

SIMULASI DAMPAK PERUBAHAN IKLIM TERHADAP KEMAMPUAN TANAH MENYIMPAN AIR TERSEDIA DAN POTENSI PRODUKSI PADA TANAMAN KAKAO DI KABUPATEN MALANG

Simulation of Climate Change Impact on Cocoa's Soil Ability to Store Available Water and Production Potential in Malang Regency

Anis Nur Afifah*, Sugeng Priyono

Departemen Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Jl. Veteran No 1, Malang 65145

*Penulis korespondensi: anis.afifah@student.ub.ac.id

Abstrak

Kakao merupakan salah satu komoditas andalan Kabupaten Malang yang sensitif terhadap perubahan iklim. Penelitian ini bertujuan untuk mensimulasikan perubahan iklim dan dampaknya terhadap ketersediaan air bagi tanaman kakao di Kecamatan Donomulyo, Dampit, dan Kromengan Kabupaten Malang menggunakan metode simulasi neraca air dengan skenario perubahan iklim berdasarkan prediksi dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Indonesia dan *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). Skenario perubahan iklim terdiri dari peningkatan suhu udara sebesar 0,5, 0,7, dan 1°C yang dikombinasikan dengan perubahan curah hujan -5, -10, dan -20%. Perubahan iklim berdampak pada peningkatan suhu udara di permukaan bumi yang diikuti dengan perubahan pola curah hujan, sehingga mempengaruhi sektor pertanian terkait dengan peningkatan kebutuhan air dan penurunan ketersediaan air untuk tanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seiring dengan peningkatan suhu dan penurunan curah hujan, kebutuhan air meningkat sebesar 1,08-2,31%. Ketersediaan air dalam tanah menurun, diikuti dengan peningkatan penurunan produksi. Penurunan produksi kakao terjadi pada setiap skenario dengan persentase tertinggi pada skenario C9 ($\Delta T1-^{\circ}C$, H-20%). Penurunan produksi diakibatkan tidak terpenuhinya kebutuhan air tanaman kakao karena memiliki nilai lebih besar dari kemampuan menyimpan air dalam tanah yang terjadi pada beberapa fase pertumbuhan tanaman kakao terutama pada periode bulan kering.

Kata kunci: neraca air, perubahan iklim, produksi kakao

Abstract

Cocoa is one of the mainstay commodities of Malang Region, which is sensitive to climate change. This research aimed to simulate climate change and its impact on water availability for cocoa plants in Donomulyo, Dampit, and Kromengan of Malang Regency using a simulated water balance method with climate change scenarios based on predictions from Indonesia Meteorological, Climatological, and Geophysical Agency (BMKG) and Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The climate change scenario consisted of an increase in air temperature of 0.5, 0.7, and 1°C, combined with changes in rainfall -5, -10, and -20%. Climate change impacted the air temperature increase at the earth's surface followed by rainfall pattern changing, thus affecting the agricultural sector related to water needed increase and water availability decreased for plants. The results showed that along with the increase in temperature and decrease in rainfall, the water demand increased by 1.08-2.31%. The water availability in the soil decreased, followed by an increase in production reduction. The reduction in cocoa production occurred in each scenario with the highest percentage in scenario C9 ($\Delta T1-^{\circ}C$, $\Delta H-20\%$). Production reduction results from not meeting the water needs of cocoa plants because it has a value greater than the ability to store water in the soil that occurs in several phases of cocoa plant growth, especially during the dry month period.

Keywords: climate change, cocoa production, water balance

Pendahuluan

Perubahan iklim dapat dicirikan dengan adanya peningkatan suhu, perubahan curah hujan (presipitasi), kenaikan muka air laut, dan kejadian-kejadian ekstrim yang akan berdampak pada ketersediaan air di suatu wilayah (Suroso *et al.*, 2010). Peningkatan suhu global dari tahun ke tahun terjadi akibat meningkatnya emisi gas-gas rumah kaca (GRK) seperti karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dinitrogen oksida (N₂O), dan chlorofluorocarbons (CFC) sehingga energi matahari terperangkap dalam atmosfer bumi (Riebeck, 2010). IPCC (2007) menunjukkan bahwa terdapat kenaikan rata-rata suhu permukaan global dengan laju $0,74 \pm 0,18$ °C di berbagai negara termasuk di Indonesia, sedangkan berdasarkan model diproyeksikan kenaikan suhu permukaan abad ke-21 secara global mencapai 1,8 °C hingga 4 °C.

Perubahan iklim merupakan salah satu ancaman terhadap sektor pertanian, karena diprediksi akan terjadi pergeseran musim yang menyebabkan terganggunya sebaran bulan surplus dan defisit pada neraca air dan produksi. Penurunan jumlah curah hujan akibat variabilitas iklim musiman dapat mengakibatkan penurunan jumlah ketersediaan air yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman, sedangkan dalam waktu yang sama, kebutuhan air tanaman cenderung terus meningkat. Ketidakseimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan air dapat menimbulkan defisit air. Kakao merupakan tanaman perkebunan terbesar ketiga di Indonesia. Salah satu faktor yang memengaruhi produktivitas tanaman kakao ialah ketersediaan air atau curah hujan. Tanaman kakao dikategorikan sebagai tanaman yang sensitif terhadap kekeringan. Kondisi defisit air akan lebih berpengaruh negatif terhadap hasil biji daripada pertumbuhan kakao (Moser *et al.*, 2010). Radiasi matahari dan suhu tinggi serta perbedaan kelembaban (tekanan uap) di udara dan di daun selama periode bulan kering, berdampak negatif terhadap asimilasi CO₂ di dalam proses metabolisme kakao akibatnya produksi turun.

