

Prediksi Kemampuan Adaptasi Delapan Varietas Kelapa Sawit pada Cekaman Abiotik Akibat Perubahan Iklim Global

Prediction of Adaptability of Eight Oil Palm Varieties Under Abiotic Stresses as Impact of Global Climate Change

Sujadi, Iput Pradiko*, Suroso Rahutomo, Rana Farrasati

Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Jalan Brigjen Katamso No. 51, Medan 20158, Sumatra Utara, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 15 Juni 2020
Disetujui: 2 September 2020
Dipublikasi online: 9 September 2020

Kata Kunci:

Adaptasi
Cekaman abiotik
Kelapa sawit
Perubahan iklim
Varietas

Keywords:

Adaptation
Abiotic stress
Oil palm
Climate change
Varieties

Direview oleh:

Neneng L. Nurida, Yayan
Apriyana, M. Hikmat

Abstrak. Perubahan iklim global di masa depan diperkirakan akan menyebabkan kenaikan suhu dan perubahan pola curah hujan di sebagian besar wilayah Indonesia, tidak terkecuali pada wilayah Adolina, Marihat, dan Bah Birong Ulu, Sumatra Utara. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak perubahan iklim di masa depan terhadap perubahan kesesuaian lahan untuk kelapa sawit dan kemampuan adaptasi varietas kelapa sawit Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) serta merekomendasikan upaya-upaya yang menjadi bagian dari proses adaptasi dan mitigasi di perkebunan kelapa sawit. Obyek studi adalah delapan varietas kelapa sawit produksi PPKS yaitu Avros, Dumpy, LaMe, Langkat, PPKS 540, PPKS 718, Simalungun, dan Yangambi. Data durasi fase perkembangan buah dan karakteristik morfologi delapan varietas tersebut diperoleh dari penelitian sebelumnya. Data produksi bulanan bersumber dari hasil pengamatan selama 2016-2018 pada kelapa sawit berumur 15 tahun di Adolina (10 m dpl), Marihat (369 m dpl), dan Bah Birong Ulu (900 m dpl). Data iklim antara tahun 1989-2018 di ketiga lokasi tersebut digunakan sebagai *baseline*, sedangkan data skenario perubahan iklim bersumber dari kajian literatur. Hasil kajian menunjukkan bahwa varietas yang memiliki durasi fase perkembangan tandan lebih cepat (Dumpy, Avros, dan PPKS 540) diprediksi lebih mudah beradaptasi dengan kenaikan suhu udara. Varietas Dumpy diprediksi lebih sesuai ditanam di wilayah yang lebih basah, sebaliknya Lame, Langkat, PPKS 540, dan Simalungun diprediksi adaptif pada wilayah yang lebih kering. Sebagai langkah adaptasi dan mitigasi, diperlukan varietas baru yang memiliki karakter toleran terhadap suhu tinggi dan kekeringan, toleran hama/penyakit, dan *high nutrient use efficiency*. Selain itu, diperlukan juga penyesuaian kultur teknis yang utamanya terkait dengan konservasi tanah dan air sertaantisipasi *outbreak* serangan hama/penyakit.

Abstract. In the future, global climate change is predicted to cause an increase in air temperature and change in rainfall pattern in most Indonesian regions. This study was aimed to analyse the impacts of global climate change on alteration of land suitability for oil palm and adaptability of Indonesian Oil Palm Research Institute (IOPRI) oil palm varieties, as well as to recommend efforts for adaptation and mitigation in oil palm plantation. Objects of the study were eight oil palm varieties released by IOPRI, those were Avros, Dumpy, LaMe, Langkat, PPKS 540, PPKS 718, Simalungun, and Yangambi. Data of fruit development phases and morphological characters for the eight varieties were obtained from the previous study. Data of monthly yield were observed in 2016-2018 for 15 years old oil palm planted in Adolina (10 m asl), Marihat (369 m asl), and Bah Birong Ulu (900 m asl). Climate data in the period of 1989-2018 in each location were employed as a baseline, while scenario data of global climate change were from literature review. The results showed that varieties with shorter duration of fruit development phases (Dumpy, Avros, and PPKS 540) were predicted to be easier to adapt with an increase in air temperature. Variety of Dumpy was predicted to be more suitable in the area with higher rainfall, on the other hand, varieties of Lame, Langkat, PPKS 540, and Simalungun were predicted to be more suitable for land with low rainfall. As a part of adaptation and mitigation process, it is necessary to assembly a new oil palm variety which has characters of tolerant to high temperature and drought, tolerant to pest and diseases, and high nutrient use efficiency. Furthermore, agronomic practices need to be adjusted mainly in the efforts to conserve soil and water as well as to anticipate the outbreak of pest and diseases.

Pendahuluan

Fenomena perubahan iklim diperkirakan menjadikan beberapa wilayah baru lebih sesuai untuk tanaman kelapa

sawit di masa depan, meskipun jumlah total luas lahan sesuai untuk tanaman kelapa sawit diprediksi akan berkurang (Paterson *et al.* 2015). Penyebab utamanya adalah terjadinya variasi iklim, seperti kenaikan suhu,

* Corresponding author: iputpradiko@yahoo.com

fluktuasi curah hujan, serta frekuensi dan peningkatan intensitas kekeringan (Kamil dan Omar 2016; Paterson *et al.* 2017).

Sektor pertanian dan ketahanan pangan diprediksi akan terkena dampak cukup ekstrem dari perubahan iklim global dengan adanya perubahan faktor abiotik dan agroklimat. Peningkatan suhu yang terjadi mengganggu proses biokimia dan fisiologi tanaman, kebutuhan energi lebih besar oleh tanaman untuk tetap berfotosintesis, tumbuh dan berproduksi dengan optimal, rentan serangan hama dan penyakit, dan kerusakan jaringan tanaman yang intoleran terhadap cekaman abiotik (Raza *et al.* 2019). Paterson *et al.* (2015) memprediksi bahwa di masa depan akan terdapat lebih banyak tanaman budidaya dengan hasil panen lebih tinggi di wilayah lintang tinggi (daerah subtropis) dibandingkan pada wilayah tropis.

Indonesia dan Malaysia yang berada di wilayah tropis dan menjadi negara produsen minyak sawit utama dunia akan dihadapkan pada dampak perubahan iklim yang serupa. Contoh terakhir adalah dampak kekeringan panjang anomali iklim khususnya *El Niño* seperti di tahun 2015 yang telah menyebabkan masalah serius di perkebunan kelapa sawit (Paterson *et al.* 2015). Di masa depan, kondisi kekeringan seperti kejadian *El Niño* 2015 diprediksi akan menjadi sering terjadi dengan intensitas yang lebih tinggi (Boer 2017).

Penelitian ini merupakan tinjauan mengenai dampak perubahan iklim global di masa depan terhadap perubahan kesesuaian lahan untuk kelapa sawit dan kemampuan adaptasi beberapa varietas kelapa sawit PPKS. Kajian kemampuan adaptasi varietas PPKS ini difokuskan pada fase pembentukan dan perkembangan tandan, yaitu dari sejak emisi pelepah pertama hingga tandan matang fisiologis. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk memaparkan beberapa upaya alternatif untuk mendukung proses adaptasi dan mitigasi di perkebunan kelapa sawit dalam menghadapi skenario perubahan iklim global.

