

Teknik Estimasi Transpirasi Tanaman Kelapa Sawit Dengan Metode *Heat Ratio*

Technique to Estimate Oil Palm Transpiration Using Heat Ratio Method

Iput Pradiko, Nuzul H. Darlan, Eko N. Ginting, dan Muhdan Syarovy

Abstrak Salah satu metode yang digunakan untuk menentukan kebutuhan air tanaman adalah dengan menghitung transpirasi tanaman. Metode *Heat Ratio Method* (HRM) adalah metode yang dapat mengukur transpirasi langsung di lapangan dengan mengukur laju aliran sap di dalam tanaman. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengestimasi kebutuhan air tanaman kelapa sawit berdasarkan pengukuran transpirasi tanaman kelapa sawit dengan HRM. Penelitian dilakukan pada tanaman kelapa sawit umur lima tahun yang memiliki 48 pelepah di Medan, Sumatera Utara. Sebanyak enam alat *Sap Flow Meter* dipasang pada pelepah no. 1, 9, 17, 25, 33, dan 41. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju aliran sap pada tiga pelepah teratas (no. 1, 9, dan 17) lebih tinggi dibandingkan tiga pelepah di bawahnya. Lebih lanjut, transpirasi tertinggi terjadi pada pelepah no. 1 yaitu sebesar 0,890 liter/hari, sedangkan transpirasi terendah teramati pada pelepah no. 41 yaitu 0,510 liter/hari. Laju transpirasi semakin menurun pada pelepah yang lebih bawah posisinya. Rerata transpirasi harian adalah sebesar 31,933 liter/hari/tanaman atau setara dengan 0,457 mm/hari/tanaman, dengan asumsi bahwa masing-masing pelepah yang dijadikan sampel mewakili pelepah pada tingkatan pelepah yang sama.

Kata kunci: *sap flow*, evapotranspirasi, kebutuhan air

Abstract *Estimating plant transpiration is one of many methods to determine plant water requirements. The Heat Ratio Method (HRM) is a method to measure sap*

flow directly under field conditions. This research was conducted using HRM to estimate oil palm transpiration. The study was located in Medan, North Sumatra, and employed a five-year-old palm with 48 fronds. A total of six Sap Flow Meter (SFM) were installed on the fronds no. 1, 9, 17, 25, 33, and 41. The results showed that the sap flow rate of the top three fronds (no. 1, 9, and 17) was higher than the lower fronds. The transpiration rate was decreased at the lower fronds position. Furthermore, the highest transpiration occurred in frond no. 1, 0.890 liters/day, while the lowest was observed in frond no. 41 i.e. 0.510 liters/day. Assuming that each frond sampled represents fronds at the same level, the average daily transpiration was 31.933 liters/day/palm, or equivalent to 0.457 mm/day/palm.

Keywords: *sap flow, evapotranspiration, plant water requirement*

PENDAHULUAN

Kebutuhan air tanaman berbeda-beda tergantung pada tahapan pertumbuhan, kondisi lingkungan dan teknik budidaya yang diterapkan (Pereira & Alves, 2013). Secara umum, kebutuhan air tanaman adalah jumlah air yang dibutuhkan tanaman untuk dapat tumbuh dan berkembang dengan baik (Nascimento *et al.*, 2018). Umumnya, kebutuhan air didasarkan pada nilai evapotranspirasi tanaman. Evapotranspirasi adalah gabungan dari air yang menguap melalui evaporasi dan transpirasi (Dong *et al.*, 2020). Evaporasi adalah proses penguapan air dari badan tanah dan badan air. Sementara itu, transpirasi merupakan jumlah air yang menguap ke atmosfer melalui tanaman (Wang *et al.*, 2019).

Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk menghitung kebutuhan air tanaman. Metode tersebut

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 20158
Email: iputpradiko@gmail.com

antara lain adalah metode berbasis proses evapotranspirasi (Doorenbos & Pruitt, 1977), menggunakan lisimeter (Ruiz-Penalver *et al.*, 2014), dan metode perhitungan berdasarkan transpirasi tanaman. Sementara itu, transpirasi tanaman dapat diestimasi menggunakan beberapa metode diantaranya metode Penman-Monteith kombinasi (Milne *et al.*, 1985), metode keseimbangan energi (Milne *et al.*, 1985), metode berbasis potensial air (Garnier *et al.*, 1988), metode gravimetrik (Ferrara & Flore, 2003), metode alometrik (Legros *et al.*, 2009) dan metode perhitungan pertukaran gas, khususnya CO₂ (Suresh *et al.*, 2012). Selain menggunakan beberapa metode tersebut, pengukuran transpirasi tanaman dapat dilakukan secara langsung di lapangan, yaitu *Heat Ratio Method* / HRM.

