

Strategi Peningkatan Produktivitas Kopi serta Adaptasi terhadap Variabilitas dan Perubahan Iklim melalui Kalender Budidaya

Strategy for Increasing Coffee Productivity and Adaptation on Climate Change and Climate Variability through Cultivation Calendar

Yeli Sarvina^{1,3)}, Tania June^{1,2)*}, Elza Surmaini³⁾, Rita Nurmalina^{1,4)}, Sutjahjo Surjono Hadi^{1,5)}

1) Ilmu Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan, IPB University

2) Departemen Geofisika dan Meteorologi, FMIPA, IPB University

3) Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian

4) Departemen Agribisnis, FEM, IPB University

5) Departemen Agronomi dan Hortikultura, Faperta, IPB University

*E-mail: Tania.june@apps.ipb.ac.id

Diterima 30 Mei 2020, Direview 2 Juni 2020, Disetujui dimuat 16 Juli 2020, Direview oleh Ai Dariah dan Popi Rejekiningrum

Abstrak. Rendahnya produktivitas kopi merupakan salah satu permasalahan utama dalam sistem produksi kopi Indonesia. Hal ini diantaranya disebabkan tidak adanya perawatan kopi yang optimal dengan memperhatikan fase fenologi kopi, serta dampak variabilitas dan perubahan iklim. Berbagai teknologi adaptasi kopi sudah banyak dihasilkan namun langkah adaptasi dengan memanfaatkan prakiraan iklim dalam bentuk penyesuaian kegiatan budidaya dengan fase fenologi atau disebut sebagai kalender budidaya belum dikembangkan. Tulisan ini memaparkan tentang dampak variabilitas dan perubahan iklim pada tanaman kopi, teknologi adaptasi kopi yang sudah tersedia, perlunya pengembangan kalender budidaya kopi sebagai bentuk strategi adaptasi dan peningkatan produktivitas serta potensi dan tantangan pengembangan kalender budidaya kopi di Indonesia. Hasil review ini menunjukkan kalender budidaya kopi berpotensi dikembangkan sebagai strategi peningkatan produktivitas serta adaptasi terhadap variabilitas dan perubahan iklim.

Kata Kunci: ENSO / IOD / Prakiraan iklim / Produktivitas / Variabilitas iklim

Abstract. Low productivity is one of the main challenges in Indonesia's coffee production system. It is low due to cultivation management; most of the coffee farmer does not manage their plantation base on the coffee phenology phase. Moreover climate variability and change also have important effect on coffee productivity. Various technologies on adaptation and measurement to climate change and variability have been identified. Unfortunately, the technology which use climate forecast through adjusting cultivation activity and coffee phenology called as cultivation calendar do not exist yet. This paper provides an overview on the impact of climate variability and change to coffee production, the existing adaptation strategy, and the importance of cultivation calendar as a strategy for adapting and increasing productivity, and the potential and challenges to develop cultivation calendar in Indonesia. This review reveals that coffee cultivation calendar is a potential strategy for increasing productivity and adapting climate change and variability.

Keywords: ENSO / IOD / Climate forecast / Productivity / Climate variability

PENDAHULUAN

Variabilitas dan perubahan iklim secara langsung maupun tidak langsung mempengaruhi sistem produksi pertanian. Hal itu ditunjukkan oleh berbagai hasil penelitian baik secara global, regional, lokal maupun pada kehidupan rumah tangga petani. Dampak variabilitas dan perubahan iklim berbeda antar komoditas dan wilayah, oleh karena itu kajian dampak ini harus dilakukan pada

setiap komoditas, pada berbagai tipe ekosistem dan wilayah. Khusus untuk Indonesia, penelitian dampak variabilitas dan perubahan iklim pada sektor pertanian lebih banyak terfokus pada sub sektor tanaman pangan, sedangkan pada sub sektor lain seperti sektor perkebunan masih terbatas.

Kopi merupakan komoditas perkebunan utama Indonesia. Pertanian kopi di Indonesia sebagian besar adalah perkebunan kopi rakyat (96,06%) yang melibatkan sekitar 1,7 juta petani (Badan Pusat Statistik

2019). Kopi dibudidayakan hampir di seluruh wilayah Indonesia namun provinsi utama penghasil kopi di Indonesia adalah Aceh, Sumatera Utara, Sumatera Selatan, Lampung, Jawa Timur, dan Sulawesi Selatan. Usaha tani kopi berkontribusi terhadap perekonomian nasional sebagai sumber devisa, pendapatan petani, penciptaan lapangan kerja, pengembangan wilayah, pendorong agribisnis dan agroindustri serta dapat mendukung konservasi lingkungan.

Saat ini permintaan kopi baik domestik maupun internasional terus meningkat dimana laju peningkatan konsumsi lebih tinggi dibandingkan dengan laju pertumbuhan produksi. Laju pertumbuhan konsumsi kopi domestik adalah 8% per tahun, sedangkan laju pertumbuhan produksi pertahun hanya 2% (AEKI 2019). Apabila tidak dilakukan upaya peningkatan produksi maka suatu saat nanti untuk memenuhi kebutuhan domestik, Indonesia harus mengimpor kopi dari luar negeri. Status Indonesia sebagai negara eksportir kopi akan berganti menjadi negara importir kopi.

Rata-rata produktivitas kopi Indonesia adalah 677 kg ha⁻¹ untuk robusta dan 774 t ha⁻¹ untuk arabika (Direktorat Jenderal Perkebunan 2019). Angka produktivitas ini jauh di bawah Brazil dan Vietnam yang masing-masing mencapai 2 t ha⁻¹ dan 1,5 t ha⁻¹. Produktivitas kopi Indonesia bahkan paling rendah bila dibandingkan dengan 10 negara penghasil utama kopi dunia lainnya (ICO 2017). Lebih lanjut Wahyudi dan Jati (2012) menyatakan bahwa produktivitas kopi Indonesia saat ini baru mencapai 60% dari potensi produksinya.

Peningkatan produksi kopi melalui peningkatan produktivitas merupakan pendekatan yang berpotensi dikembangkan (Kementerian Pertanian 2019). Peningkatan produksi melalui penambahan luasan areal sulit dilakukan karena kompetisi lahan yang semakin tinggi baik antar komoditas maupun antar sektor. Produksi kopi yang optimal dapat diperoleh dengan melakukan pemeliharaan kopi yang tepat dengan memperhatikan fase perkembangan tanaman kopi, dimana fase perkembangan tanaman ini sangat ditentukan oleh variabilitas iklim. Kegiatan usaha tani yang disesuaikan dengan kondisi iklim dalam makalah ini disebut sebagai kalender budidaya.

Kopi merupakan tanaman yang sensitif terhadap iklim (Bacon *et al.* 2017). Variabilitas iklim menyebabkan dinamika produksi kopi (Camargo 2010; Zullo *et al.* 2011; Chengappa dan Devika 2017; Pham *et*

al. 2019). Perubahan variabilitas iklim sebagai dampak dari perubahan iklim berpengaruh sangat signifikan terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman kopi, produksi serta kehidupan ekonomi petani kopi. Hal ini diperparah oleh kondisi lingkungan pertanaman kopi yang sebagian besar dibudidayakan di lahan marginal terutama lahan kering yang rentan terhadap perubahan lingkungan abiotik seperti iklim (Gunathilaka *et al.* 2018a).

Perubahan iklim yang berdampak pada peningkatan variabilitas iklim telah meningkatkan kesadaran petani dan pihak terkait akan pentingnya prakiraan iklim terutama pada sektor pertanian. Salah satu upaya yang dapat dilakukan dalam menghadapi variabilitas iklim yang semakin tidak menentu adalah dengan memanfaatkan prakiraan iklim untuk perencanaan dan pengambilan keputusan kegiatan usaha tani. Pada tanaman semusim seperti padi, prakiraan iklim telah banyak digunakan untuk menentukan waktu tanam yang optimal (Runtunuwu *et al.* 2012; Surmaini dan Syahbuddin 2016) namun untuk tanaman perkebunan tahunan pemanfaatan informasi iklim masih terbatas.