Bahan dan Metode

Sumber Data

Skenario perubahan iklim global di masa depan khususnya prediksi kondisi suhu dan curah hujan didasarkan pada data sekunder dari studi literatur yaitu dari penelitian Hulme dan Sheard (1999) dan laporan IPCC (2007). Selain itu, juga digunakan data sekunder kondisi iklim dari data *gridded* NASA-POWER (NASA 2012) kurun waktu 1989-2018 yang dikalibrasikan dengan data primer kondisi iklim di tiga perkebunan kelapa sawit

wilayah Sumatera Utara yaitu di Adolina (10 m dpl), Marihat (369 m dpl), dan Bah Birong Ulu (900 m dpl). Kelas Kesesuaian Lahan (KKL) dari tiga lokasi penelitian (Marihat, Adolina, dan Bah Birong Ulu) masing-masing adalah KKL S1 (sangat sesuai), S2 (sesuai), dan S3 (agak sesuai) (Lubis 2008). Marihat memiliki satu pembatas ringan yaitu dengan 1-2 bulan kering (S1-k1.t1). Adolina memiliki dua pembatas ringan yaitu curah hujan <1.750 mm, dan 1-2 bulan kering, serta satu pembatas sedang yaitu tekstur pasir berlempung (S2-h1.k1.t2). Lebih lanjut, Bah Birong Ulu memiliki satu faktor pembatas berat yaitu ketinggian tempat >400 m dan tiga faktor pembatas ringan yaitu curah hujan >3.000 m, 1-2 bulan kering, serta tekstur liat berpasir (S3-l3.h1.k1.t1).

Kalibrasi data observasi lapangan dengan data *gridded* NASA juga pernah dilakukan juga oleh Wart *et al.* (2015) dengan hasil yang cukup baik. Dalam penelitian ini, kalibrasi dan validasi data NASA-POWER di Adolina dan Marihat dilakukan dengan data observasi lapangan empat tahun (2014-2017), sementara untuk data di Bah Birong Ulu dilakukan dengan data observasi kurun waktu satu tahun (2019) karena keterbatasan data iklim di lapangan. Data biofisik dan kondisi iklim pada wilayah kajian dijelaskan dalam Tabel 1.

Skenario Perubahan Iklim di Wilayah Kajian

Skenario perubahan iklim yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada skenario A1 *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (IPCC 2007). Berdasarkan skenario ini, kondisi dunia di masa depan akan mengalami pertumbuhan ekonomi sangat cepat, populasi global akan mencapai puncak di pertengahan abad dan cenderung menurun setelahnya, serta penggunaan teknologi yang lebih baru dan efisien secara masif. Dalam skenario tersebut, kenaikan suhu udara di wilayah Indonesia yang berada di wilayah Asia Tenggara pada periode tahun 2040-2069 (atau disebut sebagai 2050-an) adalah 1,5-1,7 °C. Sementara itu, pada tahun 2070-2099 (2080-an), diprediksi suhu udara akan meningkat 2,0-2,1 °C dibandingkan kondisi sekarang.

Sedikit berbeda dengan prediksi suhu udara yang secara seragam mengalami peningkatan, curah hujan di Indonesia diprediksi mengalami perubahan yang bervariasi. Secara umum, sebagian besar wilayah Indonesia mengalami peningkatan curah hujan, tetapi wilayah selatan Indonesia yaitu Pulau Jawa dan Nusa Tenggara diprediksi akan mengalami penurunan curah hujan hingga 15% pada tahun 2080-an. Prediksi curah hujan di Indonesia tahun 2050-an dan 2080-an disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Sifat biofisik dan kondisi iklim di wilayah kajian

Table 1. *Biophysics and climate condition in study sites*

Nama kebun	Tipe hujan	Rerata curah hujan mm tahun ⁻¹	Rerata Suhu udara °C	Rerata radiasi harian MJ m ⁻² hari ⁻¹	Kelembaban udara %
Adolina	Ekuatorial	1.554	26,72	16,50	83
Marihat	Ekuatorial	2.625	23,81	16,29	84
Bah Birong Ulu	Ekuatorial	3.142	22,40	12,18	88

Sumber: NASA-POWER (1989-2018)

Tabel 2. Prediksi perubahan curah hujan Indonesia di masa depan

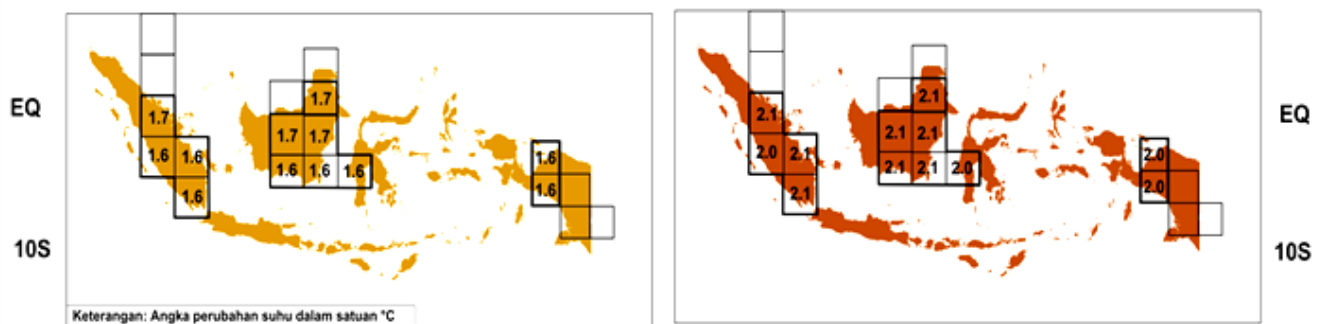
Table 2. *Prediction of Indonesia's rainfall alteration in the future*

Periode	2050-an	2080-an
DJF	2%	6%
MAM	3%	12%
JJA	0%	7%
SON	-1%	7%

Sumber: IPCC (2007)

Keterangan:

- DJF: Desember Januari Februari; MAM: Maret April Mei; JJA: Juni Juli Agustus; SON: September Oktober November
- Belum merupakan hasil downscaling perubahan curah hujan secara detail di wilayah Indonesia dan masih merupakan nilai rata-rata di wilayah Asia Tenggara



Gambar 1. Perubahan suhu rata-rata per periode (A: Periode 2040-2069; B: periode 2070-2099) berdasarkan skenario emisi A1 yang dikemukakan IPCC (dimodifikasi dari Hulme dan Sheard 1999). Suhu rata-rata periode 2040-2069 meningkat 1,6-1,7 °C dibandingkan periode *baseline*; suhu rata-rata periode 2070-2099 meningkat 2,0-2,1 °C dibandingkan periode *baseline*