Prinsip pengukuran transpirasi tanaman dengan HRM adalah dengan mengukur laju aliran sap di dalam tanaman. Sederhananya, aliran sap / *sap flow* adalah aliran air dan asimilat di dalam jaringan *xylem*. Aliran sap disinyalir dapat menjaga hubungan hidraulik antara tanah tempat tanaman tumbuh dan atmosfer (Kirkham, 2014; Steppe *et al.*, 2015). Oleh karena itu, pengukuran aliran sap dapat digunakan sebagai dasar estimasi transpirasi dan kebutuhan air tanaman (Haijun *et al.*, 2015; Ismanov *et al.*, 2019).

Estimasi transpirasi pada tanaman kelapa sawit telah banyak dilakukan, tetapi estimasi berdasarkan HRM masih sangat jarang dilakukan. Penelitian ini dilakukan untuk mengestimasi kebutuhan air tanaman kelapa sawit yang didasarkan pada nilai transpirasi pelepah tanaman kelapa sawit. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai salah satu dasar dalam menentukan teknik budidaya kelapa sawit yang tepat, khususnya berkaitan dengan konservasi air di perkebunan kelapa sawit.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan pada satu tanaman kelapa sawit berumur 5 tahun yang ditanam di halaman kantor Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Medan, Sumatera Utara. Pengukuran di lapangan dilakukan selama tiga hari dari 25 – 27 Januari 2022. Analisis dan pengolahan data dilakukan 1 Februari – 20 Maret 2022. Lokasi kajian memiliki pola curah hujan ekuatorial (Pradiko *et al.*, 2020). Berdasarkan rekaman data cuaca dari *Automatic Weather Station* (AWS) di

lokasi kajian, kondisi suhu udara rerata selama kajian dilakukan 27,39°C. Suhu maksimum rata-rata adalah 33,35°C, sedangkan rerata suhu minimum adalah 24,00°C. Rerata kelembaban udara 83,97°C. Adapun intensitas radiasi matahari rata-rata saat penelitian dilakukan adalah 10,90 MJ/m²/hari. Curah hujan hanya terjadi pada tanggal 25 Januari 2022 sebesar 8,6 mm. Data cuaca khususnya suhu dan kelembaban udara selanjutnya akan diolah untuk menghasilkan nilai *Vapour Pressure Deficit* / VPD. VPD dihitung menggunakan persamaan yang dikembangkan oleh (Murray, 1967).

Sebanyak 6 unit alat SFM / *Sap Flow Meter* produksi ICT International dipasang pada pelepah no. 1, 9, 17, 25, 33, dan 41. Setiap pelepah yang diukur diasumsikan mewakili pelepah lainnya yang berada dalam satu spiral atau satu tingkatan. Oleh karena itu, pelepah no. 1 digunakan untuk mewakili kondisi transpirasi pada pelepah no. 1-8 (tingkatan pelepah atau level 1). Pelepah no. 9 digunakan sebagai perwakilan kondisi transpirasi pada pelepah no. 9-16 (level 2). Pelepah no. 17 sebagai perwakilan pelepah no. 17-24 (level 3). Pelepah no. 25 sebagai perwakilan pelepah no. 25-32. Pelepah no. 33 sebagai perwakilan pelepah no. 33-40. Sementara itu, pelepah no. 41 sebagai perwakilan pelepah no. 41-48. Tahapan estimasi transpirasi tanaman kelapa sawit menggunakan HRM disajikan pada diagram alir pada Gambar 1.

