berturut-turut) pada anaman kopi mengakibatkan daun menguning dan berguguran sehingga ranting/cabang mengering (Gambar 2), sedangkan pada tanaman kopi yang mendapatkan air yang cukup daunnya berwarna hijau cerah dan ranting/cabang dipenuhi daun (Gambar 3).

Selain dapat menurunkan produksi, kemarau panjang di atas tiga bulan berturut-turut menyebabkan kualitas biji kopi menurun yaitu meningkatnya jumlah biji kosong (Sumirat, 2008)

Bulan basah (curah hujan di atas 100 mm per bulan) yang merata sepanjang tahun menyebabkan tingkat keberhasilan persarian bunga kopi hanya sebesar 5,3% sehingga angka populasi tanaman yang tidak produktif (berbuah kurang dari 200 buah per pohon) sedangkan di Kebun Percobaan Sumber Asin mencapai 80,4%, dan produksi turun sebesar 98,5% (Nur, 2000).

Tabel 1. Bulan kering dan produktivitas kopi selama 10 tahun (1991 - 2000) di Kebun Jollong, Pati.

Tahun	Bulan Kering	Produktivitas (kg/ha)	Persentase Penurunan (-)/ Peningkatan (+)
1991	5	1512	-
1992	1	660	- 56,35
1993	5	1581	+139,55
1994	5	1009	-36,18
1995	1	595	-41,03
1996	0	1750	+194,12
1997	5	910	-48,00
1998	0	786	-13,63
1999	1	960	+22,14
2000	1	1431	+49,06

Sumber : Pasaribu (2002)



Gambar 2. Tanaman kopi yang mengalami kekeringan
Sumber : Handi Supriadi



Gambar 3. Tanaman kopi yang mendapat air yang cukup
Sumber : Handi Supriadi

Suhu udara

Suhu ekstrim dapat merusak proses metabolisme sel (misalnya fotosintesis), pertumbuhan dan kelangsungan hidup tanaman, serta menurunkan nilai ekonomi tanaman (DaMatta dan Ramalho, 2006). Bahkan, suhu dapat membatasi pengembangan dari tanaman kopi, karena pertumbuhan kopi sangat dipengaruhi oleh suhu tinggi dan rendah (Silva *et al*, 2004). Rata-rata suhu optimum untuk kopi Arabika adalah berkisar antara 18-21 °C (DaMatta and Ramalho, 2006). Suhu di atas 23 °C, dapat mempercepat pengembangan dan pematangan buah, sehingga menurunkan kualitas (Camargo,

2010). Jika suhu udara mencapai 30 °C dapat mengakibatkan pertumbuhan tanaman tertekan dan menimbulkan kelainan seperti menguningnya daun dan pertumbuhan tumor pada pangkal batang (DaMatta dan Ramalho, 2006). Suhu yang relatif tinggi (musim kemarau yang berkepanjangan) selama bunga mekar, dapat menyebabkan aborsi bunga (Camargo, 2010). Selain itu, suhu udara yang sangat bervariasi dapat meningkatkan cacat biji, merubah komposisi biokimia dan cita rasa (Carr, 2001; Silva *et al*, 2005). Setiap kenaikan suhu udara 1 °C akan menurunkan produksi bahan kering tanaman kopi sebesar 10% (Camargo, 2010) dan produksi biji 30,04% (Pinto *et al*, 2002).

Pertumbuhan vegetatif tanaman kopi terhambat jika suhu udara turun di bawah 15-16 °C (Silva *et al.*, 2004). Buah dan daun tanaman kopi akan mengalami luka bakar jika suhu udara di bawah 5-6 °C (Coste, 1992). Kopi peka terhadap frost, jika suhu menurun minimal antara -3 sampai -5 °C akan mematikan daun (Guimarães *et al.*, 2002; Quartin *et al.*, 2004). Frost (embun beku) yang terjadi secara sporadis, sangat membahayakan bagi kelangsungan hidup tanaman kopi, karena dampaknya dapat merusak daun dan buah tidak saja pada tahun terjadinya, tetapi dampaknya dapat terjadi pada tahun-tahun berikutnya (Feio, 1991), yang akhirnya, dapat mematikan tanaman kopi. Baik kopi Arabika dan Robusta sangat sensitif terhadap embun beku (Feio, 1991).

TEKNOLOGI BUDIDAYA UNTUK ADAPTASI DAN MITIGASI PERUBAHAN IKLIM

Dampak buruk perubahan iklim dapat diatasi melalui penerapan teknologi budidaya yang tepat dengan dua pendekatan yaitu adaptasi dan mitigasi. Adaptasi adalah upaya untuk mengurangi dampak perubahan iklim melalui penyesuaian teknologi budidaya agar mengurangi resiko kegagalan produksi maupun kematian (Surmainsi *et al.*, 2011). Sedangkan mitigasi adalah penerapan teknologi budidaya untuk mencegah akumulasi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer dengan mengurangi jumlah emisi dan/atau meningkatkan penyerapan dan penyimpanan (sequestrasi) di rosot karbon (Badan Litbang Pertanian, 2011b) sehingga resiko terjadinya perubahan iklim dapat diminimalisir atau dicegah.

Pengelolaan Lahan dan Tanaman

Pengolahan lahan

Pengolahan lahan untuk tanaman kopi yang ramah lingkungan yaitu yang dapat mengurangi emisi gas rumah kaca (CO₂), dilakukan diantaranya melalui penerapan metode tanpa olah tanah (TOT) atau pengolahan tanah berbasis konservasi. Metode TOT berpotensi menyerap CO₂ berkisar 1,10-1,47 ton CO₂ e/ha/tahun, sedangkan pengolahan tanah berbasis konservasi dapat menyerap CO₂ dari udara berkisar 0,37 - 0,73 ton CO₂ e/ha/tahun (Lal *et al.*, 1998; Robertson *et al.*, 2000; Freibauer *et al.*, 2004)

Penggunaan mulsa

Pemberian mulsa dari sisa bahan tanaman bermanfaat untuk mempertahankan ketersediaan air dalam tanah, sehingga tanaman kopi tidak mengalami stres akibat kekeringan. Selain itu mulsa juga dapat menambah kandungan karbon organik dalam tanah, sehingga meningkatkan stok karbon dalam tanah.

