

## PENYUSUNAN MODEL PENDUGAAN POLA PRODUKTIVITAS BULANAN KELAPA SAWIT BERDASARKAN JELUK DAN HARI HUJAN

### MODELING OF MONTHLY OIL PALM YIELD PATTERN BASED ON DEPTH OF RAINFALL AND RAINY DAYS

Iput Pradiko, Suroso Rahutomo, Eko N. Ginting, dan Hasril H. Siregar

**Abstrak** Untuk produktivitas optimal, kelapa sawit memerlukan curah hujan yang terdistribusi merata sepanjang tahun. Penelitian ini bertujuan untuk menduga pola produktivitas bulanan kelapa sawit berdasarkan data jeluk dan hari hujan bulanan. Penelitian dilakukan di Sumatra Utara, yaitu pada kelapa sawit tahun umur 12 tahun di 15 kebun kelapa sawit di lahan mineral. Data yang digunakan adalah data jeluk hujan (CH) dan hari hujan (HH) bulanan antara tahun 2012-2016, data produktivitas bulanan tahun 2016 sebagai basis data, serta data produktivitas bulanan tahun 2017 sebagai data pembandingan. Data dianalisis menggunakan analisis korelasi linear dan non-linear antara jeluk hujan dengan produktivitas serta hari hujan dengan produktivitas pada *lag* (jeda waktu) 0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, dan 48 bulan. Hasil analisis korelasi digunakan untuk membangun model pendugaan pola produktivitas bulanan. Nilai *Root Mean Square Error* (RMSE), *Mean Absolute Bias Error* (MABE), dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) antara hasil pendugaan dengan capaian aktual produktivitas bulanan tahun 2017 menunjukkan bahwa model pendugaan menggunakan data hari hujan lebih akurat dibandingkan jika menggunakan data jeluk hujan. Nilai rata-rata RMSE; MABE; dan MAPE model pendugaan berdasarkan hari hujan adalah 0,337; 0,275; dan

15,482%; sementara jika menggunakan data jeluk hujan nilainya berturut-turut sebesar 0,367; 0,296; dan 16,594%.

**Kata kunci:** kelapa sawit, produktivitas, jeluk hujan, hari hujan

**Abstract** Oil palm requires evenly distributed rainfall throughout the year to achieve optimum yield. This study was aimed to estimate monthly oil palm yield based on depth of rainfall and rainy days data. Yield data were collected from 12 years old of oil palm grown on mineral soils at 15 plantations in North Sumatra. The yield data were monthly data of 2016 and 2017 for database and comparison, respectively. Data of depth of rainfall and rainy days were from 2012-2016. Data were analyzed using a linear and non-linear correlation between depth of rainfall versus yield and rainy days versus yield at time lag of 0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, and 48 months. The results of correlation analysis were used to construct an equation model for estimating monthly yield patterns. Based on values of *Root Mean Square Error* (RMSE), *Mean Absolute Bias Error* (MABE), and *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) between estimation and actual monthly yield of 2017, it could be concluded that estimation model based on rainy days were more accurate than when it was based on depth of rainfall. The values of RMSE, MABE, MAPE of estimation model based on rainy days were 0,337; 0,275; 15,482%, respectively; while based on depth of rainfall the values were 0,367; 0,296; 16,594%, respectively.

**Keywords:** oil palm, productivity, depth of rainfall, rainy days

---

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Iput Pradiko (✉)  
Pusat Penelitian Kelapa Sawit  
Jl. Brigjen Katamso No. 51 Medan, Indonesia  
Email: iputpradiko@gmail.com

## PENDAHULUAN

Kelapa sawit di Indonesia telah dibudidayakan secara komersial di 25 provinsi di Indonesia (Ditjenbun, 2014). Selain faktor pedologi, pola penyebaran kelapa sawit juga sangat dipengaruhi oleh faktor iklim terutama curah hujan, baik jeluk hujan (mm) maupun hari hujan (hari). Kebutuhan air pada tanaman kelapa sawit adalah sekitar 4,10 - 4,65 mm/hari (Doorenbos dan Pruitt, 1977) yang diserap sistem perakaran dari air yang tersimpan dalam penampang tanah. Sumber air tanah tersebut umumnya berasal dari hujan, sangat jarang yang berasal dari sistem irigasi karena teknologi irigasi di Indonesia masih memerlukan input biaya yang tinggi serta belum mampu menjangkau area yang luas (Rahutomo *et al.*, 2007).

Hasil penelitian dari Lubis (2008) dan Siregar *et al.* (2005) menunjukkan bahwa persyaratan jeluk hujan untuk pertumbuhan kelapa sawit yang optimal adalah curah hujan tahunan sebesar >1.250 mm/tahun, bulan kering <1 bulan, kejadian defisit air <200 mm/tahun, dan nihil *dry spell* (deret hari terpanjang tidak hujan selama lebih dari 20 hari). Persyaratan curah hujan optimum tersebut menggambarkan bahwa selain total curah hujan dalam setahun, distribusi curah hujan bulanan sepanjang tahun juga merupakan faktor utama penentu keberhasilan budidaya kelapa sawit.

Tipe curah hujan di Indonesia terbagi menjadi 3, yaitu monsoonal, ekuatorial, dan lokal. Dari ketiga tipe curah hujan tersebut, tipe monsoonal dan equatorial merupakan tipe yang dominan. Perbedaan utama kedua tipe ini adalah pada batas antara musim penghujan dan musim kemarau (Sipayung *et al.*, 2007 dan Aldrian, 2008). Batas yang tegas antara musim penghujan dengan musim kemarau terdapat pada tipe monsoonal, pada tipe ekuatorial curah hujan cenderung merata sepanjang tahun, sedangkan tipe hujan lokal sangat dipengaruhi oleh kondisi topografi seperti gunung, laut, dan sebagainya (Tukidi, 2010). Meskipun demikian, anomali curah hujan dapat terjadi pada saat terjadi anomali iklim El Niño dan La Niña sehingga pola curah hujan bulanan di Indonesia mengalami fluktuasi (Mulyana, 2002; Tjasyono *et al.*, 2008; Gustari, 2009; Gusmira, 2013; serta Yuggotomo dan Ihwan, 2014).

Menurut penelitian Goh *et al.* (1994), Ho (1993), dan Rizal dan Tsan (2007), di beberapa negara seperti Malaysia, Papua Nugini, Costa Rica, Honduras, dan Benin; fluktuasi curah hujan tahunan merupakan salah satu faktor penyebab fluktuasi produksi kelapa sawit per tahun. Efek dari rendahnya curah hujan terhadap produktivitas terlihat dalam kurun waktu 2-24 bulan kemudian. Hal tersebut terjadi karena tanaman mengalami kondisi cekaman kekeringan yang mempengaruhi kondisi fisiologis dan produktivitasnya (Henson, 2007; Zhang *et al.*, 2007; Gardner *et al.*, 2008; Palupi dan Dedywiyanto, 2008; Sun *et al.*, 2011; Lakitan, 2012; Bakoume *et al.*, 2013; dan Cha-um *et al.*, 2013; Syarovy *et al.*, 2015). Disisi lain, curah hujan yang sangat tinggi juga dapat menyebabkan penurunan rendemen minyak pada bulan yang sama akibat kelembaban yang berlebihan. Selain itu, menurut Hidayat *et al.* (2013), curah hujan yang berlebihan dapat menyebabkan penurunan aktivitas serangga *Elaeidobius kamerunicus* sehingga akan terjadi penurunan *fruit set* dan produktivitas pun tentu akan menurun. Pada perkebunan di Aek Kuo, Sumatra Utara dilaporkan bahwa produktivitas kelapa sawit menurun hingga 20% karena curah hujan yang fluktuatif dan drainase yang kurang baik (Benny *et al.*, 2015).