SFM akan menghasilkan nilai *heat pulse velocity* (V_h). Nilai V_h harus diolah dan dikoreksi menjadi *corrected heat pulse velocity* (V_c) dengan konstanta pelukaan akibat pemasangan alat. Dalam penelitian ini diasumsikan nilai V_h = V_c karena diameter pelukaan sangat kecil. Selanjutnya, nilai V_c digunakan sebagai dasar untuk menentukan nilai *sap flow velocity* (V_s). Persamaan untuk menentukan V_s adalah sebagai berikut (Bleby *et al.*, 2004):

$$V_s = \frac{V_c \rho_b (c_w + m_c c_s)}{\rho_s c_s}$$

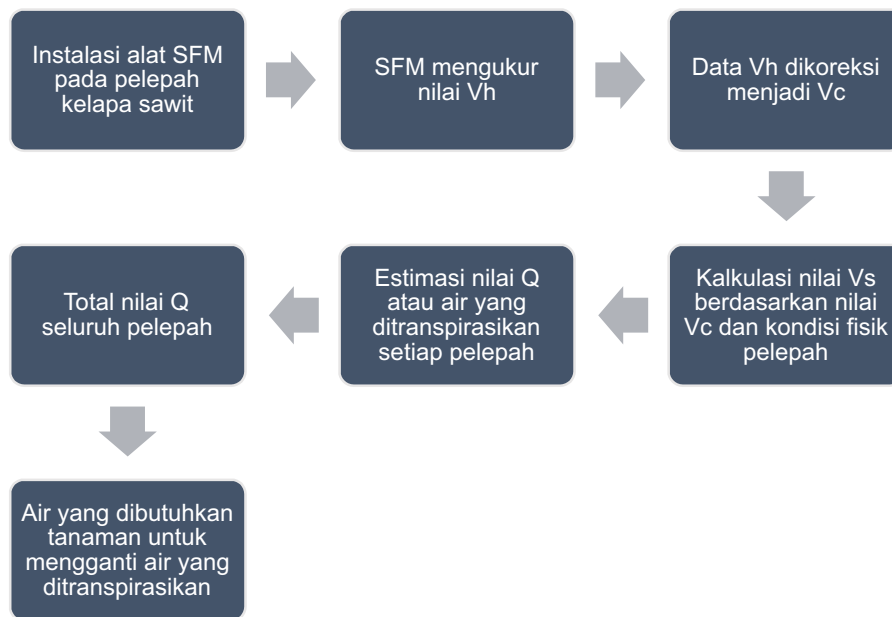
dimana:

V_s adalah *sap velocity* (cm/jam), V_c adalah *corrected heat pulse velocity* (cm/jam), ρ_b adalah nilai *basic density* pelepah yang didapat dari berat kering sampel pelepah/volume sampel pelepah, c_w adalah kapasitas panas pelepah pada rerata suhu 20°C yaitu sebesar 1260 J/kg/°C, c_s adalah kapasitas

panas spesifik dari air yaitu $4182 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$, m_e adalah kadar air dari sampel pelepah, ρ_s adalah *density* air yaitu 1 g/cm^3 .

Pelepah yang dipasang SFM dipotong kemudian ditimbang berat basah untuk mendapatkan nilai ρ_b dan m_e , pelepah yang dipasang SFM dipotong

kemudian ditimbang berat basah. Selanjutnya, dilakukan perhitungan volume pelepah dengan memanfaatkan Hukum Archimedes. Setelah itu, dilakukan penimbangan berat kering. Penimbangan berat kering sampel pelepah dilakukan setelah sampel pelepah basah dioven pada suhu 60°C selama 72 jam atau sampai berat konstan.



Gambar 1. Langkah estimasi transpirasi tanaman kelapa sawit dengan Metode *Heat Ratio*. Penjelasan setiap langkah terdapat di dalam teks setelah gambar.

Figure 1. Flow chart of the steps to estimate the oil palm transpiration using Heat Ratio Method. The explanation of each step is in the text after the figure.

Lebih lanjut, dilakukan perhitungan *volumetric sap flow* (Q) dengan cara mengalikan nilai V_s dengan luasan melintang pelepah yang aktif melakukan transpirasi (A). Nilai A diperoleh dengan cara merendam sampel pelepah dengan cairan larutan safranin 1%. Jumlah *vascular bundle* akan terlihat sebagai titik-titik berwarna merah setelah sampel direndam dalam larutan safranin (Gambar 2). *Vascular bundle* merupakan struktur jaringan kompleks dimana jaringan *xylem* dan *phloem* kelapa sawit berada (Darwis et al., 2013). *Vascular bundle* yang aktif mentranspirasikan air akan berwarna merah.

