



Potensi Serangan Hama Wereng Hijau (*Empoasca* sp.) pada Perkebunan Teh Berdasarkan Skenario Perubahan Iklim

Potential of Green Leafhopper Attack (*Empoasca* sp.) in Tea Plantation Based on Climate Change Scenarios

Dwi Adelianingsih, Rini Hidayati*, Yon Sugiarto

Departemen Geofisika dan Meteorologi, Gedung FMIPA, IPB, Jl. Meranti Wing 19 Lv.4 Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

ARTICLE INFO

Article history:

Received 21 August 2019

Received in revised from 11 November 2019

Accepted 27 December 2019

doi: 10.29244/j.agromet.33.2.84-95

Keywords:

CLIMEX 4.0

Ecoclimatic Index

Pest Suitability

RCP Climate Scenarios

ABSTRACT

Pest growth is closely related to the climate conditions. This study aimed to analyze the impact of climate variability and climate change on the potential attack of green leafhopper (*Empoasca* sp.) on tea plantations at PTPN VIII Gunung Mas. The analysis was carried out to calculate the value of Ecoclimatic Index (EI) based on the functions of the compare years and the compare location in CLIMEX model. Pest suitability in the future was projected using RCP 4.5 and 8.5 climate scenarios, which were derived from MIROC 5 and CCSM 4 climate model outputs. The result indicated that Gunung Mas Tea Plantation was suitable for *Empoasca* sp. growth. The EI value (58) in the baseline year (2012-2017) confirmed the suitability. Climate variability influences the suitability for *Empoasca* sp. growth. During El-Niño, the EI value decrease substantially (~26%). On other hand, the EI value is projected to slightly increase in the future for both climate scenarios.

PENDAHULUAN

Teh (*Camellia sinensis* L.) merupakan salah satu komoditas sektor perkebunan yang memiliki peranan penting sebagai sumber devisa negara non-migas. Ekspor teh Indonesia menduduki peringkat ke-14 di dunia dengan volume ekspor mencapai \$118 juta pada tahun 2017, meningkat sebesar 1.04% dari tahun 2016 (Kementerian Perdagangan, 2018). Total produksi teh terbesar di Indonesia berasal dari Provinsi Jawa Barat dengan total produksi mencapai 103.9 ribu ton pada tahun 2017 (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2017).

Fluktuasi produksi tanaman teh tidak terlepas dari pengaruh faktor iklim dan serangan hama dan penyakit. Hama Wereng Hijau (*Empoasca* sp.) dikenal sebagai hama utama pada tanaman kapas. Namun sejak Mei 1998 *Empoasca* sp. tercatat sebagai hama baru yang menyerang beberapa perkebunan teh di Indonesia, dan menimbulkan kerusakan berat di perkebunan teh Gunung Mas (Jawa Barat). Hal ini didukung oleh penelitian Wei et al. (2015) yang menyatakan bahwa *Empoasca* sp. banyak ditemukan

pada tanaman teh di Asia. Pucuk daun teh merupakan bagian utama yang diserang oleh hama ini. Kerusakan yang ditimbulkan akibat serangan *Empoasca* sp. berupa tepi daun yang menggulung dan timbul warna merah/kuning, kemudian mengering atau disebut dengan efek hopperburns yang dapat berdampak pada penurunan kualitas dan bobot hasil panen tanaman (Azeez, 2017; Harun et al., 2019).

Pertumbuhan dan perkembangan hama dipengaruhi oleh faktor iklim. Menurut Laporan *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) tahun 2014, rata-rata suhu permukaan global telah mengalami peningkatan berkisar 0.72–0.85 °C sejak tahun 1850–2012. IPCC telah menyusun beberapa skenario perubahan iklim untuk mengetahui gambaran perubahan iklim masa depan secara regional dan global hingga tahun 2100. *Representative Concentration Pathways* (RCP) dikenal sebagai skenario perubahan iklim terbaru yang disusun oleh IPCC dalam *Assessment Report* (AR 5). RCP disusun berdasarkan target konsentrasi emisi gas rumah kaca yang ingin dicapai (Faqih and Boer, 2013). Skenario RCP yang digunakan dalam penelitian ini

* Corresponding author: rinihidayati@apps.ipb.ac.id

yaitu RCP 4.5 dan RCP 8.5. Skenario RCP 4.5 mengasumsikan adanya kebijakan untuk membatasi emisi gas rumah kaca, sedangkan skenario RCP 8.5 mengasumsikan tidak adanya kebijakan yang membatasi apapun. Pada total *radiative forcing*, skenario RCP 8.5 mencapai lebih dari 8.5 Wm^{-2} pada tahun 2100 (Edenhofer et al., 2014).

Skenario perubahan iklim RCP dapat dimanfaatkan untuk memproyeksikan populasi hama dengan menggunakan pemodelan Climatic Index (CLIMEX). Indeks ini merupakan model perangkat lunak (*software*) yang dikembangkan pertama kali oleh CSIRO (*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*) pada tahun 1985 dan memiliki fungsi sebagai alat bantu untuk memprediksi potensi kesesuaian spesies hama yang berkembang pada suatu wilayah berdasarkan informasi iklim, geografis, serta data fisiologi spesies hama tersebut (Kriticos et al., 2015). Analisis potensi serangan hama terhadap kondisi iklim dan perubahan iklim masa depan diharapkan dapat menjadi sumber informasi dalam *early warning system* (peringatan dini) serta dapat mendukung penyusunan manajemen pengendalian hama yang lebih efektif.

METODE PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian ini terbagi dalam dua tempat, yaitu pengambilan data sekunder berlokasi di Kebun Gunung Mas 1, dan PTPN VIII Gunung Mas Bogor. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah laptop yang ter-*install software Arcmaps 10.3, Ocean Data View (ODV), Microsoft Office, CLIMEX 4.0, Minitab 18*, dan Google Earth. Data yang digunakan berupa data iklim observasi dan satelit, data kejadian ENSO, data geografi wilayah, rekapitulasi serangan

hama, scenario perubahan iklim, serta parameter fisik hama. Keenam jenis dan sumber data tersebut diuraikan pada Tabel 1.

Data iklim observasi diunduh secara *online* pada *website* resmi BMKG untuk Stasiun meteorologi BMKG Citeko, sedangkan data curah hujan diperoleh dari data observasi Kebun Gunung Mas 1, PTPN VIII. Data satelit yang digunakan adalah data keluaran *European Centre for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF)* yang memiliki resolusi spasial $0.125^\circ \times 0.125^\circ$ setara dengan $13.875 \text{ km} \times 13.875 \text{ km}$. Data scenario perubahan iklim menggunakan RCP 4.5 dan 8.5 tahun 2050 yang merupakan proyeksi dari *Model Interdisciplinary Research on Climate 5 (MIROC 5)* dan *The Community Climate System Model 4 (CCSM 4)*. Masing-masing model proyeksi memiliki resolusi spasial 30 sec dengan format **tif* yang diolah menggunakan *software Arc Maps 10.3*.

Data Rekapitulasi serangan hama yang tersedia berupa data bulanan dan terbagi dalam tiga kategori (ringan, sedang, berat), sehingga untuk mendapatkan persentase intensitas serangan hama perlu dilakukan perhitungan nilai pembobotan. Menurut Tribowo et al. (2014) perhitungan persentase intensitas serangan (IS) dapat dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$IS = \frac{X1Y1+X2Y2+X3Y3}{XY} \times 100 \quad (1)$$

dimana IS Intensitas serangan, X Luasan wilayah yang diamati, Y Jumlah kriteria skor maksimum, X1 Luas wilayah yang terserang ringan, Y1 Nilai 1 untuk kriteria serangan ringan, X2 Luas wilayah yang terserang sedang, Y2 Nilai 2 untuk kriteria serangan sedang, X3 Luas wilayah yang terserang berat, dan Y3 Nilai 3 untuk kriteria serangan berat.