Fluktuasi produktivitas, khususnya dalam skala bulanan sangat perlu diperhatikan oleh praktisi di lapangan. Fluktuasi produktivitas bulanan yang tidak terantisipasi dapat menyebabkan perubahan dalam alokasi tenaga kerja khususnya tenaga pemanenan, *budgeting* bulanan, dan lain sebagainya. Di Indonesia, beberapa studi tentang pengaruh curah hujan terhadap produksi kelapa sawit telah dilaporkan Siregar *et al.* (1998), Darlan *et al.* (2016), dan Pradiko *et al.* (2016a), sedangkan pemodelan produksi kelapa sawit juga telah banyak dilakukan antara lain oleh Gromikora *et al.* (2014), Elvani *et al.* (2016), dan Kurniawati *et al.* (2017), namun sebagian besar model yang telah ada umumnya cukup baik dalam menduga produktivitas tahunan tetapi kurang akurat untuk mengestimasi produktivitas bulanan. Selain itu, fluktuasi produksi bulanan terkait fluktuasi curah hujan bulanan juga masih belum banyak diamati. Penelitian ini bertujuan untuk menyusun model pendugaan pola produktivitas bulanan tanaman kelapa sawit berdasarkan kondisi jeluk hujan dan hari hujan.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan terhadap tanaman kelapa sawit tahun tanam (TT) 2005 dari 15 kebun pada lahan mineral di Sumatra Utara, yaitu Kebun A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, dan O. Durasi penelitian adalah selama tiga bulan, yaitu mulai Juli sampai dengan Oktober 2017. Data yang digunakan antara lain adalah data produktivitas bulanan (kg/ha) TT 2005 pada tahun 2016 dan 2017 (s.d. September) serta data jeluk hujan (mm) dan hari hujan (hari) bulanan kurun waktu 2012-2016. Jeluk hujan adalah jumlah curah hujan pada setiap hari hujan, sedangkan hari hujan adalah hari dengan jeluk hujan lebih dari 0,5 mm (Rauf *et al.*, 2008). Pengolahan data dilakukan menggunakan MS. Excel 2013, SPSS 16.0, serta CurveExpert Professional 2.5.3. Diagram alir pengolahan dan interpretasi data pada penelitian ini ditampilkan pada Gambar 1.

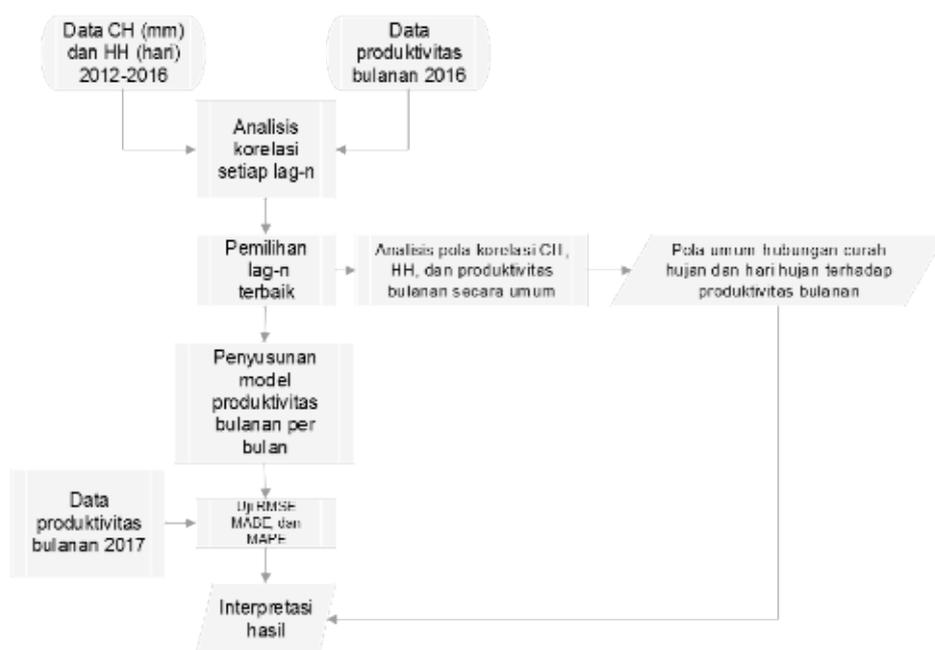
### 1. Analisis korelasi pada lag-n

Analisis korelasi (linear dan non-linear) pada setiap lag (0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, dan 48 bulan) dilakukan menggunakan CurveExpert Professional

2.5.3. Akan tetapi, sebelumnya dilakukan uji linearitas data menggunakan SPSS 16.0. Jika data memiliki nilai signifikansi  $> 0,05$  berarti data memiliki korelasi linear, sedangkan jika sebaliknya maka data memiliki korelasi non-linear. Dalam analisis regresi tersebut, yang diplotkan sebagai sumbu x (*independent variable*) adalah jeluk hujan atau hari hujan dan yang diplotkan sebagai sumbu y (*dependent variable*) adalah produktivitas bulanan pada tahun 2016.

### 2. Pemilihan korelasi lag-n terbaik

Hasil analisis pada poin 1 selanjutnya dibandingkan per lag per kebun. Lag dengan korelasi terbaik adalah lag yang memiliki nilai koefisien korelasi (*correlation coefficient*) atau dinotasikan dengan "r" mendekati 1 (Apriyana dan Kailaku, 2015). Selain itu, dilakukan juga perbandingan rerata setiap lag dari 15 kebun untuk mengetahui pola korelasi umum antara jeluk hujan dan hari hujan terhadap produktivitas bulanan kelapa sawit di kebun-kebun tersebut. Pemilihan lag dengan korelasi terbaik dilakukan melalui



Gambar 1. Diagram alir pengolahan dan interpretasi data

Figure 1. Flowchart of processing and data interpretation

analisis statistik deskriptif menggunakan analisis boxplot. Analisis boxplot dilakukan menggunakan SPSS 16.0. Nilai lag terbaik adalah lag yang memiliki nilai rataan tertinggi dan tanpa data *outlier* (pencilan) (Darsyah, 2014).

### 3. Penyusunan model distribusi produktivitas bulanan

Penyusunan model distribusi produktivitas bulanan pada setiap kebun dilakukan menggunakan piranti lunak CurveExpert Professional 2.5.3. Model distribusi disusun berdasarkan pola keterkaitan antara jeluk hujan atau hari hujan dengan produktivitas bulanan pada lag dengan korelasi terbaik. Selanjutnya hasil pendugaan pola distribusi produktivitas bulanan akan dibandingkan dengan capaian produktivitas bulanan real tahun 2017 pada setiap kebun.

Pada tahap ini, karena fokus utama penelitian ini adalah untuk menduga pola produktivitas bulanan, maka pendugaan produktivitas bulanan ditentukan dengan persamaan berikut:

$$y'_{\text{mod } i} = \frac{y_{\text{mod } i}}{Y_{\text{mod tot}}} \times Y_{\text{aktual}}$$

Keterangan:

$y'_{\text{mod } i}$  = produktivitas final hasil pendugaan pada bulan ke- $i$ ;  $y_{\text{mod } i}$  = produktivitas hasil pendugaan pada bulan ke- $i$ ;  $Y_{\text{mod tot}}$  = produktivitas total hasil pendugaan kurun waktu Januari-September 2017;  $Y_{\text{aktual}}$  = produktivitas total aktual kurun waktu Januari-September 2017.

### 4. Pengujian model pendugaan pola distribusi produktivitas bulanan

Pengujian akurasi model pendugaan pola distribusi produktivitas bulanan terhadap capaian produktivitas bulanan 2017, dilakukan dengan menghitung nilai *Root Mean Square Error* (RMSE), *Mean Absolute Bias Error* (MABE), dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Model pendugaan akan semakin akurat jika nilai RMSE semakin mendekati 0 (Ma and Iqbal, 1983). Nilai MABE merepresentasikan tingkat ketepatan

model, semakin kecil nilainya semakin baik suatu model (Akinoglu, 1991). Sementara itu, MAPE merupakan pengukuran kesalahan melalui pengukuran persentase penyimpangan antara data aktual dengan data pendugaan (Kurniawati, 2017). Nilai akurasi pendugaan sangat baik jika memiliki nilai MAPE kurang dari 10% dan mempunyai akurasi pendugaan yang baik jika nilai MAPE kurang dari 20% (Montgomery *et al*, 2008; Suryaningrum *et al*, 2015). Rumus perhitungan RMSE, MABE, dan MAPE adalah sebagai berikut:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{\text{mod } i})^2}{n}} \quad (\text{a})$$

$$\text{MABE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (|y_i - y_{\text{mod } i}|) \quad (\text{b})$$

$$\text{MAPE} = 100 \times \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (|y_i - y_{\text{mod } i}|) \quad (\text{c})$$

Keterangan :