Pemberian mulsa dilakukan untuk mengurangi evaporasi pada musim kemarau yang berkepanjangan (di atas 3 bulan). Tebal mulsa yang dianjurkan adalah 10-15 cm berasal dari bahan jerami, rumput atau daun-daun hasil pemangkasan tanaman pokok maupun tanaman penunjangnya (Gambar 4). Berdasarkan hasil penelitian Sinkeviciene *et al.* (2009), pemberian mulsa dapat meningkatkan kelengasan air tanah hingga 7,3% tergantung kepada jenis mulsa yang digunakan dan lamanya mulsa diberikan (Tabel 2).

Menurut Bebeko (2013) pemberian mulsa pada tanaman kopi dapat meningkatkan produktivitas hingga 100,24% tergantung dari jumlah mulsa yang diberikan (Tabel 3).

Tabel 2. Pengaruh jenis mulsa terhadap kelengasan air tanah (%)

Jenis Mulsa	2005	2006	2007	2008
Tanpa Mulsa	18,5	18,5	20,2	18,3
Jerami	21,5	20,1	24,7	21,6
Gambut	22,8	21,1	27,5	22,4
Serbuk gergaji	22,3	22,5	26,3	23,3
Rumput	19,6	19,5	21,3	18,6

Sumber : Sinkeviciene *et al.*, 2009

Tabel 3. Pengaruh pemberian mulsa terhadap produksi kopi Arabika

Pemberian mulsa (t/ha)	Produktivitas (kg/ha)
0	530,50
2	535,75
4	635,50
6	966,75
8	1062,25

Sumber : Bebeko, 2013

Pemberian mulsa sebanyak 4-6 ton/ha/tahun dapat menyerap karbon 0,05-0,10 ton C/ha/tahun

atau setara dengan 0,18 - 0,37 ton CO₂ e/ha/tahun gas CO₂ yang diserap dari udara (Lal *et al.*, 1998)



Gambar 4. Tanaman kopi yang diberi mulsa
Sumber : Handi Supriadi

Pembuatan rorak

Jika terjadi musim kering lebih dari 3 bulan berturut-turut perlu dibuat rorak yang berfungsi sebagai cadangan air. Pembuatan rorak seperti yang dilakukan di Kebun Sukamangli, Kendal, dilaksanakan menjelang musim hujan dengan ukuran panjang 75-100 cm, lebar 30-40 cm dalam 40-60 cm dan jarak dari tanaman kopi antara 60 - 100 cm tergantung besar kecilnya tanaman. Pembuatan rorak dilakukan dengan cara berpindah-pindah tempat, diantara dua tanaman kopi secara bergiliran (Prihasty, 2002). Jumlah rorak sebaiknya 50% dari jumlah tanaman kopi per

ha. Untuk memperbaiki struktur dan porositas tanah dan meningkatkan kapasitas kemampuan mengikat air rorak, harus diisi dengan mulsa atau serasah. Penampilan rorak di lapang terdapat pada Gambar 5.

Kadar air tanah rata-rata bulanan pada perlakuan rorak yang dilengkapi lubang resapan dan mulsa vertikal sebesar 48,32 %, lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa perlakuan (blok kontrol) sebesar 43,64 % (Marni, 2009). Rorak yang diberi mulsa mempunyai kelengkapan tanah 15% lebih tinggi dibanding tanah terbuka (Noeralam, 2002 dalam Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, 2004).



Gambar 5. Penampilan rorak di kebun kopi
Sumber : Handi Supriadi

Pengelolaan Tanaman

Bahan tanaman unggul

Penggunaan bahan tanaman unggul merupakan cara yang paling efektif, mudah dan murah dalam mengatasi perubahan iklim. Saat ini sudah dilepas oleh Menteri Pertanian Republik Indonesia beberapa varietas/klon unggul kopi Arabika dan Robusta seperti S 795 dan Sigarar Utang (Arabika) serta BP 308 dan BP 409 (Robusta). Selain mempunyai produksi tinggi dan citarasa yang baik varietas/klon unggul tersebut tahan terhadap perubahan iklim, terutama akibat terjadinya bulan kering atau basah yang berkepanjangan.

Kopi Arabika S 795 merupakan varietas unggul yang sesuai ditanam pada lahan sub optimal dan daerah endemik penyakit karat daun. Produktivitas 1.000-1.500 kg kopi biji/ha/tahun pada populasi 1.600-2000 tanaman/ha. Pada ketinggian lebih dari 1000 m dpl tahan serangan

karat daun dan pada ketinggian kurang dari 900 dpl agak tahan penyakit karat daun, citarasa cukup baik (Menteri Pertanian, 1995). Kopi Arabika Sigarar Utang banyak disukai petani, karena cepat berbuah (umur 1,5 tahun), dan bunganya tidak gugur ketika terjadi musim hujan yang berkepanjangan. Produktivitas rata-rata 1.500 kg kopi biji/ha/tahun dengan populasi 1600 tanaman/ha (Menteri Pertanian, 2005). Penampilan kopi Arabika varietas S 795 dan Sigarar Utang terdapat pada Gambar 6.