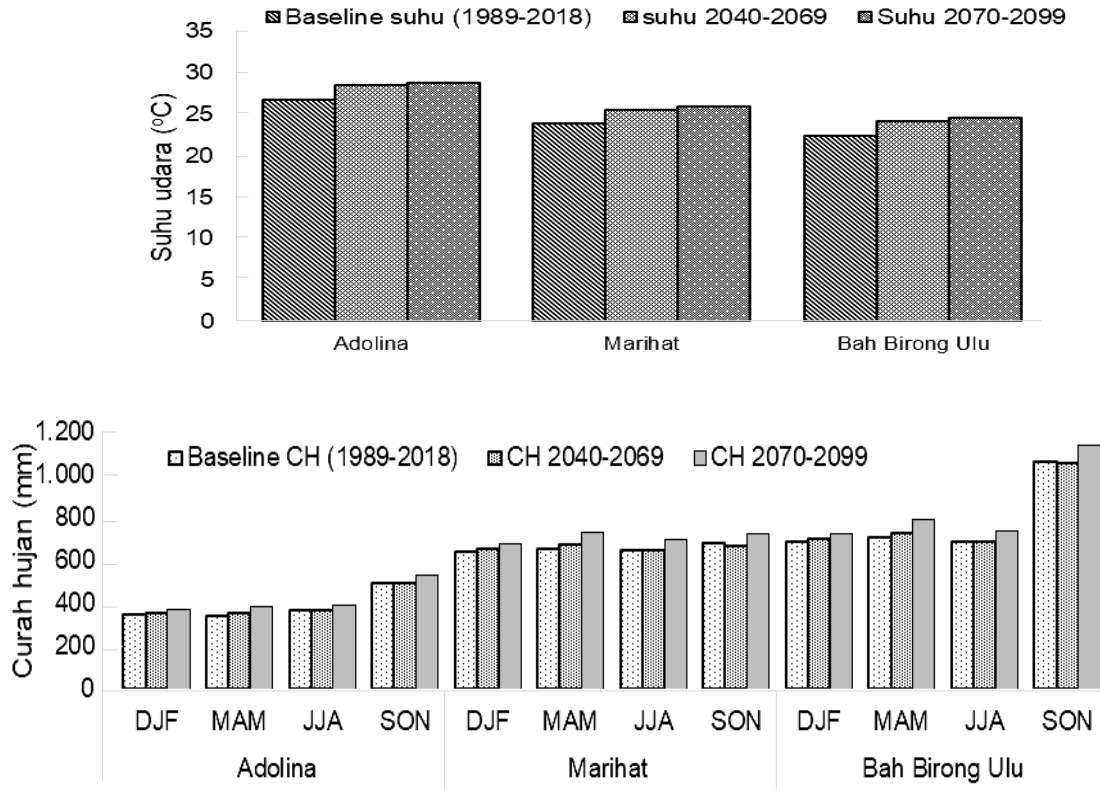
Figure 1. Average temperature alteration for each period (A: Period 2040-2069; B: Periode 2070-2099) based on emission scenario A1 stated by IPCC (modified from Hulme and Sheard 1999). The average temperature during 2040-2069 and 2070-2099 will increase 1.6-1.7 °C and 2.0-2.1 °C respectively, from average temperature during the *baseline* period

Lebih lanjut, skenario perubahan iklim di tiga wilayah kajian (Adolina, Marihat, dan Bah Birong Ulu) yang terletak di Sumatera Utara didasarkan pada Gambar 1 dengan *baseline* data iklim setempat kurun waktu 1989-2018. Prediksi suhu udara tahun 2050-an dan 2080-an diperoleh dengan menambahkan berturut 1,7 °C dan 2,1 °C dari rerata suhu udara *baseline*. Curah hujan di masa depan untuk ketiga wilayah tersebut diprediksi dengan menambahkan nilai rerata curah hujan *baseline* pada masing-masing periode (DJF, MAM, JJA, dan SON) dengan persentase (%) perubahan curah hujan pada Tabel

2. Prediksi suhu udara dan curah hujan wilayah kajian disajikan pada Gambar 2.

Analisis Pengaruh Perubahan Iklim Terhadap Performa Varietas PPKS

Penelitian ini menganalisis kemampuan adaptasi delapan varietas kelapa sawit yang telah dirilis PPKS, yaitu Avros, Dumpy, LaMe, Langkat, PPKS 540, PPKS 718, Simalungun serta Yangambi dengan ciri morfologi seperti pada Tabel 3. Varietas-varietas tersebut merupakan varietas unggul persilangan antara Dura/D (mesokarp tipis,



Gambar 2. Skenario kondisi curah hujan dan suhu udara di masa depan

Figure 2. Scenario of rainfall and air temperature condition in the upcoming years

Tabel 3. Ciri morfologi delapan varietas kelapa sawit PPKS yang digunakan dalam penelitian

Table 3. Morphological characters of the eight IOPRI's varieties used in the study

Varietas DxP	Rerata tinggi	Panjang pelepah	Rerata jumlah tandan	Rerata berat tandan	Potensi produksi	Potensi produksi
	m tahun ⁻¹	m	tdn phn ⁻¹ tahun ⁻¹	kg tandan ⁻¹	ton TBS ha ⁻¹ tahun ⁻¹	ton CPO ha ⁻¹ tahun ⁻¹
Avros	0,75	6,08	12	16	30	7,80
Dumpy	0,48	6,20	8	25	32	7,60
LaMe	0,63	6,06	14	16	36	7,90
Langkat	0,65	5,31	13	19	31	7,23
PPKS 540	0,72	5,47	14	15	33	9,60
PPKS 718	0,75	5,47	9	23	28	8,10
Simalungun	0,78	5,47	13	19	33	7,53
Yangambi	0,65	6,09	13	16	39	7,50

Sumber: Suprianto *et al.* (2019)

cangkang tebal, dan kernel besar) dengan Pisifera/P (mesokarp tebal, cangkang tipis, dan kernel kecil).

Dalam kaitannya dengan perubahan suhu, digunakan konsep *thermal heat unit* (THU) untuk menganalisis kondisi fenologi tanaman di masa depan. Prediksi kondisi fenologi tanaman kelapa sawit dalam penelitian ini difokuskan pada fase pembentukan tandan hingga tandan siap dipanen. Fase-fase perkembangan tandan yang digunakan adalah fase perkembangan tandan kelapa sawit

berdasarkan penelitian Pradiko *et al.* (2019). Tahapan perkembangan tandan dibagi menjadi lima tahap yaitu DS-BD; BD-PS; PS-RES; RES-TDN; TDN-PAN dengan DS = daun pertama; BD = bunga dompet; PS = pecah seludang; RES = reseptif; TDN = tandan; PAN = panen/matang fisiologis. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut (Pradiko *et al.* 2019):

$$s = \sum_{i=1}^t \frac{(T-T_b)}{THU} \text{ atau } \dots\dots\dots \text{(Persamaan 1)}$$

$$ds = \frac{(T-T_b)}{THU} \text{ jika } T > T_b \text{ dan } ds = 0 \text{ jika } T \leq T_b$$

Keterangan:

s = fase perkembangan tanaman

THU = *thermal heat unit* yang dibutuhkan tanaman untuk mencapai suatu fase perkembangan (hari °C)

i...t = deret unit waktu (hari)

T = suhu rata-rata harian

T_b = suhu dasar tanaman kelapa sawit yaitu sebesar 15 °C (Hartley 1988)

Nilai THU dari masing-masing tahapan telah dihitung dalam penelitian Pradiko *et al.* (2019). Dalam penelitian tersebut, telah dikarakterisasi nilai THU fase perkembangan tandan dari masing-masing varietas yang dirilis PPKS. Nilai THU dari masing-masing varietas PPKS disajikan pada Tabel 4. Nilai THU pada Tabel 4 selanjutnya dijadikan dasar dalam menentukan durasi (hari) yang dibutuhkan delapan varietas PPKS untuk menyelesaikan fase perkembangan tandan di masa depan. Persamaan 1 digunakan untuk menentukan durasi fase perkembangan tersebut dengan menggunakan data suhu skenario di masa depan pada Gambar 2.