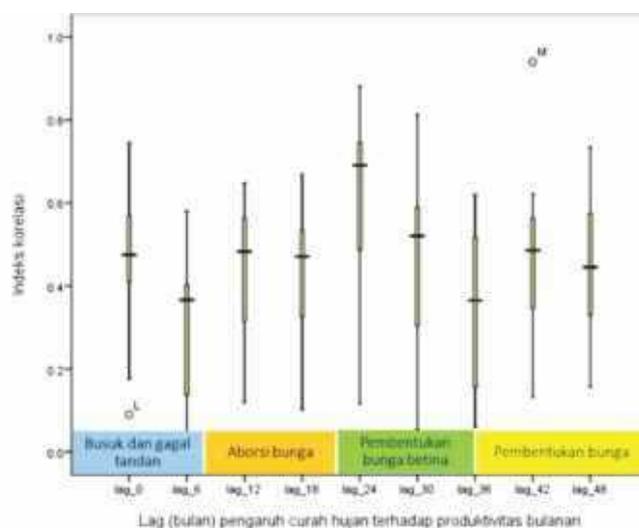
$y_i$  = produktivitas aktual bulan ke- $i$ ;  $y_{\text{mod } i}$  = produktivitas hasil pendugaan bulan ke- $i$ ;  $n$  = jumlah data.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Korelasi Jeluk Hujan serta Hari Hujan Terhadap Produktivitas Bulanan

#### a. Korelasi jeluk hujan terhadap produktivitas bulanan

Berdasarkan hasil analisis korelasi antara jeluk hujan terhadap produktivitas bulanan dari 15 kebun (Gambar 2), diketahui bahwa jeluk hujan yang paling berpengaruh terhadap produktivitas bulanan adalah jeluk hujan 24 bulan sebelumnya (lag-24 bulan) dengan nilai mean  $r = 0,606$ . Sementara itu, indeks korelasi terendah terdapat pada lag-6 (mean  $r = 0,31$ ). Hasil analisis korelasi dari setiap lag dapat dilihat di Lampiran 1. Untuk penelitian lapangan, Mulyana (2002) menyatakan bahwa nilai  $r \geq 0,600$  dari pengaruh curah hujan terhadap obyek penelitian dinilai sudah cukup signifikan.



Gambar 2. Indeks korelasi antara curah hujan dengan produktivitas bulanan pada beberapa waktu jeda (*lag*). Data dengan notasi huruf di luar rentang *boxplot* adalah data pencilan.

Figure 2. Correlation index between depth of rainfall and monthly yield at some lag. Letters outside *boxplot*'s range is outlier data.

Hasil penelitian ini sesuai dengan hasil penelitian Manalu (2008) yang menyatakan bahwa jeluk hujan sangat erat dalam mempengaruhi produktivitas kelapa sawit. Hasil penelitian ini juga selaras dengan hasil penelitian Pamin *et al.* (1997), Siregar *et al.* (2005), dan Rizal and Tsan (2007) yang menyatakan bahwa fluktuasi curah hujan (khususnya jeluk hujan yang rendah) pada fase pembentukan buah (24 bulan sebelum panen) menyebabkan penurunan produktivitas. Selain itu, Rizal and Tsan (2007) juga menyatakan bahwa jeluk hujan pada lag-6 (6 bulan sebelum panen) tidak berpengaruh signifikan terhadap produktivitas tanaman kelapa sawit.

Corley (1976) menjelaskan bahwa fase-fase perkembangan organ generatif yang peka terhadap kondisi lingkungan (terutama jeluk hujan) adalah tahapan pembentukan buah (pembentukan bunga, pembentukan bunga betina, aborsi bunga, serta busuk dan gagal tandan). Fase pembentukan bunga betina merupakan fase yang paling rentan terhadap fluktuasi jeluk hujan. Hasil penelitian ini juga menunjukkan hal yang sama, terlihat dari nilai *r* pada fase pembentukan bunga (yaitu pada lag-24 dan lag-30) yang mencapai 0,606 dan 0,460.

Kondisi curah hujan yang kurang akan menyebabkan tanaman mengalami cekaman kekeringan sehingga akan muncul lebih banyak bunga jantan dibandingkan bunga betina, sehingga akan menurunkan *sex ratio* (Rizal dan Tsan, 2007; Bakoume *et al.*, 2013; dan Pradiko *et al.*, 2016b). Penurunan *sex ratio* akan berimplikasi pada penurunan jumlah tandan yang terbentuk 24 bulan setelah kejadian cekaman kekeringan tersebut, sehingga produktivitas tanaman akan menurun. Disisi lain, seperti yang dilaporkan oleh Goh *et al.* (1994), jeluk hujan yang terlalu tinggi (> 3.400 mm/tahun) juga tidak terlalu baik untuk tanaman karena justru menghasilkan produktivitas (ton/ha) yang lebih rendah dibandingkan dengan daerah dengan jeluk hujan optimum dalam rentang 2.000 – 2.500 mm/tahun. *Trend* penurunan tersebut disebabkan oleh keterbatasan kapasitas tanah dalam menampung jeluk hujan serta semakin meningkatnya laju erosi seiring peningkatan jeluk hujan yang menyebabkan pencucian hara, sehingga tanaman tidak optimal menggunakan air dan hara yang tersedia dari dalam tanah (Benny *et al.*, 2015).

### b. Korelasi hari hujan terhadap produktivitas bulanan

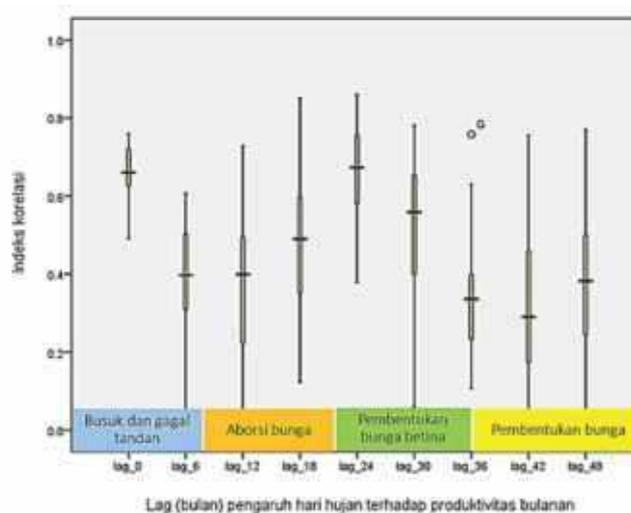
Secara umum, korelasi antara hari hujan terhadap produktivitas bulanan yang paling signifikan terdapat pada lag-24 (dengan mean  $r = 0,669$ ), sedangkan indeks korelasi terendah terdapat pada lag-42 (mean  $r = 0,293$ ) (Gambar 3).

Hal ini semakin memperkuat hasil-hasil penelitian serta pernyataan penelitian-penelitian sebelumnya (Corley and Tinker, 2003; Fauzi *et al.*, 2014) yang menyatakan bahwa curah hujan yang merata, khususnya pada fase pembentukan bunga betina (24 bulan sebelum panen) merupakan faktor penting untuk menjamin produktivitas tanaman kelapa sawit yang optimal dan tidak fluktuatif. Disisi lain, meskipun sedikit berbeda, Legros *et al.* (2009) menyatakan bahwa kondisi kekeringan dapat menyebabkan penurunan jumlah tandan pada 29 bulan setelah kekeringan.

Sementara itu, rendahnya korelasi pada lag-42 kemungkinan erat kaitannya dengan mekanisme fisiologis pada fase pembentukan bunga. Dampak kekeringan akan dapat di-recovery secara cepat oleh tanaman pada fase ini. Penjelasan mendetail mengenai hal tersebut belum diketahui secara pasti. Namun

demikian, hasil penelitian ini sejalan dengan pernyataan Corley and Tinker (2003) yang menyatakan bahwa meskipun curah hujan berpengaruh pada semua fase, tetapi fase pembentukan bunga betina (24 bulan sebelum panen) merupakan fase yang paling rentan terhadap fluktuasi curah hujan.

