

Jurnal
**TANAMAN INDUSTRI
DAN PENYEGAR**
Journal of Industrial and Beverage Crops
Volume 4, Nomor 1, Maret 2017

**ANALISIS AGROEKOLOGI DAN KEBUTUHAN IRIGASI SUPLEMEN UNTUK
TANAMAN KAKAO DI PROVINSI LAMPUNG**

***ANALYSIS OF AGROECOLOGY AND THE REQUIREMENT OF SUPPLEMENTAL IRRIGATION ON
CACAO PLANTS IN LAMPUNG***

* Bariot Hafif

Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar
Jalan Raya Pakuwon Km 2 Parungkuda, Sukabumi 43357 Indonesia
* *hafif_bariot@yahoo.co.id*

(Tanggal diterima: 18 Januari 2017, direvisi: 14 Februari 2017, disetujui terbit: 30 Maret 2017)

ABSTRAK

Salah satu faktor yang mempengaruhi produktivitas tanaman kakao ialah ketersediaan air. Defisit air berpengaruh negatif terhadap perkembangan bunga dan biji. Cekaman air dilaporkan sebagai salah satu penyebab rendahnya produktivitas tanaman perkebunan di Provinsi Lampung. Tujuan penelitian adalah menganalisis karakteristik agroekologi dan kebutuhan irigasi suplemen untuk pertumbuhan dan produksi tanaman kakao. Penelitian dilaksanakan di Kabupaten Pesawaran, Tanggamus, Lampung Timur, dan Lampung Selatan, Provinsi Lampung, mulai tahun 2012 sampai 2015. Metode penelitian adalah survei dan studi literatur untuk pengumpulan data primer dan data sekunder. Secara geografis areal penanaman kakao utama di daerah Lampung dibagi atas dua wilayah, yaitu wilayah barat yang terdiri atas Kabupaten Pesawaran dan Tanggamus dan wilayah timur yang terdiri atas Kabupaten Lampung Timur dan Lampung Selatan. Secara zona agroekologi penanaman kakao di kedua wilayah tersebut sesuai dengan rekomendasi penggunaan. Akan tetapi analisis kesesuaian lahan menunjukkan beberapa karakteristik agroekologi lahan menjadi faktor pembatas untuk pertumbuhan dan produksi kakao, antara lain pH tanah masam ($\leq 5,5$), kapasitas tukar kation (KTK) tanah rendah ($< 16 \text{ cmol}(+)/\text{kg}$), kelembapan udara $> 75\%$, dan di sebagian tempat ada bahaya erosi. Kendala lain ialah defisit air yang terjadi hampir selama 140 hari dalam waktu 1 tahun siklus pertumbuhan kakao yang terjadi pada bulan Juli sampai dengan pertengahan November. Agar produksi kakao di Provinsi Lampung meningkat, selain perlu perbaikan teknologi budi daya untuk mengatasi karakteristik agroekologi sebagai faktor pembatas pertumbuhan kakao, juga perlu aplikasi irigasi suplemen untuk menghindari kakao dari cekaman air, masing-masing di wilayah barat 340,5 mm dan di wilayah timur 209,7 mm.

Kata kunci: Kakao, agroekologi, ketersediaan air, irigasi suplemen, Lampung

ABSTRACT

One of the factors that affect the productivity of cacao plants is water availability. Water deficit will negatively affect the development of cacao flowers and beans. Water stress is reported as one of the causes of low productivity on plantation crops in Lampung Province. The study was aimed to analyze the characteristics of agroecology and supplemental irrigation required for growth and production of cacao in Lampung. The research was carried out in the District of Pesawaran, Tanggamus, East Lampung, and South Lampung, Lampung Province, from 2012 to 2015. The study was conducted with the survey method and literature study for the collection of the primary and secondary data, related to the characteristics of the land agroecology. Geographically, the main cacao growing areas in this region is divided into two regions, western region consist of Pesawaran and Tanggamus District and east region comprise of East Lampung and South Lampung District. Based on agroecological zones, the planting of cacao in both regions is in accordance with the recommendations of land use. However, land suitability analysis showed that some of the agroecological characteristics of land becomes a limiting factor for the growth and production of cacao, including soil pH ≤ 5.5 , low cations exchange capacity (CEC) ($< 16 \text{ cmol}(+)/\text{kg}$), air humidity $> 75\%$, and in some areas there is an erosion hazard. Another obstacle is the water deficit that occurs

during 140 days within 1 year of cacao growth cycle that occurred in July until mid-November. There are two factors that can be applied to increase cacao productivity in Lampung province, i.e. (1) an improvement of cacao cultivation technology that can address the characteristics of agroecology as a limiting factor of growth, and (2) an application of a supplemental irrigation technology to avoid cacao from water stress. The requirement of supplemental irrigation is 340.5 mm in western region and 209.7 mm in eastern region of Lampung.

Keywords: Cacao, agroecology, available water, supplemental irrigation, Lampung

PENDAHULUAN

Salah satu faktor yang mempengaruhi produktivitas tanaman kakao ialah ketersediaan air atau curah hujan (Almeida & Valley, 2007). Tanaman kakao dikategorikan sebagai tanaman yang sensitif terhadap kekeringan (Carr & Lockwood, 2011). Kondisi defisit air akan lebih berpengaruh negatif terhadap hasil biji daripada pertumbuhan kakao (Moser *et al.*, 2010). Radiasi matahari dan temperatur tinggi serta perbedaan kelembapan (tekanan uap) di udara dan di daun selama periode kekeringan/defisit air, berdampak negatif terhadap asimilasi CO₂ di dalam proses metabolisme kakao. Akibatnya, pertumbuhan dan produksi kakao menurun (Araque *et al.*, 2012). Selain terhadap perkembangan biji (Osei-Bonsu, Ameyaw, Amoah, & Oppong, 2002; Oyekale, Bolaji, & Olowa, 2009; Moser *et al.*, 2010), ketersediaan air juga berpengaruh pada fase perbenihan (Razi, Halim, Kamariah, & Noh, 1992) dan periode pembentukan bunga (Wood, 1975 cited in Omolaja, Aikpokpodion, Oyedeji, & Vwioko, 2009). Lebih lanjut dilaporkan Mommer (1999) bahwa sekitar 80% dari buah muda (*cherelle*) tidak akan mencapai matang akibat layu (*cherelle wilt*). Salah satu penyebabnya ialah adanya kompetisi dengan pertumbuhan vegetatif dalam penggunaan air. Risiko kehilangan buah muda ini akan berjalan selama kurang lebih 3 bulan dan dampaknya dilaporkan menurut Lubis (1986) dapat menurunkan hasil kakao sampai 32% di perkebunan Bukit Sentang, Sumatera Utara.