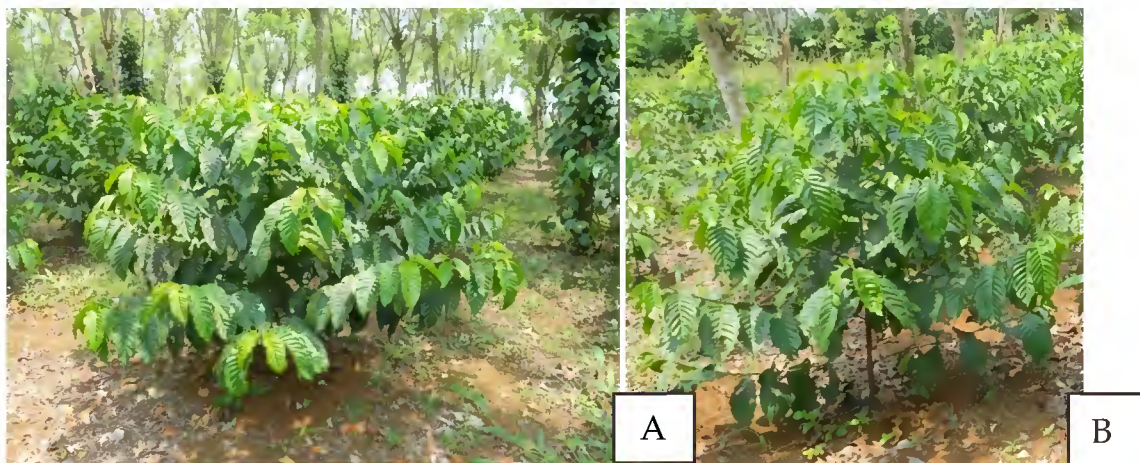
Kopi Robusta yang toleran terhadap kekeringan adalah klon BP 409 (Nur dan Zaenuddin, 1992). Klon ini mempunyai produktivitas 1.000-2.300 kg kopi biji/ha/tahun dan agak tahan terhadap serangan nematoda parasit (Menteri Pertanian, 1997). Untuk bahan bawah dapat digunakan klon kopi Robusta BP 308. Klon ini tahan terhadap kekeringan dan serangan nematoda parasit (Menteri Pertanian, 2004). Klon BP 409 dan BP 308 di lapang dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 6. Penampilan kopi Arabika varietas S 795 dan Sigarrar Utang

Sumber : Handi Supriadi

A = kopi Arabika varietas S 795; B = kopi Arabika varietas Sigarrar Utang



Gambar 7. Penampilan kopi Robusta klon BP 308 dan BP 409

Sumber : Handi Supriadi

A = kopi Robusta klon BP 308; B = kopi Robusta klon BP 409

Berdasarkan hasil eksplorasi di Lampung Barat, ditemukan jenis kopi Robusta yang dapat beradaptasi dengan baik di daerah yang mempunyai tipe iklim A (Schmidt dan Ferguson) yaitu daerah basah dengan bulan basah sepanjang tahun.

Pengembangan dan peremajaan

Walaupun kopi terkena dampak perubahan iklim, namun tanaman tersebut berperan dalam

mitigasi perubahan iklim yaitu melalui penyerapan gas rumah kaca (CO_2) dari udara. Besarnya CO_2 yang dapat diserap, tergantung kepada besar biomassa yang dihasilkan oleh tanaman kopi. Umumnya semakin meningkat umur tanaman kopi maka biomassa akan semakin bertambah. Potensi penyerapan CO_2 oleh tanaman kopi pada berbagai tingkat umur terdapat pada Tabel 4 (Wibawa *et al.*, 2010).

Tabel 4. Potensi serapan CO₂ oleh tanaman kopi Robusta pada berbagai tingkat umur di Kebun Sumberasin PTPN XII

No	Umur (tahun)	Stok Karbon (ton C/ha)	Penyerapan CO ₂ (ton CO ₂ e/ha)
1	3	1,35	4,95
2	8	9,21	33,80
3	12	15,82	58,06
4	15	15,67	57,51
5	21	24,05	88,26

Sumber: Wibawa *et al.*, 2010

Penanaman Tanaman Penaung

Tanaman penaung tetap

Manfaat tanaman penaung dalam menghadapi perubahan iklim adalah sebagai berikut : (1) Mengurangi tingkat evapotranspirasi dari tanaman kopi dari 1.327 mm pada tanaman kopi tanpa naungan menjadi 703 mm pada tanaman kopi dengan tanaman penaung Inga leptoloba dan 1.052 mm pada tanaman kopi dengan tanaman penaung campuran (Jimenez and Golberg, 1982 dalam DaMatta, 2004), (2) Meningkatkan kelembaban udara (3) mengurangi suhu udara ekstrem 2-3 °C (Camargo, 2010). Penggunaan tanaman penaung pada tanaman kopi di Ethiopia dapat menurunkan suhu udara dari 26,7 °C menjadi 25,5 °C dan suhu tanah dari 20,8 °C menjadi 19,7 °C (Bote and Struik, 2011) dan (4) mengurangi kerusakan yang disebabkan oleh hujan es atau hujan lebat dan angin.

Sumbangan unsur hara dari tanaman penaung seperti gamal dan dadap adalah sebagai berikut : (1) gamal = N : 24,16 kg/ha, P : 1,22 kg/ha dan K : 15,54 kg/ha dan (2) dadap = N : 67,92 kg/ha, P : 4,09 kg/ha dan K : 15,15 kg/ha. Lamtoro mampu menghasilkan pupuk hijau 120 ton/ha/tahun, sehingga dapat menyumbang 1.000 kg nitrogen, 200 kg asam fosfat dan 800 kg potasium, atau berturut-turut setara dengan 50 kg ammonium sulfat, 50 kg super fosfat dan 50 kg potasium muriate (Padmowijoto, 2004 dalam Prawoto, 2008).

Produktivitas tanaman kopi tanpa tanaman penaung hanya mencapai 583,7 kg/ha/tahun, sedangkan dengan penggunaan tanaman penaung gamal dan dadap produktivitas menjadi lebih tinggi yaitu masing-masing 806,6 kg/ha/tahun dan 987,5 kg/ha/tahun (Evizal *et al.*, 2008).

Polatanam kopi dengan tanaman penaung juga mempunyai peran dalam mitigasi perubahan iklim melalui penyerapan CO₂ dari udara. Pada polatanam kopi dengan tanaman kayu-kayuan jumlah CO₂ yang diserap mencapai 71,20 ton CO₂ e/ha, kopi dengan tanaman buah 79,64 ton CO₂ e/ha dan kopi dengan tanaman penaung campuran 125,88 ton CO₂ e/ha (Ginoga *et al.*, 2002). Agroforestri multistrata berbasis kopi tidak saja berpotensi untuk konservasi tanah dan air, tetapi juga berpotensi dalam mempertahankan cadangan karbon (C), akan mengurangi emisi CO₂ sehingga dapat mengurangi dampak negatif perubahan iklim. Karbon yang dapat diserap berkisar 18 - 21 ton C/ha atau setara dengan 66,06 - 77,07 ton CO₂ e/ha (Hairiah *et al.*, 2006).