Tabel 1. Data penelitian yang digunakan dalam penelitian.

No.	Jenis Data	Sumber Data
1.	Data geografi wilayah (Lat, Lon dan ketinggian)	Hasil digitasi peta Kebun Gunung Mas I yang telah diproyeksi terhadap WGS 1984 UTM 48S dan di- <i>clipping</i> dengan data DEM Alos Palsar beresolusi 12.5m https://vertex.daac.asf.alaska.edu .
2.	Data iklim observasi tahun 2012 – 2017 (CH, RH, Tmax, dan Tmin)	http://dataonline.bmkg.go.id dan data observasi Kebun Gunung Mas I, PTPN VIII.
3.	Data satelit tahun 2012 – 2017 (CH, RH, Tmax, dan Tmin)	http://apps.ecmwf.int/datasets/ .
4.	Data kejadian ENSO tahun 2012 -2017 mengacu pada nilai <i>Oceanic Nino Index (ONI)</i>	http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/product/analysis_monitoring/enspstuff/ONI_v5.php .
5.	Data skenario perubahan iklim RCP 4.5 dan 8.5 tahun 2050	http://worldclim.org/cmip5_30s .
6.	Rekapitulasi serangan hama	PTPN VIII Gunung Mas, Bogor
7.	Parameter fisik hama	Reineke and Hauck (2012); <i>template wet-tropical CLIMEX</i>

Koreksi Data

Koreksi dan validasi dilakukan untuk mengetahui ketepatan data satelit terhadap data observasi lapang, serta dapat meningkatkan kualitas data yang akan digunakan (Mamenun et al., 2014; Pires et al., 2016; Staffell and Pfenninger, 2016). Data stasiun observasi Citeko digunakan untuk koreksi data iklim ECMWF. Stasiun observasi Citeko dipilih karena memiliki jarak yang cukup dekat dengan wilayah kajian, yaitu sekitar 6 km. Data iklim ECMWF berada pada grid yang sama dengan wilayah Citeko dan wilayah kajian, sehingga hasil ECMWF terkoreksi diasumsikan sebagai data iklim wilayah Citeko. Validasi untuk setiap variabel iklim dilakukan dengan menggunakan model regresi sederhana, yang akan menghasilkan persamaan garis sebagai faktor koreksi. Faktor koreksi kemudian digunakan untuk mengoreksi data ECMWF dengan memasukkan data ECMWF ke dalam persamaan regresi yang telah dihasilkan untuk mendapatkan nilai ECMWF terkoreksi. Bentuk persamaan regresi disajikan pada Persamaan (2) (Mamenun et al., 2014).

$$Y = ax + b \tag{2}$$

dimana y ECMWF terkoreksi dan x data iklim satelit ECMWF.

Hasil data DEM menunjukkan ada perbedaan ketinggian yang lebih tinggi di wilayah kajian sebesar ±400 mdpl dibandingkan stasiun observasi Citeko. Hal ini dapat berpengaruh pada perbedaan kondisi iklim diantara kedua tempat tersebut. Suhu akan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya ketinggian (*lapse rate*). Suhu akan mengalami penurunan sebesar 0.645 °C setiap kenaikan ketinggian 100 m (Lisnawati et al., 2018). Suhu titik embun (Td) mengalami penurunan nilai sebesar 0.2 °C setiap kenaikan 100 m, yang dapat berpengaruh pada nilai RH (Ahrens, 2008). Koreksi *lapse rate* dilakukan terhadap hasil ECMWF terkoreksi di wilayah Citeko agar didapatkan hasil ECMWF terkoreksi di wilayah kajian.

Terdapat empat metode yang digunakan untuk menganalisis tingkat keakuratan data antara data observasi dengan data ECMWF (data satelit) sebelum dan sesudah dilakukan koreksi, yaitu *Root Mean Squared Error* (RMSE, Persamaan 3), *Mean Absolute Error* (MAE, Persamaan 4), korelasi (r), dan relatif bias (Persamaan 5).

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\text{Data Satelit } (i) - \text{Data Obs}(i))^2\right)} \tag{3}$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N | \text{Data Satelit } (i) - \text{Data Obs } (i) | \tag{4}$$

$$Rel. Bias = \frac{\sum_{i=1}^N (\text{Data Obs } (i) - \text{Data Satelit } (i))}{\sum_{i=1}^N \text{Data Obs } (i)} \times 100 \tag{5}$$

Input Data Iklim dan Wilayah Kajian

Fungsi CLIMEX yang digunakan pada penelitian ini adalah *compare location* dan *compare years*. *Input* data yang digunakan untuk fungsi *compare location* terbagi menjadi dua file, yaitu file lokasi (LOC file) yang terdiri dari lintang, bujur dan ketinggian wilayah kajian. File kedua adalah data iklim rata-rata bulanan (MET file) terdiri dari data curah hujan, suhu maksimum, suhu minimum, dan kelembaban udara pukul 9.00 (RH-9) dan jam 15.00 (RH-15) yang dibuat pada *software microsoft acces* dengan format file *.mm. Fungsi *compare years* membutuhkan data iklim harian dengan format file *.prn yang telah dibuat pada *microsoft excel*. Setelah di *extract* menggunakan Arc Maps, data skenario iklim RCP 4.5 dan 8.5 perlu diubah menggunakan file berekstensi *.mm sebagai *input* ke dalam fungsi *compare location*. *Running* model menggunakan *compare location* dilakukan secara terpisah antara tahun *baseline* (2012-2017) dengan tahun skenario iklim.

Input Parameter Fisik Hama *Empoasca* sp.

Parameter fisik hama yang diperlukan dalam pemodelan CLIMEX berupa parameter suhu udara (*temperature index*), parameter kelembaban tanah (*moisture index*), serta *stress index*. Nilai ketiga parameter fisik hama *Empoasca* sp. yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Analisis Nilai EI terhadap Potensi Serangan Hama

Nilai EI tersusun dari interaksi tiga indeks, yaitu *Growth Index* (GI), *Stress Index* (SI), dan *Stress Interaction Index* (SX) yang secara umum juga menjadi *output* CLIMEX. Klasifikasi nilai EI (Koesmaryono et al., 2004), yaitu: (i) 0-25 tidak sesuai, (ii) 26-50 kurang sesuai, (iii) 51-75 sesuai, dan (iv) 75-100 sangat sesuai. Kriticos et al. (2015) menguraikan proses perhitungan nilai EI seperti pada Persamaan (6-10).

$$EI = GI \times SI \times SX \tag{6}$$

$$GI_A = \frac{100 \sum_{i=1}^{52} GI_{iw}}{52} \tag{7}$$

$$GI_w = TI_w \times MI_w \times LI_w \times DI_w \tag{8}$$

$$SI = \left(1 - \frac{CS}{100}\right) \left(1 - \frac{DS}{100}\right) \left(1 - \frac{HS}{100}\right) \left(1 - \frac{WS}{100}\right) \tag{9}$$

$$SX = \left(1 - \frac{CDX}{100}\right) \left(1 - \frac{CWX}{100}\right) \left(1 - \frac{HDX}{100}\right) \left(1 - \frac{HWX}{100}\right) \tag{10}$$

Tabel 2 Parameter Fisik hama *Empoasca* sp.