Ada satu fakta menarik dari hasil analisis korelasi antara hari hujan dan produktivitas bulanan ini, yaitu korelasi yang cukup signifikan (mean  $r = 0,657$ ) pada lag-0. Hal tersebut kemungkinan erat kaitannya dengan variabel *dry spell* (deret hari terpanjang tidak hujan). Jika tidak terjadi *dry spell* > 20 hari (sebagai contoh pada bulan ke-n), maka dapat dipastikan bahwa produktivitas bulan ke-n tersebut tidak akan menurun. Akan tetapi, jika terjadi *dry spell*, maka produktivitas pada bulan ke-n akan terpengaruh. Hal ini karena kekeringan menyebabkan matang panen tandan dipercepat, sehingga buah berukuran lebih kecil, serta tandan lebih ringan dibandingkan dengan tandan pada musim hujan (Darlan *et al.*, 2014). Penelitian Pamin *et al.* (1997) menyatakan bahwa cekaman kekeringan dapat menyebabkan penurunan salah satu variabel produktivitas yaitu rata-rata berat tandan (RBT) hingga 10% pada saat cekaman terjadi kekeringan.



Gambar 3. Indeks korelasi antara hari hujan dengan produktivitas bulanan pada beberapa waktu jeda (lag). Data dengan notasi huruf di luar rentang boxplot adalah data pencilan.

Figure 3. Correlation index between rainy days and monthly yield at some lag. Letters outside boxplot's range is outlier data.

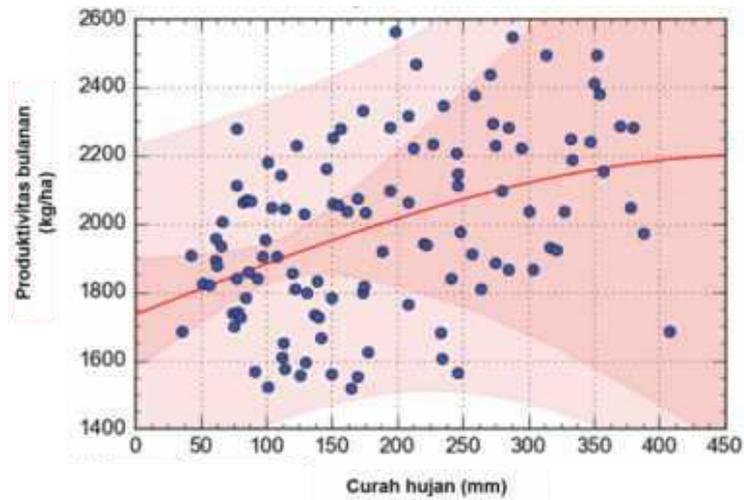
**Pola Hubungan Jeluk Hujan dan Hari Hujan Terhadap Produktivitas Tanaman Kelapa Sawit**

Plotting data produktivitas bulanan dari 15 kebun pada beberapa besaran jeluk hujan menunjukkan bahwa pola sebaran data tidak bersifat linear, tetapi bersifat kuadratik, atau tepatnya memiliki pola *reciprocal quadratic* dengan persamaan:

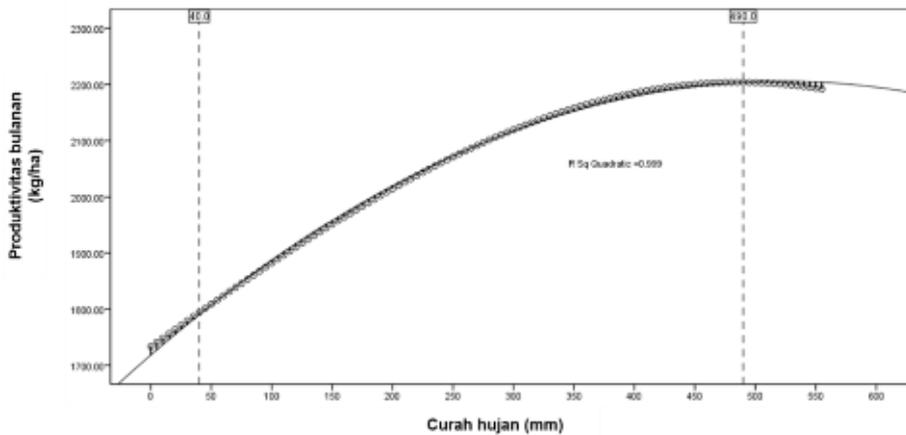
$$y = 1/(a + b*x + c*x^2)$$

Keterangan: y = produktivitas bulan ke-n; x = curah hujan bulan ke-n<sub>-24</sub>; a = 6.10E-04; b = -1.48E-05; dan c = 3.97E-07

Berdasarkan Gambar 3.a dapat diketahui bahwa produktivitas bulanan memiliki *trend* yang terus meningkat secara signifikan seiring meningkatnya jeluk hujan, tetapi kemudian *trend* peningkatan mulai landai setelah jeluk hujan bulanan mencapai 450 mm.



(a)



(b)

Gambar 3. Seri data produktivitas bulanan tanaman kelapa sawit umur 12 tahun pada berbagai besaran curah hujan pada lag-24 (a) zonasi pola umum pengaruh curah hujan terhadap produktivitas bulanan tanaman kelapa sawit umur 12 tahun pada lag-24 (b)

Figure 3. Monthly yield data series of 12 yr-oil palm at some rainfall levels at lag-24 (a) zoning of the common pattern of rainfall effects on monthly yield at lag-24 (b)

Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Goh *et al* (1994) yang telah disampaikan pada sub-bab sebelumnya.

Hasil analisis terhadap *trend* pada Gambar 3.a tersebut menunjukkan bahwa jeluk hujan yang masih ditoleransi oleh tanaman untuk menghasilkan produktivitas yang normal, minimal adalah 40 mm/bulan (titik terendah dimana *trend* pola *reciprocal quadratic* terpotong oleh pola *quadratic*). Disisi lain, jeluk hujan yang terlalu tinggi pun tidak baik bagi tanaman. Hal ini ditunjukkan dengan *trend* peningkatan produktivitas yang tidak lagi signifikan dan bahkan cenderung turun setelah jeluk hujan bulanan mencapai 490 mm/bulan (titik tertinggi dimana *trend* pola *reciprocal quadratic* terpotong oleh pola *quadratic*). Secara umum, hasil penelitian ini memiliki pola yang serupa dengan hasil penelitian Rizal and Tsan (2007) di Sabah, Malaysia yang menyatakan bahwa kelapa sawit memiliki produktivitas: (i) 0.5-1.5 ton/ha pada selang jeluk hujan 0-99 mm/bulan; (ii) 1,5-2 ton/ha pada selang jeluk hujan 100-199 mm/month; (3) 2-3 ton/ha pada selang jeluk hujan 200-300 mm/bulan.

Hasil *ploting* antara data hari hujan sebagai *independent factor* dan produktivitas bulanan sebagai *dependent factor* menunjukkan bahwa pola hubungan antara keduanya memiliki pola *reciprocal quadratic* (Gambar 4.a) dengan persamaan:

$$y = 1/(a + b*x + c*x^2)$$

*Keterangan: y = produktivitas bulan ke-n; x = jumlah hari hujan bulan ke-n<sub>-24</sub>; a = 6.10E-04; b = -1.48E-05; c = 3.97E-07.*

Produktivitas bulanan cenderung meningkat seiring peningkatan jumlah hari hujan per bulan pada lag-24. Namun demikian, setelah hari hujan mencapai 25 hari hujan/bulan, produktivitas cenderung menurun (Gambar 4.b). Penurunan produktivitas tersebut diduga erat kaitannya dengan penurunan laju fotosintesis (Simanjuntak *et al.*, 2014) yang menyebabkan alokasi asimilat untuk mendukung pembentukan bunga betina. Penurunan laju fotosintesis tersebut disebabkan oleh berkurangnya energi radiasi matahari yang diserap tanaman, sebagai akibat banyaknya tutupan awan dan hari hujan dalam satu tahun. Sebagai informasi tambahan, tanaman kelapa sawit memerlukan lama penyinaran minimal 4 jam/hari atau sekitar 120 jam/bulan (5 hari/bulan) untuk

memperoleh energi radiasi matahari yang optimal (Verheye, 2010). Jika dirangkum, maka dapat dikatakan bahwa hari hujan yang optimal bagi produktivitas tanaman adalah 3–25 hari hujan/bulan.

### Hasil Pendugaan Pola Produktivitas Bulanan Menggunakan Model Pendugaan Berbasis Jeluk dan Hari Hujan

Model atau persamaan pendugaan yang digunakan disusun berdasarkan lag dengan indeks korelasi terbaik (lihat selengkapnya di Lampiran 1). Sementara itu, model pendugaan pola produktivitas bulanan untuk masing-masing kebun dapat dilihat pada Lampiran 2. Model pendugaan berbasis jeluk hujan dengan performa terbaik diperoleh di Kebun F dengan persamaan model pendugaan sebagai berikut:

$$\text{Produksi bulan ke-}i = 1 / (a + b * x + c * x^2)$$

dimana a = 5,80E-04; b = -5,12E-07; c = 7,71E-10; x = jeluk hujan 24 bulan sebelum bulan ke-i.