Berbagai teknologi adaptasi kopi terhadap variabilitas dan perubahan iklim sudah banyak dihasilkan (Supriadi 2015; Syakir dan Surmaini 2017) namun langkah adaptasi dengan memanfaatkan prakiraan iklim dalam bentuk kalender budidaya belum tersedia. Tulisan ini memaparkan dampak variabilitas dan perubahan iklim pada tanaman kopi, teknologi adaptasi kopi yang sudah tersedia, pengembangan kalender budidaya kopi sebagai strategi peningkatan produktivitas, dan adaptasi terhadap variabilitas dan perubahan iklim, pendekatan dalam penyusunan kalender budidaya kopi serta potensi dan tantangan pengembangannya.

SISTEM PRODUKSI KOPI INDONESIA

Kopi dibudidayakan hampir di seluruh wilayah Indonesia. Pada tahun 2018 luas lahan kopi di Indonesia 1,241 juta ha yang terdiri atas perkebunan kopi Robusta (*Coffea canephora*) 896.932 ha dan Arabika (*Coffea arabica*) 354.582 ha, sedangkan berdasarkan kepemilikannya sebagian besar merupakan perkebunan rakyat. Kopi robusta mendominasi produksi kopi Indonesia yaitu 75,4% dan melibatkan 1,23 juta petani, sedangkan sisanya 24,6% adalah kopi arabika yang

melibatkan 542.072 orang petani (Direktorat Jenderal Perkebunan 2019).

Byrareddy *et al.* (2019) melaporkan karakteristik petani kopi khususnya petani kopi robusta di Indonesia. Hasil survei tersebut disajikan pada Tabel 1. Skala kepemilikan lahan kopi di Indonesia sebagian besar adalah skala kecil (kurang dari 1 ha) yaitu sebesar 55%. Dari segi ketinggian tempat, 45% kopi dibudidayakan pada ketinggian 501-900 m dpl, 28% di bawah 500 m dpl dan sisanya (27%) pada ketinggian lebih dari 900 mdpl. Survei ini juga melaporkan bahwa pada tahun 2008, 44% tanaman kopi berusia di bawah 10 tahun, 37% berusia 10-20 tahun, dan sisanya 20% lebih dari 20 tahun.

Tabel 1. Karakteristik petani kopi robusta di Indonesia

Table 1. Indonesian robusta coffee farmer characteristics

Ukuran kepemilikan lahan	Minimum 0,3 ha Kecil (<1 ha) 55%	Maximum 8 ha Besar (>1 ha) 45%	Rata-rata 1,54 ha
Usia pertanaman	Minimum 3 tahun <10 tahun 44 %	Maximum 48 tahun 10-20 tahun 37%	Rata-rata 13 tahun >20 tahun 20%
Ketinggian area perkebunan	<500 m 28%	501-900 45%	>900 m 27%
Pemupukan	Kimia: NPK Urea Triple super Phospate	Organik: Kompos	

Sumber: (Byrareddy *et al.* 2019) survei data 2008-2017

Rendahnya produktivitas kopi merupakan permasalahan utama sistem produksi kopi Indonesia. Hafif *et al.* (2013) menyebutkan sebagian besar kopi di Indonesia masih dibudidayakan secara tradisional, dicirikan masih dominannya penggunaan klon lokal yang produktivitasnya rendah dan tidak dilakukan perawatan sebagaimana mestinya. Petani kopi hanya datang ke kebun pada saat tanam dan panen. Lebih lanjut Byrareddy *et al.* (2019) melaporkan bahwa sebagian besar kopi di Indonesia tidak mampu mencapai produksi potensialnya, karena dosis pemupukan yang sangat rendah bahkan ada yang tidak dilakukan pemupukan. Neilson (2013) menyebutkan bahwa faktor iklim merupakan faktor lain penyebab rendahnya produktivitas kopi di Indonesia.

Rendahnya produktivitas kopi diperparah oleh kondisi ekologi kopi. Wahyudi dan Jati (2012) melaporkan sebagian besar kopi di Indonesia dibudidayakan di lahan marginal terutama lahan kering

yang terbukti sangat rentan terhadap cekaman lingkungan terutama iklim.

KARAKTERISTIK KOPI SEBAGAI TANAMAN TAHUNAN (*PERENNIAL*)

Kopi merupakan tanaman tahunan dengan umur hidup yang sangat panjang (20-25 tahun). Disamping itu kopi juga merupakan tanaman *biannual bearing*, artinya kopi memiliki waktu dua tahun untuk melengkap satu kali siklus hidupnya, akibatnya produksi kopi menunjukkan siklus produksi yang naik turun. Brunzell *et al.* (2009) dan Couto Júnior *et al.* (2013) menyebutkan bahwa fenologi kopi sangat bergantung pada kondisi agroklimat, oleh karena itu salah satu pendekatan yang dapat dilakukan untuk mengidentifikasi dampak perubahan dan variabilitas iklim terhadap produksi kopi adalah melalui identifikasi fenologi tanaman ini.

De Camargo dan De Camargo (2001) menyebutkan bahwa terdapat enam fase dalam siklus produksi kopi. Dua fase pertama adalah fase vegetatif. Fase pertama adalah pembentukan tunas dan fase kedua adalah maturasi dan dormansi (istirahat). Selanjutnya fase ketiga ditandai dengan pembungaan, fase keempat pembentukan buah, fase kelima pematangan buah, dan fase keenam adalah fase istirahat. Setiap fase ini membutuhkan kondisi mikroklimat yang berbeda dan kebutuhan air yang berbeda pula. Contoh siklus fenologi kopi yang diidentifikasi oleh De Camargo dan De Camargo (2001) untuk kopi di wilayah Brazil disajikan pada Tabel 2.

Dari fase-fase yang disebutkan di atas terdapat fase kritis yang sangat menentukan produksi kopi. Sebagai contoh titik kritis untuk pembentukan buah adalah akhir fase kedua dimana dibutuhkan periode kering untuk pembentukan bunga dan setelahnya harus diikuti oleh periode basah pada awal periode ketiga. Periode kering dapat diinduksi oleh pembatasan kelengasan tanah atau melalui peningkatan defisit saturasi daun. Saturasi defisit adalah perbedaan tekanan saturasi antar daun dan tekanan saturasi di udara, sedangkan periode basah dapat diinduksi dari curah hujan atau irigasi (Damatta 2004).

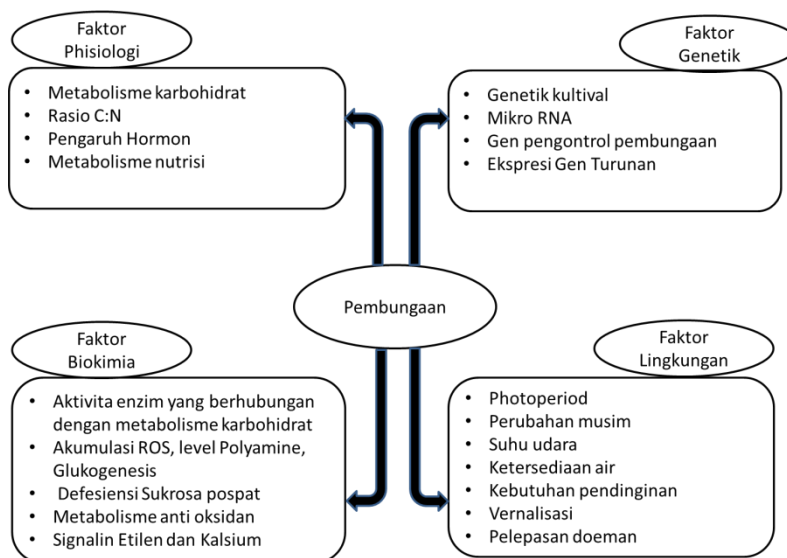
Pembungaan merupakan fase yang sangat penting dalam produksi tanaman. Berbagai faktor yang mempengaruhi pembungaan disajikan pada Gambar 1.