Kabupaten Malang memiliki luas areal kakao sebesar 3.831 ha. Produktivitas kakao Malang mengalami peningkatan pada tahun 2014 hingga 2015, namun menurun pada tahun 2016 sebesar 52,63% dibandingkan 2015 (Ditjenbun Pertanian, 2016) yang tergolong lebih rendah daripada produktivitas kakao nasional. Menurut Irianto dan Surmaini (2002), salah satu unsur utama penyebab rendahnya produktivitas tanaman adalah cekaman air sebagai dampak dari kejadian *el-nino*. Potensi

produktivitas kakao dapat ditingkatkan dengan menentukan jumlah air yang dibutuhkan tanaman kakao. Metode yang digunakan untuk menghubungkan komponen iklim, vegetasi, dan tanah sebagai media penyedia air adalah neraca air (Thornthwaite-Mather) dan model CROPWAT 8.0. Penggunaan metode neraca air menggunakan asumsi bahwa input pasokan air hanya berasal dari hujan sedangkan output atau penggunaan air tersedia digunakan untuk evapotranspirasi.

Berdasarkan hal tersebut maka perlu dilakukan penelitian untuk menganalisis dampak perubahan iklim berupa kenaikan suhu dan perubahan curah hujan untuk memenuhi persyaratan tumbuh serta produksi tanaman kakao, sebagai bentuk adaptasi dan mitigasi terhadap neraca air serta ketersediaan air dalam pemenuhan kebutuhan air tanaman kakao. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu bahan pertimbangan dalam upaya meningkatkan produktivitas kakao di Kabupaten Malang.

Bahan dan Metode

Penelitian dilaksanakan pada bulan Februari hingga Mei 2021. Penelitian dilakukan dengan metode simulasi perubahan iklim, survei, pengambilan sampel tanah dan analisis laboratorium. Pengambilan sampel tanah dilakukan di tiga kecamatan penghasil kakao di Kabupaten Malang, yaitu Kecamatan Dampit, Donomulyo, dan Kromengan (Tabel 1). Analisis sifat fisik tanah dilakukan di Laboratorium Fisika Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya. Data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan Microsoft Excel dan CROPWAT 8.0, untuk mengetahui simpanan air, kebutuhan air tanaman kakao, dan reduksi hasil pada masing-masing skenario perubahan iklim. Data iklim yang digunakan bersumber dari stasiun iklim Karangates yang dipilih berdasarkan lokasi dan kelengkapan data. Skenario simulasi perubahan iklim mengacu pada proyeksi oleh IPCC (SRES B2 dan RCP 8,5) serta BMKG. Perubahan iklim diskenariokan untuk tahun 2030, 2060, dan 2090 dengan terjadinya kenaikan suhu (ΔT) dan perubahan curah hujan (ΔCH), seperti yang disajikan dalam Tabel 2.

Pelaksanaan

Metode yang digunakan untuk pengukuran infiltrasi adalah *falling head* dengan bantuan alat *double ring infiltrometer*. Pengambilan sampel tanah di lapangan menggunakan metode pengambilan sampel tanah

dan sampel tanah tidak utuh. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada beberapa kedalaman yaitu 0–20 cm, 20–40 cm, dan 40–60 cm. Pengambilan sampel tanah utuh menggunakan ring sampel. Sifat

fisik tanah yang dianalisis meliputi tekstur, berat isi, berat jenis, porositas, sebaran pori, kadar air pada berbagai pF, air tersedia, dan simpanan air di dalam tanah.

Tabel 1. Lokasi pengambilan sampel.

Lokasi	Luas Tanam	Tekstur	Jenis Tanah	Stasiun Meteorologi
Dampit (8°11'17.7" LS 112°43'43.2" BT)	193 ha	Lempung dan Lempung Berpasir	Inceptisol	Karangkates (8°09'08.2" LS 112°27'02.5" BT)
Donomulyo (8°18'02.6" LS 112°25'31.8" BT)	773 ha	Liat	Alfisol	
Kromengan (8°05'52.8" LS 112°27'49.6" BT)	111 ha	Lempung Berliat dan Liat	Inceptisol	

Tabel 2. Skenario simulasi perubahan iklim.

Kode	Tahun	ΔT (°C)	ΔCH (%)
C0	2021	0	0
C1	2030	+0,5	-5
C2	2030	+0,5	-10
C3	2030	+0,5	-20
C4	2060	+0,7	-5
C5	2060	+0,7	-10
C6	2060	+0,7	-20
C7	2090	+1	-5
C8	2090	+1	-10
C9	2090	+1	-20

Analisis data

Analisis neraca air menggunakan metode Thornthwaite-Mather (1957) untuk menganalisis sebaran bulan surplus dan defisit. Analisis dampak perubahan iklim terhadap kebutuhan air dan potensi reduksi produksi menggunakan metode Penman-Monteith yang membutuhkan *input* berupa kapasitas menahan air, curah hujan bulanan, dan evapotranspirasi potensial. CROPWAT 8.0 memerlukan *input* berupa data iklim (temperatur maksimum, temperatur minimum, kelembaban udara, kecepatan angin, dan lama penyinaran), data hujan (jumlah curah hujan bulanan), data tanaman, dan data tanah (air tersedia, laju infiltrasi maksimum, dan deplesi awal). Air tersedia dikonversi kedalam bentuk tebal air (mm m⁻¹). Perhitungan evapotranspirasi potensial (ET_p) (Persamaan 1) dianggap sebagai metode standar untuk memperkirakan ET di sektor pertanian (Allen *et al.*, 1998).

$$ET_p = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+27} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1+0,34U_2)} \dots\dots\dots (1)$$

Saat hujan, tanah akan terisi air dan menyediakannya untuk tanaman namun tidak semua air hujan dapat dimanfaatkan oleh tanaman sehingga terdapat istilah hujan efektif. Hujan efektif dihitung menggunakan United State Department of Agriculture (USDA) *Soil Conservation Services* (Persamaan 2 dan 3).

$$\text{Untuk } P > 125 \text{ mm : } PE = \frac{125 - 0,2P}{125} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Untuk } P < 125 \text{ mm : } PE = 125 + 0,1 \times P \dots\dots\dots (3)$$

Faktor lain dalam menentukan kebutuhan air kakao adalah deplesi ketersediaan air di zona perakaran (*critical depletion* = p) dan faktor respons hasil (*yield response factor* = Ky), yaitu hilangnya hasil karena perubahan atau penurunan evapotranspirasi (ET) (Allen *et al.*, 1998). Rumus untuk penyesuaian nilai p di daerah tropis adalah persamaan 4.