Penanaman tanaman penaung tetap dilakukan satu tahun sebelum penanaman tanaman kopi. Jenis tanaman penaung yang banyak digunakan untuk tanaman kopi yaitu gamal (*Gliricidia sepium*), dadap (*Erythrina indica*) dan lamtoro (*Leucaena sp.*) (Rahardjo, 2012).

Tanaman penaung sementara

Peran utama tanaman penaung sementara adalah untuk melindungi tanaman kopi yang baru ditanam di lapang dari sinar matahari. Selain itu tanaman tersebut dapat meningkatkan ketersediaan air dan unsur hara dalam tanah. Jenis tanaman penaung sementara yang ditanam di dataran rendah adalah *Moghania macrophylla* sedangkan didataran tinggi *Theprosia candida* dan *Crotalaria spp.* (Rahardjo, 2012). Hasil penelitian Baon dan Wibawa (2005) tanaman penaung sementara dapat menambah bahan organik dalam tanah sebesar 25,42% dan lengas tanah 3%.

Pemangkasan

Pemangkasan tanaman pokok kopi dilakukan untuk meningkatkan intensitas cahaya yang masuk pada tajuk tanaman kopi serta melancarkan peredaran udara sehingga dapat merangsang pembentukan bunga dan mengintensifkan peyerbukan. Selain itu pemangkasan pada tanaman kopi dapat mengurangi kelembaban kebun dan menyediakan cabang-cabang buah pada tahun-tahun berikutnya agar stabilitas produksi tahunan dapat dipertahankan. Jika terjadi musim kemarau yang berkepanjangan (di atas 3 bulan) tanaman penaung harus dibiarkan rimbun (Rahardjo, 2012; RPN, 2011).

Pemangkasan dengan cara memotong seluruh cabang plagiotrop yang berada 20-30 cm dari cabang ortotrop dan pemangkasan yang lebih tinggi sesuai untuk daerah dengan resiko terkena embun beku (frost) (Filho and Caramori, 2000).

Pemangkasan tanaman penaung dan kopi dilakukan pada musim hujan yang berkepanjangan. Pemangkasan tanaman penaung 50% dilakukan pada awal musim hujan dan 50% sisanya pada pertengahan musim hujan.

Penggunaan pupuk organik

Peran penggunaan bahan organik dalam mengatasi perubahan iklim yaitu dapat menurunkan defisit kejenuhan air daun kopi selama musim kemarau hingga 10% dan meningkatkan kadar air tanah 2,5 - 4,7%, sehingga efektif mengurangi dampak negatif perubahan iklim (cekaman air) pada tanaman kopi. Selain itu bahan organik dapat meningkatkan jumlah buah kopi per pohon 24,26 - 72,78% (Pujiyanto, 2011).

Salah satu bahan organik yang dapat digunakan adalah kulit buah dan kulit tanduk kopi. Limbah kopi ini belum dimanfaatkan secara optimal, padahal dari beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa kulit buah dan kulit tanduk kopi mengandung unsur hara yang bermanfaat untuk tanaman kopi. Kadar karbon organik kulit buah kopi adalah 38,20- 45,30%, kadar nitrogen 2,05- 2,98%, fosfor 0,18%, dan kalium 2,26%, sedangkan kulit tanduk mengandung karbon organik 35,0% dan nitrogen 2,25% (Baon et al., 2005; Preethu et al., 2007). Kadar karbon organik yang tinggi tersebut sangat sesuai untuk perbaikan sifat fisik dan kimia tanah karena tanah

di perkebunan kopi umumnya memiliki kadar karbon organik kurang dari 2% (Pujiyanto, 2007).

Pemanfaatan kulit buah dan kulit tanduk kopi diharapkan dapat memperbaiki kesuburan tanah, meningkatkan produksi, mengurangi pencemaran, meningkatkan nilai tambah, mengurangi masukan (input) pupuk anorganik dan menjamin keberlanjutan usaha perkebunan kopi (Baon et al., 2005). Penggunaan kulit buah kopi dengan dosis 25 liter/pohon/tahun dapat meningkatkan produksi kopi Robusta sebesar 66% dibandingkan kontrol (Erwiyono et al., 2000).

Selain dapat meningkatkan ketersediaan air dan unsur hara dalam tanah, pupuk organik berperan dalam mitigasi perubahan iklim melalui penyerapan CO₂ dari udara. Aplikasi pupuk organik 3,6 ton/ha di lahan kering, pada tahap awal dapat memberikan stok karbon 18 ton C/ha, dan pada tahap berikutnya dapat meningkatkan stok karbon tanah 0,7 ton C/ha/tahun atau setara dengan penyerapan CO₂ dari udara sebesar 2,57 CO₂e/ha/tahun (Farage et al., 2003 dalam Luske and van der Kamp, 2009).

Penanaman tanaman penutup tanah

Penanaman tanaman penutup tanah *Arachis pintoi* di bawah tegakan kopi (Gambar 8) bermanfaat untuk mengurangi erosi, menambah nitrogen (N) tanah dan menekan pertumbuhan gulma (ICRAF, 2002) serta mampu menghasilkan biomassa segar sebanyak 14 ton/ha/tahun (Baon dan Pudjiono, 2006). Menurut Yi-Bin et al. (2004) penanaman *Arachis pintoi* dapat meningkatkan porositas dan kelengasan air tanah (Tabel 5). Selain itu *Arachis pintoi* dapat meningkatkan kesuburan tanah karena mengandung unsur hara sebagai berikut : karbon (C) 408 g/kg, N 25,7 g/kg, posfor (P) 2,4 g/kg, kalium (K) 23,0 g/kg, kalsium (Ca) 11,2 g/kg dan magnesium (Mg) 4,5 g/kg (da Silva Matos et al., 2008).