Analisis pengaruh curah hujan terhadap produksi kelapa sawit di masa depan diawali dengan menghitung koefisien determinasi (R^2) curah hujan terhadap produksi periode DJF-MAM-JJA-SON. Oleh karena keterbatasan keragaman varietas di lokasi penelitian, data produktivitas yang digunakan adalah data produktivitas bulanan 2016-2018 dan tidak mempertimbangkan jenis varietas namun memiliki umur sama yaitu tahun tanam 2005. Nilai R^2 yang mendekati 1 menunjukkan bahwa curah hujan akan signifikan mempengaruhi produksi kelapa sawit.

Hasil dan Pembahasan

Perubahan Kesesuaian Lahan untuk Kelapa Sawit di Masa Depan

Gambaran singkat perubahan KKL sebagai akibat perubahan iklim di tiga wilayah kajian disajikan pada Tabel 5. Peningkatan suhu dan curah hujan di masa depan tentu akan menyebabkan perubahan kemampuan daya dukung lahan terhadap tanaman kelapa sawit. Terjadi penurunan kelas lahan di Adolina dan Marihat sebagai akibat perubahan curah hujan dan bulan kering. Sementara itu, kelas kesesuaian lahan di Bah Birong Ulu cenderung tidak berubah.

Hal ini sesuai dengan penelitian Rival (2017) dan Paterson *et al.* (2015) yang menyatakan bahwa sebagian besar daya dukung kondisi lingkungan abiotik dan biotik perkebunan kelapa sawit akan menurun, khususnya di Pantai Timur Sumatera, Lampung, Kalimantan Bagian Selatan, dan Papua Bagian Selatan pada tahun 2100. Akan tetapi, areal-areal dataran tinggi yang tadinya tidak sesuai karena adanya cekaman dingin (*cold stress*) dapat menjadi lebih sesuai.

Kenaikan suhu udara pada ketiga lokasi kajian akan meningkatkan suhu tanah, karena suhu tanah sangat dipengaruhi oleh suhu udara dan radiasi matahari. Suhu tanah sangat berpengaruh pada aktivitas mikrobiologi tanah (Karamina *et al.* 2017), dekomposisi bahan organik, serta meningkatkan laju mineralisasi nitrogen (Yan and Hangwen 2014). Perubahan suhu tanah juga berpengaruh terhadap kadar air tanah, konduktivitasnya, dan ketersediaannya bagi tanaman (Onwuka 2018).

Tabel 4. Nilai *thermal heat unit* fase perkembangan tandan varietas PPKS

Table 4. *Thermal Unit value on the oil palm bunch development phase of IOPRI's varieties*

Fase	DxP Avros	DyP Dumpy	DxP LaMe	DxP Langkat	DxP PPKS 540	DxP PPKS 718	DxP Simalungun	DxP Yangambi
°C hari							
TDN-PAN	1939 Δ 203	2076 Δ 215	2063 Δ 215	1929 Δ 178	1953 Δ 160	2285 Δ 200	2181 Δ 243	2043 Δ 229
RES-TDN	146 Δ 14	143 Δ 15	146 Δ 17	140 Δ 14	148 Δ 16	141 Δ 10	159 Δ 35	137 Δ 12
PS-RES	177 Δ 56	169 Δ 59	178 Δ 60	203 Δ 62	169 Δ 48	184 Δ 59	163 Δ 43	199 Δ 70
BD-PS	810 Δ 225	710 Δ 148	828 Δ 176	838 Δ 184	810 Δ 197	1061 Δ 228	738 Δ 208	948 Δ 278
DS-BD	2713 Δ 261	2659 Δ 271	2834 Δ 239	2792 Δ 286	2695 Δ 399	2492 Δ 322	2865 Δ 319	2756 Δ 368

Sumber: Pradiko *et al.* (2019)

Keterangan: DS = daun satu; BD = bunga dompet; PS = pecah seludang; RES = reseptif; TDN = tandan terbentuk; PAN = tandan siap dipanen; Δ = deviasi

Tabel 5. Perubahan kelas kesesuaian lahan (KKL) lokasi kajian sebagai akibat perubahan iklim

Table 5. Alteration of land suitability class due to climate change

Nama Kebun	Kondisi iklim (intensitas faktor pembatas)				KKL		
	Unsur Iklim	Sekarang	2050-an	2080-an	Sekarang	2050-an	2080-an
ADO	CH (mm)	1.554 (h1)	1.562 (h1)	1.677 (h1)			
	BK (bulan)	1-2 (k1)	1-2 (k1)	2-3 (k2)	S2.h1.k1.t2	S2.h1.k1.t2	S3.h1.k2.t2
	Suhu (°C)	26,72 (u0)	28,42 (u0)	28,82 (u0)			
MAR	CH (mm)	2.625 (h0)	2.650 (h0)	2.835 (h0)			
	BK (bulan)	1-2 (k1)	1-2 (k1)	2-3 (k2)	S1.k1.t1	S1.k1.t1	S2.k2.t1
	Suhu (°C)	23,81 (u0)	25,51 (u0)	25,91 (u0)			
BBU	CH (mm)	3.142 (h1)	3.166 (h1)	3.390 (h1)			
	BK (bulan)	1-2 (k1)	1-2 (k1)	1-2 (k1)	S3.I3.h1.k1.t1	S3.I3.h1.k1.t1	S3.I3.h1.k1.t1
	Suhu (°C)	22,40 (u0)	24,10 (u0)	24,50 (u0)			

Catatan:

- Karena suhu udara belum diklasifikasikan sebagai faktor pembatas KKL, maka klasifikasi suhu didasarkan pada Fleiss *et al.* (2017) dimana suhu <18 °C dan atau >33 °C adalah faktor pembatas berat. Notasi yang digunakan adalah “u”
- Jumlah kejadian bulan kering diasumsikan sangat fluktuatif
- Ketika curah hujan rerata tahunan meningkat drastis (tahun 2080-an), kondisi lahan selain iklim tidak mengalami perubahan yang signifikan

Selain lingkungan abiotik, kenaikan suhu udara di masa depan juga dapat menyebabkan gangguan lingkungan biotik seperti aktivitas serangga penyerbuk *Elaeidobius kamerunicus* dan siklus hidup hama /penyakit (Paterson *et al.* 2013). Serangga penyerbuk *E. kamerunicus* adalah agensia hayati penyerbuk utama untuk tanaman kelapa sawit di Indonesia. Suhu udara optimal untuk aktivitas serangga ini adalah 25-35 °C (Mishra *et al.* 2004). Rerata suhu udara di masa depan khususnya di Adolina yang diperkirakan mencapai 28 °C yang bahkan dalam satu hari dapat mencapai suhu maksimal lebih dari 35 °C akan sangat berpengaruh terhadap aktivitas *E. kamerunicus*.