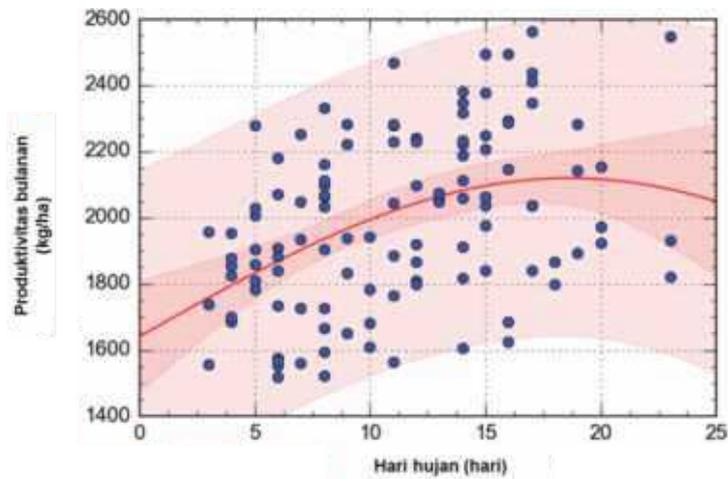
Sementara itu, model pendugaan berbasis hari hujan dengan performa terbaik adalah:

$$\text{Produksi bulan ke-}i = a * b^x * x^c$$

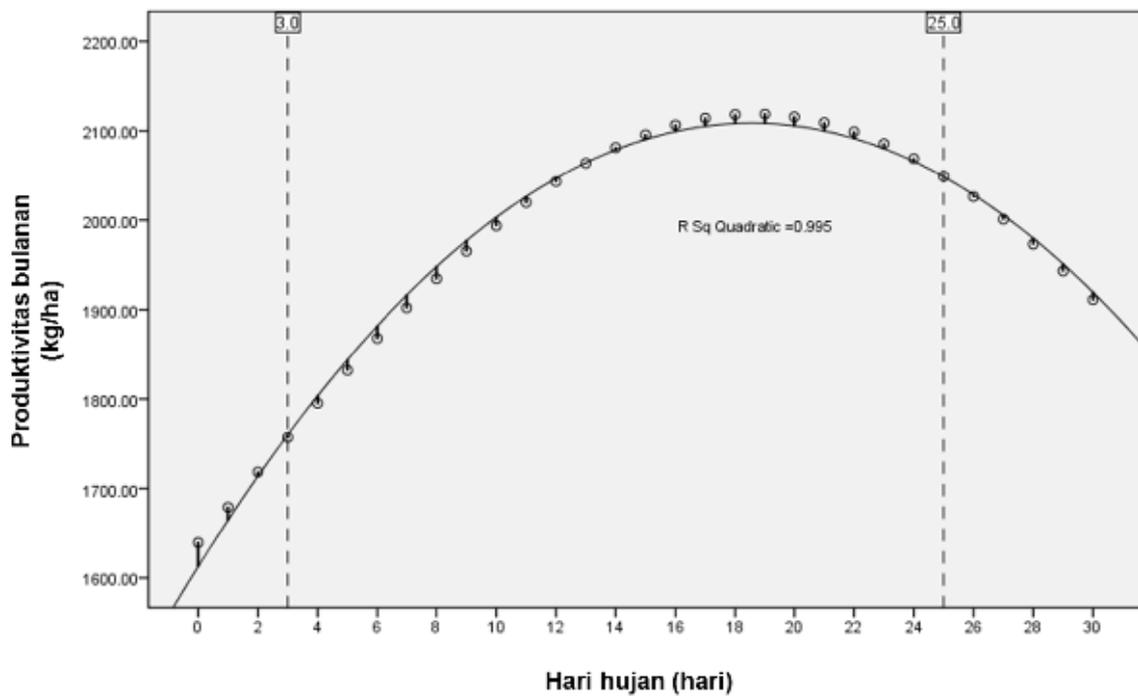
dimana nilai a = 1,11E+03; b = 9,72E-01; c = 3,68E-01; x = hari hujan 24 bulan sebelum bulan ke-i.

Hasil pendugaan produktivitas bulanan berdasarkan data jeluk dan hari hujan dari 15 kebun di Sumatra Utara ditunjukkan dalam Lampiran 3. Berdasarkan Lampiran 3 dapat dilihat bahwa secara umum, pola fluktuasi produktivitas bulanan dari 15 kebun sesuai dengan pola fluktuasi jeluk dan hari hujan pada lag (waktu jeda) dengan korelasi yang tertinggi. Hasil analisis RMSE, MABE, dan MAPE dari masing-masing hasil estimasi terhadap produktivitas aktual ditampilkan pada Tabel 1.

Berdasarkan data dalam Tabel 1 tersebut, dapat diketahui bahwa hasil estimasi produktivitas bulanan dari 15 kebun di Sumatra Utara menggunakan variabel hari hujan lebih akurat dibandingkan menggunakan variabel jeluk hujan. Hal ini ditunjukkan dengan rata-rata RMSE; MABE; dan MAPE model pendugaan berbasis data hari hujan serta jeluk hujan terhadap pola produktivitas aktual yaitu berturut-turut sebesar 0,337; 0,275; dan 15,482% serta 0,367; 0,296; dan 16,594%.



(a)



(b)

Gambar 4. Seri data produktivitas bulanan tanaman kelapa sawit umur 12 tahun pada berbagai besaran hari hujan pada lag-24 (a) zonasi pola umum pengaruh hari hujan terhadap produktivitas bulanan tanaman kelapa sawit umur 12 tahun pada lag-24 (b)

Figure 4. Monthly yield data series of 12 yr-oil palm at some rain days levels at lag-24 (a) zoning of the common pattern of rainy days effects on monthly yield at lag-24 (b)

Tabel 1. Nilai *Root Mean Square Error* (RMSE), *Mean Absolute Bias Error* (MABE), dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) hasil pendugaan produktivitas bulanan berbasis data curah hujan dan hari hujan terhadap produktivitas aktual

Table 1. The *Root Mean Square Error* (RMSE), *Mean Absolute Bias Error* (MABE), and *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) of estimated monthly yield based on depth of rainfall and rainy days to actual yield

Nama Kebun	Protas bulanan berbasis pola CH			Protas bulanan berbasis pola HH		
	RMSE	MABE	MAPE	RMSE	MABE	MAPE
A	0,335	0,257	12,328	0,313	0,250	12,380
B	0,312	0,268	13,041	0,316	0,247	11,443
C	0,296	0,267	13,245	0,366	0,289	15,232
D	0,362	0,295	16,457	0,305	0,237	12,877
E	0,449	0,345	24,770	0,278	0,243	16,417
F	0,144	0,128	6,810	0,169	0,160	8,568
G	0,508	0,401	25,177	0,433	0,344	24,293
H	0,315	0,256	14,431	0,310	0,279	16,149
I	0,338	0,265	18,123	0,348	0,248	18,000
J	0,457	0,325	18,956	0,362	0,277	15,844
K	0,310	0,287	16,124	0,209	0,166	9,474
L	0,390	0,316	16,230	0,496	0,443	23,810
M	0,500	0,375	16,789	0,462	0,340	15,065
N	0,442	0,360	20,501	0,270	0,236	12,655
O	0,346	0,290	15,932	0,422	0,372	20,031
Maks.	0,508	0,401	25,177	0,496	0,443	24,293
Min.	0,144	0,128	6,810	0,169	0,160	8,568
Rerata	0,367	0,296	16,594	0,337	0,275	15,482

Keterangan: \*) berdasarkan perbandingan dengan nilai aktual produktivitas bulanan tahun 2017 (s.d. September)

Note: \*) Compared to monthly actual yield until September 2017

Berdasarkan nilai MAPE, secara umum dapat diketahui bahwa hari hujan dan jeluk hujan memiliki akurasi yang baik dalam menduga pola produktivitas bulanan tanaman kelapa sawit di wilayah kajian. Hal ini ditunjukkan dengan nilai MAPE yang berada pada rentang 10-20% (Montgomery *et al.*, 2008; Suryaningrum *et al.*, 2015). Namun demikian, pada beberapa kebun akurasi model pendugaan pola produktivitas bulanan berdasarkan CH dan HH tidak begitu baik, seperti pada Kebun E, G, L, N, dan O. Akurasi yang tidak begitu baik tersebut sebagai akibat dari kompleksitas pengaruh faktor-faktor lain seperti kondisi tanah (Benny *et al.*, 2015), kadar hara (Tan *et*

*al.*, 2010) maupun kondisi kultur teknis dari kebun di wilayah kajian yang meliputi pemupukan, pemanenan, dan pemeliharaan lainnya.