Hasil penelitian Santos et al. (2013) menunjukkan bahwa selain dapat menekan pertumbuhan gulma, penanaman *Arachis pintoi* diantara tanaman kopi juga dapat meningkatkan produksi kopi (Tabel 6).

Tanaman penutup tanah seperti *Arachis pintoi* mempunyai peran dalam mitigasi perubahan iklim, karena dapat menyerap CO₂ dari udara. Menurut GIZ (2011) potensi serapan CO₂ oleh tanaman penutup tanah berkisar 0,5 - 1,5 ton CO₂e/ha/tahun.

Tabel 5. Pengaruh penutup tanah terhadap karakteristik fisik tanah

Perlakuan	Porositas tanah	Kelengasan Tanah
	(%)	(%)
Tanpa penutup tanah	20,1	21,1
<i>Arachis pintoi</i>	26,6	23,2

Sumber : Yi-Bin *et al.*, 2004

Tabel 6. Pengaruh pembersihan gulma terhadap produksi kopi

Perlakuan	Produktivitas (kg/ha)	
	2007/2008	2008/2009
Pembersihan gulma secara manual	2.352	1.486
Pembersihan gulma secara kimiawi	2.220	1.479
Penanaman <i>Arachis pintoi</i>	2.430	1.590

Sumber : Santos *et al.*, 2013



Gambar 6. Kebun kopi yang ditanam *Arachis pintoi*
Sumber: Handi Supriadi

Pengelolaan Air

Pembuatan embung

Salah satu upaya untuk mengurangi dampak yang merugikan tanaman kopi akibat perubahan iklim adalah dengan pembuatan embung. Manfaat embung adalah sebagai tempat penampungan air di musim hujan, yang dapat digunakan untuk irigasi pada tanaman kopi di musim kemarau yang berkepanjangan. Ukuran embung bervariasi, disesuaikan dengan kebutuhan dan biaya yang tersedia. Ukuran embung yang pernah dibuat mulai dari ukuran kecil dengan volume 25 m³ (panjang 5 m, lebar 5 m dan dalam 1 m) sampai berukuran besar dengan volume 41.340 m³

(panjang 65 m, lebar 159 m dan dalam 4 m) (Balingtan, 2011).

Irigasi dan sistem drainase

Irigasi dapat meningkatkan produksi tanaman kopi. Produksi kopi pada kebun yang dilengkapi irigasi dapat mencapai 3.775-7.000 kg/ha, sedangkan tanpa irigasi hanya 853-1.500 kg/ha (NaanDanJain Brazil, 2009; Tesfaye *et al.*, 2013). Jika musim hujan berkepanjangan dibuat parit drainase sehingga air tergenang tidak lebih dari 6 jam. Parit drainase dibuat cukup dalam dan diprioritaskan pada areal kebun yang drainasenya kurang baik (RPN, 2011).

PROSPEK PENGEMBANGAN TEKNOLOGI DAN IMPLIKASINYA

Teknologi budidaya tanaman kopi yang adaptif dan mitigatif terhadap perubahan iklim telah tersedia dan siap diaplikasikan di lapang. Teknologi tersebut dihasilkan dari serangkaian penelitian yang dilakukan baik oleh pihak pemerintah maupun swasta. Bahan tanaman kopi yang adaptif terhadap perubahan iklim (S 795, Sigarar Utang, BP 308 dan BP 409) mudah didapat karena sumber benihnya (pohon induk dan kebun entres) sudah tersedia. Begitu juga bahan baku untuk pupuk organik, mulsa, tanaman penutup tanah dan tanaman penayang mudah diperoleh dari berbagai tempat.

Pengembangan teknologi budidaya tanaman kopi yang adaptif dan mitigatif terhadap perubahan iklim ditingkat petani telah dilakukan 12 provinsi (Banten, Jawa Barat, Daerah Istimewa Yogyakarta, Jawa Tengah, Bali, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tengah, Sulawesi Barat, Gorontalo dan Sulawesi Utara) yang difasilitasi oleh Direktorat Jenderal Perkebunan. Selain itu teknologi tersebut sudah dikembangkan oleh petani di daerah Sumber Jaya, Lampung Barat yang kegiatannya difasilitasi oleh pemerintah, lembaga sosial masyarakat dan swasta.

Strategi untuk pengembangan teknologi tersebut dilakukan melalui upaya (1) perbaikan kondisi fisik seperti pembangunan embung dan jaringan irigasi serta (2) penguatan kelembagaan dan peraturan, pemberdayaan petani dalam memanfaatkan informasi teknologi budidaya tanaman kopi yang adaptif dan mitigatif terhadap perubahan iklim, iklim dan pengembangan sekolah lapang iklim. Selain itu perlu dilakukan diseminasi teknologi yang diarahkan untuk meningkatkan pemahaman petani dan masyarakat luas tentang pemanfaatan informasi iklim dan undang-undang/peraturan terkait.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Peningkatan gas rumah kaca di udara memacu pemanasan global sehingga terjadi

perubahan iklim. Dampak dari perubahan iklim yaitu terjadinya peningkatan suhu udara, peningkatan intensitas anomali iklim/iklim ekstrim (El-Nino dan La-Nina), peningkatan permukaan air laut dan perubahan pola musim/curah hujan ke arah tren tertentu. Akibat perubahan iklim, terutama peningkatan suhu udara, dan intensitas El-Nino dan La-Nina serta perubahan pola musim/curah hujan mengakibatkan terjadinya kerusakan/kematian pada tanaman kopi sehingga, produksi menurun.

Upaya untuk mengatasi perubahan iklim pada tanaman kopi dapat dilakukan melalui penerapan teknologi budidaya yang bersifat adaptif sekaligus mitigatif. Teknologi tersebut adalah pengelolaan lahan (pengolahan lahan sistem TOT, penggunaan mulsa dan pembuatan rorak) pengelolaan tanaman (bahan tanaman unggul, pengembangan dan peremajaan, penanaman tanaman penayang, pemangkasan, penanaman tanaman penutup tanah dan penggunaan pupuk organik) dan pengelolaan air (embung dan sistem irigasi).