Aplikasi irigasi suplemen untuk memenuhi kebutuhan air kakao dapat meningkatkan hasil biji kering dari 1.150–1.500 kg/ha/tahun menjadi 1.450–2.400 kg/ha/tahun (Huan, Yee, & Wood, 1986). Kebutuhan air tanaman kakao berbeda untuk pola penanaman yang berbeda. Kohler, Dierick, Schwendenmann, & Ischer (2009) melaporkan bahwa kebutuhan air kakao untuk penanaman sistem monokultur sekitar 1,2 mm/hari, dengan tanaman pelindung glirisidia sekitar 2,2 mm/hari, dan untuk multi-spesies (*agroforestry system*) sekitar 1,1 mm/hari. Di sisi lain, setiap klon kakao memiliki tingkat kerentanan yang berbeda terhadap cekaman air sehingga beberapa negara produsen kakao dunia seperti Kolumbia, Equador, dan Venezuela terus berupaya mendapatkan varietas kakao unggul yang lebih toleran terhadap kekeringan (Araque *et al.*, 2012).

Salah satu wilayah penghasil kakao di pulau Sumatera adalah Provinsi Lampung. Daerah penghasil kakao utama di wilayah ini ialah Kabupaten Pesawaran, Tanggamus, Lampung Selatan, dan Lampung Timur dengan luas areal penanaman masing-masing 14.848, 16.711, 15.186, dan 12.220 ha (Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung, 2016). Rata-rata produktivitas kakao di Provinsi Lampung pada tahun 2015 sekitar 660 kg/ha/tahun (Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung, 2016). Direktorat Jenderal Perkebunan (2015) melaporkan produktivitas kakao di daerah ini pada tahun 2014 sebesar 482 kg/ha, lebih tinggi dibandingkan dengan rata-rata produktivitas kakao nasional, yaitu 422 kg/ha. Menurut Irianto & Surmaini (2002), salah satu unsur utama penyebab rendahnya produktivitas tanaman perkebunan di Provinsi Lampung adalah cekaman air yang merupakan dampak dari kejadian *el-nino* sebagai akibat dari perubahan iklim global.

Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik agroekologi dan kebutuhan irigasi suplemen bagi pertumbuhan dan produksi tanaman kakao di daerah Lampung. Hasil interpretasi ini diharapkan dapat menjadi salah satu bahan pertimbangan dalam upaya meningkatkan produktivitas kakao di daerah tersebut.

BAHAN DAN METODE

Daerah penelitian adalah empat kabupaten penghasil utama kakao di Provinsi Lampung, yaitu Kabupaten Pesawaran, Tanggamus, Lampung Selatan, dan Lampung Timur. Secara geografis, Kabupaten Pesawaran terletak pada posisi 5°10'–5°50' Bujur Timur (BT) dan 105°–105°20' Lintang Selatan (LS), Kabupaten Tanggamus pada posisi 104°18'–105°12' BT dan 05°05'–05°56' LS, Kabupaten Lampung Timur pada posisi 105°15'–106°20' BT dan 4°37'–5°37' LS, serta Kabupaten Lampung Selatan pada posisi 105°14'–105°45' BT dan 5°15'–6°00' LS. Berdasarkan letak geografis tersebut, keempat daerah penghasil kakao dibagi menjadi dua wilayah, yaitu (1) wilayah barat Lampung yang terdiri atas Kabupaten Pesawaran dan Kabupaten Tanggamus serta (2) wilayah timur Lampung yang terdiri atas Kabupaten Lampung Timur dan Lampung Selatan (Gambar 1).



Gambar 1. Peta administrasi daerah utama penghasil kakao di wilayah barat (Pesawaran dan Tanggamus) dan wilayah timur (Lampung Timur dan Lampung Selatan) Provinsi Lampung

Figure 1. Administration map of main cacao production areas in western region (Pesawaran and Tanggamus) and eastern region (East and South Lampung) of Lampung Province

Penelitian menggunakan metode survei dan studi literatur untuk pengumpulan data primer dan data sekunder. Studi literatur antara lain mempelajari aplikasi perangkat lunak (*software*) Cropwat 8.0 (Food and Agriculture Organization [FAO], 2009). *Software* tersebut diciptakan oleh FAO untuk membantu praktisi pertanian dalam menghitung kebutuhan air tanaman, kebutuhan irigasi, dan jadwal aplikasi irigasi, berdasarkan data iklim dan data tanaman (Smith, 1996).

Survei dilakukan untuk karakterisasi sifat agroekologi lahan dalam rangka zonasi/perwilayahan komoditas unggulan di Provinsi Lampung. Survei dilakukan dalam rentang waktu yang cukup lama, yaitu dari tahun 2012 hingga 2015. Data karakteristik agroekologi lahan penanaman kakao yang diidentifikasi, meliputi ketinggian tempat (m dpl), kemiringan lahan (%), bahaya erosi, dan data terkait kualitas lahan, seperti tekstur, kondisi drainase, kedalaman tanah (cm), bahan kasar (%), dan batuan di permukaan (%). Selain itu, diidentifikasi beberapa sifat kimia tanah sebagai faktor penentu tingkat kesesuaian lahan untuk pengembangan kakao, yaitu pH tanah, C-organik, kapasitas tukar kation (KTK), dan kejenuhan basa (KB) (Djaenudin, Marwan, Subagyo, Mulyani, & Suharta, 2000). Sifat-sifat kimia tanah diketahui melalui analisis contoh tanah di laboratorium.

Data sekunder yang dikumpulkan terutama meliputi data curah hujan (CH) dan unsur-unsur iklim lainnya, seperti suhu udara, kelembapan udara relatif, kecepatan angin, dan lama penyinaran matahari. Sumber data iklim, antara lain Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Provinsi Lampung; Badan Perlindungan Tanaman Pangan dan Hortikultura (BPTPH) Provinsi Lampung; serta World Weather and Climate Information (2016). Data rata-rata curah hujan (CH) 10 tahunan (2002–2013) digunakan untuk penentuan ketersediaan air dan kebutuhan irigasi suplemen. Data CH juga digunakan untuk mengetahui tipe iklim di wilayah kajian sesuai Schmidt & Ferguson (1951), yaitu tipe iklim yang ditetapkan berdasarkan nilai $Q = BK / BB \times 100\%$; BK adalah bulan kering ($CH < 60$ mm) dan BB adalah bulan basah ($CH > 100$ mm).

Analisis ketersediaan air (neraca air) dan kebutuhan air tanaman kakao (ET kakao) diarahkan untuk tanaman kakao yang telah menghasilkan (TM) dengan menggunakan program Cropwat 8.0 (FAO, 2009). Formula yang digunakan untuk kalkulasi ET kakao berdasarkan pada pendapat Allen, Pereira, Raes, & Smit (2006) sebagai berikut:

$$ET \text{ kakao} = ET_o \times K_c$$

Keterangan:

ET_o = evapotranspirasi standar
 K_c (*crops coefficient*) = persentase ET_o yang digunakan oleh tanaman dan tergantung pada fase pertumbuhan tanaman

Untuk menghitung nilai ET_o , FAO merekomendasikan metode Penman-Montieth (Allen *et al.*, 2006). Parameter yang berpengaruh terhadap nilai ET_o ialah temperatur minimum dan maksimum ($^{\circ}C$), kelembapan udara relatif (%), kecepatan angin (m/detik), dan lama penyinaran matahari (jam).