Tabel 2. Fase fenologi kopi di Brazil

Table 2. Coffee phenology phase in Brazil

Siklus fenologi tahun 1												Siklus fenologi tahun kedua											
Fase 1				Fase 2				Fase 3				Fase 4		Fase 5		Fase 6							
Fase vegetatif, vegetatif <i>bud</i> , keterbatasan air pada fase ini berpengaruh pada pembentukan buah dan produksi pada tahun berikutnya				Induksi, pertumbuhan dan dormansi ETP = 350 mm				Pembungaan, dan pengembangan bunga ETP= 700 mm				Pembentukan buah utuh pembentukan kualitas buah ETP= 700mm		Pematangan buah ETP= 700 mm		Istirahat dan pematangan							
Sep	Okt	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug
Vegetatif						Dorman						Fase reproduktif						Pematangan					

Sumber: De Camargo dan De Camargo (2001)



Gambar 1. Berbagai faktor yang mempengaruhi pembungaan tanaman tahunan (Sumber: Sharma et al. 2019)

Figure 1. Various factors affecting flowering on perennial crop (Source: Sharma et al. (2019)

Empat faktor utama yang mempengaruhi pembungaan adalah fisiologi tanaman, genetik, biokimia, dan lingkungan.

Faktor lain yang sangat menentukan kebutuhan air tanaman kopi adalah “konduktansi stomata” untuk proses asimilasi pada kopi. Carr (2001) menemukan bukti bahwa terjadi penutupan stomata pada level radiasi yang tinggi sehingga dalam manajemen usaha tani kopi sangat penting untuk menjaga kerapatan tanaman untuk mengontrol naungan.

Identifikasi fase fenologi kopi ini sangat penting untuk mengidentifikasi waktu-waktu kritis dalam budidaya kopi di suatu wilayah. Informasi ini juga sangat penting dalam menyusun rekomendasi kegiatan budidaya dalam satu siklus atau kalender budidaya. Kegiatan budidaya disesuaikan dengan kebutuhan nutrisi dan perawatan pada setiap fase pertumbuhan.

VARIABILITAS IKLIM DAN DAMPAKNYA PADA TANAMAN KOPI

Variabilitas Iklim Indonesia

Variabilitas iklim Indonesia dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya, *Monsoon*, *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO) (Mulyana 2002a; Aldrian dan Susanto 2003; Arrigo dan Wilson 2008; Hendrawan et al. 2019) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) (Mulyana 2002b; Arrigo dan Wilson 2008; Hendrawan et al. 2019). *Monsoon* merupakan pergerakan massa udara dari Asia dan Australia menyebabkan terjadinya perbedaan musim dan puncak panen kopi antar wilayah di Indonesia. ENSO adalah dinamika suhu permukaan laut di Samudera Pasifik yang ditunjukkan dengan dua fase ekstrim yaitu *El-Nino* dan *La-Nina*. Kedua fase ekstrim ini secara luas telah mempengaruhi

dinamika produksi pertanian di sebagian besar negara termasuk Indonesia (Arrigo dan Wilson 2008; Sarvina dan Sari 2017; Heino *et al.* 2019; Boer dan Surmaini 2020). *El-Nino* menyebabkan penurunan curah hujan yang sangat signifikan di sebagian besar wilayah Indonesia, sebaliknya *La-Nina* menyebabkan peningkatan curah hujan. Kondisi curah hujan yang menyimpang dari kondisi optimumnya menyebabkan gangguan produksi kopi. IOD adalah dinamika suhu permukaan laut di Samudera Hindia. IOD ini juga dilaporkan mempengaruhi pertanian di Indonesia (Aldrian 2016).

Analisis dampak variabilitas iklim terhadap produksi kopi pada umumnya menggunakan data historis produksi yang dilakukan melalui dua pendekatan yaitu:

- Menggunakan metode regresi dimana metode ini memprediksi secara langsung dampak variabel atau indikator variabilitas iklim pada produksi secara langsung dengan menggunakan data historis (Tack dan Ubilava 2013).
- Membandingkan perbedaan (*deviasi*) produksi pada tahun normal dan keadaan iklim menyimpang (*anomalous*) (Ramirez-rodrigues *et al.* 2014; Cirino *et al.* 2015; Cobon *et al.* 2016).

Dampak Variabilitas Iklim pada Produksi

Variabilitas iklim sangat menentukan pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Leng *et al.* 2016). Ray *et al.* (2015) menyebutkan bahwa faktor iklim mempengaruhi 1/3 dinamika produksi pertanian secara global, sementara Heino *et al.* (2018) menyatakan bahwa produktivitas tanaman sangat dipengaruhi oleh variabilitas iklim (osilasi iklim global) pada hampir 2/3 pertanian dunia.

Setiap perubahan unsur iklim memberikan dampak terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman baik secara langsung maupun tidak langsung. Coffee & climate (c&c) (2015) mengidentifikasi kondisi iklim optimum untuk produksi kopi diantaranya:

- Bulan kering (*dry period*) selama tiga bulan yang dibutuhkan untuk menciptakan stress tanaman yang sangat penting dalam proses pembentukan bunga. Bulan kering yang lebih panjang dari tiga bulan

dapat menyebabkan gangguan pada pertumbuhan dan perkembangan pembungaan yang pada akhirnya mempengaruhi produksi.

- Hujan sesaat di saat kering (*Good soaking*) untuk inisiasi pembungaan. Hujan pada saat kering ini apabila berkepanjangan menyebabkan gangguan pada pembentukan bunga.
- Temperatur yang tidak terlalu tinggi sehingga tidak menyebabkan berbagai persoalan fisiologi tanaman.
- Bulan kering pada saat menjelang panen dan saat panen. Kondisi kering ini sangat penting untuk pengangkutan dan pengeringan kopi.

Dampak variabilitas iklim pada produksi kopi dilaporkan oleh berbagai penelitian di berbagai negara penghasil kopi. Beberapa hasil penelitian tersebut diantaranya disajikan pada Tabel 3. Variabel iklim yang digunakan dalam analisis variabilitas iklim terhadap produksi ini diantaranya adalah curah hujan dan suhu udara. Beberapa penelitian juga menggunakan indikator iklim antar tahun seperti ENSO.

Kondisi iklim yang tidak optimum pada fase ekstrim ENSO seperti *La-Nina* dan *El-Nino* telah mempengaruhi produksi kopi. Syakir dan Surmaini (2017) menyebutkan pada tahun *El-Nino* di Indonesia terjadi penurunan produksi hingga 10% namun pada tahun *La-Nina* terjadi penurunan produksi hingga 80%. Yuliasmara (2017) melaporkan *El-Nino* menyebabkan gangguan pertumbuhan dan produktivitas kopi di Jawa Timur dimana pada fase tersebut dilaporkan produksi berkurang 5-20 %.

Penelitian di negara lain seperti Bastianin *et al.* (2018) melaporkan dampak ENSO pada usaha tani kopi di Columbia. ENSO dengan durasi panjang menyebabkan penurunan produksi kopi di Columbia sebesar 12% dan mempengaruhi pasar kopi di Columbia sebesar 4%. Chengappa dan Devika (2017) juga melaporkan adanya dampak variabilitas iklim pada produksi kopi di India baik pada skala mikro maupun makro. Haile (2018) melakukan kajian tentang dampak variabilitas iklim tidak hanya pada produksi namun juga pada berbagai kegiatan budidaya lainnya antara lain kehilangan biodiversitas, kekeringan, serta hama dan penyakit.

Tabel 3. Berbagai penelitian dampak variabilitas iklim pada sistem produksi kopi

Table 3. Various researchs climate variability impacts on coffee production system

Penelitian	Lokasi	Skala	Pendekatan	Hasil penelitian
(Chengappa dan Devika 2017)	India	Sub nasional	Analisis trend, indikator: Curah hujan	Perubahan pola curah hujan (penurunan total CH dan peningkatan variabilitas curah hujan bulanan) menyebabkan penurunan produksi pada skala makro maupun mikro.
(Bastianin <i>et al.</i> 2018)	Columbia	Nasional	Pemodelan ekonomi, indikator: ENSO	Usaha tani kopi memperoleh keuntungan pada tahun <i>El-Nino</i> dan kerugian pada tahun <i>La-Nina</i> .
(Pham <i>et al.</i> 2019)	Global	Global	Review sistematis	Perubahan dan variabilitas iklim mempengaruhi produksi kopi, dan kesesuaian lahan kopi. Studi dampak variabilitas dan perubahan iklim lebih banyak terfokus pada kopi Arabika dan dilakukan di Amerika Selatan.
(Avelino <i>et al.</i> 2015)	Amerika Tengah	Nasional	Analisis time series & dokumen	Terjadi penurunan produksi kopi karena serangan hama dan penyakit yang dipicu oleh faktor iklim.
(Bacon <i>et al.</i> 2017)	Nikaragua	Nasional	Survey, interview, FGD, analisis statistik	Kehilangan hasil kopi hingga 60-70% akibat hama dan penyakit.
(Partelli <i>et al.</i> 2010)	Brazil	Lokal	Pengamatan lapang	Pertumbuhan vegetatif dipengaruhi oleh suhu minimum (optimum pada suhu minimum lebih dari 17°C dan rata-rata maksimum temperatur lebih rendah dari 31,5 °C).
(Syakir dan Surmaini 2017)	Indonesia	Nasional	Literature review: ENSO	Pada <i>El-Nino</i> terjadi penurunan produksi hingga 10% namun pada tahun <i>La-Nina</i> terjadi penurunan produksi hingga 80%
(Yuliasmara 2017)	Indonesia	Lokal	Percobaan lapang: ENSO	<i>El-Nino</i> berpotensi mengurangi produksi kopi 20-50%.
(Silva 2019)	Brazil	Nasional	Analisis anomali: ENSO dan Curah hujan	Pada tahun <i>El-Nino</i> curah hujan cenderung menurun dan suhu udara meningkat sehingga menyebabkan kekurangan air. <i>El-Nino</i> menyebabkan peningkatan produksi bila terjadi pada kuartar pertama siklus fenologi.