Saran

Fenomena perubahan iklim harus diantisipasi melalui kebijakan penanggulangan yang bersifat menyeluruh dan melibatkan banyak pihak yang terkait. Upaya yang dapat dilakukan untuk menghadapi perubahan iklim yaitu (1) mengembangkan sistem deteksi dini perubahan iklim yang meliputi waktu dan lama kejadian, intensitas, potensi dampak terhadap tanaman kopi, dan peta wilayah rawan serta mendiseminasikan informasi tersebut secara cepat dan tepat kepada semua pihak yang terkait, (2) memfasilitasi petani untuk dapat menerapkan teknik budidaya tanaman kopi yang adaptif dan mitigatif terhadap perubahan iklim, dan (3) meningkatkan pembangunan dan pemeliharaan sarana irigasi serta mengembangkan teknik pemanenan curah hujan dan penghematan air misalnya melalui pembuatan embung dan sistem irigasi tetes.

DAFTAR PUSTAKA

Alpaseno. 2005. Pengelolaan Pemupukan Tanaman Kopi Robusta (*Coffea canephora*)

- Pierre ex Froehner) di Kebun Getas, PT Perkebunan Nusantara IX, Semarang, Jawa Tengah. Skripsi. Departemen Agronomi dan Hortikultura. Fakultas Pertanian. IPB. 56 hlm.
- Badan Litbang Pertanian. 2011a. Pedoman Umum Adaptasi Perubahan Iklim Sektor Pertanian. Badan Litbang Pertanian. Jakarta. 67 hlm.
- Badan Litbang Pertanian. 2011b. Road Map Strategi Pertanian Menghadapi Perubahan Iklim (Revisi). Badan Litbang Pertanian. Jakarta. 89 hlm.
- Balingtan (Balai Penelitian Lingkungan Pertanian). 2011. Teknologi Embung Untuk Adaptasi Perubahan Iklim. Balingtan. Jakenan, Pati. 7 hlm.
- Baon, J.B. dan A. Wibawa. 2005. Kandungan bahan organik dan lengas tanah serta produksi kopi pada budidaya ganda dengan tanaman sumber bahan organik. *Pelita Perkebunan* 21: 43-54.
- Baon, J.B. dan H. Pudjiono. 2006. Intensitas penutup tanah *Arachis pintoi* dan inokulasi rhizobium serta penambahan fosfor dan pengaruhnya terhadap pertumbuhan tanaman kakao dan status hara di lapangan. *Pelita Perkebunan* 22(2): 76-90.
- Baon, J.B., R. Sukasih dan Nurkholis. 2005. Laju dekomposisi dan kualitas kompos limbah padat kopi: pengaruh aktivator dan bahan baku kompos. *Pelita Perkebunan* 21: 31 - 42.
- Bebeko, Z. 2013. Effect of maize stover application as soil mulch on yield of Arabica coffee (*Coffea arabica* L., Rubiaceae) at western hararghe zone, eastern Ethiopia. *Sustainable Agriculture Research* 2(3): 15-21.
- Boer, R., A. Faqih and R. Ariani. 2011. Relationship between Pacific and Indian Ocean Sea Surface Temperature Variability and Rice Production, Harvesting Area and Yield in Indonesia. Poster presented at the 1st International Conference on Climate Services, Columbia University, New York 17-19 November 2011.
- Boer, R., and A.R. Subbiah. 2005. Agriculture drought in Indonesia. p. 330-344. In V. S. Boken, A.P. Cracknell, and R.L. Heathcote (eds.). *Monitoring and Predicting Agricultural Drought: A global study*. Oxford Univ. Press.
- Bote, A.D. and P.C. Struik. 2011. Effects of shade on growth, production and quality of coffee (*Coffea arabica*) in Ethiopia. *Journal of Horticulture and Forestry* 3(11): 336-341.
- Camargo, M.B.P. 2010. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. *Bragantia, Campinas* 69(1): 239-247.
- Carr, M.K.V. 2001. The water relations and irrigation requirements of coffee. *Exp. Agric.* 37:1-36.
- Cheserek J.J. and B.M. Gichimu. 2012. Drought and heat tolerance in coffee: a review. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science* 2(12): 498-501.
- Coste, R. 1992. *Coffee - The Plant and the Product*. MacMillan Press, London. 328 pp.
- da Silva Matos, E., E. de Sá Mendonça, P.C. de Lima, M.S. Coelho, R.F. Mateus and I.M. Cardoso. 2008. Green manure in coffee systems in the region of zona da mata, minas gerais: characteristics and kinetics of carbon and nitrogen mineralization. *R. Bras. Ci. Solo* 32:2027-2035.
- DaMatta F.M., A.R.M. Chaves, H.A. Pinheiro, C. Ducatti and M.E. Loureiro. 2003. Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. *Plant Science* 164:111-117.
- DaMatta, F.M. 2004. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crops Research* 86: 99-114.
- DaMatta, F.M. and J.D.C. Ramalho. 2006. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: A Review. *Brazilian J. Plant. Physiol.* 18: 55-81.
- DITJENBUN (Direktorat Jenderal Perkebunan). 2012b. *Pedoman Praktis Praktek Budidaya Kopi yang Baik (Good Agricultural*