Perubahan daya dukung lingkungan oleh tingginya intensitas curah hujan di masa depan dapat menyebabkan peningkatan laju limpasan (*run-off*). Limpasan menjadi salah satu faktor penyebab erosi dan penurunan kesuburan tanah (Csafordi *et al.* 2012). Penurunan kesuburan tanah secara langsung dapat menyebabkan suplai hara ke tanaman tidak optimal.

Prediksi Kemampuan Adaptasi Varietas PPKS Terhadap Perubahan Suhu di Masa Depan

Durasi perkembangan tandan cenderung akan menjadi lebih cepat seiring meningkatnya rerata suhu udara di masa depan (Tabel 6). Kenaikan suhu udara diprediksi akan mempercepat durasi total perkembangan tandan hingga rata-rata 77 hari di Adolina, 130 hari di Marihat, dan 178 hari di Bah Birong Ulu pada tahun 2070-2099,

yang menunjukkan bahwa dampak kenaikan suhu udara terhadap kelapa sawit lebih terlihat di wilayah dataran tinggi. Di masa depan, waktu yang diperlukan varietas PPKS untuk menyelesaikan fase daun pertama hingga menghasilkan tandan siap panen berturut-turut adalah 431, 546, dan 627 hari berturut-turut jika ditanam di Adolina, Marihat, dan Bah Birong Ulu.

Di antara delapan varietas PPKS yang dikaji dalam penelitian ini, varietas Avros, Dumpy, dan PPKS 540 memerlukan durasi waktu yang lebih singkat sejak daun pertama muncul hingga tandan matang fisiologis dibanding lima varietas lainnya. Hal ini dapat dijadikan sebagai petunjuk awal dalam memilih varietas berdasarkan kondisi agroklimat saat ini dan di masa mendatang, karena suhu udara merupakan unsur utama dalam perhitungan THU yang secara langsung maupun tidak langsung akan merepresentasikan indikator kondisi iklim maupun lingkungan abiotik lain seperti suhu tanah, panjang hari, dan juga radiasi matahari (Grigorieva *et al.* 2010). Suhu udara juga berkaitan dengan kondisi suhu permukaan daun dan *vapour pressure deficit* yang akan mempengaruhi laju fotosintesis dan distribusi asimilat (Greer 2012; Kulundžić *et al.* 2016).

Kisaran suhu optimal untuk pertumbuhan vegetatif dan produksi kelapa sawit adalah 24-33 °C, meskipun pada kasus ekstrim tanaman kelapa sawit mampu bertahan pada rentang suhu 15-38 °C (Paterson *et al.* 2015; Pirker dan Mosnier 2015; Pirker *et al.* 2016). Sebagai tanaman C3, produktivitas kelapa sawit akan meningkat jika terdapat

Tabel 6. Prediksi durasi total fase perkembangan tandan delapan varietas PPKS di masa depan

Table 6. Total duration prediction of oil palm bunch development phase at eight IOPRI's varieties in the upcoming years

Varietas	Durasi total perkembangan tandan (hari)								
	<2040			2040-2069			2070-2099		
	Adolina	Marihat	Bah Birong Ulu	Adolina	Marihat	Bah Birong Ulu	Adolina	Marihat	Bah Birong Ulu
hari.....								
DxP Avros	494 Δ 65	657 Δ 86	782 Δ 103	431 Δ 57	550 Δ 72	636 Δ 83	419 Δ 55	530 Δ 70	609 Δ 80
DyP Dumpy	491 Δ 60	653 Δ 80	778 Δ 96	429 Δ 53	548 Δ 67	633 Δ 78	417 Δ 51	528 Δ 65	606 Δ 75
DxP LaMe	516 Δ 60	687 Δ 80	817 Δ 96	451 Δ 53	576 Δ 67	665 Δ 78	438 Δ 51	554 Δ 65	637 Δ 74
DxP Langkat	504 Δ 62	670 Δ 82	798 Δ 98	440 Δ 54	562 Δ 69	649 Δ 80	427 Δ 52	541 Δ 66	621 Δ 76
DxP PPKS 540	493 Δ 70	656 Δ 93	780 Δ 111	430 Δ 61	549 Δ 78	635 Δ 90	418 Δ 59	529 Δ 75	608 Δ 86
DxP PPKS 718	526 Δ 70	700 Δ 93	833 Δ 111	459 Δ 61	586 Δ 78	677 Δ 90	446 Δ 59	565 Δ 75	649 Δ 86
DxP Simalungun	521 Δ 72	693 Δ 96	825 Δ 115	455 Δ 63	581 Δ 81	671 Δ 93	442 Δ 61	560 Δ 78	643 Δ 89
DxP Yangambi	519 Δ 82	690 Δ 109	822 Δ 129	453 Δ 71	579 Δ 91	668 Δ 105	440 Δ 69	558 Δ 88	640 Δ 101

Catatan:

- Durasi total fase perkembangan tandan merupakan hasil perhitungan durasi masing-masing fase pada Tabel 4 menggunakan Persamaan 1. Suhu rerata yang digunakan bersumber dari skenario perubahan suhu masa kini (<2040), 2040-2069, dan 2070-2099
- Δ menunjukkan nilai deviasi. Sebagai contoh durasi perkembangan tandan varietas DxP Avros di Adolina pada periode <2040 adalah 494 Δ 65 hari. Itu artinya durasi perkembangan tandan bisa lebih cepat atau lebih lama maksimal 65 hari dari durasi rata-rata 494 hari

sedikit peningkatan suhu udara (Wen dan Sidik 2011), namun produktivitas akan turun jika peningkatan suhu terjadi secara drastis karena adanya peningkatan laju fotorespirasi tanaman (Ibrahim *et al.* 2010). Laju fotosintesis akan terus meningkat hingga suhu permukaan daun mencapai 30 °C, tetapi setelahnya laju fotosintesis akan menurun (Greer 2012).

Peningkatan suhu udara akan memberikan dampak positif terhadap akselerasi pertumbuhan organ vegetatif, tetapi fase perkembangan tandan dapat menjadi tidak optimal (Ainsworth dan Ort 2010). Beberapa varietas PPKS yang saat ini sudah memiliki durasi fase perkembangan tandan cepat diprediksi akan memiliki mekanisme adaptasi lebih baik dibandingkan varietas dengan durasi perkembangan tandan lebih lama. Belum banyak penelitian yang mengkaji pengaruh dan mekanisme tanaman kelapa sawit dalam menghadapi cekaman suhu udara tinggi/*high temperature stress* (HTs), tetapi secara umum tumbuhan yang terpapar HTs akan mengalami stress oksidatif, penurunan laju pertumbuhan, perubahan laju fotosintesis, perubahan karakter fisiologis, perubahan partisi biomassa, kehilangan air, dan penurunan produktivitas (Hasanuzzaman *et al.* 2013).