Parameter Suhu	Kode	Nilai	Sumber
Batas suhu bawah	DV0	11	
Batas bawah suhu optimum	DV1	23	
Batas atas suhu optimum	DV2	25	(Reineke and Hauck, 2012)
Batas suhu atas	DV3	33	
Minimum Degree-day diatas DV0	PDD	0	
Batas bawah kelembaban tanah	SM0	0.35	
Batas bawah kelembaban tanah optimal	SM1	0.7	Wet-tropical template CLIMEX 4.0
Batas atas kelembaban tanah optimal	SM2	1.5	
Batas atas kelembaban tanah	SM3	2.5	

Indeks Stres	Kode	Nilai	Sumber
Batas suhu stres dingin	TTCS	11	
Laju stres dingin	THCS	0	
Batas degree-day stres dingin	DTCS	25	
Laju stres dingin degree-day	DHCS	-0.002	
Batas suhu stres panas	TTHS	33	
Laju stres panas	THHS	0.0002	Wet-tropical template CLIMEX 4.0
Batas degree-day stres panas	DTHS	0	
Laju stres panas degree-day	DHHS	0	
Batas stres kering	SMDS	0.25	
Laju stres kering	HDS	-0.01	
Batas stres basah	SMWS	2.5	
Laju stres basah	HWS	0.002	

dimana GI_A *Annual Growth Index*, SI *Stress Index*, dan SX *Stress Interaction Indeks*, GI_W *Weekly Growth Index*, TI_W *Weekly Temperature Index*, MI_W *Weekly Moisture Index*, LI_W *Weekly Light Indeks*, DI_W *Weekly Diapause Index*, SI *Stress Index*, CS *Cold Stress*, DS *Dry Stress*, HS *Hot Stress*, WS *Wet Stress*, CDX *Cold-Dry Stress Interaction Index*, CWX *Cold-Wet Stress Interaction Index*, HDX *Hot-Dry Stress Interaction Index*, dan HWX *Hot-Wet Stress Interaction Index*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Koreksi dan Validasi Data

Koreksi data ECMWF dengan data observasi BMKG Citeko menghasilkan persamaan regresi yang digunakan sebagai faktor koreksi. Koreksi dilakukan di

tiap bulan yang sama pada periode 2012-2017, sehingga diperoleh dua belas faktor koreksi untuk tiap variabel iklim. Hal tersebut bertujuan untuk meningkatkan ketepatan data iklim harian dari pola iklim bulanan. Tabel 3 menunjukkan perbandingan nilai korelasi (r), RMSE, MAE dan relatif bias data ECMWF sebelum dan sesudah dikoreksi dengan data observasi periode 2012-2017. Keempat nilai tersebut bertujuan untuk merepresentasikan tingkat ketepatan data satelit terhadap data observasi (Mamenun et al., 2014).

Selisih perbedaan nilai RMSE dan MAE yang semakin kecil menunjukkan nilai data iklim setelah dikoreksi menjadi semakin akurat (Syaifullah, 2014). Nilai RMSE digunakan untuk mengetahui besarnya penyimpangan antara data model prediksi dengan data observasi (Akgül et al., 2016).

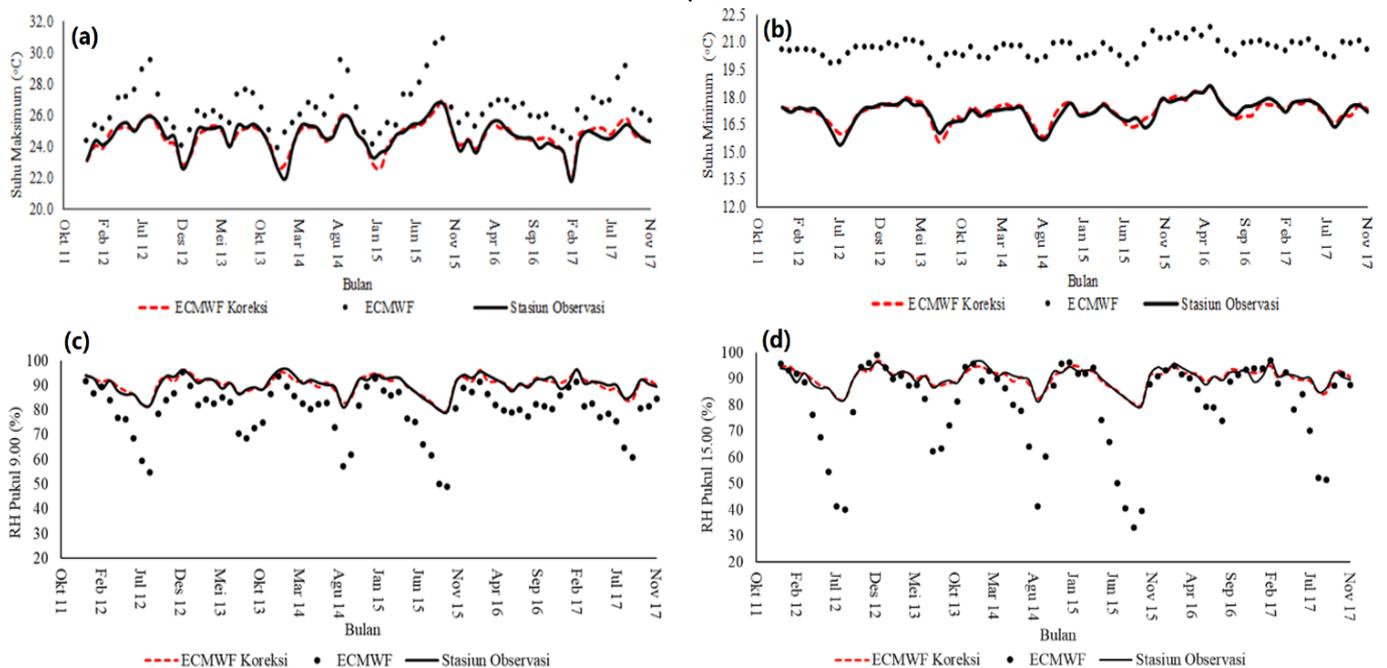
Tabel 3 Perbandingan nilai korelasi, RMSE, MAE dan relatif bias data ECMWF sebelum dan sesudah koreksi dengan data observasi BMKG Citeko periode 2012-2017.

Variabel	Sebelum Koreksi				Sesudah Koreksi			
	RMSE	MAE	r	Relatif bias	RMSE	MAE	r	Relatif Bias
Tmax	1.9	1.8	0.84	-7.21	0.3	0.2	0.95	0.001
Tmin	3.4	3.4	0.76	-19.96	0.2	0.2	0.93	-0.001
RH 9	12.8	10.9	0.92	12.03	1.2	0.9	0.95	0.0001
RH 15	17.1	11.0	0.92	11.28	1.2	0.9	0.95	0.001

Berdasarkan hasil analisis statistika yang disajikan pada Tabel 4 dapat diketahui bahwa masing-masing variabel mengalami penurunan nilai RMSE, yaitu sebesar 1.6°C untuk Tmax, 3.2°C untuk Tmin, 11.6% dan 15.9% untuk RH 9 dan RH 15. Nilai RMSE digunakan untuk mengetahui besar penyimpangan data satelit dengan data observasi (Skawsang et al., 2019). Nilai MAE merupakan rata-rata absolut dari kesalahan estimasi, tanpa menghiraukan tanda positif atau negatif. Penurunan MAE sebesar 1.6°C untuk Tmax, 3.2°C untuk Tmin, 10% untuk RH 9 dan 10.1% untuk RH 15 dengan nilai korelasi tiap variabelnya mengalami peningkatan hingga di atas 0.90. Nilai korelasi (r) yang semakin mendekati 1 menunjukkan semakin kuat hubungan antara kedua data (Syaifullah, 2014). Relatif bias merupakan persentase nilai *error* hasil estimasi terhadap nilai observasi. Nilai relatif bias pada setiap variabel iklim setelah dilakukan koreksi juga mengalami penurunan mendekati nol. Secara umum data ECMWF terkoreksi mempunyai nilai yang semakin mendekati data observasi, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

Analisis EI Berdasarkan Perbedaan Ketinggian Wilayah Kebun (*Compare Location*)