- Practices/GAP on Coffee). Ditjenbun. Jakarta. 75 hlm.
- DITJENBUN (Direktorat Jenderal Perkebunan). 2013. Statistik Perkebunan Indonesia 2012-2014. Kopi. Ditjenbun. Jakarta. 81 hlm.
- Erwiyono R., A. Wibawa, Pujiyanto, J.B. Baon dan S. Abdullah. 2000. Pengaruh sumber bahan organik terhadap keefektifan pemupukan kompos pada kakao dan kopi. *Warta Puslit Kopi dan Kakao* 16(1): 45-49.
- Evizal, R., Tohari, I.D. Prijambada, J. Widada dan D. Widiyanto. 2008. Layanan lingkungan pohon pelindung pada sumbangan hara dan produktivitas agroekosistem kopi. *Pelita Perkebunan* 25(1):23-37.
- Feio, M. 1991. Climate agricultura. Exigências Climáticas Dasprincipais Cultu Ras e Potencialidades Agrícolas do Nosso Clima. Ministério da Agricultura, Pescas e Alimentação, Direcção-Geral de Planeamento e Agricultura. Lisboa, Portugal. 266 pp.
- Filho, A.A. and P. H. Caramori. 2000. Influence of coffee pruning on the severity of frost damage. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 43(1):1-4.
- Fox, J.J. 2000. The Impact of the 1997-1998 El Nino on Indonesia. p. 166-198. In R.H. Grove and J.Chappell (eds). *El Nino - History and Crisis. Studies from the Asia-Pacific region.* The White House Press. Cambridge, UK.
- Freibauer, A., M.D.A. Rounsevell, P. Smith and J. Verhagen. 2004. Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. *Geoderma* 122: 1-23.
- Ginoga, K., Y.C. Wulan, and M. Lugina. 2002. Potential of Agroforestry and Plantation Systems In Indonesia for Carbon Stocks: An Economic Perspective Working Paper CC14, ACIAR Project ASEM 2002/066. 23 pp.
- GIZ (Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit). 2011. Climate Change Adaptation and Mitigation in the Kenyan Coffee Sector. Guide Book - Sangana PPP-4C Climate Module. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Dag-Hammarskjöld - Weg 1 - 5. 65760 Eschborn/Germany. 32 pp.
- Guimarães, R.J., A.N. Mendes, C.A. Souza. 2002. Solo e Clima Para o Cafeeiro. In Guimarães RJ, Mendes AN, Souza CA (eds), *Cafeicultura*, Universidade Federal de Lavras, Lavras. p.124-138.
- Hairiah, K., S. Rahayu dan Berlian. 2006. Layanan Lingkungan Agroforestri Berbasis Kopi: Cadangan karbon dalam biomasa pohon dan bahan organik tanah (Studi kasus dari Sumberjaya, Lampung Barat). *Agrivita* 28: 298-309.
- Hamada, J., M.D. Yamanaka, J. Matsumoto, S. Fukao, P.A. Winarso, and T. Sribimawati. 2002. Spatial and temporal variations of the rainy season over Indonesia and their link to ENSO. *Journal of the Meteorological Society of Japan* 80: 285-310
- Hansen, J., M. Sato, R. Ruedy, K. Lo, D.W. Lea and M. Medina-Elizade. 2006. Global temperature change. *PNAS* 103: 14288-14293.
- Hendon, H.H. 2003a. Indonesian rainfall variability: impacts of ENSO and local airsea interaction. *Journal of Climate* 16: 17751790.
- ICRAF (International Centre for Research in Agroforestry). 2002. Pilihan Teknologi Agroforestry/Konservasi Tanah untuk Areal Pertanian Berbasis Kopi di Sumberjaya, Lampung Barat. Agus, F., A.N. Ginting dan M. Van Noordwijk (Penyunting). ICRAF Southeast Asia Regional Office. Bogor, Indonesia. 60 hlm.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA. 996 pp.
- Irawan, B. 2006. Fenomena anomali iklim El nino dan La nina: Kecenderungan jangka

- panjang dan pengaruhnya terhadap produksi pangan. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*. 24(1): 28-45.
- Lal, R., J.M. Kimble, R.F. Follet, and C.V. Cole. 1998. *The Potential Of U.S. Cropland to Sequester C and Mitigate the Greenhouse Effect*. Ann. Arbor. Press., Chelsea, M.I. 108 pp.
- Luske, B. and J. van der Kamp. 2009. Carbon Sequestration Potential of Reclaimed Desert Soils in Egypt. In press. Louis Bolk Institute and Soil and More International, The Netherlands. 35 pp.
- Marni. 2009. Penerapan Teknik Konservasi Tanah dan Air dalam Meningkatkan Produksi Kelapa Sawit. Skripsi. Program Studi Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor. 68 hlm.
- Mc Bride, J. Haylock, M.R. dan Nicholls, N.. 2003. Relationships between the Maritime Continent Heat Source and the El Nino-Southern Oscillation Phenomenon. *Journal of Climate* 16: 2905-2914.
- Menteri Pertanian. 1995. Keputusan Menteri Pertanian No. 07/Kpts/TP.240/I/97 Tentang Pelepasan Varietas Kopi S 795 Sebagai Varietas Unggul. 3 hlm.
- Menteri Pertanian. 1997. Keputusan Menteri Pertanian No. 733/Kpts/TP.240/97 Tentang Pelepasan Klon Robusta BP 409 sebagai Varietas Unggul dengan Nama BP 409. 3 hlm.
- Menteri Pertanian. 2004. Keputusan Menteri Pertanian No. 65/Kpts/SR.120/2004 Tentang Pelepasan Kopi Robusta Klon BP 30 sebagai Varietas/Klon Unggul. 3 hlm.
- Menteri Pertanian. 2005. Keputusan Menteri Pertanian No. 205/Kpts/SR. 120/4/2005 Tentang Pelepasan Varietas Kopi Sigarar Utang sebagai Varietas Unggul. 3 hlm.
- NaanDanJain Brazil. 2009. Drip Irrigation for Coffee Plantations: feasible and profitable. Rua Biazo Vincentin No. 260, Bairro Cidade Jardim, P.O. Box 175, Leme SP - CEP 13614-330, Brazil. 6 pp.
- Naylor, R.L., D.S. Battisti, D.J. Vimont, W.P. Falcon, and M.B. Burke. 2007. Assessing risks of climate variability and climate change for Indonesian rice agriculture. *Proceeding of the National Academic of Science* 114: 7752-7757.
- Nur, A.M dan Zaenuddin. 1992. Adaptasi beberapa klon kopi Robusta terhadap tekanan kekeringan. *Pelita Perkebunan* 8(3):55-60.
- Nur, A.M. 2000. Dampak La Nina terhadap produksi kopi Robusta. Studi kasus tahun basah 1998. *Warta Puslitkoka* 16(1):50-58.
- Pasaribu, D.B.P. 2002. Pengelolaan Tenaga Kerja Pemangkasan Tanaman Menghasilkan Kopi Robusta (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) di Kebun Jollong, Pati, PTP Nusantara IX (Persero), Jawa Tengah. Skripsi. Jurusan Budidaya Pertanian. Fakultas Pertanian. IPB. 60 hlm.
- Pinheiro, H.A., F.M. DaMatta, A.R.M. Chaves, M.E. Loureiro and C. Ducatti. 2005. Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. *Annals. Bot.* 96: 101-108.
- Pinto, H.S., E.D. Assad, J. Zullo Junior e O, Brunini. 2002. O aquecimento global e a agricultura. *Com Ciência*, 35: 1-7.
- Prawoto, A.A. 2008. Hasil kopi dan siklus hara mineral dari polatanam kopi dengan beberapa spesies tanaman kayu industri. *Pelita Perkebunan* 24(1):1-21.
- Preethu, D.C., B.N.U.H.B. Prakash, C.A. Srinivasamurthy and B.G. Vasanthi. 2007. Maturity Indices as an Index to Evaluate the Quality of Compost of Coffee Waste Blended with Other Organic Wastes. *Proceedings of the International Conference on Sustainable Solid Waste Management*, 5 - 7 September 2007, Chennai, India. p.270-275.
- Prihasty, E. 2002. Pengelolaan Pemanenan Tanaman Kopi Robusta (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) di Kebun Sukamangli, PT Perkebunan Nusantara IX, Kendal, Jawa Tengah. Skripsi. Jurusan Budidaya Pertanian. Fakultas Pertanian. IPB. 57 hlm.
- PTP (Perseroan Terbatas Perkebunan) XXIII. 1984. Pengalaman-pengalaman dengan musim kemarau panjang tahun 1982. *Perkebunan Indonesia*. 1:3-18.