## KESIMPULAN

Pola produktivitas bulanan tanaman kelapa sawit dapat diduga dengan cukup baik menggunakan data jeluk dan hari hujan. Model pendugaan berbasis jeluk hujan dengan performa terbaik adalah:

$$\text{Produksi bulan ke-}i = 1 / (a + b * x + c * x^2)$$

dimana  $a = 5,80E-04$ ;  $b = -5,12E-07$ ;  $c = 7,71E-10$ ;  $x =$  jeluk hujan 24 bulan sebelum bulan ke- $i$ .

Sementara itu, model pendugaan berbasis hari hujan dengan performa terbaik adalah:

$$\text{Produksi bulan ke-}i = a * b^x * x^c$$

dimana nilai  $a = 1,11E+03$ ;  $b = 9,72E-01$ ;  $c = 3,68E-01$ ;  $x =$  hari hujan 24 bulan sebelum bulan ke- $i$ .

Model berbasis data hari hujan memiliki performa pendugaan yang lebih baik dibandingkan model pendugaan berbasis data jeluk hujan. Hal ini dibuktikan dengan rata-rata RMSE; MABE; dan MAPE model pendugaan berbasis data hari hujan terhadap pola produktivitas aktual yang lebih baik dibandingkan model pendugaan berbasis data jeluk hujan. Sebagai saran, penelitian lebih lanjut menggunakan seri data yang lebih panjang perlu dilakukan untuk meningkatkan akurasi model.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akinoglu, B.G. 1991. A review of sunshine-based models used to estimate monthly average global solar radiation. *Renewable Energy* 1991 (1-3/4): 479-497.
- Aldrian, E. 2008. *Meteorologi Laut Indonesia*. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- Apriyana, Y. dan T.E. Kailaku. 2015. Variabilitas iklim dan dinamika waktu tanam padi di wilayah pola hujan monsunial dan equatorial. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia* 1 (2), April 2015 : 366-372.
- Bakoume, C., N. Shahbudin, Yacob S., Siang C. S., and Thambi M. N. A. 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.
- Benny, W.P., E. T. S. Putra, Supriyanta. 2015. Tanggapan Produktivitas Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) terhadap Variasi Iklim. *Vegatalika* 4(4): 21 - 34.
- Cha-um S., N. Yam0ada, T. Takabe, and C. Kirdmanee. 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, R.H.V. 1976. Inflorescence abortion and sex differentiation, p. 37- 55. In R.H.V. JJ. Hardon, and B.J. Wood (Ed.) *Oil Palm Research*. Elsevier, Amsterdam.
- Corley, R.H.V. and P.B. Tinker. 2003. *The Oil Palm*. Blackwell Science, Oxford.
- Darlan, N.H., I. Pradiko, dan H.H. Siregar. 2014. Prediksi dan antisipasi kejadian cuaca ekstrim dan dampaknya terhadap produksi tanaman kelapa sawit. Disampaikan dalam Seminar GAPKI Riau, 24 Juni 2014.
- Darlan, N.H., I. Pradiko, Winarna, dan H.H. Siregar. 2016. Dampak El Nino 2015 terhadap Performa Tanaman Kelapa Sawit di Sumatra Bagian Tengah dan Selatan. *Jurnal Tanah dan Iklim* 4(2): 113-120.
- Darsyah, M.Y. 2014. Penggunaan stem and leaf dan boxplot untuk analisis data. *JKPM*, Vol 1 Nomor 1. ISSN: 2339-2444.
- Ditjenbun. 2014. *Statistik Perkebunan Indonesia 2013-2015: Kelapa Sawit*.
- Doorenbos, J. and W.O. Pruitt. 1977. Crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper No.24*. Food and Agric. Organiz. Of the U.N. Rome.
- Elvani S.P., R.U. Anis, dan Y. Rizky. 2016. Peramalan jumlah produksi tanaman kelapa sawit dengan menggunakan metode ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average). *Jurnal Manajemen*, Volume 8, (1), 2016. ISSN print: 2085-6911, ISSN online: 2528-1518.
- Fauzi, W.R., T.C. Hidayat, I.Y. Harahap, Y. Pangaribuan, Sumaryanto, I. Pradiko, and M. Syarovy. 2014. Assessment of decreased fresh fruit bunch production based on rainfall and dry spell analysis in Bukit Sentang Estate. *Proceedings International Oil Palm Conference*

2014. Bali, 17-19 Juni 2014. Hal. 545-545, 1 hal. 978-602-7539-20-4. PPKS.
- Gardner, F.P., R.B. Pearce, and R.L. Mitchel. 2008. Fisiologi Tanaman Budidaya. Diterjemahkan oleh Susilo, H. UI-Press, Jakarta.
- Goh, K.J., P.S. Chew, dan C.B. Teo. 1994. Commercial yield performance of oil palm in Sabah, Malaysia. *The Planter*, 70:824 pp.
- Gromikora, N., Y. Sudirman, dan Suwanto. 2014. Permodelan pertumbuhan dan produksi kelapa sawit pada berbagai taraf penunasan pelepah. *J. Agron. Indonesia* 42 (3) : 228 - 235 (2014).
- Gusmira, E. 2013. Karakterisasi curah hujan di Sumatra Barat dengan menggunakan NCEP/NCAR Reanalysis. *Edu-Physic* 4 : 25-38.
- Gustari, I. 2009. Analisis curah hujan Pantai Barat Sumatra Bagian Utara periode 1994-2007. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika* 10 (1) : 29 – 38.
- Henson, I.E. 2007. Modeling the effects of physiological and morphological characters on oil palm growth and productivity. *Oil Palm Bulletin*. 54: 1-26.
- Hidayat, T.C., I.Y. Harahap, Y. Pangaribuan, S. Rahutomo, W.R. Fauzi, dan W.A. Harsanto. 2013. Bunga, buah, dan produksi kelapa sawit. Pusat Penelitian Kelapa Sawit. Medan.
- Ho. 1993. Climate effect on oil extraction ratios. In : *Proceedings of National Seminar on Palm Oil Extraction Rate: Problems and Issues*.
- Kumiawati, E., Naomi N.D., dan Dadan K. 2017. Model space-time dan penerapannya pada produksi kelapa sawit di PT Perkebunan Nusantara XIII. *Buletin Ilmiah Math. Stat. dan Terapannya (Bimaster)* Volume 06, No. 3 (2017), hal 183 – 192.
- Lakitan, B. 2012. Dasar-dasar fisiologi tumbuhan. PT Raja Grafindo Persada. Jakarta.
- Legros, S., I. Mialet-Serra, J.P. Caliman, F.A. Siregar, A. Cle'ment-Vidal, and M. Dingkuhn. 2009. Phenology and growth adjustments of oil palm (*Elaeis guineensis*) to photoperiod and climate variability. *Annals of Botany* 104: 1171-1182.
- Lubis, A.U. 2008. Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di Indonesia, Edisi 2. Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Medan.
- Ma, C.C.Y. and M. Iqbal. 1983. Statistical comparison of models for estimating solar radiation on inclined surfaces. *Solar Energy* (31): 313-317.
- Manalu, A.F. 2008. Pengaruh hujan terhadap produktivitas dan pengelolaan air di kebun kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) Mustika Estate, PT Sajang Heulang, Minamas Plantation, Tanah Bumbu, Kalimantan Selatan. Skripsi. Program Studi Agronomi Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Montgomery, D.C., C.L. Jennings, dan M. Kulahci. 2008, *Introduction to time series analysis and forecasting*, John Wiley & Sons, Canada.
- Mulyana, E. 2002. Hubungan antara ENSO dengan variasi curah hujan di Indonesia. *urnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, Vol. 3, No. 1, 2002: 1-4.
- Palupi E.R. dan Y. Dedywiyanto. 2008. Kajian karakter ketahanan terhadap cekaman kekeringan beberapa genotipe bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Buletin Agronomi* 36 (1) : 24-32.
- Pamin, K., Hutomo, T.E. Syamsudin, dan Y.T. Adiwiganda. 1997. Upaya penanggulangan dampak kekeringan dan kebakaran pada tanaman kelapa sawit. Makalah pada Seminar Sehari Penanggulangan Kekeringan dan Kebakaran Tanaman. Kelapa Sawit. PPKS dan GAPKI. Medan 19 November 1997.
- Pradiko, I., N.H. Darlan, dan H.H. Siregar. 2016a. Kajian Anomali Iklim terhadap Penurunan Produksi Kelapa Sawit di Sumatra Utara. *Warta PPKS*, 2016, 21(1). ISSN 0853-2141.
- Pradiko, I., Eko N. Ginting, N.H. Darlan, Winarna, dan H.H. Siregar. 2016b. Hubungan pola curah hujan dan performa tanaman kelapa sawit di Pulau Sumatra dan Kalimantan selama El Niño 2015. *Jurnal PPKS* 24 (2).
- Rahutomo S., H.H. Siregar, dan E.S. Sutarta. 2007. Irigasi pada perkebunan kelapa sawit : sebuah tinjauan. *WARTA PPKS* 15 (1) : 7-18
- Rauf A., H. Pawitan, T.June, C. Kusmana, dan G. Gravenhorst. 2008. Intersepsi hujan dan pengaruhnya terhadap pemindahan energi dan massa pada hutan tropika basah " studi kasus