Mekanisme adaptasi tanaman terhadap HTs dibagi menjadi dua yaitu pencegahan dan toleransi. Mekanisme pencegahan merupakan mekanisme jangka pendek oleh

tanaman untuk meminimalisir dan mencegah dampak negatif HTs. Mekanisme pencegahan meliputi perubahan orientasi daun, pendinginan tranpirasional, penggulungan daun, perubahan komposisi membran lipid, dan percepatan kematangan (Hasanuzzaman *et al.* 2013). Mekanisme toleransi pada tanaman terhadap HTs merupakan mekanisme tanaman untuk tetap tumbuh dan berproduksi secara ekonomis meskipun terpapar HTs. Mekanisme tersebut antara lain meliputi produksi transpoter ion, protein *Late Embryogenesis Abundant* (LEA), osmoprotektan, pertahanan antioksidan, dan pengendalian tranpirasional (Wang *et al.* 2004).

Prediksi Kemampuan Adaptasi Varietas Terhadap Fluktuasi Curah Hujan dan Potensi Kekeringan di Masa Depan

Tanaman kelapa sawit memerlukan curah hujan sebesar 2.000-2.500 mm tahun⁻¹ untuk dapat tumbuh dan berkembang optimal (Corley dan Tinker 2015). Curah hujan yang rendah <1250 mm tahun⁻¹, defisit air >200 mm, bulan kering (CH <60 mm bulan⁻¹) >3 bulan, serta hari tidak hujan terpanjang (*dry spell*) >20 hari, dapat menyebabkan cekaman kekeringan bagi tanaman kelapa sawit (Darlan *et al.* 2016). Sementara itu, curah hujan yang terlalu tinggi (>3.000 mm tahun⁻¹) juga tidak optimal untuk tanaman kelapa sawit.

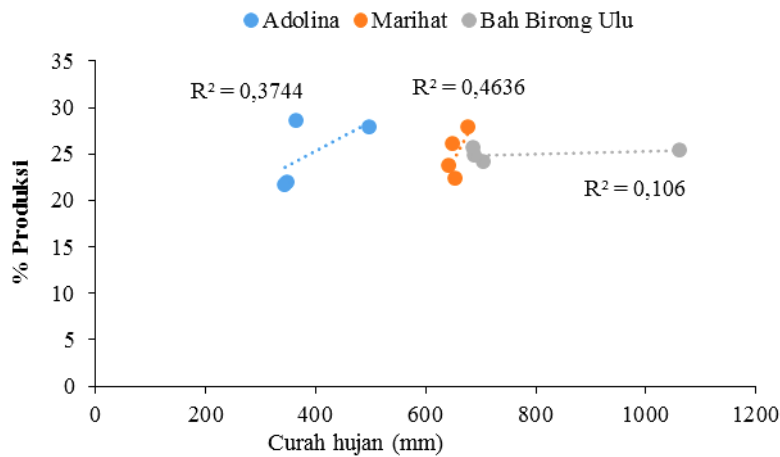
Di masa depan curah hujan di lokasi penelitian akan cenderung meningkat (Gambar 2). Akan tetapi, terdapat peluang curah hujan yang fluktuatif, kurang merata, dan ekstrim (di atas atau di bawah normal (Christensen *et al.* 2013). Curah hujan di bawah normal dapat menyebabkan kelapa sawit mengalami cekaman kekeringan yang berakibat pada menurunnya laju pembelahan sel, laju penyerapan CO₂, penyerapan hara, dan fotosintesis (Bakoume *et al.* 2013; Cha-um *et al.* 2013). Gejala fisik pada tanaman kelapa sawit yang mengalami cekaman kekeringan adalah kemunculan daun tombak >2, pelepah sengkleh, dan penurunan produktivitas (Md Noor *et al.* 2011; Darlan *et al.* 2016).

Menurut Harahap (2017), partisi asimilat pada tanaman kelapa sawit dibagi menjadi dua bagian utama yaitu partisi untuk organ vegetatif (55,94%) dan generatif (44,06%). Kelapa sawit akan mengalokasikan asimilat untuk organ vegetatif terlebih dahulu, selanjutnya jika berlebih akan dialokasikan untuk organ generatif. Pertumbuhan organ vegetatif (pertambahan biomassa batang dan daun) dipengaruhi secara *real time* oleh kejadian kekeringan (Legros *et al.* 2009), sedangkan kekeringan mempengaruhi pertumbuhan organ reproduktif setelah 3-32 bulan.

Disisi lain, curah hujan yang berlebihan dapat menyebabkan dampak yang tidak lebih baik dari cekaman kekeringan (Li *et al.* 2019). Pada kondisi curah hujan ekstrim berlebih, banjir dan genangan berkepanjangan secara langsung dapat menimbulkan gangguan pertumbuhan akar dan biomassa atas. Curah hujan berlebihan juga dapat menyebabkan *leaching* unsur hara (Li *et al.* 2019).

Analisis terhadap data persentase produksi tanaman tahun tanam 2005 dan curah hujan di Kebun Adolina, Marihat dan Bah Birong Ulu (Gambar 3) menunjukkan bahwa pola curah hujan akan mempengaruhi pola produksi tanaman kelapa sawit. Produktivitas tanaman kelapa sawit cenderung meningkat dengan kenaikan curah hujan. Akan tetapi, perlu dipahami bahwa curah hujan yang terlalu tinggi tidak lagi meningkatkan produksi tanaman, seperti yang terlihat di Bah birong Ulu. Hal ini sesuai dengan penelitian Pradiko *et al.* (2017) yang menyatakan bahwa *trend* peningkatan produktivitas tanaman kelapa sawit pada curah hujan/jeluk hujan yang lebih besar dari 450 mm tahun⁻¹ dan atau hari hujan >25 hari bulan⁻¹ akan cenderung landai.

Berdasarkan skenario bahwa kondisi curah hujan akan berfluktuasi, maka tanaman yang memiliki karakter vegetatif *compact* (pelepah tidak terlalu panjang, pertumbuhan meninggi tidak terlalu cepat, diameter batang lebih besar) diprediksi akan lebih mudah beradaptasi dengan kondisi curah hujan di masa depan. Berdasarkan karakter morfologis varietas kelapa sawit PPKS di Tabel 3, varietas Dumpy yang memiliki karakter pertumbuhan meninggi lambat akan lebih sesuai ditanam pada wilayah yang relatif basah dengan curah hujan tinggi. Untuk wilayah yang memiliki curah hujan fluktuatif dan cenderung mengalami kekeringan, maka varietas seperti Lame, Langkat, PPKS 540, dan Simalungun diprediksi akan lebih adaptif. Varietas-varietas tersebut memiliki karakter pelepah pendek dan potensi jumlah tandan yang lebih banyak sehingga dapat ditanam pada populasi lebih tinggi serta resiko persentase aborsi buah lebih rendah akibat cekaman kekeringan.