Nilai K_c tanaman kakao, khususnya untuk daerah semi lembap (*sub humid*), telah direkomendasikan oleh FAO (Allen *et al.*, 2006). Nilai K_c tersebut dibagi atas tiga fase: (1) K_c fase awal (K_{c1}), yaitu koefisien yang digunakan untuk menghitung kebutuhan air tanaman (ET) bagi pertumbuhan vegetatif, seperti pembentukan tunas dan daun baru pada tanaman TM; (2) K_c fase pertengahan (K_{c2}), yaitu air yang dibutuhkan pada fase pertumbuhan vegetatif akhir sampai pertumbuhan generatif; dan (3) K_c fase akhir (K_{c3}), yaitu air yang dibutuhkan untuk fase pematangan buah.

Nilai K_c dari FAO hanya berlaku untuk daerah dengan kelembapan relatif (RH) minimum 45% dan RH rata-rata sebesar 70%, sedangkan untuk daerah yang lebih lembap, seperti daerah tropik, nilai K_c dipengaruhi oleh dua faktor, yakni kelembapan udara relatif (%) dan kecepatan angin (m/detik) (Allen *et al.*, 2006). Untuk daerah tropik, RH minimum sekitar 70% dan RH rata-rata sekitar 85%. Nilai-nilai K_c harus disesuaikan dan formula untuk penyesuaian nilai K_c tanaman kakao di daerah tropik sebagai berikut (Fipps, 2004):

K_{c1} = nilai K_{c1} kakao untuk daerah tropis (lembap) dengan kisaran 70% penutupan kanopi sesuai rekomendasi Rogers, Allen, & Calvert (1983).

$$K_{c2} = K_{c2 \text{ tabel}} - 0,0015 RH_{\min} + 0,01 U_2$$

$$K_{c3} = K_{c3 \text{ tabel}} - 0,0015 RH_{\min} + 0,01 U_3 \text{ ketika } K_{c3} \geq 0,4$$

Keterangan:

RH_{\min} = kelembapan relatif minimum

U = kecepatan angin

Nilai K_{c1} untuk tanaman kakao TM, berlaku dari saat setelah panen raya sampai tumbuhnya kembali daun-daun baru menggantikan daun yang menua. Seperti dikemukakan FAO (2007), tanaman kakao dapat

dikategorikan sebagai tanaman semi penggugur daun (*semi-deciduous cauliflorous tree*), yaitu menggugurkan sebagian daun selama 2–4 kali dalam satu tahun. Rogers *et al.* (1983) mengemukakan bahwa setelah panen raya, sebagian tanaman akan menggugurkan daun sehingga penutupan kanopi tanaman diperkirakan hanya sekitar 70%. Hal itu menyebabkan nilai $K_{c1} < K_{c1}$ standar (1,0).

CH sebagai sumber air utama tanaman tidak semuanya tersedia bagi tanaman. CH yang tersedia adalah CH efektif (P_{eff}), yaitu bagian dari air hujan yang masuk ke dalam tanah (infiltrasi) dan tersimpan di daerah perakaran. Salah satu cara untuk memprediksi besaran CH efektif di daerah tropik adalah menggunakan formula United States Department of Agriculture Soil Conservation Service (USDA-SCS) sebagai berikut (FAO, 2009):

CH efektif = Rata-rata CH \times (125–0,2/125) untuk CH < 250 mm/bulan atau

CH efektif = 125 + 0,1 \times rata-rata CH untuk CH > 250 mm/bulan

Faktor lain yang merupakan parameter penting dalam penetapan jumlah kebutuhan air kakao adalah deplesi ketersediaan air di zona perakaran (*critical depletion* = p) dan faktor respons hasil (*yield response factor* = K_y), yaitu pengaruh dari perubahan atau penurunan evapotranspirasi (ET) terhadap kehilangan hasil (Allen *et al.*, 2006). Formula yang digunakan untuk penyesuaian nilai p di daerah tropik, sebagai berikut:

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

p_{Tabel} adalah nilai deplesi kritis (p) sebagaimana hasil penelitian FAO (Allen *et al.*, 2006), sedangkan formula untuk penyesuaian nilai faktor respons hasil (K_y) pada setiap fase pertumbuhan, sebagai berikut (Steduto, Hsiao, Fereres, & Raes, 2012):

$$(1 - Y_a/Y_x) = K_y(1 - ET_a/ET_c)$$

Keterangan:

Y_a dan Y_x = hasil aktual dan hasil maksimum

ET_a dan ET_x = evapotranspirasi aktual dan evapotranspirasi maksimum

Etc = evapotranspirasi tanaman

K_y = faktor respons hasil

Data lain yang diinput ke dalam modul program Cropwat 8.0 (FAO, 2009) ialah sifat-sifat tanah terkait dengan ketersediaan kelembapan tanah (mm/m), kecepatan infiltrasi (mm/hari), kedalaman akar maksimum (cm), deplesi kelembapan tanah awal (%), dan awal kelembapan tanah tersedia untuk tanaman (mm/m).

Program Cropwat selanjutnya menganalisis data iklim dan modul-modul tersebut untuk proses penetapan ketersediaan air dan kalkulasi kebutuhan air untuk tanaman kakao, yaitu dalam dua tahap. Tahap pertama berupa hasil kalkulasi ketersediaan dan defisit air pada berbagai fase pertumbuhan tanaman per 10 hari (dekade). Tahap kedua berupa rekomendasi jadwal aplikasi irigasi suplemen. Jadwal aplikasi irigasi suplemen ditetapkan sebelum kelembapan tanah sampai pada fase deplesi kritis (kelembapan 30% dari ketersediaan kelembapan tanah). Menurut Alvim (1960) *cited in* Almeida & Valle (2007), sesungguhnya respons fisiologi dari tanaman kakao sudah dimulai saat kandungan air tanah di bawah 60%–70% kapasitas air tanah tersedia.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Umum Agroekologi

Hampir sebagian besar perkebunan kakao di Provinsi Lampung berupa perkebunan rakyat. Penanaman kakao di daerah ini banyak dilakukan pada lahan dengan kategori agroekologi zona III/ax2 dan zona II/ax2. Zona III/ax2, yaitu lahan kering dengan kemiringan 8%–15%, sedangkan zona II/ax2 kemiringan lahannya mencapai 16–40% (Mulyani, 2001). Secara agroekologi, zona III/ax2 dan zona II/ax2 direkomendasikan untuk pengembangan tanaman industri (tahunan), baik dalam pola wanatani maupun monokultur. Namun, sebagian wilayah Kabupaten Lampung Timur termasuk zona IV/ax2, yaitu lahan kering dengan kemiringan < 8%, yang direkomendasikan untuk pengembangan tanaman semusim, tetapi banyak digunakan untuk penanaman tanaman kakao.