- Pujiyanto. 2007. Pemanfaatan kulit buah kopi dan bahan mineral sebagai amelioran tanah alami. *Pelita Perkebunan* 23(2): 159-172.
- Pujiyanto. 2011. Use of sub-surface soil water in Robusta coffee field through organic matter wicks. *Pelita Perkebunan* 27(3):191-203.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. 2004. Teknologi Konservasi pada Lahan Kering Berlereng. U. Kurnia, A. Rachman dan A. Dariah (ed.). Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Bogor. 216 hlm.
- Quartin, V.L., J.C. Ramalho, P.S. Campos e M.A. Nunes. 2004. A importância da investigação na cafeicultura: O problema do frio. In: Proceedings of the 1^o Colóquio sobre Agricultura, Sociedade e Desenvolvimento Rural em Angola. Instituto Superior de Agronomia Press, Lisboa. p. 64-72.
- Rahardjo, P. 2012. Panduan Budidaya dan Pengolahan Kopi Arabika dan Robusta. Penebar Swadaya. Depok. 212 hlm.
- Robertson, G.P., E.A. Paul and R.R. Harwood. 2000. Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Science* 289:1922-1925.
- RPN (Riset Perkebunan Nusantara). 2011. Prediksi Anomali Iklim El Nino/La Nina di Indonesia dan Antisipasinya Pada T a n a m a n P e r k e b u n a n . <http://www.rpn.co.id/iklim>. [10 Juli 2013].
- Runtunuwu, E and A. Kondoh. 2008. Assessing global climate variability under coldest and warmest periods at different latitudinal regions. *Indon. J. Agric. Sci.* 9(1):7-18.
- Santos, J.C.F., A.J. da Cunha, F.A. Ferreira, R. H. S. Santos, N. S. Sakiyama and P. C. de Lima. 2013. Cultivation of perennial herbaceous legumes in weed management in coffee plantation on the cerrado. *Journal of Agricultural Science and Technology B* 3: 420-428.
- Silva, E.A., F.M. DaMatta, C. Ducatti, A.J. Regazzi and R.S. Barros. 2004. Seasonal changes in vegetative growth and photosynthesis of Arabica coffee trees. *Field Crops Res.* 89:349-357.
- Silva, E.A., P. Mazzafera, O. Brunini, E. Sakai, F.B. Arruda, L.H.C. Mattoso, C.R.L. Carvalho and R.C.M. Pires. 2005. The influence of water management and environmental conditions on the chemical composition and beverage quality of coffee beans. *Braz. J. Plant Physiol.* 17(2):229-238.
- Sinkeviciene, A., D. Jodaugiene, R. Pupaliene and M. Urboniene. 2009. The influence of organic mulches on soil properties and crop yield. *Agronomy Research* 7(Special issue I): 485-491.
- Sumirat, U. 2008. Dampak kemarau panjang terhadap perubahan sifat fisik biji kopi Robusta (*Coffea canephora*). *Pelita Perkebunan* 24(2):80-94.
- Surmaini, E., E. Runtunuwu dan I. Las. 2011. Upaya sektor pertanian dalam menghadapi perubahan iklim. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian* 30 (1): 1-7.
- Tesfaye, S.G., M.R. Ismail, H. Kausar, M. Marziah and M.F. Ramlan. 2013. Plant Water Relations, Crop Yield and Quality of Arabica Coffee (*Coffea arabica*) as Affected by Supplemental Deficit Irrigation. *Int. J. Agric. Biol.* 15(4):665-672.
- Trenberth, K.E. 1997. The Definition El Nino. *Bulletin of the American Meteorological Society* 78(12):2771-2777.
- Wibawa, A., F. Yuliasmara dan dan R. Erwiyono. 2010. Estimasi Cadangan Karbon pada Perkebunan Kopi di Jawa Timur. *Pelita Perkebunan* 26(1): 1-11.
- Yahmadi, M. 1973. Pengaruh kemarau panjang terhadap tanaman kopi. *Menara Perkebunan* 41(5):235-240.
- Yi-bin, H., T. Long-fei, Z. Zhong-deng, C. En, and Y. Zhao-yang. 2004. Utilization Of Arachis pintoii in red soil region and its efficiency on water-soil conservation in China. *International Soil Conservation Organisation Conference 13 th- Brisbane, July 2004*. p.1-4.
- Yoshino, M., Urushibara-Yoshino, K. and Suratman, W. 2000. Agriculture production and climate change in Indonesia. *Global Environmental Research* 3:187-197.