Analisis dampak variabilitas iklim terhadap produksi kopi sangat penting dalam perencanaan kegiatan budidaya. Melalui analisis ini akan dapat diketahui indikator iklim apa saja yang mempengaruhi produksi dan bagaimana model pengaruhnya. Informasi ini dapat digunakan untuk menyusun perencanaan kegiatan budidaya dengan memanfaatkan prediksi iklim. Salah satu langkah adaptasi terhadap variabilitas iklim ini adalah dengan menyusun kalender budidaya yaitu menyusun aktivitas budidaya kopi yang didasarkan pada kondisi iklim.

ADAPTASI VARIABILITAS DAN PERUBAHAN IKLIM

Teknologi Adaptasi

Adaptasi dapat diartikan sebagai upaya pencarian kegiatan yang paling sesuai untuk perubahan

yang dapat terjadi secara bertahap (*incremental*) maupun perubahan secara lebih besar dan lebih terstruktur (*transformative*) (Moser dan Ekstrom 2010). Perubahan transformatif pada tanaman tahunan seperti mengganti jenis tanaman atau penanaman baru di wilayah lain akan menghadapi berbagai permasalahan. Penggantian jenis tanaman atau penanaman baru membutuhkan investasi besar. Lobell dan Field (2011) menyebutkan permodalan dan investasi besar ini merupakan salah satu hambatan dalam adaptasi perubahan iklim dalam bidang pertanian pada tanaman tahunan.

Supriadi (2015) memaparkan berbagai teknologi adaptasi perubahan iklim yang dapat dibagi dalam tiga bagian yaitu konservasi tanaman, konservasi lahan, dan konservasi air. Beberapa teknologi konservasi lahan diantaranya tidak melakukan pembajakan tanah dan menerapkan penanaman lorong (Iijima *et al.* 2003), konservasi lahan (Robertson *et al.* 2000), penggunaan

mulsa organik (Sinkevičienė *et al.* 2009; Bekeko 2014) dan pembuatan rorak (Yuliasmara 2016). Teknologi konservasi tanaman diantaranya pengembangan varietas kopi (van der Vossen *et al.* 2015), kopi bernaungan (Supriadi dan Pranowo 2016; Iskandar *et al.* 2018), agroforestry (Dariah *et al.* 2005; Hafif *et al.* 2013), pemangkasan daun (Youkhana dan Idol 2009; Dufour *et al.* 2019), dan tanaman penutup (Pohlan *et al.* 2008; Santos *et al.* 2016). Teknologi konservasi air antara lain teknologi panen air (Irianto 2000; Hamdani dan Talaohu 2016), irigasi dan drainase (Shimber *et al.* 2013; Scalco *et al.* 2014; Perdoná dan Soratto 2015).

Berbagai kegiatan adaptasi tersebut pada umumnya difokuskan pada perubahan kegiatan budidaya. Teknologi adaptasi perubahan iklim pada usaha tani kopi telah banyak dilakukan akan tetapi sampai saat ini belum ada kajian yang detil dan spesifik terhadap implementasi teknologi adaptasi tersebut dan sejauh mana dampak dari implementasi teknologi tersebut (Pham *et al.* 2019). Khusus untuk Indonesia, Syakir dan Surmaini (2017) melaporkan bahwa tingkat adopsi berbagai teknologi ini di tingkat petani masih sangat rendah. Kondisi ini diperparah oleh terbatasnya akses sebagian besar petani terhadap informasi iklim, pasar, teknologi, kredit usaha tani, dan informasi pengelolaan risiko iklim. Lebih lanjut Gunathilaka *et al.* (2018b) menyebutkan rendahnya daya adopsi teknologi adaptasi terhadap variabilitas dan perubahan iklim pada tanaman tahunan disebabkan oleh keterbatasan permodalan dan akses terhadap pengetahuan iklim baik jangka pendek maupun jangka panjang serta rendahnya dukungan dari pemerintah dan *stakeholder* terkait.

Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa iklim mempengaruhi produksi kopi akan tetapi pengembangan kegiatan adaptasi pada tanaman kopi dengan memanfaatkan prakiraan iklim belum banyak dikembangkan. Hal itu sejalan dengan hasil laporan Sarvina dan Surmaini (2019) yang menyatakan bahwa secara umum pemanfaatan informasi iklim untuk pertanian di Indonesia masih terbatas.

Pemanfaatan Prakiraan Iklim dalam Kegiatan Adaptasi

Prakiraan iklim memiliki potensi yang sangat besar untuk bisa membantu pengambilan keputusan dalam kegiatan usaha tani (Frisvold dan Murugesan 2013; Klemm dan Mcpherson 2017). Prakiraan iklim terbukti mampu mewujudkan pertanian yang efisien, menopang ketahanan pangan dan mewujudkan

kehidupan petani yang lebih baik (Davey dan Brookshaw 2011). Challinor (2009) menyebutkan bahwa prakiraan musim jangka menengah dan panjang dapat membantu upaya adaptasi pada sektor pertanian. Informasi prakiraan iklim 1-2 bulan sebelumnya pada tanaman semusim misalnya dapat digunakan untuk perencanaan waktu tanam, penentuan irigasi, pemilihan varietas, serta aplikasi pemupukan dan panen. Surmaini dan Syahbuddin (2016) juga menekankan bahwa penyesuaian waktu tanam terhadap kondisi musim adalah langkah adaptasi yang paling murah dan efisien.

Penggunaan prakiraan iklim pada sektor pertanian secara ekonomi terbukti memberikan keuntungan. Beberapa penelitian tentang manfaat ekonomi prakiraan iklim pada pertanian diantaranya (Gunda *et al.* 2017) pada tanaman pangan semusim, (Jones *et al.* 2000; Amegnaglo *et al.* 2017) pada tanaman jagung, (Jones *et al.* 2000) pada padi, gandum, kentang, kapas dan barley, (Roudier *et al.* 2016) pada tanaman millet, (Boer dan Surmaini 2019) pada tanaman padi .

Penggunaan prakiraan iklim secara langsung untuk petani di lapangan menghadapi berbagai tantangan dan kendala. Beberapa diantaranya masih belum memadainya kapasitas petani untuk memahami prakiraan iklim, dan kapasitas institusi dalam membangun dialog antara lembaga pelayanan iklim dan petani sebagai pengguna masih terbatas (Lucio dan Grasso 2016). Informasi prakiraan iklim harus ditransformasi menjadi informasi teknis usaha tani melalui pengembangan *user interface* prakiraan iklim (Sarvina dan Surmaini 2019).

Salah satu *user interface* prakiraan iklim untuk pertanian di Indonesia adalah Kalender Tanam Terpadu yang telah dikembangkan oleh Badan Litbang Kementerian Pertanian (Runtunuwu *et al.* 2012). *User interface* ini dikembangkan untuk membantu petani dalam pengambilan keputusan pada tanaman pangan seperti padi, jagung dan kedelai. *User interface* ini menerjemahkan prakiraan iklim dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) sebagai lembaga yang bertugas mengeluarkan prakiraan iklim menjadi informasi usaha tani misalnya penentuan waktu tanam, rekomendasi varietas, pemupukan, risiko kegagalan karena hama dan penyakit serta risiko kekeringan atau banjir. Informasi dikeluarkan sampai pada skala kecamatan. Untuk memperluas diseminasi informasi ini, Kalender Tanam pun sudah didiseminasikan pada berbagai *channel* seperti web, sms,

aplikasi android, dan juga melalui media masa dan elektronik (Ramadhani *et al.* 2015).