Tanah pada kedua zona III/ax2 dan II/ax2 didominasi oleh tanah masam Inseptisols (*Dystrandepts*) dan Ultisols (*Hapludults* dan *Kanhapludults*) (Dai *et al.*, 1989; Hidayat *et al.*, 1989). Di wilayah barat (Pesawaran dan Tanggamus), tekstur tanah tergolong kategori halus sampai agak halus (liat, liat berlempung)

pada kedalaman tanah 0–60 cm, rata-rata pH tanah 4,9 dan kandungan C-organik 1,28% (kategori rendah), KTK 13,198 (cmol(+)/kg) (kategori rendah) dan KB 68,29% (kategori sedang) (Tabel 1). Di wilayah timur (Lampung Timur dan Lampung Selatan) tekstur tanahnya kategori halus (liat, liat berlempung) sampai sedang (lempung, lempung berliat, lempung liat berpasir), dengan rata-rata pH tanah 5,5, kandungan C-organik 1,53% (kategori rendah), KTK 9,96 (cmol(+)/kg) (kategori rendah), dan KB 62,21 (kategori sedang) (Tabel 1).

Mengacu kepada kriteria kesesuaian lahan untuk tanaman kakao (Djaenudin *et al.*, 2000) maka pengembangan kakao terutama pada lahan zona II/ax2, akan berhadapan dengan faktor pembatas bahaya erosi (*erosion hazard*). Faktor pembatas lainnya adalah sifat-sifat kimia tanah. Di wilayah barat pengembangan kakao akan berhadapan dengan faktor pembatas pertumbuhan dan produksi, yaitu pH tanah kategori masam (pH 4,9), kandungan C-organik rendah (< 1,5%), dan KTK (< 16 cmol(+)/kg) (Tabel 1), sementara di wilayah timur yang menjadi faktor pembatas pertumbuhan dan produksi kakao ialah pH tanah (5,5) dan KTK tanah (< 16 cmol(+)/kg). Berdasarkan faktor-faktor pembatas pertumbuhan tanaman tersebut maka lahan di kedua wilayah termasuk kategori sesuai marginal (S3) untuk pengembangan kakao. Menurut Pietraszewska (2001), pH tanah masam dan KTK tanah rendah akan menyebabkan retensi hara (*nutrient retention*) tinggi sehingga tanaman kesulitan dalam memanfaatkan hara tanah.

Sifat agroekologi lainnya yang menjadi faktor pembatas pertumbuhan dan produksi kakao adalah kelembapan udara. Menurut Djaenudin *et al.*, (2000) pertumbuhan dan produksi tanaman akan terganggu apabila kelembapan udara relatif > 75% (kesesuaian lahan S3). Seperti dilaporkan Nurhayati, Nuryadi, Basuki & Indawansani, (2010), BMKG Provinsi Lampung (2011) dan BPTPH Provinsi Lampung (2015) bahwa kelembapan udara di kedua daerah kajian adalah 78%–85%.

Table 1. Rata-rata beberapa sifat kimia tanah pada kedalaman 0–60 cm, sebagai salah satu parameter dalam penentuan tingkat kesesuaian lahan untuk pengembangan kakao

Table 1. *The average of some chemical properties of soil at a depth of 0–60 cm, as one of the parameters in determining the level of land suitability for the development of cacao plants*

Lokasi	pH (H ₂ O)	C (%)	KTK (cmol(+)/kg)	KB (%)
Wilayah barat (Pesawaran dan Tanggamus)	4,9	1,28	13,19	68,29
Wilayah timur (Lampung Timur dan Selatan)	5,5	1,53	9,96	62,21

Keterangan: KTK = kapasitas tukar kation; KB = kejenuhan basa

Notes : CEC = cations exchange capacity; BS = base saturation

Karakteristik Iklim

a. Wilayah barat Lampung

Berdasarkan klasifikasi iklim Schmidt & Ferguson (1951), areal pengembangan kakao di wilayah barat Lampung sebagian besar berada di bawah tipe iklim B (kategori basah), yaitu daerah dengan nilai $Q = 25\%$. CH tahunan di wilayah barat sebesar 1.800–1.900 mm dan CH efektif sesuai dengan formula USDA - SCS (FAO, 2009), yaitu 1.252 mm atau sekitar 68,4% dari total CH tahunan (Tabel 2). Di wilayah ini terjadi bulan kering selama 2 bulan dan bulan basah selama 8 bulan. BMKG Provinsi Lampung (2011) dan BPTPH Provinsi Lampung (2015) melaporkan rata-rata suhu udara bulanan di kawasan ini adalah 25,4–27,5°C, rata-rata kelembapan udara bulanan antara 69%–84% yang tergolong kategori lembap, dan rata-rata kecepatan angin bulanan 2–4 m/detik (Tabel 2) termasuk kategori sedang sampai agak kuat (Allen *et al.*, 2006).

b. Wilayah timur Lampung

Berdasarkan klasifikasi iklim Schmidt & Ferguson (1951), wilayah timur Lampung berada dalam tipe iklim C (nilai $Q = 33,3\%$). Hal ini sesuai dengan yang dikemukakan Surmaini & Irianto (2001), yaitu tergolong daerah agak basah. Daerah ini secara umum memiliki bulan kering selama 2 bulan dan bulan basah selama 6–7 bulan. Bulan kering terjadi pada bulan Agustus dan September. Rata-rata total CH tahunan di kawasan Lampung Selatan dan Lampung Timur sebesar 1.500–1.800 mm (Surmaini & Irianto, 2001; Nurhayati *et al.*, 2010) dan CH efektif sekitar 76,4% dari total CH tahunan, yaitu sebesar 1.122 mm (Tabel 3). Rata-rata kelembapan udara bulanan 79%–88%, rata-rata suhu udara bulanan 26,9–28,1°C, dan kecepatan angin 1,0–1,4 m/detik (Tabel 3). Kelembapan udara di wilayah ini tergolong kategori lembap dan kecepatan angin tergolong kategori ringan sampai sedang (Allen *et al.*, 2006).