$$p = p_{\text{Tabel}} + 0,04 (5 - ET \text{ kakao}) \dots\dots\dots (4)$$

Tanaman memiliki kemampuan untuk bertranspirasi sesuai dengan kondisi fisiologisnya. Tahap pertumbuhan dapat dibagi menjadi empat tahap, yaitu tahap awal, perkembangan, menengah dan tahap akhir (Allen *et al.*, 1998). Standar penyediaan irigasi ditetapkan pada mode tanpa irigasi (*rainfed*) yang bertujuan untuk mensimulasikan dampak perubahan iklim terhadap pasokan air dan potensi reduksi produksi. Simpanan air tanah (ST) setiap bulan merupakan

salah satu hasil perhitungan neraca air. Air dikatakan tersedia (AT) apabila $ST > air$ pada kondisi titik layu permanen. Jika $AT > ETc$ maka kebutuhan air tanaman dapat terpenuhi setiap bulannya, namun jika $AT < ETc$ maka tanaman akan kekurangan air pada fase pertumbuhannya. Nilai *crop coefficient* (Kc) setiap jenis dan fase pertumbuhan berbeda. Tabel 3 berikut sebagai input nilai Kc dalam CROPWAT 8.0. ETc diperoleh dari Persamaan 5. Nilai ETc digunakan sebagai total kebutuhan air (ETm atau ETp) yang harus dipenuhi.

$$ETc = ETp \times Kc \dots\dots\dots (5)$$

Ketersediaan air atau kecukupan air tanaman kakao dihitung dengan menggunakan persamaan ETa dan ETc, jika $ETa > ETc$ maka kadar air tanaman kakao mencukupi dan jika $ETa < ETc$ maka dapat dikatakan tidak tercukupinya kebutuhan air. ETa dapat dihitung dengan persamaan 6.

$$ETa = ETc \times Ks \dots\dots\dots (6)$$

ETc dihitung berdasarkan kondisi iklim standar untuk tanaman sedangkan ETa tergantung pada nilai air yang tersedia sehingga dijumlahkan dengan koefisien stress air (Ks) yang tercantum pada persamaan 7. Ks merupakan fungsi dari total air tersedia (TAM), air tersedia tanpa menyebabkan stress tanaman (RAM), dan deplesi pada zona perakaran (Ds). Ks bernilai 0-1, jika Ks = 1 berarti tidak ada stress air sehingga ETa sama dengan ETc.

$$Ks = \frac{(TAM - Dr)}{(TAM - R)} \dots\dots\dots (7)$$

Jika kelembaban tanah memenuhi kebutuhan air tanaman ($ETa = ETm$) maka hasil panen tidak akan berkurang. Ketika nilai $ETa < ETm$ menunjukkan bahwa kebutuhan air tidak dapat dipenuhi maka output akan menurun (Tusi *et al.*, 2012).

Tabel 3. Tampilan modul tanaman kakao untuk siklus pertumbuhan satu tahun di dalam program CROPWAT 8.0.

Uraian	Tahap Pertumbuhan				
	Awal	Perkembangan	Lanjut	Akhir	Total
Nilai Kc	0,90	>>	0,96	0,95	-
Lama Fase (hari)	60	90	120	90	360
Kedalaman Akar (cm)	200	>>	>>	200	-
¹ Deplesi Kritis (Fraksi)	0,30	>>	0,30	0,30	-
² Responss Hasil (koefisien)	0,20	² 0,50	² 0,70	0,20	0,70

Sumber: ¹Allen *et al.* (1998); ²Ahmeida dan Valle (2007) dan Omolaja *et al.* (2009)

Perhitungan reduksi dengan CROPWAT 8.0 dinyatakan dalam Persamaan 8. Asumsi yang digunakan dalam persamaan adalah evapotranspirasi yang terjadi (ETa) harus sama dengan evapotranspirasi yang dibutuhkan (ETm). ETa yang lebih rendah menunjukkan bahwa air di dalam tanah tidak cukup untuk membuat tanaman bertranspirasi.

$$\left(1 - \frac{Ya}{Ym}\right) = Ky \cdot \left(1 - \frac{ETa}{ETm}\right) \dots\dots\dots (8)$$

Hasil dan Pembahasan

Kondisi umum lokasi penelitian

Lahan perkebunan rakyat

Lokasi penelitian berada di lahan perkebunan rakyat yang bertempat di Desa Majangtengah Kecamatan Dampit, Desa Mentaraman Kecamatan Donomulyo, dan Desa Jambuwer Kecamatan Kromengan. Tiga lokasi penelitian tersebut

memiliki ketinggian rata-rata dengan urutan 397 meter di atas permukaan laut (m dpl), 365 m dpl, dan 405 m dpl. Total luas perkebunan kakao di Kecamatan Dampit adalah 193 ha, Kecamatan Donomulyo sebesar 773 ha, dan pada Kecamatan Kromengan sebesar 111 ha (KMDA, 2012). Kondisi lokasi penelitian disajikan pada Gambar 1.

Karakteristik tanaman

Topografi pada ketiga lokasi penelitian berbeda, yaitu kondisi lahan datar pada Lokasi Dampit dan Kromengan sedangkan pada Lokasi Donomulyo tergolong relatif miring. Serasah dan tumbuhan bawah banyak ditemukan pada seluruh lokasi penelitian dengan kategori paling tebal berada di Lokasi Kromengan yaitu terdiri atas daun-daun kakao kering yang telah berguguran dan kategori paling tipis ditemukan di Lokasi Dampit. Karakteristik yang diukur berupa kerapatan tanaman, pola tanam, umur tanaman, dan jarak tanam. Hasil pengukuran disajikan pada Tabel 4.

Karakteristik tanah

Lokasi penelitian memiliki karakteristik tanah yang berbeda. Karakteristik sifat fisik tanah yang dianalisis meliputi tekstur tanah, berat isi, berat

jenis, porositas, sebaran pori (makro, meso, mikro), dan simpanan air masing-masing lokasi penelitian yang diambil pada 5 kedalaman yaitu 0–20 cm, 20–40 cm, dan 40–60 cm (Tabel 5).