- Taman Nasional Lore Lindu. J. Agroland 15 (3): 166 - 174, September 2008. ISSN : 0854 – 641X.
- Rizal, A.R. and F.Y. Tsan. 2007. Rainfall impact on oil palm production and OER at FELDA Triang 2. [terhubung berkala] <http://www.ipicex.com> (27 November 2013).
- Simanjuntak, L.N., R. Sipayung, dan Irsal. 2014. Pengaruh curah hujan dan hari hujan terhadap produksi kelapa sawit berumur 5, 10 dan 15 tahun di Kebun Begerpang Estate PT. PP London Sumatra Indonesia, Tbk. Jurnal Online Agroekoteknologi Vol. 2 (3): 1141-1151. ISSN No. 2337-6597.
- Sipayung, S.B., L.Q. Avia, B.D. Dasanto, dan Sutikno. 2007. Analisis pola curah hujan Indonesia berbasis luaran Model Sirkulasi Global (GCM). Jurnal Sains Dirgantara 5 (1): 145 - 154.
- Siregar, H.H., W. Darnosarkoro, dan Z. Poeloengan. 1998. Oil Palm yield simulation using drought characteristic. p 585-594. Proceedings 1998 International Oil Palm Conference. Nusa Dua Bali, September 23-25, 1998.
- Siregar H.H., I.Y. Harahap, W. Darnosarkoro, dan E.S. Sutarta. 2005. Kultur teknis untuk musim kemarau pada perkebunan kelapa sawit. Makalah disampaikan dalam Seminar Dampak dan Antisipasi Kemarau 2005 pada Usaha Agribisnis Perkebunan. Bandung, 6 April 2005.
- Sun Cheng-xu, Hong-xing Cao, Hong-bo Shao, Xintao Lei, and Yong Xiao. 2011. Growth and physiological responses to water and nutrient stress in oil palm. African Journal of Biotechnology Vol. 10 (51), pp. 10465-10471, 7 September 2011.
- Suryaningrum, K.M. dan S.P. Wijaya. 2015, Analisa dan penerapan metode single exponential smoothing untuk prediksi penjualan pada periode tertentu, Di dalam: Prosiding SNATIF Ke -2, 18 April 2015, Universitas Maria Kudus, Jakarta.
- Syarovy, M., E.N. Ginting, dan H. Santoso. 2015. Respon morfologi dan fisiologi tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) terhadap cekaman air. Warta PPKS 20 (2): 77 – 85.
- Tan, N.P., Zaharah A.R., Siti Nor Akma A., and Jamaluddin N. 2010. Evaluating the variability of Gafsa phosphate rock uptake by oil palm genotypes at nursery stage. Pertanika J. Trop. Agric. Sci. 33: 223-231.
- Tjasyono, B., Ruminta, A. Lubis, S.W. Harijono, dan I. Juaeni. 2008. Dampak variasi temperatur Samudera Pasifik dan Hindia Ekuatorial terhadap curah hujan di Indonesia. Jurnal Sains dan Dirgantara : 83-95.
- Tukidi. 2010. Karakter curah hujan di Indonesia. Jurnal Geografi 7 (2).
- Verheye, W. 2010. Growth and production of oil palm. In: Verheye, W. (ed.), Land Use, Land Cover and Soil Sciences. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), UNESCO-EOLSS Publishers, Oxford, UK. [terhubung berkala] <http://www.eolss.net> (8 Oktober 2013).
- Yuggotomo, M.E. dan A. Ihwan. 2014. Pengaruh fenomena *El Niño Southern Oscillation* dan *Dipole Mode* terhadap curah hujan di Kabupaten Ketapang. POSITRON, Vol. IV, No. 2 (2014), Hal. 35 – 39.
- Zang Z.B., Shao H.B., Xu P., Chu L.Y. Lu Z.H., Tian J.Y. 2007. On evolutin and perspectives of bio-watersaving. Biointer, 55: 1-9.

Lampiran 1. Hasil analisis korelasi curah hujan dan hari hujan terhadap produktivitas bulanan dari 15 kebun di Sumatra Utara

*Appendix 1. Result of correlation analysis of depth of rainfall and rainy days to monthly yield from 15 plantations in North Sumatra*

Jeluk hujan vs produktivitas bulanan

*Depth of rainfall vs monthly yield*

Nama Kebun	lag-0	lag-6	lag-12	lag-18	lag-24	lag-30	lag-36	lag-42	lag-48
A	0,478	0,300	0,577	0,297	0,744	0,109*	0,111	0,595	0,157*
B	0,176*	0,064	0,119*	0,102*	0,116*	0,493	0,545	0,131*	0,335
C	0,603	0,374	0,177	0,325	0,267*	0,384	0,579	0,356	0,629
D	0,535	0,541	0,203	0,459	0,795	0,570	0,159	0,537	0,663
E	0,459	0,417	0,483	0,530	0,691	0,591	0,365	0,486	0,445
F	0,401	0,152	0,605	0,614	0,746	0,562	0,319	0,243	0,383
G	0,745*	0,580*	0,428	0,540	0,648	0,620	0,555	0,460	0,306
H	0,698	0,526	0,540	0,462	0,541	0,471	0,061	0,510	0,735*
I	0,660	0,366	0,648	0,471	0,485	0,135	0,179	0,337	0,325
J	0,420	0,385	0,533	0,670	0,735	0,588	0,399	0,517	0,566
K	0,475	0,122	0,390	0,516	0,489	0,521	0,154	0,180	0,557
L	0,090*	0,067	0,549	0,186*	0,376	0,225	0,060	0,590	0,291
M	0,450	0,265	0,243	0,560	0,863	0,770	0,620	0,940*	0,338
N	0,397	0,042	0,618	0,328	0,882	0,054*	0,489	0,622	0,584
O	0,508	0,388	0,388	0,485	0,714	0,813*	0,441	0,364	0,515
Rerata	0,473	0,306	0,433	0,436	0,606	0,461	0,336	0,458	0,455