Tabel 2. Karakteristik iklim bulanan di daerah pananaman kakao di wilayah barat Lampung (tahun 2002 s.d. 2013)

Table 2. The average of monthly climate elements in cacao growing regions in western area of Lampung (from 2002 to 2013)

Tahun	Jan.	Peb.	Mar	April	Mei	Juni	Juli	Agus	Sept	Okt	Nov	Des	Rata-rata
Rata-rata suhu (°C)	25,6	26,6	26,3	26,9	27,1	26,8	25,4	26,9	27,5	27,2	27,4	26,9	27,0
Kelembapan (%)	80	82	84	81	81	79	77	72	69	76	77	81	78,3
Angin (m/detik)	3	3	3	2	2	3	2	3	4	3	2	3	2,7
Lama penyinaran matahari (jam)	6,0	5,0	5,7	5,4	5,8	5,9	5,7	6,6	6,0	5,9	4,6	5,0	5,6
ETo (mm)	4,73	4,24	4,26	4,04	3,86	4,07	3,71	4,91	5,71	4,87	4,21	4,25	4,40
CH (mm)	285	248	226	164	127	77	77	48	54	114	138	271	1831*
CH efektif (mm)	153	150	144	121	101	68	68	45	50	93	108	152	1252*

Keterangan: ETo = evapotranspirasi standar; CH = curah hujan; * = curah hujan tahunan

Notes : ETo = standard evapotranspiration; CH = rainfall; * = annually rainfall

Tabel 3. Rata-rata unsur iklim bulanan di daerah pananaman kakao di wilayah timur Lampung (tahun 2002 s.d. 2013)

Table 3. The average of monthly climate elements in cacao growing regions in eastern region of Lampung (from 2002 to 2013)

Tahun	Jan.	Peb.	Mar	April	Mei	Juni	Juli	Agus	Sept	Okt	Nov	Des	Rata-rata
Rata-rata suhu (°C)	27,7	27,4	27,8	28,1	28,1	27,3	26,9	27,2	28,1	27,9	27,5	27,7	27,6
Kelembapan (%)	87	88	88	88	87	86	87	82	79	78	83	87	85
Angin (m/detik)	1,3	1,3	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,2	1,4	1,4	1,2	1,2	1,2
Lama penyinaran matahari (jam)	6,0	5,0	5,7	5,4	5,8	5,9	5,7	6,6	6,0	5,9	4,6	5,0	5,6
ETo (mm)	4,09	3,98	4,06	3,67	3,42	3,24	3,25	3,81	4,03	4,2	3,76	3,76	3,77
CH (mm)	201	194	167	147	99	92	94	40	52	67	116	198	1467*
CH Efektif (mm)	136	134	122	113	83	79	80	37	48	60	95	135	1122*

Keterangan: ETo = evapotranspirasi standar; CH = curah hujan; * = curah hujan tahunan

Notes : ETo = standard evapotranspiration; CH = rainfall; * = annually rainfall

Koefisien Tanaman (Kc) Kakao di Daerah Tropik

Nilai Kc masing-masing tanaman yang direkomendasikan FAO, didapatkan dari hasil penelitian di daerah semi lembap (sub humid). Hasil konversi nilai Kc tanaman kakao dari daerah semi lembap tersebut ke daerah lembap (tropik) (Tabel 4), mengindikasikan bahwa peningkatan kelembapan udara relatif dan juga kecepatan angin menurunkan nilai Kc untuk semua fase pertumbuhan. Di daerah Lampung, K_{c1} untuk tanaman kakao TM di dalam satu tahun produksi diawali dari bulan Juli, yaitu setelah panen raya. Panen besar kakao di daerah ini berlangsung selama 3 bulan, yakni bulan April, Mei, dan Juni (informasi petani dan penyuluh). Di daerah Lampung secara umum bulan Juni adalah akhir dari musim hujan (Surmaini & Irianto, 2001; Nurhayati *et al.*, 2010). Hal itu sesuai dengan laporan Pohlen & Perez (2010), yakni panen utama tanaman kakao biasanya pada akhir musim hujan (lembap).

Modul Karakteristik Tanaman dan Tanah

Nilai Kc yang telah disesuaikan dengan kondisi iklim tropik bersamaan dengan sifat-sifat tanaman kakao lainnya, seperti jumlah hari per fase pertumbuhan,

kedalaman akar, tingkat deplesi kritis (*critical depletion*), dan koefisien respons hasil untuk masing-masing fase pertumbuhan (Mommer, 1999; Vos, Ritchie & Flood, 2003; Almeida & Valle, 2007) (Tabel 5) menjadi input untuk menghitung kebutuhan air tanaman kakao dalam modul program Cropwat.

Dua sifat tanah yang berpengaruh terhadap ketersediaan air tanah, yakni kandungan bahan organik dan tekstur tanah (Rawls, Pachepsky, Ritchie, Sobecki, & Bloodworth, 2003). Berdasarkan dua sifat tanah tersebut serta hasil pengamatan lapang dan didukung oleh hasil penelitian sebelumnya maka input untuk modul karakteristik air tanah dalam program Cropwat disajikan pada Tabel 6.

Seperti dilaporkan Nurida & Rachman (2012), kadar air tersedia (% volume) pada tanah Ultisol (*Kanhapludults*) di Lampung Timur sekitar 6,85% dan permeabilitas 96,84 cm/hari. Namun, Hartati, Wibowo & Purwani (2015) melaporkan kadar air tersedia pada tanah tersebut sebesar 11%–12% volume dan permeabilitas sekitar 108,5 cm/hari. Hasil penelitian ini juga menjadi data penunjang untuk penetapan nilai-nilai di dalam modul program Cropwat (Tabel 6).

Tabel 4. Hasil konversi koefisien tanaman kakao (Kc) untuk tanaman menghasilkan (TM) pada fase awal (K_{c1}), pertengahan (K_{c2}), dan akhir (K_{c3}) dari daerah *sub humid* ke daerah *humid* (tropik)

Table 4. Conversion results of cacao coefficient (Kc) for productive cacao plant at initial stage (K_{c1}), mid stage (K_{c2}), and late stage (K_{c3}) from sub humid to humid (tropic) area

	K_{c1}	K_{c2}	K_{c3}	Tinggi tanaman (m)
Daerah semi lembap (RH_{min} 45%, RH_{mean} 70%)	1,0	1,05	1,05	3
Daerah lembap (RH_{min} 70%, RH_{mean} 85%)	0,90*	0,96	0,95	3

Keterangan: RH_{min} = kelembapan relatif minimum; RH_{mean} = rata-rata kelembapan relatif

* Daerah lembap (tropik) dengan 70% penutupan kanopi (Rogers *et al.*, 1983)

Notes : RH_{min} = minimum relative humidity; RH_{mean} = the average relative humidity

* Humid regions (tropic) with 70% canopy cover (Rogers *et al.*, 1983)

Tabel 5. Tampilan modul tanaman kakao untuk siklus pertumbuhan satu tahun di dalam program Cropwat 8.0

Table 5. Module of annual growth in cacao displayed by Cropwat 8.0 program

Uraian	Tahap pertumbuhan				Total
	Awal	Perkembangan	Lanjut	Akhir	
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⁾ Respons hasil (koefisien)	0,20	²⁾ 0,50	²⁾ 0,70	0,20	0,70