Gambar 1. Karakteristik tutupan lahan (a) Dampit; (b) Donomulyo, dan (c) Kromengan

Tabel 4. Karakteristik tanaman pada lokasi penelitian.

Parameter	Dampit	Donomulyo	Kromengan
Pola Tanam	Polikultur (Kakao, Talas, Singkong, dan Kopi)	Polikultur (Kakao, Kelapa, Talas, Pisang, Singkong, dan Kopi)	Monokultur (Kakao)
Jarak Tanam (m ²)	3 × 3	4 × 2,5	3,5 × 2,5
Kerapatan (populasi pohon per hektar)	1112	1000	1143
Umur Tanaman	5 tahun	6 tahun	5 tahun

Tabel 5. Sifat fisik tanah pada lokasi penelitian.

Lokasi	Kedalaman (cm)	Tekstur	Berat Isi (g cm ⁻³)	Berat Jenis (g cm ⁻³)	Porositas (%)	Kapasitas Infiltrasi (mm jam ⁻¹)	Simpanan Air (mm m ⁻¹)
Dampit	0–20	Lempung	0,94	2,33	59,66	380	134
	20–40	Lempung	1,20	2,39	49,66		153
	40–60	Lempung Berpasir	1,36	2,43	43,91		145
Donomulyo	0–20	Liat	0,99	2,31	57,25	200	194
	20–40	Liat	0,86	2,35	63,31		177
	40–60	Liat	0,94	2,55	63,30		204
Kromengan	0–20	Lempung Berliat	1,10	2,34	53,07	100	140
	20–40	Liat	1,04	2,34	55,71		153
	40–60	Liat	1,00	2,45	59,06		151

Karakteristik iklim

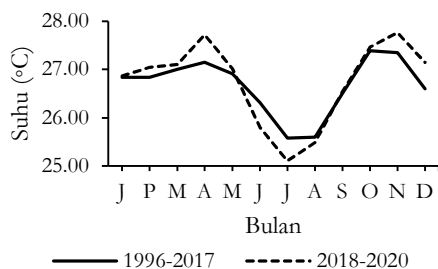
Iklim di Kabupaten Malang termasuk ke dalam iklim tropis. Suhu rata-rata periode 2011–2020 berkisar antara 25,45-27,69 °C dan curah hujan berkisar antara 1398-3196 mm tahun⁻¹. Tipe curah hujan Kabupaten Malang dapat diklasifikasikan sebagai tipe curah hujan monsun karena memiliki satu puncak musim hujan dalam setahun yang

muncul pada akhir tahun yaitu Bulan Desember. Menurut sistem klasifikasi Koppen, curah hujan bulan kering pada periode 2011–2020 adalah 0–58,2 mm dan rata-rata curah hujan tahunan sebesar 2052,42 mm menyebabkan wilayah Kabupaten Malang termasuk dalam iklim sabana tropis (Aw). Menurut klasifikasi Schmidt-Ferguson, wilayah Kabupaten Malang memiliki 69 bulan basah, dan 42 bulan kering, termasuk dalam ke dalam tipe iklim

sedang (iklim D) dengan presentasi bulan basah dan bulan kering atau *quotient* (Q) sebesar 60,86%. Tipe iklim ini memiliki keadaan iklim dan vegetasi berupa hutan musim.

Kecenderungan suhu udara

Kecenderungan suhu udara yang terjadi di Kabupaten Malang menurut stasiun iklim Karangates (Gambar 2) menunjukkan bahwa nilai rata-rata suhu udara periode 2018–2020 mengalami peningkatan sebesar 0,03–0,57 °C, dan mengalami penurunan pada bulan Juni, Juli, dan Agustus sebesar 0,11–0,52 °C, jika dibandingkan dengan periode 1996–2017. Periode 2018–2020 menunjukkan penurunan suhu pada bulan Juni–Agustus terutama pada bulan Juli. Beberapa faktor pendukungnya yaitu kandungan uap di atmosfer yang cukup sedikit dan wilayah Australia yang berada pada musim dingin sehingga sifat massa udara yang dingin dan kering menyebabkan adanya pola tekanan udara yang relatif tinggi di Australia dan mengakibatkan pergerakan massa udara dari Australia menuju Indonesia semakin signifikan sehingga terjadi penurunan suhu udara pada malam hari khususnya di wilayah Jawa yang disebut dengan angin muson timur.



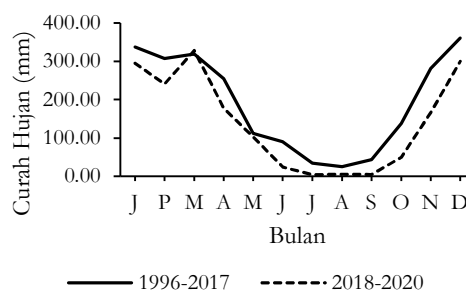
Gambar 2. Kecenderungan suhu udara di Kabupaten Malang.

Secara umum dalam periode 2018–2020 menggambarkan adanya peningkatan suhu yang akan memengaruhi tingkat curah hujan. Energi panas akan menyebabkan terjadinya evaporasi dari permukaan laut dan daratan, uap air akan terbawa oleh angin di atmosfer, terkondensasi membentuk awan dan kembali lagi ke bumi dalam bentuk hujan (Salsabila dan Nugraheni, 2020). Evapotranspirasi oleh tanaman merupakan dampak yang cukup serius dari perubahan suhu udara di bidang pertanian karena berkaitan dengan pemenuhan kebutuhan air tanaman, selain itu setiap tanaman tentunya memiliki batas toleransi dalam melakukan transpirasi untuk dapat berproduksi optimal. Menurut Setiawan (2012) dampak peningkatan

suhu terhadap tanaman diantaranya adalah peningkatan konsumsi air, peningkatan transpirasi, percepatan pematangan buah/biji, dan perkembangan organisme pengganggu tanaman.