Wilayah Kebun Teh Gunung Mas 1 secara keseluruhan terdiri dari 23 blok kebun. Berdasarkan data DEM ALOS/PALSAR tiap blok kebun memiliki variasi ketinggian yang relatif berbeda. Pengelompokan area blok kebun berdasarkan ketinggian digolongkan menjadi tiga kelas, yaitu wilayah blok rendah (1064–1157 mdpl), wilayah blok tengah (1158–1235 mdpl), dan wilayah blok tinggi (1236–1398 mdpl). Perubahan ketinggian dapat berpengaruh pada perubahan suhu dan RH. Kisaran sebaran suhu dan RH tahun 2012 – 2017 pada wilayah blok rendah, yaitu 17.8 – 23.1 °C dengan RH 86 – 93%, wilayah blok tengah, 17.4 – 22.7 °C dengan RH 87 – 94%, dan pada wilayah blok tinggi 16.8 – 22.1 °C dengan RH 89 – 96%. Fungsi *compare location* bertujuan untuk memberikan gambaran umum pola distribusi geografis suatu spesies berdasarkan kondisi iklimnya. Tabel 4 menunjukkan beberapa luaran utama yang disajikan pada fungsi ini, meliputi nilai *Ecoclimatic Index* (EI), *Growth Index* (GI), *Moisture Index* (MI), dan *Temperature Index* (TI).



Gambar 1. Perbandingan data observasi, ECMWF, dan ECMWF terkoreksi variabel (a)Tmax, (b) Tmin, (c) RH 9, (d) RH15.

Tabel 4. Hasil luaran fungsi *compare location* perbandingan wilayah blok kebun.

Blok Kebun	EI	MI	TI	GI	WS	DS	HS	CS
Wilayah Blok Rendah	57	71	81	57	0	0	0	0
Wilayah Blok Tengah	58	73	79	58	0	0	0	0
Wilayah Blok Tinggi	55	75	73	55	0	0	0	0

Jika, nilai keempat indeks tersebut makin meningkat diatas 50 dan nilai indeks stres (*i.e.* WS, DS, HS, CS) mendekati 0 menunjukkan adanya tingkat kesesuaian hama yang semakin tinggi. Berdasarkan Tabel 5 nilai indeks pertumbuhan spesies di suatu wilayah (GI) disusun oleh interaksi kedua nilai indeks yaitu, MI dan TI. Indeks Stres (*i.e.* WS, DS, HS, CS) yang mendekati nilai 0 menunjukkan perkembangan spesies hama yang tidak terganggu. Mengacu pada deskripsi nilai kategori kesesuaian spesies yang tertera pada Tabel 2, dapat disimpulkan keseluruhan kondisi lokasi PTPN VIII Gunung Mas 1 pada wilayah blok rendah hingga wilayah blok tinggi secara umum dikategorikan "sesuai" untuk perkembangan hama *Empoasca* sp karena memiliki nilai GI dan EI diatas 50. Nilai EI terbesar terdapat pada wilayah blok tengah, yaitu sebesar 58, kemudian diikuti wilayah blok rendah dan blok tinggi.

Analisis EI Berdasarkan Skenario Perubahan Iklim (Compare Location)

Analisis skenario perubahan iklim dilakukan untuk mengetahui respon kesesuaian hama *Empoasca* sp. yang terjadi pada tahun 2050 berdasarkan hasil proyeksi RCP 4.5 dan 8.5 model CCSM 4 dan MIROC 5 pada keseluruhan wilayah Kebun Gunung Mas 1 (Gambar 2). Konsep dasar skenario iklim RCP didasarkan pada peningkatan nilai *radiative forcing* hingga tahun 2100. Peningkatan nilai *radiative forcing* sangat dipengaruhi oleh konsentrasi gas rumah kaca yang dapat berpengaruh terhadap variabel iklim suhu. Selama tahun 2050 terdapat tren peningkatan nilai Tmax yang terjadi pada akhir musim kemarau (Jul–September) dan mulai mengalami tren penurunan Tmax seiring dengan peningkatan curah hujan (Oktober–Desember). Tmax pada kedua model skenario iklim RCP 4.5 dan 8.5 mencapai kondisi tertinggi pada bulan September dengan nilai Tmax CCSM4 sebesar 26.9 °C (RCP 4.5), dan 27.4°C (RCP 8.5), sedangkan Tmax MIROC 5 sebesar 26.7 (RCP 4.5) dan 26.9 (RCP 8.5). Kondisi curah hujan tertinggi pada

kedua model skenario iklim terjadi Bulan November dengan nilai curah hujan RCP 4.5 dan 8.5 model CCSM 4 bernilai sama, yaitu 380 mm, sedangkan CH pada MIROC5 sebesar 349 mm (RCP 4.5) dan 331 mm (RCP 8.5).

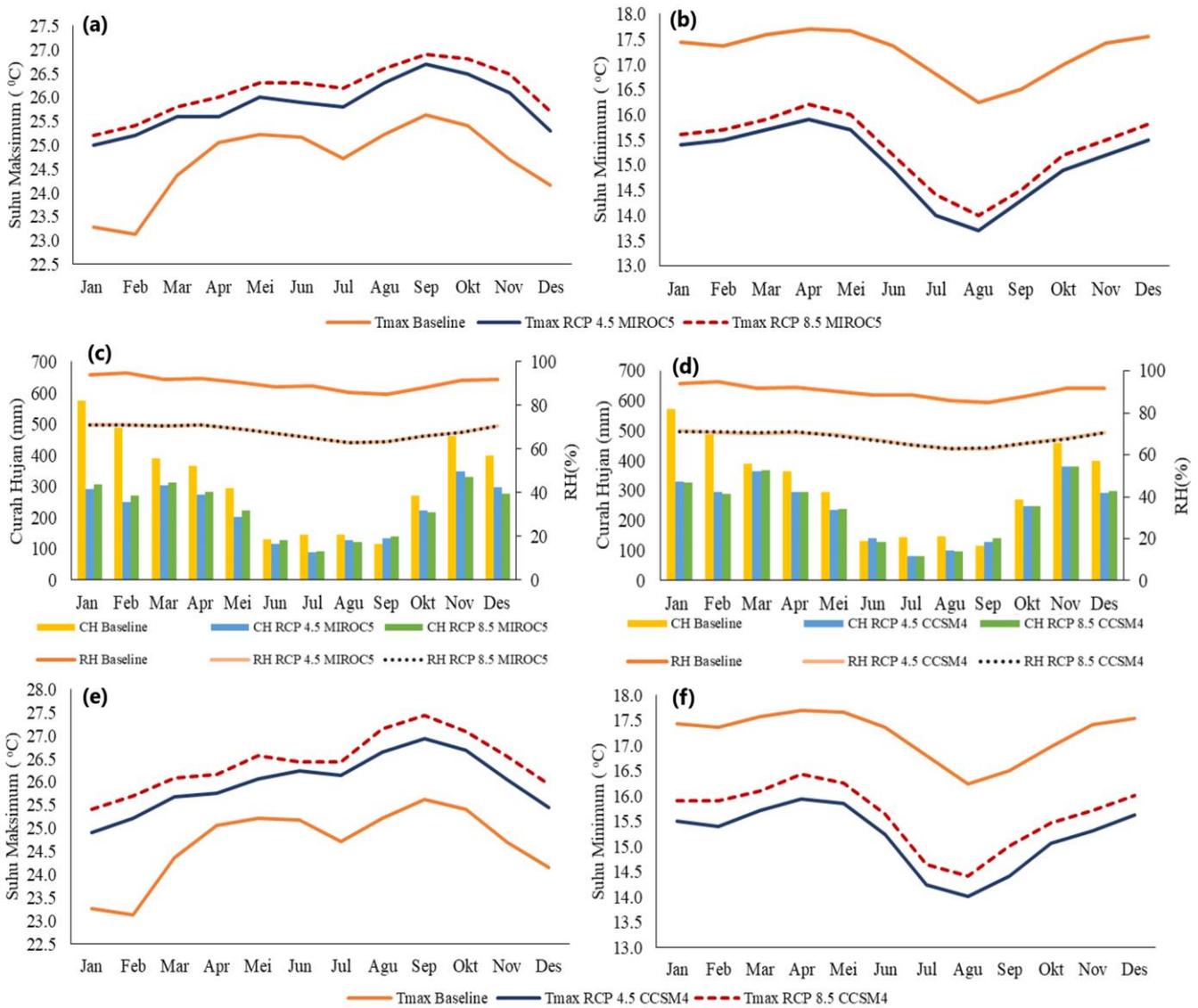
Fluktuasi perubahan suhu yang terjadi tahun 2050 akan berpengaruh terhadap nilai TI sebagai salah satu penyusun nilai GI. Peningkatan suhu Tmax yang cenderung menjauhi batas optimum maksimum *Empoasca* sp. berkembang ($DV2 = 25^{\circ}C$), akan berdampak pada penurunan nilai TI. Nilai MI yang lebih tinggi dibandingkan tahun *baseline* akan berpengaruh pada nilai GI dan EI lebih besar pada tahun proyeksi, meskipun terdapat penurunan nilai TI pada tahun proyeksi (Tabel 5). Berdasarkan fungsi *compare location* peningkatan nilai EI pada tahun 2050 untuk kedua jenis RCP dan model skenario iklim yang digunakan terhadap tahun *baseline* berada pada selang yang sama, yaitu selang "sesuai" untuk perkembangan hama *Empoasca* sp.