Sumber/Sources: ¹⁾Allen *et al.*, (2006); ²⁾Almeida & Valle (2007) dan Wood (1975) cited in Omolaja (2009)

Tabel 6. Sifat air tanah wilayah penanaman kakao di daerah sentra produksi di Provinsi Lampung

Table 6. Characteristics of soil water at cacao production areas in Lampung Province

Sifat air tanah	Nilai
Ketersediaan kelembapan tanah (mm/m)	150
Kecepatan infiltrasi (mm/hari)	100
Kedalaman akar maksimum (cm)	200
Deplesi kelembapan tanah awal (%)	50
Awal kelembapan tanah tersedia (mm/m)	75

Ketersediaan dan Kebutuhan Air Irigasi Suplemen

Hasil analisis program Cropwat menunjukkan bahwa di kedua wilayah studi, dalam rentang waktu satu tahun, terjadi defisit air yang hampir sama, yaitu selama 140 hari. Defisit air dimulai dari awal bulan Juli sampai minggu ke dua bulan November (Tabel 7 dan 8). Untuk mengatasi defisit air itu maka di wilayah barat Lampung dibutuhkan irigasi suplemen sejumlah 340,5 mm (Tabel 7), lebih tinggi dibandingkan dengan kebutuhan di

wilayah timur Lampung, yaitu sekitar 209,7 mm (Tabel 8).

Perbedaan jumlah air yang dibutuhkan untuk kedua wilayah tersebut disebabkan karena jumlah kebutuhan air (ET kakao) tergantung pada nilai Kc (koefisien tanaman) dan ETo (evapotranspirasi standar). Nilai Kc salah satunya dipengaruhi oleh besaran kelembapan udara relatif, yaitu semakin besar kelembapan relatif semakin berkurang nilai Kc (Allen et al., 2006). Seperti terlihat pada data di dalam Tabel 2 dan 3, rata-rata kelembapan udara di wilayah timur (85%) lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah barat (78), meskipun keduanya masih kategori lembap. Nilai rata-rata kelembapan yang lebih tinggi di Lampung Timur menyebabkan nilai Kc kakao cenderung menurun (Tabel 7), dan begitu pula sebaliknya di Lampung Barat. Nilai rata-rata ETo (4,40 mm) di wilayah barat (Tabel 2) juga cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah Lampung Timur (3,77 mm) (Tabel 3).

Tabel 7. Kebutuhan air irigasi suplemen (mm/dekade) untuk tanaman kakao TM di wilayah barat dan timur

Table 7. Supplemental irrigation requirement (mm/decade) for productive cacao plant in western and eastern region in Lampung

Bulan	Dekade	Fase	Kc kakao		ETc kakao (mm/dek)		Hujan efektif (mm/dek)		Kebutuhan irigasi (mm/dek)	
			Wil. barat	Wil. timur	Wil. barat	Wil. timur	Wil. barat	Wil. timur	Wil. barat	Wil. timur
Juli	1	Awal	0,90	0,90	33,9	29,2	23,3	27,8	10,6	1,4
Juli	2	Awal	0,90	0,90	32,5	29,3	23,7	28,7	8,8	0,6
Juli	3	Perkemb.	0,90	0,90	36,4	30,9	20,7	23,3	19,3	10,8
Agus	1	Perkemb.	0,90	0,90	40,7	32,6	16,5	15,6	24,1	17,0
Agus	2	Perkemb.	0,90	0,90	44,4	34,1	13,5	10,0	30,9	24,1
Agus	3	Perkemb.	0,91	0,89	51,7	38,1	14,5	12,0	37,2	26,2
Sep	1	Perkemb.	0,91	0,89	50,8	35,2	14,7	14,7	36,0	20,5
Sep	2	Perkemb.	0,91	0,89	54,0	35,7	14,7	15,8	39,3	19,9
Sep	3	Perkemb.	0,92	0,89	51,0	36,1	20,2	17,2	30,8	18,9
Okt	1	Perkemb.	0,92	0,88	47,3	36,5	27,2	17,9	20,1	18,7
Okt	2	Perkemb.	0,92	0,88	44,9	36,9	32,5	18,9	12,4	18,0
Okt	3	Perkemb.	0,92	0,88	47,3	39,1	33,6	23,1	13,6	16,0
Nop	1	Perkemb.	0,93	0,87	41,1	34,2	33,4	27,5	7,7	6,7
Nop	2	Perkemb.	0,93	0,87	39,1	32,8	34,5	31,2	4,7	1,6
Mei	2	Lanjut	0,92	0,84	35,6	28,9	34,4	26,7	1,1	2,2
Mei	3	Lanjut	0,92	0,84	39,7	28,2	30,5	26,5	9,2	4,6
Jun	1	Lanjut	0,92	0,84	36,6	27,6	25,2	26,5	11,4	1,1
Jun	2	Lanjut	0,91	0,83	37,1	27,0	20,9	25,9	16,1	1,1
Jun	3	Lanjut	0,91	0,83	35,9	13,5	10,7	13,1	7,2	0,4
Jumlah			-	-	1473	1182	1241	1108	340,5	209,7

Keterangan: Kc = koefisien tanaman; ETc = evapotranspirasi tanaman

Notes : Kc = crops coefficient; ETc = crops evapotranspiration

Tabel 8. Jadwal aplikasi irigasi suplemen untuk kebutuhan air tanaman kakao TM di wilayah barat dan timur Lampung
Table 8. Application schedule of supplemental irrigation for productive cacao plant in western and eastern region in Lampung

Tanggal	Hari	Fase	Hujan	Ks	ETa	Depleksi	Irigasi bersih	Defisit	Hilang	Irigasi kotor	Mengalir
			mm	fract	%	%	mm	mm	Mm	Mm	l/s/ha
Wilayah barat											
01 Jul	1	Awal	0	0,74	74	51	152,5	0	0	217,8	25,21
16 Agus	47	Perkemb.	0	1	100	26	77,6	0	0	110,9	0,28
08 Sep	70	Perkemb.	0	1	100	26	78,7	0	0	112,5	0,57
01 Okt	93	Perkemb.	0	1	100	27	81,3	0	0	116,1	0,58
25 Jun	End	Lanjut	0	1	0	14					
Wilayah timur											
01 Jul	1	Awal	0	0,74	74	51	152,1	0	0	217,4	25,16
30 Agus	61	Perkemb.	0	1	100	27	79,9	0	0	114,2	0,22
12 Okt	104	Perkemb.	0	1	100	28	82,8	0	0	118,3	0,32
25 Jun	End	Lanjut	0	1	0	2					

Keterangan: Ks = koefisien defisit air, ETa = evapotranspirasi di bawah kondisi tidak standar (l/s/h = liter/detik/ha)

Notes : Ks = water stress coefficient, ETa = evapotranspiration under non-standart condition (l/s/h = liter/detik/ha)

Jadwal Aplikasi Irigasi Suplemen

Tahap selanjutnya dari output Cropwat ialah berupa rekomendasi jadwal aplikasi irigasi suplemen. Seperti telah disampaikan sebelumnya bahwa aplikasi irigasi suplemen diberikan sebelum fase depleksi kritis (kelembapan 30% dari ketersediaan kelembapan tanah). Menurut Almeida *et al.* (1987) *cited in* Almeida & Valle (2007) untuk pertumbuhan kakao yang lebih baik, penyiraman harus intensif dilakukan saat terjadinya defisit air tanah.