User interface prakiraan iklim untuk tanaman tahunan perkebunan belum tersedia. Pengembangan *user interface* pada tanaman perkebunan unggulan yang sensitif iklim merupakan sebuah peluang dan potensi untuk diimplementasikan di lapang guna meningkatkan produksi dan menjaga stabilitas produksi akibat variabilitas iklim. Pengembangan *user interface* pada tanaman semusim seperti pada Kalender Tanam Terpadu tentu berbeda dengan pengembangan *user interface* pada tanaman tahunan seperti kopi. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan dalam pengembangan *user interface* pada tanaman tahunan seperti kopi adalah pengembangan kalender budidaya.

KALENDER BUDIDAYA

Cuaca dan iklim terbukti sangat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan kopi sehingga pemanfaatan prakiraan iklim untuk sistem produksi kopi berpeluang untuk memberikan keuntungan pada petani kopi. Sebagian besar tanaman kopi dibudidayakan di lahan kering yang sangat sensitif terhadap variabilitas iklim. Oleh karena itu prakiraan iklim ini semakin diperlukan pada budidaya kopi.

Pada tanaman pangan semusim seperti padi, prakiraan iklim telah banyak dimanfaatkan untuk usaha tani seperti penentuan waktu tanam, pemilihan varietas, dan pemupukan. Tanaman kopi memiliki umur hidup yang panjang dengan siklus yang berulang setiap tahunnya sesuai kondisi iklim setempat. Berdasarkan fakta ini, maka pemeliharaan tanaman kopi selama satu tahun dapat dibuat satu kalender. Kalender budidaya disusun untuk membantu petani dalam pelaksanaan perawatan sesuai dengan fase pertumbuhan tanaman dalam satu tahun.

Kalender Budidaya untuk Peningkatan Produktivitas Kopi

Peningkatan produktivitas kopi merupakan salah satu fokus pembangunan perkebunan kopi (Wahyudi dan Jati 2012; Sarirahayu dan Aprianingsih 2018). Beberapa hasil penelitian mengidentifikasi penyebab rendahnya produktivitas kopi Indonesia tersebut. Neilson (2013) menyebutkan rendahnya produktivitas kopi Indonesia disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya faktor iklim seperti curah hujan lebat pada

musim kemarau yang menyebabkan efek negatif pada produksi, serangan hama dan penyakit kopi, pemupukan yang terbatas dan tidak ada perhatian pada kesuburan tanah, tidak adanya perawatan dan tanaman dibiarkan begitu saja, permodalan yang terbatas dan tidak ada akses penyuluhan yang memadai. Hal ini juga sejalan dengan penelitian (Hafif *et al.* 2013) yang menyebutkan sebagian besar kopi di Indonesia masih dibudidayakan secara tradisional yang dicirikan dengan: (1) penggunaan klon lokal yang produktivitasnya rendah, kurang dari 0,6 kg pohon⁻¹ tahun⁻¹, (2) tanpa naungan, (3) tidak dilakukan pemupukan yang semestinya, (4) tidak dilakukan pengendalian hama dan penyakit, dan (5) pemeliharaan tanaman seperti pemangkasan yang tidak beraturan serta penyiangan gulma yang tidak semestinya.

Perawatan kopi seperti pemupukan, penyiraman dan lain sebagainya apabila tidak dilakukan sesuai fase pertanaman, menyebabkan produksi kopi menjadi kurang optimal (Damatta *et al.* 2010). Identifikasi fase fenologi pada kopi diperlukan untuk menentukan kondisi pertanaman di lapangan pada periode waktu tertentu sehingga dapat dijadikan dasar dalam penyusunan rekomendasi kegiatan budidaya. Input budidaya dan kegiatan usaha tani yang disesuaikan dengan kondisi pertanaman dan lingkungan adalah bagian dari upaya untuk mewujudkan pertanian yang presisi (ISPA 2020).

Sebagai contoh sistem produksi kopi di Vietnam, penghasil utama kopi dunia, memiliki masa kritis kebutuhan air pada bulan Januari sampai April (Amarasinghe *et al.* 2015). Masa kritis air terjadi pada bulan tersebut karena intensitas curah hujan hanya mampu mencukupi 25% dari kebutuhan evapotranspirasi dan tanaman kopi berada pada fase pembentukan pembungaan yang sangat menentukan produksi kopi. Perawatan kopi pada bulan-bulan ini akan menentukan produksi tahunan kopi di Vietnam sehingga perawatan pada periode ini menjadi perhatian petani kopi di Vietnam. Irigasi dari beberapa sumber digunakan untuk mencukupi kebutuhan air kopi. Perawatan lain yang sangat penting adalah pemupukan. Aplikasi pemupukan pada budidaya kopi di Vietnam diantaranya dilaporkan oleh (Byraredy *et al.* 2019). Dosis pemupukan dan waktu aplikasi pemupukan antara kopi di Vietnam dan Indonesia juga berbeda.

Berdasarkan hal tersebut di atas, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa kegiatan budidaya yang disesuaikan dengan fase fenologi akan memberikan

hasil berbeda dengan perawatan yang tidak mempertimbangkan fenologi tanaman. Oleh karena itu identifikasi fenologi sangat penting dalam peningkatan produktivitas kopi.

Kalender Budidaya untuk Adaptasi Variabilitas Iklim

Salah satu dampak dari perubahan iklim adalah peningkatan variabilitas iklim dan peningkatan intensitas dan frekuensi kejadian iklim ekstrim (Surmaini dan Faqih 2016). Dampak variabilitas dan perubahan iklim terhadap curah hujan adalah terjadinya curah hujan yang semakin tidak menentu, perubahan awal musim dan panjang musim (Mulyana 2002a; Aldrian dan Djamil 2008) serta perubahan panjang musim tanam (Runtunuwu dan Syahbuddin 2007; Laimeheriwa 2014; Ruminta dan Nurmala 2016).

Tingginya dinamika produktivitas tahunan kopi di Indonesia menunjukkan bahwa variabilitas iklim antar tahun merupakan faktor penting dalam upaya menyusun langkah adaptasi produksi kopi terhadap variabilitas iklim. Salah satu variabilitas iklim antar tahun yang berpengaruh penting terhadap produksi pertanian Indonesia adalah *ENSO*. *ENSO* mempengaruhi intensitas curah hujan, pola curah hujan, awal musim serta panjang musim sehingga sangat berdampak pada sistem produksi pertanian. Pada tanaman tahunan, perubahan intensitas curah hujan ini menyebabkan bergeser atau berubahnya fase fenologi (Workie dan Debella 2018) sehingga untuk dapat optimal berproduksi kalender budidaya perlu disesuaikan dengan pergeseran fase fenologi ini.

Berdasarkan hal di atas maka perlu diidentifikasi fase fenologi pada semua fase *ENSO* (Normal, *El-Nino*, dan *La-Nina*). Selanjutnya berdasarkan fenologi tersebut disusun kalender budidaya. Kalender budidaya pada semua fase *ENSO* ini dapat menjadi rekomendasi kegiatan budidaya kopi di lapangan yaitu dengan memanfaatkan prakiraan *ENSO* dan prakiraan iklim yang sudah banyak tersedia. Misalnya, *ENSO* diperkirakan akan Normal maka kalender budidaya pada tahun Normal dapat dijadikan rekomendasi kegiatan budidaya.