Analisis EI Berdasarkan Fungsi Compare Years

Fungsi *compare years* digunakan untuk menganalisis nilai indeks luaran model secara *time series*, sehingga dapat mengetahui respon hama terhadap perubahan faktor iklim harian. Informasi potensi kesesuaian hama berkembang di suatu wilayah dapat dilihat dari nilai EI. Nilai EI disusun dari interaksi indeks pertumbuhan (GI) dan indeks stres (SI). Pada penelitian ini nilai EI memiliki nilai yang sama dengan GI, karena luaran nilai penyusun SI (*i.e.* CS, HS, DS, dan WS) yang mendekati 0 tidak terlalu berpengaruh terhadap perubahan nilai EI. Nilai GI disusun oleh TI dan MI. TI menggambarkan respon hama terhadap perubahan suhu, sedangkan respon hama terhadap kelembaban tanah digambarkan oleh nilai MI. MI didasarkan pada asumsi kelembaban tanah (SM) merupakan faktor yang dominan dalam menentukan pertumbuhan inang (vegetasi) yang berpengaruh dalam perkembangan hama di suatu wilayah (Kriticos et al., 2015).

Tabel 5 Hasil luaran fungsi *compare location* tahun 2050-an menggunakan model proyeksi MIROC5 dan CCSM4.

Indeks	Tahun	Tahun 2050-an			
	2012-2017	RCP 4.5		RCP 8.5	
	(Baseline)	MIROC5	CCSM4	MIROC5	CCSM4
EI	58	64	60	63	59
GI	58	64	60	63	59
TI	80	70	70	69	69
MI	73	91	87	91	87
WS	0	0	0	0	0
DS	0	0	0	0	0
HS	0	0	0	0	0
CS	0	0	0	0	0



Gambar 2 Fluktuasi (a) Tmax, (b) Tmin, (c) CH dan RH pada tahun *baseline* (2012-2017) dan tahun 2050 skenario iklim MIROC 5 ; Fluktuasi (d) CH dan RH, (e) Tmax, (f) Tmin pada tahun *baseline* (2012-2017) dan tahun 2050 skenario iklim CCSM4

Pertumbuhan daun yang tidak optimum dapat berdampak pada penurunan hama serta mortality telur *Empoasca* sp. dikarenakan telur *Empoasca* sp. berkembang dalam jaringan tanaman (Erlandson and Obrycki, 2015). Wilayah Kebun Gunung Mas 1 yang memiliki karakteristik pola curah hujan monsun tropis dengan ciri-ciri, penerimaan curah hujan yang tinggi pada akhir dan awal tahun. Kondisi curah hujan yang tinggi menjadi faktor yang kurang mendukung yang dapat menyebabkan pencucian hama. Kondisi penurunan intensitas serangan hama juga dijelaskan pada Gambar 3a yang menunjukkan terdapat penurunan nilai MI yang mendekati 0 dikarenakan adanya peningkatan nilai *wet stress* (WS). WS merupakan respon yang dihasilkan ketika nilai SM melebihi nilai SMWS. Persamaan nilai SM, MI dan WS di uraikan pada Persamaan (11-13).

$$SM = \frac{S_{i-1} + P - E}{S_{max}} \quad (11)$$

$$MI = \begin{cases} 1, & \text{jika } SM1 < SM < SM2 \\ 1 - \frac{(SM - SM2)}{(SM3 - SM2)}, & \text{jika } SM2 < SM < SM3 \\ 1 - \frac{(SM - SM0)}{(SM1 - SM0)}, & \text{jika } SM0 < SM < SM1 \\ 0, & \text{jika } SM < SM0 \text{ dan } SM > SM3 \end{cases} \quad (12)$$

dimana MI *Moisture index*, SM *Soil Moisture*, Si-1 ketersediaan air tanah minggu sebelum, P curah hujan aktual, E evaporasi, dan S_{max} ketersediaan air maksimum.

$$WS = \begin{cases} (SM - SMWS) \times HWS, & \text{jika } SM > SMWS \\ 0, & \text{jika } SM \leq SMWS \end{cases} \quad (13)$$

dimana WS *Wet Stress*, SM *Soil Moisture*, SMWS tingkatan kelembaban tanah mulai terakumulasi, dan HWS laju akumulasi mingguan.

Berdasarkan persamaan nilai SM, peningkatan nilai curah hujan akan menaikkan nilai P₁ dan peningkatan nilai RH dapat menurunkan nilai

evaporasi (Ei), kedua variabel ini dapat berpengaruh pada kenaikan nilai SM. Kenaikan nilai WS terjadi pada bulan Januari tahun 2013, 2014, 2017, Februari tahun 2014 dan 2017, serta November 2015 (Gambar 5 (a)). Pada saat kejadian WS, kondisi curah hujan memiliki nilai yang cukup tinggi > 200mm, yaitu 912, 1092, 287, 460, 750, dan 586 mm dengan nilai RH > 90%.

Berbeda dengan indeks penyusun GI yang lain, mayoritas nilai TI berada pada rentang nilai diatas 0.7 dengan fluktuasi yang relatif konstan dari bulan ke bulan (Gambar 3b). TI akan bernilai 1 pada rentang kondisi optimum *Empoasca* sp. berkembang (DV1–DV2). Meskipun nilai TI berada pada rentang nilai yang konstan diatas 0.7, adanya penurunan nilai MI yang rendah pada bulan tertentu tahun 2012 – 2017 akan berpengaruh pada penurunan nilai indeks pertumbuhan hama (GI).