Kecenderungan curah hujan

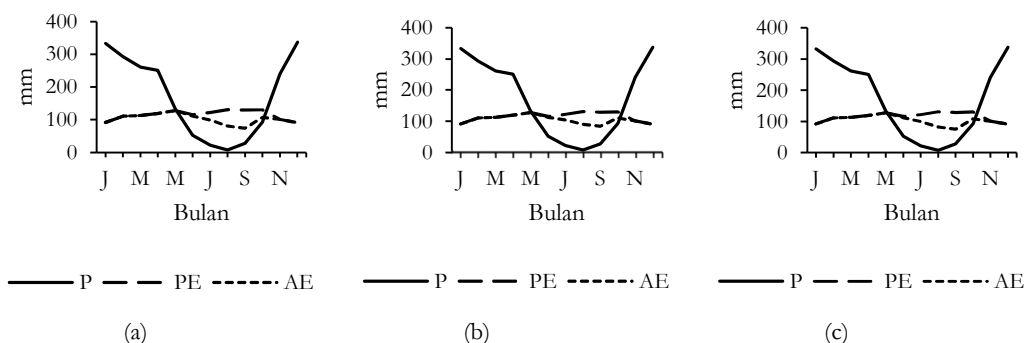
Karakteristik unsur meteorologi khususnya curah hujan sangat dipengaruhi oleh kondisi iklim muson yaitu adanya perbedaan musim basah dan musim kering yang jelas. Kecenderungan curah hujan mengalami penurunan di pertengahan tahun dan kembali meningkat di bulan-bulan berikutnya seperti yang terlihat pada Gambar 3 yang menunjukkan perbandingan antara curah hujan pada periode 1996–2017 dan 2018–2020. Periode 2018–2020 curah hujan mengalami penurunan sebesar 607,14 mm tahun⁻¹ dibandingkan 1996–2017. Fluktuasi curah hujan tersebut mencerminkan bahwa curah hujan merupakan unsur iklim yang tergolong sulit untuk diperkirakan perubahannya. Saat terjadi *el-nino*, curah hujan di wilayah Indonesia umumnya akan berada di bawah normal, sebaliknya pada saat terjadinya *la-nina* curah hujan akan berada di atas normalnya.



Gambar 3. Kecenderungan curah hujan di Kabupaten Malang.

Neraca air aktual

Ketiga lokasi penelitian mengalami bulan surplus di bulan November hingga April, dan bulan defisit di bulan Mei hingga Oktober (Gambar 4). Bulan defisit memberikan dampak negatif pada aspek pertanian sehingga berbahaya apabila terjadi peningkatan suhu dan perubahan curah hujan. Evapotranspirasi potensial (PE) pada tiga lokasi penelitian memiliki nilai sebesar 1383 mm tahun⁻¹. Di tiga lokasi penelitian, PE > P saat memasuki bulan Mei sampai Oktober. Kondisi bulan kering ditandai dengan nilai PE < P (Ayu *et al.*, 2013). Nilai AE di lokasi Donomulyo adalah 1258 mm tahun⁻¹, nilai AE tergolong rendah berada pada lokasi Dampit dan Kromengan yaitu sebesar 1229 mm tahun⁻¹ dan 1232 mm tahun⁻¹.



Gambar 4. Neraca Air di 3 Lokasi Penelitian. Keterangan: P = Curah Hujan; PE = Evapotranspirasi Potensial; AE = Evapotranspirasi Aktual. Kecamatan a) Dampit, b) Donomulyo, c) Kromengan

Nilai evapotranspirasi aktual (AE) cenderung mengikuti sebaran hujan, karena transpirasi tanaman berkaitan dengan kebutuhan air, jika kadar air tanah menurun maka proses evapotranspirasi tertahan. Di musim kemarau, kerapatan tanaman akan mengalami penurunan sehingga dapat menurunkan transpirasi. Perbedaan utama neraca air ketiga lokasi penelitian adalah kandungan air dalam tanah (SI). Donomulyo memiliki simpanan air paling tinggi sedangkan Dampit memiliki simpanan

air dalam tanah yang paling rendah (4132 mm tahun⁻¹).

Dampak perubahan iklim pada neraca air

Sebaran bulan surplus dan bulan defisit

Menurut seluruh skenario perubahan iklim, tidak terdapat skenario dengan kondisi AE melebihi nilai PE di seluruh lokasi penelitian. Tabel 6 menyajikan sebaran bulan surplus dan defisit berdasarkan skenario perubahan iklim.

Tabel 6. Skenario perubahan iklim terhadap sebaran bulan surplus dan defisit dalam mm tahun⁻¹.

Skenario	Dampit				Donomulyo				Kromengan			
	Surplus		Defisit		Surplus		Defisit		Surplus		Defisit	
	mm	bulan	mm	bulan	mm	bulan	mm	bulan	mm	bulan	mm	bulan
C0	823	6	154	5	789	5	125	5	820	6	151	5
C1	768	5	175	5	735	5	142	5	765	5	172	5
C2	728	5	195	5	692	5	159	5	725	5	192	5
C3	650	5	237	5	608	4	195	5	646	5	233	5
C4	763	5	177	5	730	5	144	5	760	5	174	5
C5	723	5	197	5	687	5	161	5	720	5	194	5
C6	645	5	239	5	615	4	196	5	641	5	235	5
C7	757	5	181	5	723	5	147	5	754	5	178	5
C8	717	5	201	5	680	5	164	5	714	5	198	5
C9	640	5	243	5	613	4	200	5	635	5	239	5

Jumlah antara bulan surplus dan bulan defisit kurang dari 12 bulan karena terdapat bulan dengan tidak adanya kelebihan atau kekurangan air yang mana nilai surplus atau defisitnya adalah 0. Hal ini karena terdapat periode peralihan (*recharge*) yang terjadi pada akhir bulan kering ke bulan basah yang berakibat pada simpanan air dalam tanah belum mencapai kapasitas lapang sehingga tidak mencapai kondisi surplus (Priyono, 2009). Masa peralihan juga dapat terjadi pada bulan basah ke bulan kering yaitu saat kondisi tanah masih menyimpan air namun tidak mencapai kondisi surplus atau defisit yaitu terjadi pada bulan Mei dan November. Jika PE >