*\*Data pencilan / outlier sehingga tidak disertakan dalam perhitungan rerata*

*\*It was the outliers so it was included in the calculation*

Hari hujan vs produktivitas bulanan

*Rainy days vs monthly yield*

Nama Kebun	lag-0	lag-6	lag-12	lag-18	lag-24	lag-30	lag-36	lag-42	lag-48
A	0,640	0,032*	0,312	0,198	0,710	0,102*	0,106	0,553	0,412
B	0,700	0,335	0,310	0,490	0,548	0,474	0,393	0,052	0,694
C	0,490	0,278	0,026	0,172	0,379	0,559	0,239	0,446	0,431
D	0,660	0,607	0,366	0,397	0,780	0,727	0,405	0,021	0,264
E	0,722	0,546	0,728	0,603	0,860	0,740	0,336	0,460	0,382
F	0,681	0,282	0,592	0,591	0,694	0,342	0,307	0,287	0,039
G	0,760	0,600	0,450	0,630	0,656	0,546	0,758	0,460	0,770
H	0,760	0,397	0,459	0,439	0,610	0,564	0,268	0,261	0,692
I	0,630	0,355	0,656	0,422	0,552	0,458	0,349	0,290	0,353
J	0,720	0,491	0,459	0,852	0,843	0,681	0,208	0,088	0,556
K	0,562	0,514	0,399	0,516	0,489	0,624	0,187	0,389	0,172
L	0,741	0,470	0,529	0,308	0,668	0,078*	0,227	0,023	0,443
M	0,622	0,401	0,136	0,623	0,840	0,781	0,630	0,756*	0,227
N	0,538	0,260	0,066*	0,123	0,731	0,060*	0,345	0,272	0,046
O	0,648	0,386	0,066*	0,527	0,673	0,605	0,497	0,504	0,294
Rerata	0,658	0,423	0,370	0,459	0,669	0,592	0,350	0,293	0,385

*\*Data pencilan / outlier sehingga tidak disertakan dalam perhitungan rerata*

*\*It was the outliers so it was included in the calculation*

Lampiran 2. Model pendugaan produktivitas bulanan pada wilayah kajian  
 Appendix 2. Modeling of monthly yield in the study area

Model pendugaan berbasis jeluk hujan  
 Prediction model based on depth of rainfall

Nama Kebun	Persamaan	Keterangan
A	$(a*b + c*x^d)/(b + x^d)$	a = 1,77E+03 b = 1,72E+12 c = 2,50E+03 d = 5,72E+00
B	$a*b^x*x^c$	a = 1,87E+01 b = 9,96E-01 c = 1,05E+00
C	$a*\exp(b/x)$	a = 3,02E+03 b = -9,09E+01
D	$a*(1-\exp(-b*x))$	a = 2,52E+03 b = 7,96E-03
E	$1/(a + b*x + c*x^2)$	a = 7,74E-04 b = -2,00E-06 c = 3,20E-09
F	$1/(a + b*x + c*x^2)$	a = 5,80E-04 b = -5,12E-07 c = 7,71E-10
G	$q_0*\exp(-x/a)$	q_0 = 5,62E+02 a = -1,65E+02
H	$a*x^b$	a = 1,11E+03 b = 7,15E-02
I	$1/(a + b*\ln(x))$	a = 1,28E-03 b = -1,38E-04
J	$1/(a + b*x + c*x^2)$	a = 9,00E-04 b = -2,36E-06 c = 3,25E-09
K	$1/(a + b*x + c*x^2)$	a = 8,21E-04 b = -3,08E-06 c = 9,72E-09
L	$q_0/(1+x/a)$	q_0 = 1,04E+03 a = -4,26E+02
M	$a*\exp(-\exp(b-c*x))$	a = 2,45E+03 b = 3,10E-02 c = 1,38E-02
N	$a/(1 + b*e^{-(cx)})$	a = 2,21E+03 b = 2,04E+00 c = 1,73E-02
O	$a + b*\ln(x)$	a = 5,11E+03 b = -6,54E+02

Lampiran 3. Model pendugaan produktivitas bulanan pada wilayah kajian  
 Appendix 3. Modeling of Monthly yield in the study area

Model pendugaan berbasis hari hujan  
 Prediction model based on rainy days

Nama Kebun	Persamaan	Keterangan	
A	$a/(1 + \exp(b-c*x))^{(1/d)}$	a =	1,77E+03
		b =	1,72E+12
		c =	2,50E+03
		d =	5,72E+00
B	$a*x/(b + x)$	a =	1,87E+01
		b =	9,96E-01
		c =	1,05E+00
C	$1/(a + b*x + c*x^2)$	a =	3,02E+03
		b =	-9,09E+01
D	$(a*b + c*x^d)/(b + x^d)$	a =	2,52E+03
		b =	7,96E-03
E	$1/(a + b*x + c*x^2)$	a =	7,74E-04
		b =	-2,00E-06
		c =	3,20E-09
F	$a*b^x*x^c$	a =	5,80E-04
		b =	-5,12E-07
		c =	7,71E-10
G	$q_0/(1+x/a)$	q <sub>0</sub> =	5,62E+02
		a =	-1,65E+02
H	$a*\exp(b/x)$	a =	1,11E+03
		b =	7,15E-02
I	$a*x^{b/x}$	a =	1,28E-03
		b =	-1,38E-04
J	$1/(a + b*x^c)$	a =	9,00E-04
		b =	-2,36E-06
		c =	3,25E-09
K	$a*\exp(b/x)$	a =	8,21E-04
		b =	-3,08E-06
		c =	9,72E-09
L	$q_0/(1+x/a)$	q <sub>0</sub> =	1,04E+03
		a =	-4,26E+02
M	$a/(1 + b*e^{(-cx)})$	a =	2,45E+03
		b =	3,10E-02
		c =	1,38E-02
N	$1/(a + b*x + c*x^2)$	a =	2,21E+03
		b =	2,04E+00
		c =	1,73E-02
O	$a*x^{b*x}$	a =	5,11E+03
		b =	-6,54E+02

Lampiran 4. Produktivitas bulanan aktual kelapa sawit dan hasil estimasi produktivitas bulanan berdasarkan jeluk hujan serta hari hujan pada tanaman kelapa sawit umur 12 tahun di Sumatra Utara

Appendix 4. Actual and estimated monthly yield based on depth of rainfall and rainy days of 12 years - oil palm in North Sumatra



Kebun A



Kebun B



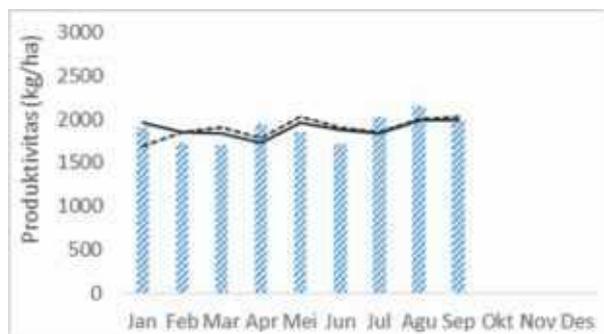
Kebun C



Kebun D



Kebun E



Kebun F

Keterangan:  Produktivitas  Proyeksi berdasarkan CH  Proyeksi berdasarkan HH

Lampiran 4. Produktivitas bulanan aktual kelapa sawit dan hasil estimasi .... (lanjutan)

Appendix 4. Actual and estimated monthly yield based on .... (continued)



Kebun G



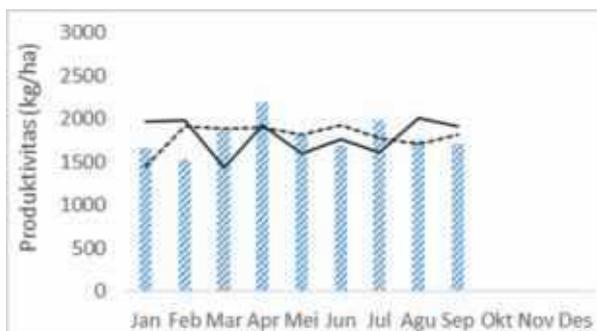
Kebun H



Kebun I



Kebun J



Kebun K



Kebun L

Keterangan:  Produktivitas  Proyeksi berdasarkan CH  Proyeksi berdasarkan HH

Lampiran 4. Produktivitas bulanan aktual kelapa sawit dan hasil estimasi .... (lanjutan)

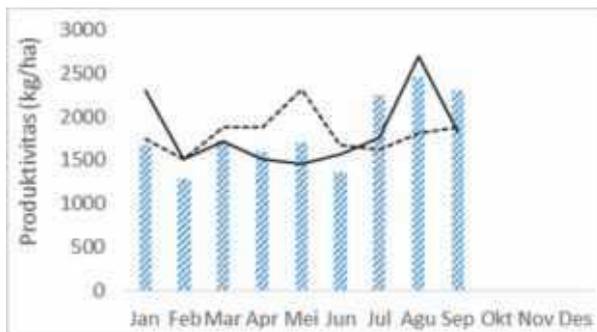
Appendix 4. Actual and estimated monthly yield based on .... (continued)



Kebun M



Kebun N



Kebun O

Keterangan:  Produktivitas  Proyeksi berdasarkan CH  Proyeksi berdasarkan HH