Gambar 3. Trend dan nilai koefisien determinasi curah hujan dan produksi tanaman kelapa sawit tahun tanam 2005 pada periode DJF-MAM-JJA-SON di lokasi kajian

Figure 3. Trend and coefficient determination of rainfall and oil palm yield at 2005 planting year on period DFJ-MAM-JJA-SON in study site

Upaya Adaptasi dan Mitigasi

Secara umum, perakitan varietas baru diarahkan untuk memperoleh karakter spesifik yang toleran terhadap potensi cekaman biotik dan abiotik di masa depan (Rival 2017). Khusus untuk menghadapi kenaikan suhu udara, perlu dikembangkan varietas toleran *thermal heat stress* (THs), misalnya melalui modifikasi Rubisco (Kurek *et al.* 2007) untuk mempengaruhi fotosintesis netto atau menurunkan fluks fotorespiratori melalui konsep *photorespiratory bypass* untuk meningkatkan suhu optimum fotosintesis netto. Adapun varietas yang berpotensi sebagai plasma nutfah untuk pengembangan varietas adaptif cekaman suhu tinggi adalah Avros, Dumpy, dan PPKS 540.

Karakter spesifik lainnya adalah toleran terhadap kekeringan. Seperti yang telah dijelaskan di atas varietas PPKS yang potensial adalah Lame, Langkat, PPKS 540, dan Simalungun. Menurut Md Noor *et al.* (2011), program pengembangan tanaman toleran kekeringan dapat dilakukan melalui seleksi berdasarkan performa vegetatif dan generatif tanaman pada kondisi cekaman kekeringan yang dilanjutkan dengan seleksi fisiologis tanaman dan seleksi molekuler. Perubahan iklim juga disinyalir dapat berdampak pada siklus hara, kandungan air tanah, serta ketersediaan hara terlarut bagi tanaman, maka diperlukan pula varietas yang memiliki karakter *high nutrient use efficiency*.

Untuk aspek kultur teknis, beberapa hal yang dapat dilakukan sebagai upaya adaptasi dan mitigasi dalam menghadapi dampak perubahan iklim di perkebunan kelapa sawit lain utamanya adalah terkait konservasi tanah dan air serta penerapan sistem pengendalian untuk menghadapi *outbreak* hama dan penyakit tanaman (Paterson dan Lima 2017; Paterson 2019). Khusus terkait konservasi tanah dan air, beberapa tindakan seperti aplikasi pupuk *slow release*, pengelolaan bahan organik tanah secara kontinu, serta pengelolaan *cover crop* (Samedani *et al.* 2015) diperlukan untuk mempertahankan sifat fisik/kimia/biologi tanah, meningkatkan *water holding capacity*, serta meningkatkan ketahanan tanah dalam menghadapi efek perubahan iklim khususnya banjir dan kekeringan (Freidrich 2011; Tao *et al.* 2016).

Kesimpulan

Dampak perubahan iklim diperkirakan akan mengakibatkan kenaikan rerata suhu udara dan curah hujan yang dapat mengubah kemampuan daya dukung lahan terhadap tanaman kelapa sawit. Kenaikan suhu udara

akan mempercepat durasi fase perkembangan tandan tanaman kelapa sawit. Varietas Dumpy, Avros, dan PPKS 540 yang memiliki fase perkembangan tandan lebih cepat diprediksi lebih adaptif dibandingkan varietas lain di masa depan. Sementara itu, dengan fluktuatifnya curah hujan di masa depan, maka varietas Dumpy akan lebih adaptif untuk wilayah lebih basah. Sebaliknya untuk wilayah yang berpotensi mengalami kekeringan, varietas yang berpotensi lebih adaptif adalah Lame, Langkat, PPKS 540, dan Simalungun. Sebagai upaya adaptasi dan mitigasi, diperlukan perakitan varietas baru yang memiliki karakter toleran terhadap kekeringan, toleran hama/penyakit, dan *high nutrient use efficiency*. Selain itu, diperlukan juga penyesuaian kultur teknis yang utamanya terkait dengan konservasi tanah dan air sertaantisipasi *outbreak* serangan hama/penyakit.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kami sampaikan kepada PPKS yang telah mendanai penelitian ini, kepada PT Perkebunan Nusantara IV yang telah menyediakan data pendukung, serta kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian kajian ini.

Daftar Pustaka

- Ainsworth EA, Donald R. Ort. 2010. How do we improve crop production in a warming world?. *Plant Physiology*. 154:526-530. www.plantphysiol.org.
- Bakoume CN, Shahbudin, Yacob S, Siang CS, Thambi MNA. 2013. Improved method for estimating soil moisture deficit in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) areas with limited climatic data. *Journal of Agricultural Science*. 5(8):57-65.
- Boer R. 2017. Perubahan iklim dan pembangunan sawit Indonesia. Disampaikan dalam Pertemuan Teknis Kelapa Sawit (PTKS) 2017, Solo, 24 Juli 2017.
- Cha-um S, Yamada N, Takabe T, Kirdmanee C. 2013. Physiological feature and growth characters of oil palm (*Elaeis Guineensis* Jacq.) in response to reduced water deficit and rewatering. *Australian Journal of Crop Science*. 7(3):432-439.
- Corley RHV, Tinker PBH. 2015. *The Oil Palm*. 5th edition. Wiley-Blackwell. ISBN: 978-1-4051-8939-2.
- Christensen JH, Kumar KK, Aldrian E, An S-I, Cavalcanti IFA, de Castro M, Dong W, Goswami P, Hall A, Kanyanga JK, Kitoh A, Kossin J, Lau N-C, Renwick J, Stephenson DB, Xie S-P, Zhou T. 2013. Climate phenomena and their relevance for future regional climate change. *In* Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y,