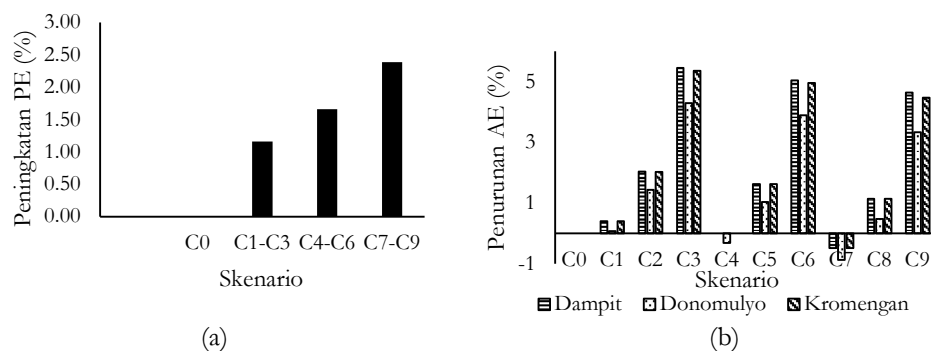
AE maka akan berdampak pada reduksi produksi. Kecenderungan nilai defisit bertolak belakang dengan nilai surplus, seperti pada skenario C9 (ΔH -20%) memiliki nilai surplus yang lebih rendah dan defisit lebih tinggi dibandingkan skenario C1 (ΔH -5%). Saat kondisi aktual (C0), surplus air berkisar 794–823 mm tahun⁻¹ dan lebih tinggi dibanding nilai defisit yaitu berkisar 125–154 mm tahun⁻¹.

Evapotranspirasi potensial dan aktual

Nilai PE berkisar 1383-1416 mm tahun⁻¹ pada kondisi aktual yang berbanding lurus dengan peningkatan suhu sebesar 0,5-1 °C, oleh sebab itu

PE juga mengalami peningkatan pada ketiga lokasi penelitian yaitu sebesar 1,16–2,39% dibandingkan kondisi aktual. Peningkatan PE tertinggi terjadi pada skenario C7–C9 yang merupakan skenario dengan peningkatan suhu paling tinggi ($\Delta T+1$ °C). Menurut Dianitasari dan Purnama (2017)

perhitungan PE menggunakan suhu rerata bulanan sehingga peningkatan suhu udara berbanding lurus dengan peningkatan nilai evapotranspirasi potensial. Nilai PE meningkat dan berbanding lurus dengan penambahan suhu, sedangkan nilai AE secara umum mengalami penurunan (Gambar 5).



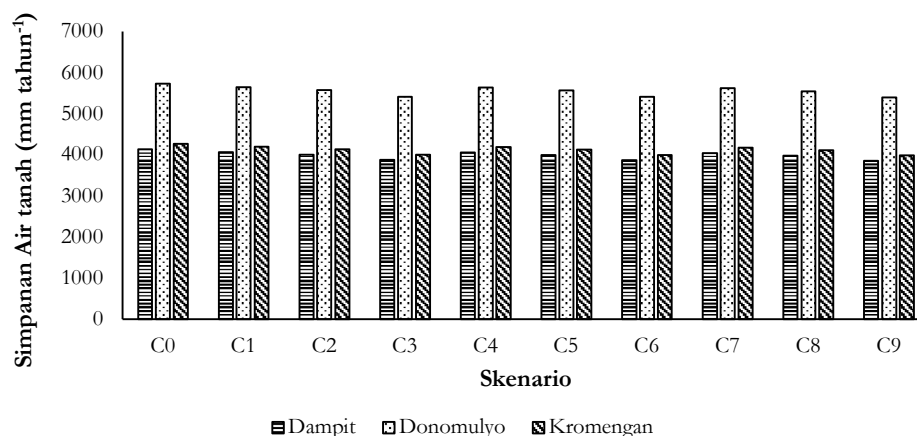
Gambar 5. Evapotranspirasi berdasarkan skenario perubahan iklim.

Nilai AE memiliki kondisi yang dominan mengalami penurunan, sehingga besar AE akan lebih kecil dari PE. Perhitungan menunjukkan nilai AE berbanding terbalik dengan nilai PE, namun berbanding lurus dengan curah hujan dan ST. Hal tersebut dapat terlihat jika AE menurun maka simpanan air akan relatif rendah. Semakin rendah nilai masing-masing faktor tersebut maka AE juga akan semakin rendah. Menurut Ayu *et al.* (2013) besarnya nilai AE akan mengikuti sebaran hujan. Hal tersebut disebabkan proses transpirasi yang berkaitan langsung dengan ketersediaan air tanah pada daerah perakaran. Peningkatan AE tertinggi terdapat pada skenario C7 ($\Delta T+1$ °C, $\Delta H-5\%$) yaitu sebesar 0,49–0,87% sedangkan penurunan AE

terbesar pada skenario C3 ($\Delta T+0,5$ °C, $\Delta H-20\%$) yaitu sebesar 4,29–5,45%.

Simpanan air tanah

Secara keseluruhan nilai ST setiap skenario perubahan iklim pada ketiga lokasi penelitian mengalami penurunan dibandingkan dengan kondisi aktual, yaitu berkisar antara 1,43–7,24%. Penurunan ST tertinggi di semua wilayah terjadi pada skenario C9 ($\Delta T+1$ °C, $\Delta H-20\%$) yaitu sebesar 6,17–7,24%. Gambar 6 menunjukkan nilai simpanan air tanah pada setiap skenario perubahan iklim di ketiga lokasi penelitian. Di periode bulan kering, nilai ST perlahan menurun daripada ST pada periode peralihan akibat evapotranspirasi.



Gambar 6. Simpanan air tanah lokasi penelitian berdasarkan skenario perubahan iklim.