Nilai EI memberikan gambaran kesesuaian perkembangan hama dari informasi geografis dan variabel iklim di suatu wilayah. Adanya variabilitas iklim seperti ENSO dapat mempengaruhi fluktuasi perubahan nilai EI (Gambar 6). Pada penelitian ini, kejadian ENSO ditunjukkan dengan nilai *Oceanic Nino Index* (ONI) yang dikembangkan oleh NOAA. ONI dibuat berdasarkan analisis anomali *Sea Surface Temperature* (SST) tiga bulanan pada wilayah Nino 3.4 yaitu 5° LU - 5° LS, 120 - 170° BT (Abeysekera et al., 2019; Sarvina and Sari, 2017) SST pada wilayah Nino 3.4 telah banyak digunakan sebagai indikator variabilitas iklim di Indonesia (Pan et al., 2018; Surmaini et al., 2015; Syamsuddin et al., 2016). Penentuan fase ENSO berdasarkan indeks ONI ditentukan pada *threshold* ± 0.5 °C. Tahun dengan nilai ONI ≥ 0.5 selama lima bulan berturut-turut didefinisikan sebagai tahun El-Nino, sebaliknya ≤ -0.5 dianggap sebagai tahun La-Nina (Nabilah et al., 2017; Surmaini et al., 2015).

Suhu permukaan laut tidak secara langsung dalam waktu bersamaan mempengaruhi curah hujan, misalnya SST bulan Oktober belum tentu hanya mempengaruhi curah hujan bulan Oktober, namun kemungkinan besar curah hujan bulan Oktober juga dipengaruhi oleh SST 1 atau 2 bulan sebelumnya (*time lag*) (Yadnya et al., 2015). Luaran indeks ONI berupa nilai rata-rata per tiga bulanan sehingga diperlukan analisis yang mempertimbangkan faktor *lag* untuk melihat hubungan antara faktor prediktor dan prediktannya. Hubungan EI dengan ONI dinyatakan melalui skenario tenggang waktu (*time lag*) yaitu, *lag* 0 : EI bulan ini dipengaruhi oleh rata-rata ONI tiga bulanan dimana bulan terakhir sama dengan periode EI, *lag* 1 dan 2: EI bulan ini dipengaruhi ONI rata-rata tiga bulanan dimana bulan terakhir merupakan periode satu dan dua bulan sebelum periode EI. Nilai

korelasi tertinggi akan menunjukkan hubungan yang paling erat antara dua variabel pada *lag*-x.

Selang kepercayaan yang digunakan dalam analisis korelasi yaitu 95% ($\alpha = 0.05$). Kriteria nilai korelasi (r) berkisar antara -1 hingga 1 yang dideskripsikan pada Lampiran 5 dan akan signifikan jika nilai P-value < 0.05. Tanda positif dan negatif menunjukkan arah kedua variabel. Tanda positif artinya kenaikan variabel x akan diikuti dengan kenaikan variabel y, dan sebaliknya jika tanda negatif maka kenaikan variabel x akan diikuti dengan penurunan variabel y (Krzywinski and Altman, 2015). Berdasarkan analisis korelasi hubungan antara nilai ONI dan EI bulanan yang telah dilakukan pada *lag* 0, 1 dan 2, ketiganya menunjukkan hubungan yang signifikan karena P-value < 0.05 dengan nilai korelasi tertinggi pada saat *lag* 0 sebesar -0.28 sehingga analisis lebih lanjut akan dilakukan pada saat *lag* 0 (Lampiran 6). Besaran luaran nilai korelasi menunjukkan kedua variabel memiliki hubungan terbalik yang nyata antar kedua variabel.

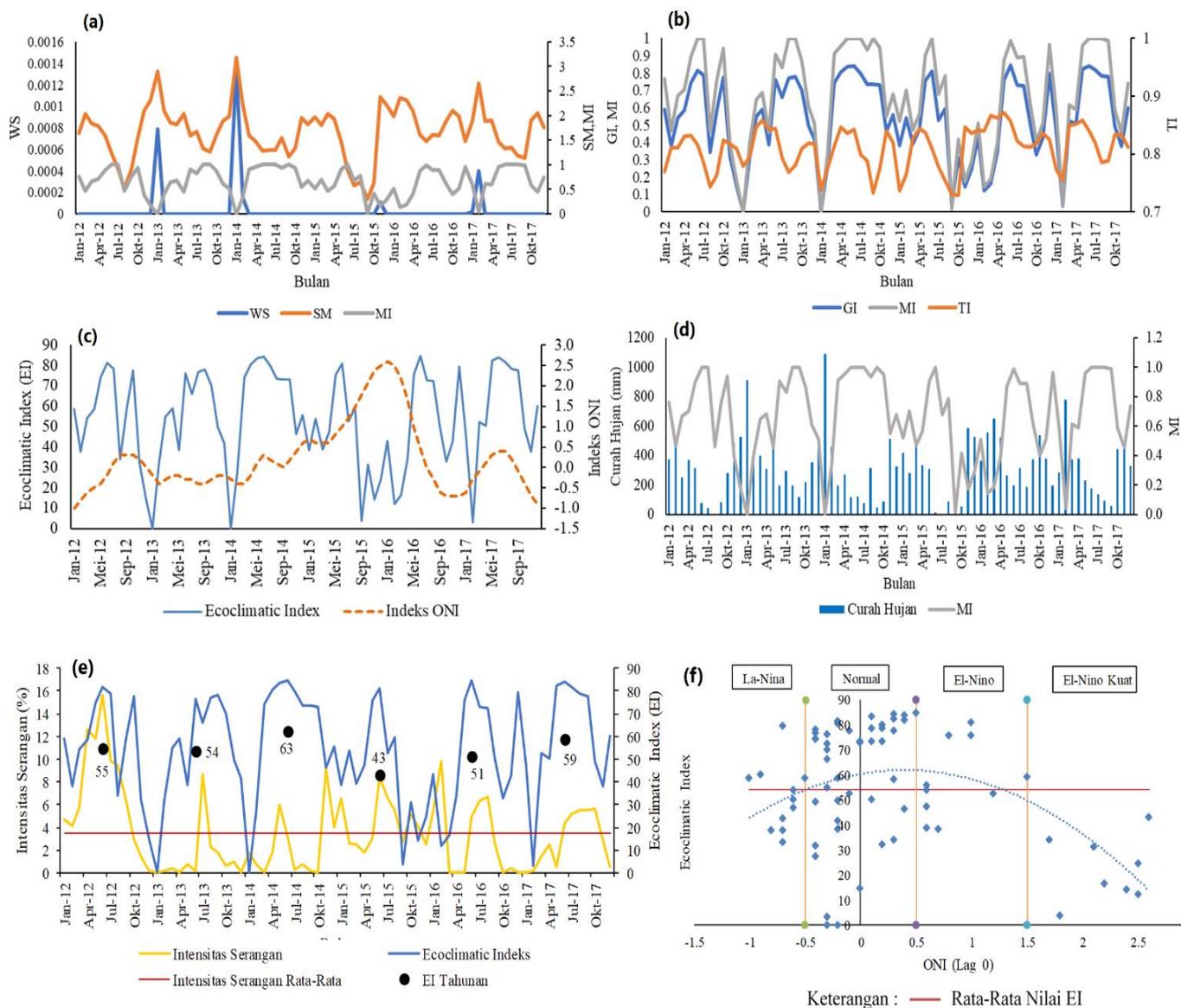
Pengukuran NOAA di wilayah Nino 3.4 memberikan informasi pada akhir tahun 2015 dan awal tahun 2016 terjadi peristiwa El-Nino kuat dan El-Nino lemah, ini ditunjukkan dengan indeks ONI yang meningkat pada bulan Agustus 2015 mencapai ≥ 1.5 hingga puncaknya pada bulan Februari 2016 dengan ONI sebesar 2.5 yang tergolong kategori El-Nino sangat kuat, kemudian nilai ONI terus menurun hingga mencapai kategori El-Nino lemah pada bulan Juni 2016, sementara itu kondisi tahun 2012-2014 dan tahun 2017 cenderung fase normal (Gambar 3c)). Fenomena El-Nino dapat berdampak pada penurunan curah hujan beberapa daerah di Indonesia (Athoillah et al., 2017).