Untuk wilayah barat, rekomendasi yang dikeluarkan Cropwat adalah aplikasi irigasi suplemen selama 4 kali dalam rentang waktu 140 hari, sedangkan untuk wilayah timur selama 3 kali dalam rentang waktu 140 hari. Di wilayah barat, irigasi suplemen bersih (neto) untuk menutupi defisit tersebut diawali pada tanggal 1 Juli, selanjutnya tanggal 16 Agustus, 8 September, dan 1 Oktober, masing-masing sejumlah 152,5; 77,6; 78,7; dan 81,3 mm. Irigasi kotor (*gross*) yang harus diberikan untuk memenuhi kebutuhan air kakao pada masing-masing tanggal tersebut adalah 217,8; 110,9; 112,5; dan 116,1 mm atau setara 2.178, 1.109, 1.125, dan 1.161 m³/ha. Irigasi kotor diaplikasikan karena ada sebagian air yang mengalir di permukaan. Di wilayah timur, irigasi suplemen diawali pada tanggal 1 Juli, selanjutnya 30 Agustus, dan 12 Oktober, masing-masing untuk irigasi bersih sejumlah 152,1; 79,9; dan 82,8 mm. Irigasi kotor yang harus diaplikasikan di masing-masing tanggal tersebut ialah 217,4; 114,2; dan 118,3 mm atau setara dengan 2.174, 1.142, dan 1.183 m³/ha (Tabel 8).

Aplikasi irigasi suplemen selama defisit air sangat diperlukan dalam upaya peningkatan produktivitas kakao di daerah ini. Seperti dikemukakan Almeida & Valle (2007), hanya 0,5%–5,0% dari jumlah total bunga tanaman kakao yang berkembang menjadi buah (*pod*), salah satunya akibat persaingan penggunaan air dengan pertumbuhan vegetatif (Mommer, 1999). Hasil pengamatan Mommer (1999) dan Wood (1975) *cited in* Omolaja *et al.* (2009) memperlihatkan waktu yang diperlukan mulai dari keluarnya bunga sampai terbentuk dan matangnya buah (*pod*) kakao adalah lebih kurang 90 hari. Jika panen besar kakao di daerah ini jatuh pada bulan April, Mei, dan atau Juni maka buah kakao tersebut berasal dari bunga yang muncul sekitar bulan November, Desember, dan Januari. Artinya, masa pembungaan sampai pematangan buah kakao berlangsung selama musim hujan (tanpa defisit air). Sebaliknya, buah yang dipanen diluar bulan-bulan panen besar, dalam 90 hari pembentukannya telah melalui fase defisit air (Juli sampai Oktober), baik pada fase pembungaan atau pematangan buah sehingga produksi kakao lebih rendah. Seperti dikemukakan oleh Osei-Bonsu *et al.* (2002), Omolaja *et al.* (2009), dan Oyekale *et al.* (2009), tanaman kakao sangat sensitif terhadap ketersediaan air, terutama saat intensitas pembungaan tinggi dan pematangan buah/biji. Oleh karena itu, aplikasi irigasi suplemen untuk mengatasi defisit air diharapkan dapat meningkatkan produktivitas kakao. Sebagaimana dinyatakan oleh Tschardt *et al.* (2011), salah satu faktor pengendali produksi kakao ialah ketersediaan air,

terutama volume air hujan yang sangat terbatas selama bulan kering.

KESIMPULAN

Secara umum, pengembangan tanaman kakao di wilayah barat dan timur Provinsi Lampung telah sesuai dengan rekomendasi penggunaan. Namun demikian, terdapat sebagian karakteristik agroekologi lahan menjadi faktor pembatas pertumbuhan dan produksi kakao, yaitu pH tanah masam ($\leq 5,5$), KTK tanah rendah ($< 16 \text{ cmol}(+)/\text{kg}$), kelembapan udara $> 75\%$, dan di sebagian tempat ada bahaya erosi. Di sisi lain, tanaman kakao di kedua wilayah tersebut menghadapi defisit air selama 140 hari setiap tahun, yaitu dari awal bulan Juli sampai minggu kedua bulan November.

Untuk meningkatkan produktivitas kakao di Provinsi Lampung, selain perlu perbaikan teknologi budi daya untuk mengatasi karakteristik agroekologi sebagai faktor pembatas, juga diperlukan aplikasi irigasi suplemen selama defisit air, yaitu sebanyak 340,5 mm untuk wilayah barat dan 209,7 mm untuk wilayah timur Lampung.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian atas dukungan dan penyediaan anggaran serta Staf Peneliti dan Teknisi Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Lampung atas bantuan tenaga sehingga kegiatan zonasi agroekologi di Provinsi Lampung dapat terlaksana.

DAFTAR PUSTAKA

- Almeida, A.A.F., & Valley, R.R. (2007). Ecophysiology of the cacao tree. *Braz. J. Plant Physiol.*, 19(4), 425–448.
- Allen, R.G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith. M. (2006). 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.
- Araque, O., Jaimez, R. E., Tezara, W., Coronel, I., Ulrich, R., & Espinoza, W. (2012). Comparative photosynthesis, water relations, growth and survival rates in juvenile criollo cacao cultivars (*Theobroma cacao*) during dry and wet seasons. *Expl Agric.*, 48(4), 513–522.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung. (2016). *Provinsi Lampung dalam angka*. Lampung: BPS-Statistics of Lampung Province.
- Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Provinsi Lampung. (2011). *Laporan data iklim Provinsi Lampung*. Lampung: BMKG Provinsi Lampung.
- Badan Perlindungan Tanaman Pangan dan Hortikultura Provinsi Lampung. (2015) *Laporan data iklim Provinsi Lampung*. Lampung: BPTPH Provinsi Lampung.
- Carr, M.K.V, & Lockwood, G. (2011). The water relations and irrigation requirements of cocoa (*Theobroma cacao* L.): a review. *Expl Agric.*, 47(4), 653–676.
- Dai, J., Darul, S.W.P., Hidayat, A., Sumulyadi, H.Y., Hendra, S., Yayat, A.H., ... Balsem, T. (1989). *Peta satuan lahan dan tanah lembar tanjung karang Sumatera, skala 1:250.000*. Bogor: Pusat Penelitian Tanah. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. (2015). *Statistik Perkebunan Indonesia 2014–2016: Kakao*. Jakarta: Direktorat Jenderal Perkebunan. Kementerian Pertanian.
- Djaenudin, D., Marwan H., Subagyo, H., Mulyani, A, & Suharta, N. (2000). *Kriteria kesesuaian lahan untuk komoditas pertanian*. Bogor: Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat.
- Food and Agriculture Organization. (2007). *Ecocrops: Theobroma cacao*. Retrieved from <http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/cropView?id=2074>.
- Food and Agriculture Organization. (2009). *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. Rome, Italy: FAO irrigation and drainage paper 56.
- Fipps, G. (2004). *Using PET for determining crop water requirement and irrigation scheduling*. Texas A & M Center-Uvalde. Retrieved from <http://texaset.tamu.edu/Resources/Documents/Grower's%20Guide>.
- Hartati, W., Wibowo, H., & Purwani, J. (2015). Aplikasi biochar dan tithoganic dalam peningkatan produktivitas kedelai (*Glycine max* L.) pada Typic Kanhapludults di Lampung Timur. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 39(1), 51–62.