- Bex V and Midgley PM (Eds.) Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Csafordi P, Andrea PD, Jan B, Zoltán G. 2012. Soil Erosion Analysis in a Small Forested Catchment Supported by ArcGIS Model Builder. *Acta Silv. Lign. Hung.* 8:39-55.
- Darlan NH, Pradiko I, Winarna, Siregar HH. 2016. Dampak El Niño 2015 terhadap performa tanaman kelapa sawit di Sumatera bagian tengah dan selatan. *Jurnal Tanah dan Iklim.* 40(2):113-120.
- Freidrich T. 2011. Conservation agriculture for climate change adaptation in east asia and the pacific. FAO-WB Expert Group Meeting, Rome.
- Greer DH. 2012. Modelling leaf photosynthetic and transpiration temperature-dependent responses in vitis vinifera cv. semillon grapevines growing in hot, irrigated vineyard conditions. *AoB PLANTS.* 2012: pls009.
- Grigorieva E, Matzarakis A, de Freitas C. 2010. Analysis of growing degree-days as a climate impact indicator in a region with extreme annual air temperature amplitude. *Climate Research.* 42(2):143-154. doi: 10.3354/cr00888.
- Harahap IY. 2017. Prinsip-prinsip fisiologis pertumbuhan dan produksi kelapa sawit. Slide Presentasi pada Pelatihan Asisten Kebun Lingkup PTPN VI. Indonesian Oil Palm Research Institute.
- Hartley W. 1988. *The Oil Palm.* 3rd Edition. Longman Scientific Technical, New York.
- Hasanuzzaman M, Kamrun Nahar Md, Alam M, Roychowdhury R, Fujita M. 2013. Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. *Int. J. Mol. Sci.* 14:9643-9684. doi:10.3390/ijms14059643.
- Hulme M, Sheard N. 1999. Climate change scenarios for indonesia. Climatic Research Unit, Norwich, UK, 6pp.
- Ibrahim MH, Jaafar HZE, Harun MH, Yusop MR. 2010. Changes in growth and photosynthetic patterns of oil palm (*Elaeis Guineensis* Jacq.) juveniles exposed to short-term CO₂ enrichment in a closed top chamber. *Acta Physiol Plant.* 32:305-313.
- IPCC. 2007. Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. In Parry ML, Canziani OF, Palutikof JF, van der Linden PJ, Hanson CE, (Eds.) Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 976pp.
- Kamil NN, Omar SF. 2016. Climate variability and its impact on the palm oil industry. *Oil Palm Industry Economic Journal.* 16(1):18-30.
- Karamina H, Fikrinda W, Murti AT. 2017. Kompleksitas pengaruh temperatur dan kelembaban tanah terhadap nilai pH tanah di perkebunan jambu biji varietas kristal (*Psidium guajava* l.) Bumiaji, Kota Batu. *Jurnal Kultivasi.* 16(3).
- Kulundžić AM, Kovačević J, Vuletić MV, Josipović A, Liović I, Mijić A, Lepeduš H, Kočar MM. 2016. Impact of abiotic stress on photosynthetic efficiency and leaf temperature in sunflower. *Poljoprivreda.* 22(2) :17-22.
- Kurek I, Chang TK, Bertain SM, Madrigal A, Liu L, Lassner MW, Zhu G. 2007. Enhanced thermostability of *Arabidopsis rubisco* activase improves photosynthesis and growth rates under moderate heat stress. *Plant Cell.* 19:3230—3241.
- Legros S, Mialet-Serra I, Caliman JP, Siregar FA, Clément-Vidal A, Dingkuhn M. 2009. Phenology and growth adjustments of oil palm (*Elaeis guineensis*) to photoperiod and climate variability. *Annals of Botany.* 104:1171-1182. 2009. doi:10.1093/aob/mcp214.
- Li Y, Guan K, Gary D, Schitkey E, DeLucia B, Peng. 2019. Excessive rainfall leads to maize yield loss of comparable magnitude to extreme drought in the United States. *Global Change Biology.* 25:2325-2337. doi: 10.1111/gcb.14628.
- Lubis AU. 2008. Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di Indonesia. Pusat Penelitian Kelapa Sawit. PPKS Medan.
- Md Noor MR, Harun MH, Jantan NM. 2011. Physiological plant stress and responses in oil palm. *Oil Palm Bulletin.* 62:25-32.
- Mishra RM, Gupta P, Yadav GP. 2004. Intensity and diversity of flower-visiting insects in relation to plant density of *Zizyphus mauritiana* Lamk. *Tropical Ecology.* 45(2):263-270.
- NASA. 2012. NASA-Agroclimatology Methodology. Available at: <http://power.larc.nasa.gov>.
- Onwuka B. 2018. Effects of soil temperature on some soil properties and plant growth. *Adv Plants Agric Res.* 8(1):34-37.
- Paterson RMM, Sarinah M, Lima N. 2013. How will climate change affect oil palm fungal diseases?. *Crop Protection.* 46:113-120. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2012.12.023>.
- Paterson RRM, Kumar L, Taylor S, and Lima N. 2015. Future climate effects on suitability for growth of oil palms in Malaysia and Indonesia. *Scientific Reports.* 5:14457. www.nature.com/scientificreports/.
- Paterson RRM, Lima N. 2017. Climate change affecting oil palm agronomy, and oil palm cultivation increasing climate change, requires amelioration. *Ecol Evol.* 8:452-461. <https://doi.org/10.1002/ece3.3610>.

- Paterson RRM, Kumar L, Shabani F, Lima N. 2017. World climate suitability projections to 2050 and 2100 for growing oil palm. *Journal of Agricultural Science*. 1-14. doi:10.1017/S0021859616000605.
- Paterson RRM. 2019. *Ganoderma boninense* disease of oil palm to significantly reduce production after 2050 in Sumatra if projected climate change occurs. *Microorganisms*. 7(24):1-8. doi:10.3390/microorganisms7010024.
- Pirker J, Mosnier A. 2015. Global oil palm suitability assessment. IIASA Interim Report.IIASA, Laxenburg, Austria: IR-15-006.
- Pirker J, Mosnier A, Kraxner F, Havlík P, Obersteiner M. 2016. What are the limits to oil palm expansion?. *Global Environmental Change*. 40:73-81.
- Pradiko I, Rahutomo S, Ginting EN, Siregar HH. 2017. Penyusunan model pendugaan pola produktivitas bulanan kelapa sawit berdasarkan jeluk dan hari hujan. *J. Pen. Kelapa Sawit*. 25(3):117-136. <https://doi.org/10.22302/iopri.jur.jpks.v25i3.30>.
- Pradiko I, Sujadi, Rahutomo S. 2019. Pengamatan fenologi pada delapan varietas kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) menggunakan konsep Thermal Unit. *J. Pen. Kelapa Sawit*. 27(1):57-69. <https://doi.org/10.22302/iopri.jur.jpks.v27i1.71>.
- Raza A, Razzaq A, Mehmood SS, Zou X, Zhang X, Lv Y, Xu Y. 2019. Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome : A Review. *Plants*. 8(34):1-29. doi:10.3390/plants8020034.
- Rival A. 2017. Breeding the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) for climate change. *OCL*, 24, D107.
- Samedani B, Juraimi AS, Rafii MY, Sheikh Awadz SA, Anwar MP, Anuar AR. 2015. Effect of cover crops on weed suppression in oil palm plantation. *International Journal of Agriculture and Biology*. 17(2):251-260.
- Suprianto E, Supena N, Yenni Y, Siregar HA, Sujadi. 2019. Mengenal Lebih Dekat Varietas Kelapa Sawit PPKS. Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Medan.
- Tao HH, Slade EM, Willis KJ, Caliman JP, Snaddon JL. 2016. Effects of soil management practices on soil fauna feeding activity in an Indonesian oil palm plantation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 218:133-140. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.11.012>.
- Wang W, Vinocur B, Shoseyov O, Altman A. 2004. Role of plant heat-shock proteins and molecular chaperones in the abiotic stress response. *Trends Plant Sci*. 9:244-252.
- Wart JV, Grassini P, Yang H, Claessens L, Jarvis A, Cassman KG. 2015. Creating long-term weather data from thin air for crop simulation modeling. *Agricultural and Forest Meteorology*. 208:49-58. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.02.020>.
- Wen PP, Sidik MJ. 2011. Impacts of rainfall, temperature and recent El Ninos on fisheries and agricultural products in The West Coast of Sabah [2000-2010]. *Borneo Science*. 28:73-85.
- Yan L, Hangwen X. 2014. Effects of soil temperature, flooding and organic matter addition in N₂O emissions from a soil of Hongze lake wetland, China. *J Appli Soil Ecol*. 29:173-183.