Empoasca sp. banyak ditemukan pada musim kemarau (de Carvalho and de Oliveira, 2016), namun terjadinya musim kemarau berkepanjangan yang terjadi pada kondisi El-Nino di akhir tahun 2015 berakibat menurunkan nilai EI tahunan sebesar 20 dari tahun sebelumnya menjadi 43. Pengaruh ini dijelaskan pada Gambar 3d yang menunjukkan terjadi penurunan curah hujan pada bulan Juni – Oktober tahun 2015, dibandingkan dengan bulan yang sama di tahun lainnya. Hal ini berdampak pada penurunan nilai MI dan mencapai kondisi terendah pada bulan September 2015, dengan nilai MI sebesar 0.02. Penurunan nilai MI yang merupakan indeks pembentuk GI akan berpengaruh pada penurunan nilai EI.

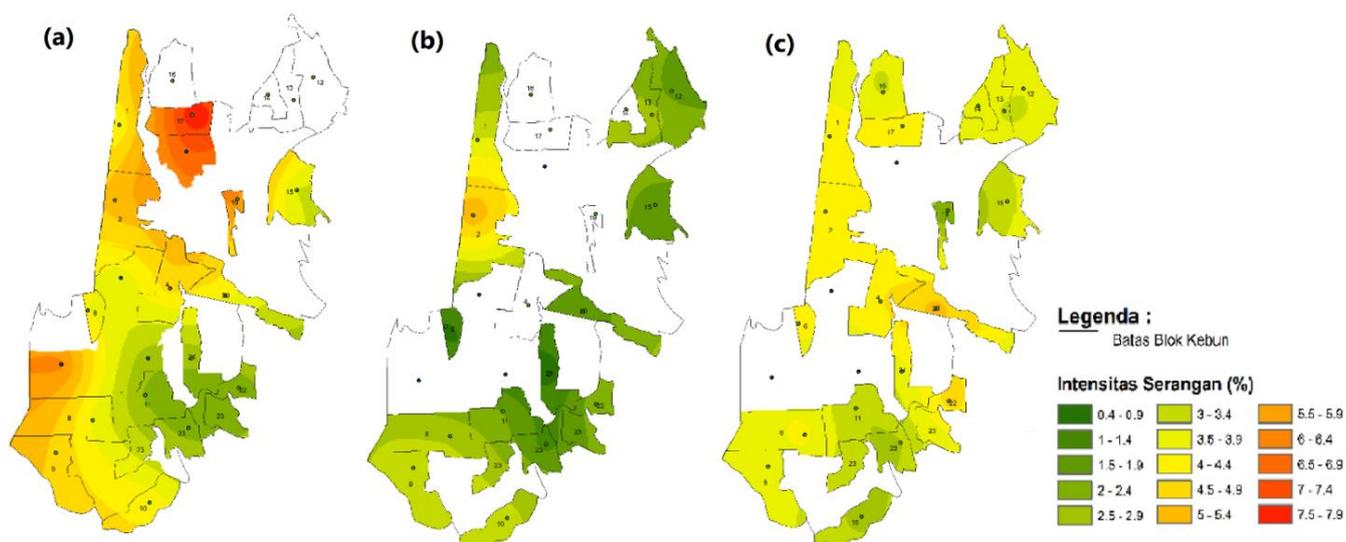
Fluktuasi nilai EI tahunan yang disajikan pada Gambar 3e menunjukkan tahun 2012 – 2017 secara umum tergolong kategori sesuai untuk perkembangan hama *Empoasca* sp. Hal ini ditunjukkan dengan

peningkatan EI tiap bulan yang tinggi diiringi dengan peningkatan intensitas serangan hama diatas rata-rata, meskipun terdapat beberapa periode dimana kenaikan nilai EI tidak diiringi dengan peningkatan intensitas serangan hama. Hal ini dapat dikarenakan adanya faktor lain selain faktor iklim yang tidak diperhitungkan kedalam model, seperti penyemprotan pestisida dan tembakau secara intensif untuk pembasmian hama *Empoasca*.sp dilakukan oleh pihak lapang PTPN VIII, adanya perlakuan *replanting* (penanaman kembali) setelah tahun 2014 yang

mengakibatkan tahun 2015 banyak tumbuh daun muda yang disukai oleh hama, serta adanya musuh alami. Gambar 3f menunjukkan tren hubungan nilai EI dengan indeks ONI yang menunjukkan bentuk hubungan kuadrat. Dominasi sebaran EI diatas rata-rata banyak terjadi saat $-0.5 < ONI < 0.5$ (tahun normal) dan banyak terjadi penurunan EI di bawah rata-rata ketika nilai $ONI > 0.5$ (EI-Nino) dan $ONI < -0.5$ (La-Nina). Sebaran penurunan serangan hama di lapang saat kejadian EI Nino ditunjukkan pada Gambar 6 dan cenderung lebih tinggi pada tahun normal.



Gambar 3. (a) Hubungan *Wet Stress* (WS), *Soil Moisture* (SM), dan *Moisture Index* (MI) bulanan, (b) hubungan *Growth Index* (GI), *Moisture Index* (MI), dan *Temperature Index* (TI) bulanan, (c) fluktuasi nilai indeks ONI dengan EI, (d) hubungan curah hujan terhadap nilai MI, (e) Fluktuasi EI bulanan dan tahunan terhadap intensitas serangan dan (f) sebaran nilai EI terhadap ONI.



Gambar 4. Sebaran intensitas serangan wereng hijau pada: (a) tahun normal (2012-2013) sebelum *replanting*, (b) tahun normal 2014 ketika pemangkasan sebelum *replanting*, dan (c) tahun El-Nino (2015-2016) sesudah *replanting* di Kebun Teh Gunung Mas 1.

KESIMPULAN

Berdasarkan nilai luaran fungsi *compare years* dan *compare location* pada model simulasi CLIMEX 4.0 dapat diketahui potensi serangan hama *Empoasca* sp. pada wilayah Kebun Gunung Mas 1 secara umum tergolong kategori sesuai untuk tahun 2012 – 2017 dan dari hasil *compare location* menunjukkan tidak terlihat perbedaan potensi serangan pada wilayah blok kebun tinggi dengan yang lebih rendah. Hal ini ditunjukkan oleh nilai EI yang berada diatas 50.

Nilai luaran *compare years* menunjukkan EI tahunan tertinggi terjadi pada tahun 2014 dengan nilai sebesar 63. Nilai EI tahunan >50 pada seluruh tahun pengamatan kecuali pada tahun 2015. Kejadian kemarau berkepanjangan yang ditunjukkan oleh kejadian El-Nino kuat pada tahun 2015 berpengaruh pada penurunan nilai MI, yang memengaruhi nilai EI. Nilai EI tahunan pada tahun 2015 kurang dari 50, tergolong ke dalam kategori kurang sesuai. Pada saat ONI > 0.5 (El-Nino), terjadi dominasi EI di bawah nilai rata-rata, dan ketika nilai ONI berada pada rentang -0.5 hingga 0.5 (normal) terjadi dominasi EI berada di atas rata-rata.

Hasil indeks keluaran fungsi *compare location* pada skenario perubahan iklim RCP 4.5 dan 8.5 pada tahun 2050-an menunjukkan terjadi kenaikan nilai EI menjadi sebesar 64 dan 60 untuk model MIROC 5 serta 63 dan 59 untuk model CCSM 4 dibandingkan tahun *baseline* dengan nilai EI sebesar 58. Kenaikan nilai EI oleh skenario perubahan iklim mengindikasikan bahwa perubahan iklim dapat meningkatkan kondisi yang optimal untuk perkembangan hama *Empoasca* sp.