- Hidayat, A., Darul, S.W.P., Dai, J., Sumulyadi H.Y., Hendra S., Hermawan A., ... Balsem, T. (1989). *Buku keterangan peta satuan lahan dan tanah lembar kota agung Sumatera*. Bogor: Pusat Penelitian Tanah. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Huan, L. K., Yee, H. C., & Wood, B. J. (1986). Irrigation of cocoa on coastal soils in Peninsular Malaysia. In *Cocoa and coconuts: progress and outlook* (p. 117–132). Kuala Lumpur: Incorporated Society of Planters.
- Irianto, G., & Surmaini, E. (2002). Analisis potensi dan kebutuhan air untuk menyusun rekomendasi irigasi suplemeter tanaman tebu lahan kering. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 20, 1–12.
- Kohler, M., Dierick, D., Schwendenmann, L., & Ischer, H.D. (2009). Water use characteristics of cacao and Gliricidia trees in an agroforest in Central Sulawesi, Indonesia. *Ecohydrology*, 2, 520–529.
- Lubis, S. (1986). Pengelolaan kebun kelapa sawit, coklat dan karet, I. Produksi. *Buletin Perkebunan*, 17(4), 175–184.
- Mommer, L. (1999). *The water relations in cacao (Theobroma cacao L.). Modelling root growth and evapotranspiration*. Retrieved from http://www.worldcocoafoundation.org/wp-content/uploads/files_mf/mommer1999.pdf
- Moser, G., Leuschner, C., Hertel, D., Hölscher, D., Köhler, M., Leitner, ... Schwendenmann, L. (2010). Response of cacao trees (*Theobroma cacao*) to a 13-month desiccation period in Sulawesi, Indonesia. *Agroforestry Systems*, 79, 171–187.
- Mulyani, A. (2001). *Petunjuk teknis penyusunan peta pewilayahan komoditas pertanian berdasarkan zona agroekologi (ZAE)*. Bogor: Puslitbangtanak.
- Nurhayati, Nuryadi, Basuki, & Indawansani. (2010). *Analisis karakteristik iklim untuk optimalisasi produksi kedelai di Provinsi Lampung*. Laporan Akhir Pelaksanaan Program Insentif PKPP Ristek 2010 (p. 80). Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Nurida, N.L., & Rachman, A. (2012). Alternatif pemulihan lahan kering masam terdegradasi dengan formula pembenah tanah biochar di Typic Kanhapludults Lampung. In Wigena et al. (Ed), *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pemupukan dan Pemulihan Lahan Terdegradasi* (pp. 639–648). Bogor, 29–30 Juni 2012. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Omolaja, S.S., Aikpokpodion, P., Oyedeji S., & Vwioko, D.E. (2009). Rainfall and temperature effects on flowering and pollen productions in cocoa. *African Crop Sci.*, 17(1), 41–48.
- Osei-Bonsu K, Opoku-Ameyaw K, Amoah, F.M, & Oppong, F.K. (2002). Cacao-coconut intercropping in Ghana: agronomic and economic perspectives. *Agrofor Syst*, 55, 1–8.
- Oyekale, A.S., Bolaji, M.B., & Olowa, O.W. (2009). The effects of climate change on cocoa production and vulnerability assessment in Nigeria. *Agric J.*, 4, 77–85. doi: aj.2009.77.85.
- Pietraszewska, T.M. (2001). Effect of aluminium on plant growth and metabolism. *Acta Biochim Polonica*, 48(3), 673–686.
- Pohlan, H.A.J., & Perez, V.D. (2010). Growth and production of cacao. In *Soils, Plant Growth and Crop Production - Vol. III*.
- Razi, I.M., Halim, H.A., Kamariah, D., & Noh, J.M. (1992). Growth, plant water relation and photosynthesis rate of young *Theobroma cacao* as influenced by water stress. *Pertanika*, 15, 93–97.
- Rawls, W.J., Pachepsky, Y.A., Ritchiea, J.C., Sobecki T.M., & Bloodworth. H. (2003). Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma*, 116, 61–76.
- Rogers, J.S., Allen, L.H., & Calvert, D.J. (1983). Evapotranspiration for humid regions: developing citrus grove, grass cover. *Trans. ASAE*, 26(6), 1778–1783.
- Schmidt, F.H., & Ferguson, J.H.A. (1951). *Rainfall type based on wet and dry period ratio for Indonesia with Western New Gurinea*. Jakarta: Kementerian Perhubungan.
- Smith, M. (1996). Cropwat, a computer program for irrigation planning and management. *FAO Irrigation and Drainage Paper 46* (p. 123).
- Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E. & Raes. D. (2012). Crop yield response to water. *Fao Irrigation And Drainage Paper 66*. Rome: Food And Agriculture Organization Of The United Nations.
- Surmaini, E., & Irianto G. (2001). Karakteristik Dampak El-Nino Terhadap Curah Hujan dan Pergeseran Musim di Lampung. *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Lahan dan Pupuk*. Bogor, 30 – 31 Oktober 2001. Puslitbangtanak.
- Tscharntke, T., Clough, Y., Bhagwat, S.A., Buchori, D., Faust, H., Hertel, D., ... Wanger T.C. (2011). Multifunctional shade-tree management in tropical agro-forestry landscapes—a review. *J Appl Ecol*, 48(3), 619–629.

Vos, J. G. M., Ritchie B. J., & Flood J. (2003). *Discovery learning about cocoa; an inspirational guide for training facilitators* (p. 112). Centre Bakeham Lane, Egham, Surrey TW20 9TY, UK: CABI Bioscience.

World Weather and Climate Information. (2016). *Average monthly weather In Kalianda, Indonesia*. Retrieved from <https://weather-and-climate.com/average-monthly-hours-sunshine,kalianda-id,Indonesia>.