Potensi dan Tantangan Pengembangan Kalender Budidaya

Kalender budidaya berpotensi dikembangkan di Indonesia sebagai salah satu langkah teknologi adaptasi pada sistem produksi kopi. Untuk dapat mengembangkan kalender budidaya maka langkah

pertama yang harus dilakukan adalah mengidentifikasi fenologi kopi. Data fenologi kopi sangat penting untuk manajemen usaha tani dan sekaligus dalam penelitian terkait iklim (Richardson *et al.* 2013). Data fenologi tanaman di Indonesia masih belum diamati secara terstruktur, *real time* dan berkesinambungan sehingga data historis fenologi sulit diperoleh. Pengamatan manual dalam pengamatan fenologi tanaman sudah mulai ditinggalkan karena beberapa keterbatasan baik jangkauan, waktu, ketelitian dan subyektivitas. Saat ini pendekatan yang banyak digunakan dalam pemantauan fenologi adalah dengan menggunakan kamera (Laskin dan Mcdermid 2016; Alberton *et al.* 2017; Herrero *et al.* 2017) dan data penginderaan jauh (Bernardes *et al.* 2012; Couto Júnior *et al.* 2013; Choudhary *et al.* 2019).

Secara umum penggunaan data penginderaan jauh memberikan hasil yang cukup baik. Beberapa citra satelit yang digunakan dalam identifikasi fenologi kopi diantaranya Modis (Brunsell *et al.* 2009; Bernardes *et al.* 2012; Couto Júnior *et al.* 2013) dan Landsat (Steven dan Clark 1990; Ortega-Huerta *et al.* 2012; Nogueira *et al.* 2018).

Pendekatan identifikasi fenologi kopi yang memungkinkan dilaksanakan di Indonesia adalah melalui pendekatan penginderaan jauh. Data-data penginderaan jauh tersebut dapat diunduh dan dimanfaatkan secara gratis. Ketersediaan data-data gratis ini merupakan potensi untuk dapat mengembangkan kalender budidaya. Beberapa citra satelit yang telah banyak digunakan dan cukup valid untuk mengidentifikasi fenologi kopi adalah *Modis*, *Landsat*, dan *Sentinel*. Pendekatan yang digunakan adalah dengan menggunakan *normalized difference vegetation index (NDVI)* dan *enhanced vegetation index (EVI)*. Data-data iklim dan cuaca yang tidak berbayar banyak tersedia sehingga dapat dimanfaatkan untuk penyusunan kalender budidaya ini. Analisis dan penggunaan data iklim dan fenologi ini dapat dilakukan dengan cepat karena kemajuan teknologi informasi dan komunikasi.

Tantangan dalam pengembangan kalender budidaya diantaranya adalah sebagian besar perkebunan kopi di Indonesia adalah perkebunan kopi rakyat yang lokasinya tidak terpusat tapi menyebar secara tidak teratur dengan luasan yang sempit sehingga memerlukan usaha besar untuk dapat mengidentifikasi fenologi kopi. Ketersediaan data *time series* produksi kopi yang sangat panjang juga tidak

tersedia. Semakin panjang data produksi yang tersedia semakin terlihat jelas bagaimana hubungan antara fenologi, iklim, dan produksi. Dalam aplikasi kalender budidaya ini petani juga terkendala pada permasalahan sosial dan ekonomi. Permasalahan ekonomi misalnya tidak tersedianya modal dan akses terhadap kredit usaha tani. Sedangkan permasalahan sosial diantaranya adalah sulitnya petani untuk mendapatkan akses penyuluhan yang memadai.

KESIMPULAN

Permintaan kopi baik domestik maupun internasional terus meningkat bahkan laju peningkatan konsumsi lebih tinggi dibandingkan laju produksi kopi. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah melalui peningkatan produktivitas. Pada saat ini produktivitas kopi Indonesia baru mencapai 60% potensialnya. Perubahan dan variabilitas iklim juga mempengaruhi produktivitas kopi di Indonesia, sehingga diperlukan upaya adaptasi. Kalender budidaya adalah salah satu upaya yang dapat dikembangkan sebagai strategi untuk meningkatkan produktivitas sekaligus langkah adaptasi terhadap variabilitas dan perubahan iklim.

Tanaman kopi memiliki umur hidup yang panjang dengan siklus yang berulang setiap tahunnya sesuai kondisi iklim setempat. Berdasarkan fakta ini, maka pemeliharaan tanaman kopi selama satu tahun dapat dibuat satu kalender dengan memanfaatkan prakiraan iklim. Kalender budidaya berpotensi diaplikasikan sebagai petunjuk kegiatan budidaya kopi. Penggunaan kalender budidaya diharapkan dapat mewujudkan pertanian kopi yang presisi dimana input budidaya disesuaikan dengan kondisi fenologi dan lingkungan. Pengembangan kalender budidaya diantaranya didukung oleh ketersediaan data yang dapat diunduh secara gratis, akurasi prakiraan iklim yang semakin meningkat dan ketersediaan teknologi informasi yang semakin maju sehingga analisis dapat dilakukan dengan cepat dan akurat.

Beberapa tantangan penyusunan kalender budidaya kopi di Indonesia adalah arealnya sangat berpenjar, karena sebagian besar kebun kopi di Indonesia merupakan perkebunan rakyat dan tingginya keragaman teknologi budidaya yang diterapkan petani. Penerapan kalender budidaya ini akan terkendala oleh keterbatasan permodalan dan akses penyuluhan serta kelembagaan yang belum memadai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Jurusan Ilmu Pengelolaan Sumber Daya Alam IPB University serta Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian atas bantuan serta fasilitas dalam melaksanakan penelitian ini. Yeli Sarvina, Tania June, Elza Surmaini, Rita Nurmalina dan Sutjahjo Surjono Hadi adalah "Kontributor Utama" makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- AEKI. 2019. Konsumsi kopi dalam negeri alami pertumbuhan hingga 8 persen setiap tahun. *Bisnis.com*.
- Alberton B, Torres S, Cancian LF, Borges BD, Almeida J, Mariano GC, Patricia L, Morellato C. 2017. Introducing digital cameras to monitor plant phenology in the tropics: applications for conservation. *Perspect. Ecol. Conserv.* 15(2): 82-90.
- Aldrian E. 2016. Sistem peringatan dini menghadapi iklim ekstrem. *Jurnal Sumberdaya Lahan.* 10(2): 79-90.
- Aldrian E, Djamil YS. 2008. Spatio-temporal climatic change of rainfall in East Java Indonesia. *Int. J. Climatol.* 2029: 435-448.
- Aldrian E, Susanto DR. 2003. Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *Int. J. Climatol.* 23(12): 1435-1452.
- Amarasinghe UA, Hoanh CT, D'haeze D, Hung TQ. 2015. Toward sustainable coffee production in Vietnam: More coffee with less water. *Agric. Syst.* 136: 96-105.
- Ameagnaglo CJ, Anaman KA, Mensah-Bonsu A, Onumah EE, Amoussouga Gero F. 2017. Contingent valuation study of the benefits of seasonal climate forecasts for maize farmers in the Republic of Benin, West Africa. *Clim. Serv.* 6: 1-11.
- Arrigo RD, Wilson R. 2008. El nino and Indian ocean influences on Indonesian drought: implication for forecasting rainfall and crop productivity. *Int. J. Climatol.* 28: 611-616.
- Avelino J, Cristancho M, Georgiou S, Imbach P, Aguilar L, Bornemann G, Läderach P, Anzueto F, Hruska AJ. 2015. The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Secur.* 7: 303-321.