Perbedaan jenis tekstur tanah sangat berpengaruh terhadap nilai ST. Lokasi Dampit memiliki tanah yang mengandung fraksi pasir lebih dominan sehingga memiliki ST berkisar 3853–4132 mm tahun⁻¹, nilai tersebut tergolong lebih rendah dibanding tanah Donomulyo yang berkisar 5395–5728 mm tahun⁻¹ dan tanah Kromengan yang berkisar 3981–4265 mm tahun⁻¹. Menurut Ayu *et al.* (2013) nilai ST (kelembaban) berada di antara nol dan kapasitas maksimum tanah menyimpan air (*water holding capacity*) yang ditentukan oleh porositas tanah dan kedalaman akar. Porositas memiliki hubungan yang erat dengan distribusi dan lamanya air di dalam tanah, sebaran pori mikro tanah, tekstur tanah, dan kemampuan tanah untuk menyerap air atau tingkat kecepatan drainase air untuk melewati massa tanah (perkolasi). Semakin dalam perakaran tanaman berarti terdapat volume air yang lebih besar disimpan oleh tanaman. Tanah dengan kandungan dominan fraksi pasir memiliki proporsi pori meso dan mikro yang relatif rendah sehingga kemampuan tanah menahan air juga rendah.

Ketersediaan air untuk tanaman kakao

Metode Thornthwaite-Mather dalam perhitungan neraca air menghasilkan nilai ST dan tersedia untuk digunakan oleh tanaman yaitu yang berada pada kisaran kapasitas lapang dan titik layu permanen (pF 2–4,2) sedangkan air tidak tersedia dan tidak dapat dimanfaatkan oleh tanaman pada tegangan di atas titik layu permanen (pF > 4,2) (Ichsan *et al.*, 2010). Kebutuhan air dan fase kritis berbeda untuk setiap tanaman. Kebutuhan air maksimal terdapat pada fase *middle* yaitu pada tahap pengisian buah, karena air mendistribusikan banyak fotosintat ke bagian buah. Kebutuhan air tanaman menunjukkan peningkatan seiring kenaikan suhu udara, saat memasuki bulan kering (Mei–November)

ketersediaan air semakin menurun dan meningkat kembali saat memasuki periode bulan basah. Dampak perubahan iklim yang menyebabkan kenaikan suhu udara mengakibatkan semakin cepatnya penguapan air, sedangkan penurunan curah hujan berdampak pada berkurangnya ketersediaan air sehingga pada beberapa fase pertumbuhan dapat terjadi kekurangan air. Saat tanaman kekurangan air maka akar tanaman akan terganggu dalam menyerap unsur hara dan mengganggu proses fisiologi tanaman kakao.

Dampak perubahan iklim pada potensi reduksi produksi tanaman kakao

Bulan defisit menjadi permasalahan ketersediaan air pada tanaman kakao yang secara umum terjadi pada bulan Mei–November. Kondisi reduksi produksi (Tabel 7) terjadi pada ketiga lokasi penelitian dan pada seluruh skenario perubahan iklim, karena pada C0 atau data acuan periode 2011–2020 telah mengalami reduksi, sehingga dengan adanya perubahan iklim menyebabkan peningkatan nilai reduksi. Kebutuhan air tanaman kakao pada skenario C0 sebesar 1298 mm tahun⁻¹. Peningkatan suhu sebesar 0,5 0,7; dan 1 °C menyebabkan peningkatan kebutuhan air menjadi 1312 mm tahun⁻¹, 1321 mm tahun⁻¹, dan 1328 mm tahun⁻¹. Nilai ETp lebih besar dibandingkan AE pada setiap skenario dan lokasi penelitian yang menyebabkan reduksi produksi. Reduksi produksi meningkat pada setiap peningkatan suhu yang dikombinasikan dengan penurunan curah hujan, sehingga semakin besar peningkatan dan penurunan curah hujan maka ketersediaan air dalam tanah berkurang. Menurut Sakiroh *et al.* (2015), kekeringan dapat menurunkan mengakibatkan kematian tanaman belum menghasilkan (TBM) maupun tanaman menghasilkan (TM).

Tabel 7. Dampak skenario perubahan iklim terhadap kebutuhan air dan potensi reduksi produksi tanaman kakao.

Skenario	Dampit			Donomulyo			Kromengan		
	ETp (mm)	AE (mm)	PR (%)	ETp (mm)	AE (mm)	PR (%)	ETp (mm)	AE (mm)	PR (%)
C0	1208,1	1094,7	6,6	1178,2	1020,3	9,4	1178,2	976,1	12,0
C1	1196,2	1042,1	9,0	1191,7	1019,4	10,1	1191,7	969,7	13,0
C2	1196,2	1034,5	9,5	1191,7	1008,8	10,7	1191,7	955,5	13,9
C3	1191,9	896,2	17,4	1187,2	871,2	18,6	1187,2	828,4	21,2
C4	1197,3	929,0	15,7	1192,6	907,4	16,7	1192,6	870,0	18,9
C5	1197,3	917,9	16,3	1192,6	895,0	17,5	1192,6	855,6	19,8
C6	1197,3	899,6	17,4	1192,6	874,6	18,7	1192,6	831,5	21,2
C7	1205,5	934,4	15,7	1200,8	912,6	16,8	1200,8	874,7	19,0
C8	1205,5	923,2	16,4	1200,8	900,1	17,5	1200,8	860,3	19,9
C9	1205,5	904,8	17,5	1200,8	879,6	18,7	1200,8	836,0	21,3

Menurut Useng *et al.* (2013) penurunan produksi kakao akibat kekeringan yang sering terjadi pada bulan Juli hingga September dapat mencapai 10–65% dari total produksi. Skenario C0 menunjukkan reduksi produksi paling rendah pada setiap lokasi penelitian sedangkan skenario C9 menunjukkan reduksi produksi yang paling tinggi. Skenario C9 ($\Delta T+1$ °C, $\Delta H-20\%$), tanaman kakao mengalami peningkatan kebutuhan air yang sangat tinggi sedangkan pemenuhan kebutuhan air tanaman kakao rendah akibat berkurangnya ketersediaan air dalam tanah. Faktor yang memengaruhi ETp adalah iklim sedangkan AE didapatkan dengan memasukkan data karakteristik tanah yaitu jumlah air tersedia dalam tanah. Menurut Wahjunie *et al.* (2008) kadar air pada kondisi di bawah air tersedia menyebabkan tanaman mulai kesulitan dalam menyerap air, sehingga sebagian stomata tanaman menutup dan terjadi AE yang besarnya dibawah ETp.