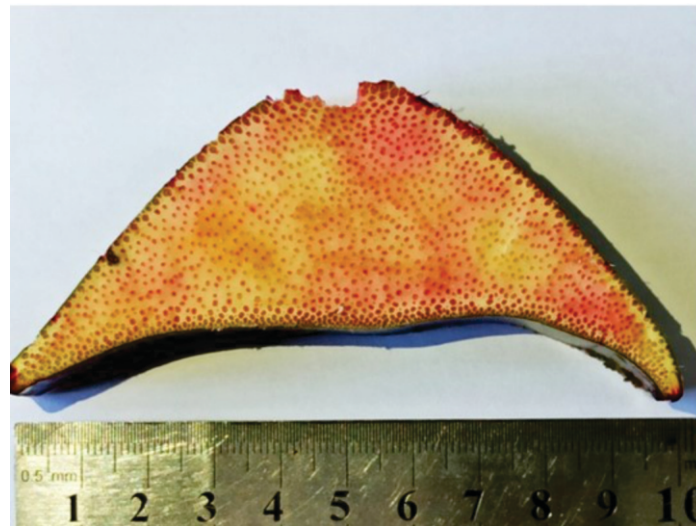
Setelah direndam dan dibiarkan bertranspirasi, sampel pelepah kemudian difoto dan citra hasil foto dianalisis menggunakan Arc-GIS 10 untuk

menentukan luasan titik-titik merah / *vascular bundle* yang aktif. Nilai Q akan menunjukkan besaran air (liter/hari) yang ditranspirasikan setiap pelepah. Nilai Q masing-masing pelepah kemudian ditotalkan sehingga diperoleh total air yang ditranspirasikan tanaman dalam satu hari.

Data transpirasi tersebut selanjutnya dibandingkan dengan data transpirasi tanaman kelapa sawit dan komoditas lain berdasarkan hasil studi pustaka. Selain itu, data hasil estimasi transpirasi juga dibandingkan dengan besar evapotranspirasi tanaman kelapa sawit dari hasil kajian yang sudah ada. Komparasi ini dilakukan untuk mengetahui kuantifikasi air yang menguap via transpirasi yang benar-benar digunakan

tanaman kelapa sawit untuk mempertahankan pertumbuhan dan produksi dan air yang menguap

melalui badan tanah dan lingkungan abiotik lain di sekitar tanaman.



Gambar 2. Penampang melintang sampel pelepah yang diberi larutan safranin 1% dan dibiarkan bertranspirasi selama 72 jam.

Figure 2. A cross-section of frond sample that was soaked to a 1% safranin solution and allowed to transpire for 72 hours.