- Bacon CM, Sundstrom WA, Stewart IT, Beezer D. 2017. Vulnerability to cumulative hazards: coping with the coffee leaf rust outbreak, drought, and food insecurity in Nicaragua. *World Dev.* 93: 136-152.
- Badan Pusat Statistik. 2019. Statistik Kopi Indonesia 2018. Badan Pusat Statistik/BPS-Statistik Indonesia. Katalog BPS: 5504006. ISBN: 978-602-438-297-1.
- Bastianin A, Lanza A, Manera M. 2018. Economic impacts of El Niño southern oscillation: evidence from the Colombian coffee market. *Munich Pers. RePEc Arch.* (89984): 1-4.
- Bekeko Z. 2014. Effect of maize stover application as soil mulch on yield of arabica coffee (*Coffea arabica* L., rubiaceae) at Western Hararghe zone, Eastern Ethiopia. *Sustain. Agric. Res.* 2(2): 145-151.
- Bernardes T, Moreira MA, Adami M, Giarolla A, Rudorff BFT. 2012. Monitoring biennial bearing effect on coffee yield using MODIS remote sensing imagery. *Remote Sens.* 4(9): 2492-2509.
- Boer R, Surmaini E. 2020. Economic benefits of ENSO information in crop management decisions: case study of rice farming in West Java, Indonesia. *Theor. Appl. Climatol.* 139(3-4): 1435-1446.
- Byrareddy V, Kouadio L, Mushtaq S, Stone R. 2019. Sustainable production of robusta coffee under a changing climate: a 10-year monitoring of fertilizer management in coffee farms in Vietnam and Indonesia. *Agronomi.* 9(499): 1-19.
- Camargo MBP. 2010. The impact of climate variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. *Bragantia.* 69(1): 239-247.
- Carr MKV. 2001. The water relations and irrigation requirements of coffee. *Exp. Agric.* 37(1): 1-36.
- Challinor A. 2009. Towards the development of adaptation options using climate and crop yield forecasting at seasonal to multi-decadal timescales. *Environ. Sci. Policy.* 12: 453-465.
- Chengappa PG, Devika CM. 2017. Climate variability concerns for the future of coffee in India: an exploratory study. *Int. J. Environ., Agric. Biotechnol.* 1(4): 819-826.
- Choudhary K, Shi W, Boori MS, Corgne S. 2019. Agriculture phenology monitoring Using NDVI time series based on remote sensing satellites: A Case study of Guangdong, China. *Opt. Mem. Neural Networks (Information Opt).* 28(3): 204-214.
- Cirino PH, Féres JG, Braga MJ, Reis E. 2015. Assessing the impacts of ENSO-related weather effects on the Brazilian agriculture. *Procedia Econ. Financ.* 24(15): 146-155.
- Cobon DH, Ewai M, Inape K, Bourke RM. 2016. Food shortages are associated with droughts, floods, frosts and ENSO in Papua New Guinea. *AGSY.* 145: 150-164.
- Coffee and climate (c&c). 2015. Climate change adaptation in coffee production. January 20. Germany: coffee & climate.
- Couto Júnior AF, de Carvalho Júnior OA, Martins É de S, Guerra AF. 2013. Phenological characterization of coffee crop (*Coffea arabica* L.) from MODIS time series. *Rev. Bras. Geofis.* 31(4): 569-578.
- Damatta FM. 2004. Exploring drought tolerance in coffee: a physiological approach with some insights for plant breeding. *Braz. J. Plant Physiol.* 16(1): 1-6.
- Damatta FM, Ronchi CP, Maestri M, Barros RS. 2010. Ecophysiology of growth and production. *Ecophysiol. Trop. Tree Crop.* 19(4): 325-368.
- Dariah A, Agus F, Maswar. 2005. Soil quality of the land under coffee-based farming system (Case Study at Sumberjaya, West Lampung). *Jurnal Tanah dan Iklim.* (23): 48-57.
- Davey M, Brookshaw A. 2011. Long-range meteorological forecasting and links to agricultural applications. *Food Policy.* 36: 588-593.
- De Camargo ÂP, De Camargo MBP. 2001. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro Arábica nas condições Tropicais do Brasil. *Bragantia.* 60(1): 65-68.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2019. Statistik Perkebunan Indonesia 2017-2019: Kopi. Direktorat Jenderal Perkebunan - Kementerian Pertanian.: 96 Hlm.
- Dufour BP, Kerana IW, Ribeyre F. 2019. Effect of coffee tree pruning on berry production and coffee berry borer infestation in the Toba Highlands (North Sumatra). *Crop Prot.* 122 (November 2018): 151-158.
- Frisvold GB, Murugesan A. 2013. Use of weather information for agricultural decision making. *Am. Meteorol. Soc.* 5: 55-69.
- Gunathilaka RPD, Smart JCR, Fleming CM. 2018a. Adaptation to climate change in perennial cropping systems: Options, barriers and policy implications. *Environ. Sci. Policy.* 82 (January): 108-116.
- Gunathilaka RPD, Smart JCR, Fleming CM. 2018b. Adaptation to climate change in perennial cropping systems: Options, barriers and policy implications. *Environ. Sci. Policy.* 82: 108-116.

- Gunda T, Bazuin JT, Nay J, Yeung KL. 2017. Impact of seasonal forecast use on agricultural income in a system with varying crop costs and returns: An empirically-grounded simulation. *Environ. Res. Lett.* 12(3): 1-13.
- Haff B, Prastowo B, Prawiradiputra BR. 2013. Pengembangan perkebunan kopi berbasis inovasi di lahan kering masam. *Pengemb. Inov. Pertan.* 6(1): 199-206.
- Haile MY. 2018. A review on impacts of climatic variability on arabica coffee improvement in ethiopia. *Int. J. For. Hortic.* 4(1): 9-18.
- Hamdani A, Talaohu SH. 2016. Development of rainfall and runoff harvesting technology: farming system analysis of water resources utilization. *J. Pengkaj. dan Pengemb. Teknol. Pertan.* (1): 153-165.
- Heino M, Guillaume JHA, Müller C, Iizumi T, Kummu M. 2019. A multi-model analysis of teleconnected crop yield variability in a range of cropping systems. *Earth Syst. Dynam. Discuss.* (March): 1-25.
- Heino M, Puma MJ, Ward PJ, Kummu M, Gerten D, Heck V, Siebert S. 2018. Two-thirds of global cropland area impacted by climate oscillations. *Nat. Commun.* 9(1257): 1-10.
- Hendrawan IG, Asai K, Triwahyuni A, Lestari DV. 2019. The interannual rainfall variability in Indonesia corresponding to El Niño Southern Oscillation and Indian Ocean Dipole. *Acta Oceanol. Sin.* 38(7): 57-66.
- Herrero H V, Southworth J, Bunting E, Child B. 2017. Using repeat photography to observe vegetation change over time in Gorongosa National Park. *African Stud. Q.* 17(2): 65-82.
- ICO. 2017. Historical data on The Global Coffee Trade. *ICO*.
- Iijima M, Izumi Y, Yuliadi E, Sunyoto, Afandi, Utomo M. 2003. Erosion control on a steep sloped coffee field in Indonesia with alley cropping, intercropped vegetables, and no-tillage. *Plant Prod. Sci.* 6(3): 224-229.
- Irianto G. 2000. Rainfall-runoff harvesting for improving upland agriculture productivity and controlling floods and droughts. *Ber. Biol.* 5(April): 29-39.
- Iskandar BS, Iskandar J, Partasasmita R. 2018. Planting coffee and take care of forest: A case study on coffee cultivation in the forest carried out among people of Palintang, Highland of Bandung, West Java, Indonesia. *Biodiversitas.* 19(6): 2183-2195.
- ISPA. 2020. Precision agriculture definition. <https://www.ispag.org/about/definition.:1>.
- Jones JW, Hansen JW, Royce FS, Messina CD. 2000. Potential benefits of climate forecasting to agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.* 82(1-3): 169-184.
- Kementerian Pertanian. 2019. Kebijakan Pembangunan Perkebunan Berkelanjutan Berbasis Inovasi Aksi Iklim.
- Klemm T, Mcpherson RA. 2017. The development of seasonal climate forecasting for agricultural producers. *Agric. For. Meteorol.* 232: 384-399.
- Laimeheriwa S. 2014. Analisis tren perubahan curah hujan pada tiga wilayah dengan pola hujan yang berbeda di Provinsi Maluku. *J. Budid. Pertan.* 10(2): 71-78.
- Laskin DN, Mcdermid GJ. 2016. Ecological informatics evaluating the level of agreement between human and time-lapse camera observations of understory plant phenology at multiple scales. *Ecol. Inform.* 33: 1-9.
- Leng G, Zhang X, Huang M, Asrar GR, Leung LR. 2016. The role of climate covariability on crop yields in the conterminous United States. *Nature.* 6 (September): 1-11.
- Lobell DB, Field CB. 2011. California perennial crops in a changing climate. *Clim. Change.* 109 (SUPPL. 1): 317-333.
- Lucio FDF, Grasso V. 2016. The global framework for climate services (GFCS). *Clim. Serv.* 3: 52-53.
- Moser SC, Ekstrom JA. 2010. A framework to diagnose barriers to climate change adaptation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 107(51): 22026-22031.
- Mulyana E. 2002a. Hubungan antara ENSO dengan variasi curah hujan di Indonesia. *J. Sains Teknol. Modif. Cuaca.* 3: 1-4.
- Mulyana E. 2002b. Pengaruh dipole mode terhadap curah hujan di Indonesia. *J. Sains Teknol. Modif. Cuaca.* 3(1): 39-43.
- Neilson J. 2013. The value chain for Indonesian coffee in a green economy. *Bul. RISTRI.* 4(3): 183-198.
- Nogueira SMC, Moreira MA, Volpato MML. 2018. Relationship between coffee crop productivity and vegetation indexes derived from oli / landsat-8 sensor data with and without topographic correction. *Eng. Agric.* 38(3): 387-394.
- Ortega-Huerta MA, Komar O, Price KP, Ventura HJ. 2012. Mapping coffee plantations with land sat imagery: An example from El Salvador. *Int. J. Remote Sens.* 33(1): 220-242.
- Partelli FL, Vieira HD, Silva MG, Ramalho JC. 2010. Seasonal vegetative growth of different age branches of conilon coffee tree Crescimento vegetativo sazonal em ramos de diferentes idades do cafeiro conilon. *Ciências Agrárias, Londrina.* 31(3): 619-626.