Kesimpulan

Perubahan iklim tidak berdampak besar terhadap sebaran bulan surplus dan defisit. Tidak terjadi perubahan periode bulan defisit, namun terjadi penurunan periode bulan surplus di lokasi Donomulyo pada set skenario dengan peningkatan suhu yang dikombinasikan dengan penurunan curah hujan 20% yaitu skenario C3, C6, dan C9. Seiring dengan peningkatan suhu dan penurunan curah hujan yang disimulasikan dengan kombinasi set skenario, dihasilkan adanya peningkatan kebutuhan air tanaman kakao sebesar 1,08–2,31% dan penurunan ketersediaan air dalam tanah yang dipengaruhi oleh kemampuan tanah dalam menyimpan air. Ketersediaan air selama periode bulan kering tidak dapat mencukupi kebutuhan air tanaman. Perubahan iklim berpengaruh terhadap reduksi produksi tanaman kakao di setiap skenario. Reduksi produksi terjadi akibat tidak tercukupinya kebutuhan air tanaman pada fase awal, perkembangan, dan akhir yang termasuk dalam bulan defisit. Potensi reduksi produksi tertinggi yaitu lokasi Kromengan di setiap skenario hingga mencapai 21,3% pada skenario C9 ($\Delta T+1$ °C, $\Delta H-20\%$).

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pemilik lahan kakao yang telah memfasilitasi pelaksanaan penelitian dan Pranata Laboratorium Pendidikan Fakultas

Pertanian Universitas Brawijaya yang membantu proses analisis sampel tanah.

Daftar Pustaka

- Ahmeida, A.A.F.D. and Valle, R. 2007. Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19(4):1-12, doi:10.1590/S1677-04202007000400011
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. *Crop Evapotranspiration - Guidelines for Computing Crop Water Requirements - FAO Irrigation and Drainage Paper 56*. Water Resources, Development, and Management Service FAO. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Ayu, I.W., Prijono, S. dan Soemarno. 2013. Evaluasi ketersediaan air tanah lahan kering di Kecamatan Unter Iwes, Sumbawa Besar. *Jurnal Pembangunan dan Alam Lestari* 4(1):18–25.
- Dianitasari, R. dan Purnama, S. 2017. Analisis neraca air hidrometeorologis dengan pendekatan karakteristik fisik DAS Gondang, Kabupaten Nganjuk, Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Bumi Indonesia* 6(1):1-8.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2016. *Statistik Perkebunan Indonesia Tree Crop Estate Statistics of Indonesia: 2015-2017 Kakao*. Jakarta: Direktorat Jenderal Perkebunan.
- Ichsan, C.N., Hayati, M., dan Mashtura, S.P. 2010. Respon kedelai kultivar Kipas Putih dan Wilis pada kadar air tanah yang berbeda terhadap pertumbuhan dan hasil. *Jurnal Agrista* 14(1):29–29.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. 2007. *General Guidelines on The Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment. Version 2*. Prepared by T.R. Carter on behalf of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment. p.66.
- Irianto, G. dan Surmaini, E. 2002. Analisis potensi dan kebutuhan air untuk menyusun rekomendasi irigasi suplementer tanaman tebu lahan kering. *Jurnal Tanah dan Iklim* 20:1–12.
- Kabupaten Malang dalam Angka [KMDA]. 2012. *Kabupaten Malang Dalam Angka Tahun 2012 Edisi 2013*. Malang: Pemerintah Kabupaten Malang.
- Moser, G., Leuschner, C., Hertel, D., Hölscher, D., Köhler, M., Leitner, D., Michalzik, B., Prihastanti, E., Tjitrosemito, S, and Schwendenmann, L. 2010. Response of cacao trees (*Theobroma cacao*) to a 13-month desiccation period in Sulawesi, Indonesia. *Agroforestry Systems* 79:171–187.
- Omolaja, S.S., Aikpokpodion, P., Oyediji S. and Vwioko, D.E. 2009. Rainfall and temperature effects on flowering and pollen productions in cocoa. *African Crop Science* 17(1):41–48.
- Prijono, S. 2009. *Agrohidrologi Praktis*. Cakrawala Indonesia. Malang.

- Riebeek, H. 2010. Global Warming. <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/GlobalWarming>. Diunduh pada tanggal 5 Februari 2021.
- Sakiroh, Sobari, I. dan Herman, M. 2015. Teknologi mengurangi dampak perubahan iklim pada kakao di lahan kering. *Jurnal Sirinov* 3(2):55–66.
- Salsabila, A. dan Nugraheni, I. L. 2020. Pengantar Hidrologi. Bandar Lampung: Penerbit Aura.
- Setiawan, O. 2012. Analisis variabilitas curah hujan dan suhu di Bali. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan* 9(1):66–79.
- Suroso, D.S.A., Abdurahman, O. and Setiawan, B. 2010. Impacts of Climate Change on the Sustainability of Water Supply in Indonesia. *Proceedings of the Second International Workshop on Water Supply Management System and Social Capital*. March 15-16. Sepuluh Nopember Institute of Technology. Surabaya.
- Thorntwaite, C.W. and Mather, J.R. 1957. Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance. Publ. in *Climatology*, vol.10, no.3, C.W. Thorntwaite & Associates, Centerton, New Jersey
- Tusi, A., Rosadi, B. dan Triana, M. 2012. pendugaan kebutuhan air tanaman nanas (*Ananas comosus* L. Merr) menggunakan model CROPWAT. *Jurnal Irigasi* 7(1):43–51.
- Useng, D., Ali, H. dan Achmad, M. 2013. Deteksi penyebaran stres tanaman kakao akibat kekeringan dan serangan hama penyakit dengan citra satelit. Universitas Hasanudin, Makasar.
- Wahjunie, E.D., Haridjaja, O., Soedodo, H. dan Sudarsono. 2008. Pergerakan air pada tanah dengan karakteristik pori berbeda dan pengaruhnya pada ketersediaan air bagi tanaman. *Jurnal Tanah dan Iklim* 28:15–26.