DAFTAR PUSTAKA

- Abeyssekera, A., Punyawardena, B., Marambe, B., Jayawardena, S., Wickramasinghe, V., Senarathna, E., Wijerathna, S., 2019. Effect of El Niño Southern Oscillation (ENSO) events on inter-seasonal variability of rainfall in Wet and Intermediate zones of Sri Lanka 167, 14–27.
- Ahrens, C.D., 2008. *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment*, 9th Edition, 9th edition. ed. Cengage Learning, Belmont, CA.
- Akgül, F.G., Şenoğlu, B., Arslan, T., 2016. An alternative distribution to Weibull for modeling the wind speed data: Inverse Weibull distribution. *Energy Convers. Manag.* 114, 234–240. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.026>
- Athoillah, I., Sibarani, R.M., Doloksaribu, D.E., 2017. Analisis spasial pengaruh kejadian El Nino kuat tahun 2015 dan La Nina lemah tahun 2016 terhadap kelembapan, angin dan curah hujan di Indonesia. *J. Sains Dan Teknol. Modif. Cuaca* 6, 402–412. <https://doi.org/10.29122/jstmc.v18i1.2140.g2124>
- Azeez, O.M., 2017. Comparative plant resistance in fifty-five tea accessions, *Camellia sinensis* in Ibadan, South West, Nigeria. *J. Biopestic.* 10, 146–153.
- de Carvalho, D.P., de Oliveira, H.N., 2016. Population fluctuation of *Empoasca* sp. (Hemiptera: Cicadellia) in a physic NUT CROP IN MATO GROSSO DO SUL. *Acta Biológica Colomb.* 21, 81–85. <https://doi.org/10.15446/abc.v21n1.45111>

- Direktorat Jenderal Perkebunan, 2017. Statistik Perkebunan Teh Indonesia 2016-2018. Kementerian Pertanian, Jakarta.
- Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., Adler, A., Baum, I., Brunner, S., Eickemeier, P., Kriemann, B., Savolainen, J., Schlömer, S., von Stechow, C., Zwickel, T., Minx, J., 2014. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, UK.
- Erlandson, L.A., Obrycki, J.J., 2015. Population Dynamics of *Empoasca fabae* (Hemiptera: Cicadellidae) in Central Iowa Alfalfa Fields. *J. Insect Sci.* 15. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iev097>
- Faqih, A., Boer, R., 2013. Fenomena Perubahan Iklim Indonesia, in: *Politik Pembangunan Pertanian Menghadapi Perubahan Iklim*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Jakarta, pp. 11–28.
- Harun, S.A.M., Pradhipta, M.I., Achmad, U., 2019. Perubahan sosial masyarakat akibat penurunan kualitas padi di Desa Wonojati Kecamatan Jenggawah Kabupaten Jember. *SOCA J. Sos. Ekon. Pertan.* 38–50. <https://doi.org/10.24843/SOCA.2019.v13.i01.p04>
- Kementerian Perdagangan, 2018. *Warta Pengkajian Perdagangan*. Badan Pengkajian dan Pengembangan Perdagangan.
- Koesmaryono, Y., Amasih, A., Hanggoro, W., Impron, I., 2004. Uji coba aplikasi model CLIMEX 1.1 untuk menganalisis potensi penyebaran hama wereng batang coklat dan penggerek batang padi putih running test of CLIMEX 1.1 to analyze potency of rice pest distribution of brown planthopper and white stem borer. *Agromet* 18, 58–67. <https://doi.org/10.29244/j.agromet.18.2.58-67>
- Kriticos, D., Maywald, G., Yonow, T., Zurcher, E., Herrmann, N., Sustherst, R., 2015. CLIMEX Version 4: Exploring the Effects of Climate on Plants, Animals and Diseases | InSTePP: International Science & Technology Practice & Policy [WWW Document]. URL <https://www.instepp.umn.edu/products/climex-version-4-exploring-effects-climate-plants-animals-and-diseases> (accessed 12.17.19).
- Krzywinski, M., Altman, N., 2015. Multiple linear regression [WWW Document]. *Nat. Methods*. <https://doi.org/10.1038/nmeth.3665>
- Lisnawati, L., Makmur, E.E.S., Permana, D.S., 2018. Profil Klimatologis Lapse Rate Vertikal di Medan, Padang, Jakarta, Palu, dan Ambon. *J. Meteorol. Dan Geofis.* 18. <https://doi.org/10.31172/jmg.v18i2.456>
- Mamenun, M., Pawitan, H., Sopaheluwakan, A., 2014. Validasi dan koreksi data satelit TRMM pada tiga pola hujan di Indonesia. *J. Meteorol. Dan Geofis.* 15. <https://doi.org/10.31172/jmg.v15i1.169>
- Nabilah, F., Prasetyo, Y., Sukmono, A., 2017. Analisis pengaruh fenomena El Nino dan La Nina terhadap curah hujan tahun 1998 - 2016 menggunakan indikator ONI (Oceanic Nino Index) (studi kasus : Provinsi Jawa Barat). *J. Geod. Undip* 6, 402–412.
- Pan, X., Chin, M., Ichoku, C.M., Field, R.D., 2018. Connecting Indonesian fires and drought with the type of El Niño and phase of the Indian Ocean Dipole during 1979–2016. *J. Geophys. Res. Atmospheres* 123, 7974–7988. <https://doi.org/10.1029/2018JD028402>
- Pires, I.M., Garcia, N.M., Pombo, N., Flórez-Revuelta, F., Rodríguez, N.D., 2016. Validation Techniques for Sensor Data in Mobile Health Applications [WWW Document]. *J. Sens.* <https://doi.org/10.1155/2016/2839372>
- Reineke, A., Hauck, M., 2012. Larval development of *Empoasca vitis* and *Edwardsiana rosae* (Homoptera: Cicadellidae) at different temperatures on grapevine leaves. *J. Appl. Entomol.* 136, 656–664. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2011.01699.x>
- Sarvina, Y., Sari, K., 2017. Dampak ENSO terhadap produksi dan puncak panen durian di Indonesia. *J. Tanah Dan Iklim* 41, 10.
- Skawsang, S., Nagai, M., K. Tripathi, N., Soni, P., 2019. Predicting Rice Pest Population Occurrence with Satellite-Derived Crop Phenology, Ground Meteorological Observation, and Machine Learning: A Case Study for the Central Plain of Thailand. *Appl. Sci.* 9, 4846. <https://doi.org/10.3390/app9224846>
- Staffell, I., Pfenninger, S., 2016. Using bias-corrected reanalysis to simulate current and future wind power output. *Energy* 114, 1224–1239. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.08.068>
- Surmaini, E., Hadi, T.W., Subagyono, K., Puspito, N.T., 2015. Early detection of drought impact on rice paddies in Indonesia by means of Niño 3.4 index. *Theor. Appl. Climatol.* 121, 669–684. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1258-0>
- Syaifullah, M., 2014. Validasi data TRMM terhadap data curah hujan aktual di tiga DAS di Indonesia. *J. Meteorol. Dan Geofis.* 15. <https://doi.org/10.31172/jmg.v15i2.180>

- Syamsuddin, M., Sunarto, S., Yuliadi, L., 2016. Environmental variability associated with Eastern Little Tuna [*Eutynnus affinis* (Cantor, 1849)] catches: a case for the North Indramayu Waters, Java Sea. *J. Teknol.* 78. <https://doi.org/10.11113/jt.v78.8195>
- Wei, Q., Hua-Yang, Y., Niu, C.-D., Yao, R., Wu, S.-F., Chen, Z., Gao, C.-F., 2015. Comparison of Insecticide Susceptibilities of *Empoasca vitis* (Hemiptera: Cicadellidae) from Three Main Tea-Growing Regions in China. *J. Econ. Entomol.* 108, 1251–1259. <https://doi.org/10.1093/jee/fov063>
- Yadnya, I., Baskoro, W., Putra, M., 2015. Analisa time lag suhu permukaan laut yang berhubungan dengan curah hujan rata-rata dasarian di Provinsi Bali. *Bul. Fis.* 16, 40–48.