- Perdoná MJ, Soratto RP. 2015. Higher yield and economic benefits are achieved in the macadamia crop by irrigation and intercropping with coffee. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 185: 59-67.
- Pham Y, Reardon-Smith K, Cockfield G. 2019. The impact of climate change and variability on the Coffee Production: a systematic review. *Clim. Change*. 24(2): 173-188.
- Pohlan HAP, Janssens MJJ, Eversbusch BG. 2008. Impact of canavalia cover crop management in *coffea arabica* L. On plant-invertebrate associations. *Open Agric. J.* 2(1): 84-89.
- Ramadhani F, Syahbuddin H, Runtuwu E. 2015. Aplikasi android pada sistem informasi kalender tanam terpadu android applications on integrated cropping calendar information systems. *INKOM*. 9(1): 39-44.
- Ramirez-rodrigues MA, Asseng S, Fraisse C, Stefanova L, Eisenkolbi A. 2014. Climate risk management tailoring wheat management to ENSO phases for increased wheat production in Paraguay. *Clim. Risk Manag.* 3: 24-38.
- Ray DK, Gerber JS, Macdonald GK, West PC. 2015. Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nat. Commun.* 6: 1-9.
- Richardson AD, Keenan TF, Migliavacca M, Ryu Y, Sonnentag O, Toomey M. 2013. Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system. *Agric. For. Meteorol.* 169: 156-173.
- Robertson GP, Paul EA, Harwood RR. 2000. Greenhouse gases in intensive agriculture: Contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Science*. 289(5486): 1922-1925.
- Roudier P, Alhassane A, Baron C, Louvet S, Sultan B. 2016. Assessing the benefits of weather and seasonal forecasts to millet growers in Niger. *Agric. For. Meteorol.* 223: 168-180.
- Ruminta, Nurmala T. 2016. Dampak perubahan pola curahan hujan terhadap tanaman pangan di lahan tadah hujan di Jawa Barat. *Agrin*. 20(2): 155-168.
- Runtuwu E, Syahbuddin H. 2007. Perubahan pola curah hujan dan dampaknya terhadap periode masa tanam. *Jurnal Tanah dan Iklim*. 26: 1-12.
- Runtuwu E, Syahbuddin H, Ramadhani F, Pramudia A, Setyorini D, Sari K, Apriyana Y, Susanti E, Setyanto P, Las I. 2012. Sistem informasi kalender tanam terpadu: status terkini dan tantangan kedepan. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. 6(2): 67-78.
- Santos JCF, Cunha AJDA, Ferreira FA, Santos RHS, Sakiyama NS, Lima PCDE. 2016. Herbaceous legumes intercropping in weed management of the bearing coffee crop. *ASIC 24th Int. Conf. Coffee Sci.* 5(1): 770-774.
- Sarirahayu K, Aprianingsih A. 2018. Strategy to improving smallholder coffee farmers productivity literature study. *Asian J. Technol. Manag.* 11(1): 1-9.
- Sarvina Y, Sari K. 2017. Dampak ENSO terhadap produksi dan puncak panen durian di Indonesia. *Jurnal Tanah dan Iklim* 41(2): 149-158. doi: <http://dx.doi.org/10.21082/jti.v41n2.2017.149-158>.
- Sarvina Y, Surmaini E. 2019. Penggunaan prakiraan musim untuk pertanian di Indonesia: status terkini dan tantangan ke depan. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. 12(1): 33-48. doi: <http://dx.doi.org/10.21082/jsdl.v12n1.2018.33-48>.
- Scalco MS, Guimarães RJ, Colombo A, Dominghetti AW, de Matos NMS. 2014. Drip irrigation in coffee crop under different planting densities: Growth and yield in southeastern Brazil. *Rev. Bras. Eng. Agric. e Ambient.* 18(11): 1116-1123.
- Sharma N, Kumar S, Kumar A, Ravishankar H, Dubey AK, Kumar N. 2019. hysiological and molecular basis of alternate bearing in perennial fruit crops. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 243: 214-225.
- Shimber GT, Ismail MR, Kausar H, Marziah M, Ramlan MF. 2013. Plant water relations, crop yield and quality in coffee (*Coffea arabica* L.) as influenced by partial root zone drying and deficit irrigation. *Aust. J. Crop Sci.* 7(9): 1361-1368.
- Silva KA. 2019. Influence of El Niño and La Niña on coffee yield in the main coffee-producing regions of Brazil. *Theor. Appl. Climatol.*: 1-15.
- Sinkevičienė A, Jodaugienė D, Pupalienė R, Urbonienė M. 2009. The influence of organic mulches on soil properties and crop yield. *Agron. Res.* 7(1): 485-491.
- Steven MD, Clark JA. 1990. Applications of remote sensing in agriculture. *Appl. Remote Sens. Agric.* 8(01): 2270-2283.
- Supriadi H. 2015. Budidaya tanaman kopi untuk adaptasi dan mitigasi perubahan iklim. *Perspektif*. 13(1): 35-48.
- Supriadi H, Pranowo D. 2016. Prospek pengembangan agroforestri berbasis kopi di Indonesia. *Perspektif*. 14(2): 135-150.
- Surmaini E, Faqih A. 2016. Kejadian iklim ekstrem dan dampaknya terhadap pertanian tanaman pangan di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. 10(2): 115-128.

- Surmaini E, Syahbuddin H. 2016. Kriteria awal musim tanam: tinjauan prediksi waktu tanam padi di Indonesia. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*. 35(2): 47-56. doi: <http://dx.doi.org/10.21082/jp3.v35n2.2016.p47-56>.
- Syakir M, Surmaini E. 2017. Perubahan iklim dalam konteks sistem produksi dan pengembangan kopi di Indonesia. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*. 36(2): 77-90. doi: <http://dx.doi.org/10.21082/jp3.v36n2.2017.p77-90>.
- Tack J, Ubilava D. 2013. The effect of El Niño Southern Oscillation on US Corn production and downside risk. *Clim. Change*. 121(4): 689-700.
- van der Vossen H, Bertrand B, Charrier A. 2015. Next generation variety development for sustainable production of arabica coffee (*Coffea arabica* L.): a review. *Euphytica*. 204(2): 243-256.
- Wahyudi T, Jati M. 2012. Challenges of sustainable coffee certification in Indonesia. *ICO Semin. Econ. ICO Semin.* (September): 1-14.
- Workie TG, Debella HJ. 2018. Climate change and its effects on vegetation phenology across ecoregions of Ethiopia. *Glob. Ecol. Conserv.* 13: 1-13.
- Youkhana A, Idol T. 2009. Tree pruning mulch increases soil C and N in a shaded coffee agroecosystem in Hawaii. *Soil Biol. Biochem.* 41(12): 2527-2534.
- Yuliasmara F. 2016. Strategi mitigasi perkebunan kopi menghadapi perubahan iklim. *War. Pus. Penelit. Kopi dan Kakao Indones.* 28(3): 1-7.
- Yuliasmara F. 2017. El nino effect on coffee growth and productivity on several agroforestry systems in Gunitir mountain coffee farms, East Java, Indonesia. *Pelita Perkeb.* 33(3): 168-179.
- Zullo J, Hilton J, Pinto S, Delgado E, Maria A, Ávila H De. 2011. Potential for growing Arabica coffee in the extreme south of Brazil in a warmer world. *Clim. Change*. 109: 535-548.