HASIL PEMBAHASAN

Pola Diurnal Sap Flow Pada Beberapa Tingkatan Pelepah Kelapa Sawit

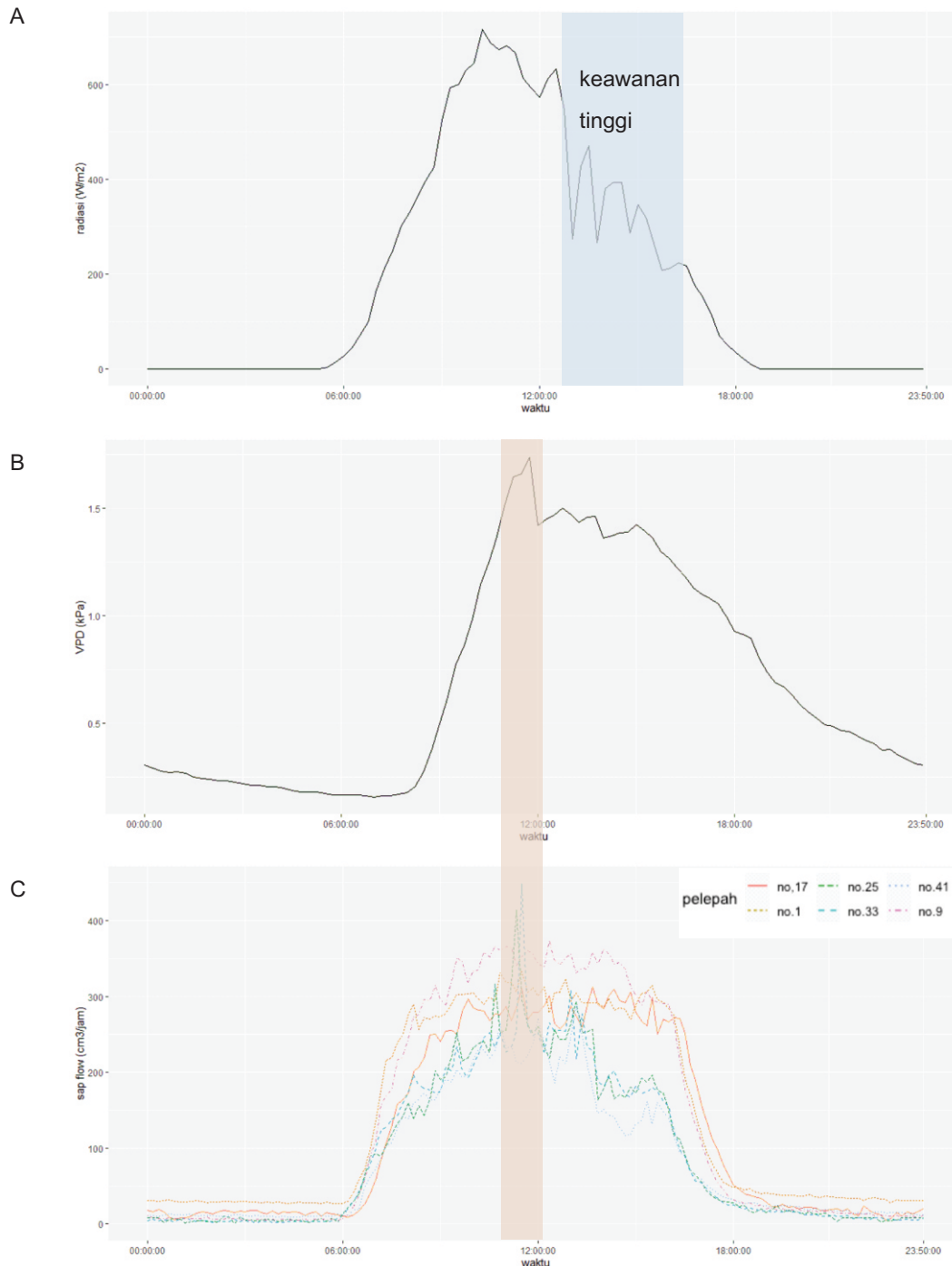
Pola diurnal *sap flow* / aliran sap dari masing-masing pelepah disajikan pada Gambar 3.C. Pola aliran sap dari masing-masing pelepah cenderung meningkat setelah jam 06.00 dan mendekati nol setelah jam 18.00. Secara umum, aliran sap akan mencapai nilai tertinggi menjelang tengah hari dan kemudian mulai menurun setelah jam 15.00. Hasil penelitian ini relatif sama dengan penelitian yang dilakukan Bayona-Rodriguez & Romero (2016) pada tanaman kelapa sawit umur 5 tahun di Kolombia. Kondisi serupa juga teramati pada tanaman pisang (Haijun et al., 2015) dan *black locust* (Zhang et al., 2018)

Berdasarkan hasil pengukuran didapati bahwa pada rentang waktu pukul 06.00 - 18.00 (siang hari), laju aliran sap tertinggi diperoleh pada pelepah no.9. Sebaliknya, laju aliran sap terendah terukur pada pelepah no.41. Secara umum, tiga pelepah teratas

yaitu pelepah no. 1, 9, dan 17 memiliki laju aliran sap lebih tinggi dibandingkan pelepah no. 25, 33, dan 41. Lebih lanjut, pada saat malam hari (18.10 – 05.50), laju aliran sap pada pelepah no.1 cenderung lebih tinggi dibandingkan pelepah lainnya. Sama halnya ketika siang hari, pada malam hari, laju aliran sap tiga pelepah tingkatan terbawah (no. 25, 33, dan 41) cenderung lebih rendah dibandingkan tiga pelepah tingkatan teratas (no. 1, 9, dan 17).

Laju aliran sap pada tiga tingkatan pelepah teratas yang lebih tinggi karena posisi pelepah yang lebih terekspos terhadap perubahan kondisi cuaca, khususnya radiasi matahari dan fluktuasi VPD. Pola peningkatan dan penurunan aliran sap mengikuti pola intensitas radiasi matahari jika dikaitkan dengan kondisi cuaca (Gambar 3.A) dan VPD (Gambar 3.B). Terlihat juga bahwa pada saat keawanan tinggi (*highlight* pada Gambar 3.A), yang lebih terlihat lebih terpengaruh penurunan intensitas radiasi adalah pelepah-pelepah bawah khususnya no. 25, 33, dan 41. Pada saat keawanan tinggi, intensitas radiasi menurun sehingga laju aliran sap pada ketiga pelepah tersebut

menurun. Disisi lain, pelepah no. 1, 9, dan 17 tidak menunjukkan penurunan rerata aliran sap karena letaknya yang lebih tinggi sehingga masih menerima cahaya ketika tingkat keawanan tinggi.



Gambar 3. Rerata radiasi matahari diurnal (A), rerata vapour pressure deficit / VPD (B), dan rerata laju aliran sap dari pelepah 1, 9, 17, 25, 33, dan 41 (C).

Figure 3. The average diurnal solar radiation (A), vapour pressure deficit / VPD (B), as well as sap flow rate of frond no. 1, 9, 17, 25, 33, and 41 (C).

Terkait dengan fluktuasi VPD, Gambar 3.B menunjukkan bahwa puncak VPD terjadi menjelang tengah hari. Menariknya, puncak VPD diikuti dengan puncak aliran sap (lihat kotak *highlight* antara Gambar 3.B dan 3.C). VPD memang disebutkan dalam beberapa penelitian berperan sebagai pemicu / *driving force* dalam transportasi air di dalam tanaman (Zhang *et al.*, 2017). Sementara itu, penelitian yang dilakukan Brum *et al.* (2020) menunjukkan bahwa radiasi matahari khususnya panjang gelombang PAR / *Photosynthetic Active Radiation* merupakan unsur cuaca yang sangat mempengaruhi laju aliran sap. Selain radiasi, VPD juga sangat mempengaruhi fluktuasi aliran sap. Röhl *et al.* (2015) juga menjelaskan bahwa radiasi matahari dan VPD sama-sama mempengaruhi laju aliran sap. Disisi lain, Bayona-Rodríguez & Romero (2016) menyatakan bahwa VPD merupakan unsur iklim yang paling mempengaruhi fluktuasi aliran sap pada tanaman kelapa sawit. Kajian tentang kaitan aliran sap pada tanaman kelapa sawit dengan kondisi cuaca masih belum banyak dibahas dan sangat menarik untuk dikaji lebih lanjut dalam penelitian di masa depan.

Kebutuhan Air Tanaman Kelapa Sawit Berdasarkan Transpirasi

Hasil estimasi transpirasi dari masing-masing pelepah disajikan pada Gambar 4.A. Berdasarkan gambar tersebut dapat diketahui fakta menarik bahwa transpirasi tertinggi terjadi melalui pelepah no.1 dan semakin menurun pada pelepah-pelepah di bawahnya. Adapun transpirasi terendah teramati pada pelepah no. 41. Pada penelitian ini digunakan asumsi bahwa transpirasi masing-masing pelepah pada tingkatan pelepah (spiral) yang sama adalah identik, maka total transpirasi dari masing-masing level / tingkatan pelepah tersaji pada Gambar 4.B.

Rerata air yang ditranspirasikan tanaman kelapa sawit dalam penelitian ini adalah 31,933 liter/hari/tanaman atau setara dengan transpirasi 0,457 mm/hari/tanaman. Namun demikian, perlu dipahami bahwa pada kondisi lingkungan dan teknik budidaya yang berbeda, sangat mungkin nilai transpirasi menjadi lebih tinggi atau lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian ini. Hasil estimasi transpirasi ini lebih rendah dibandingkan hasil estimasi penelitian Bayona-Rodríguez & Romero (2016) pada tanaman kelapa sawit umur 5 tahun di

Kolombia, yaitu sebesar 80,5 liter/hari/tanaman atau 1,15 mm/hari/tanaman. Perbedaan ini disebabkan penelitian yang dilakukan Bayona-Rodríguez & Romero (2016) tidak mempertimbangkan luasan *vascular bundle*.

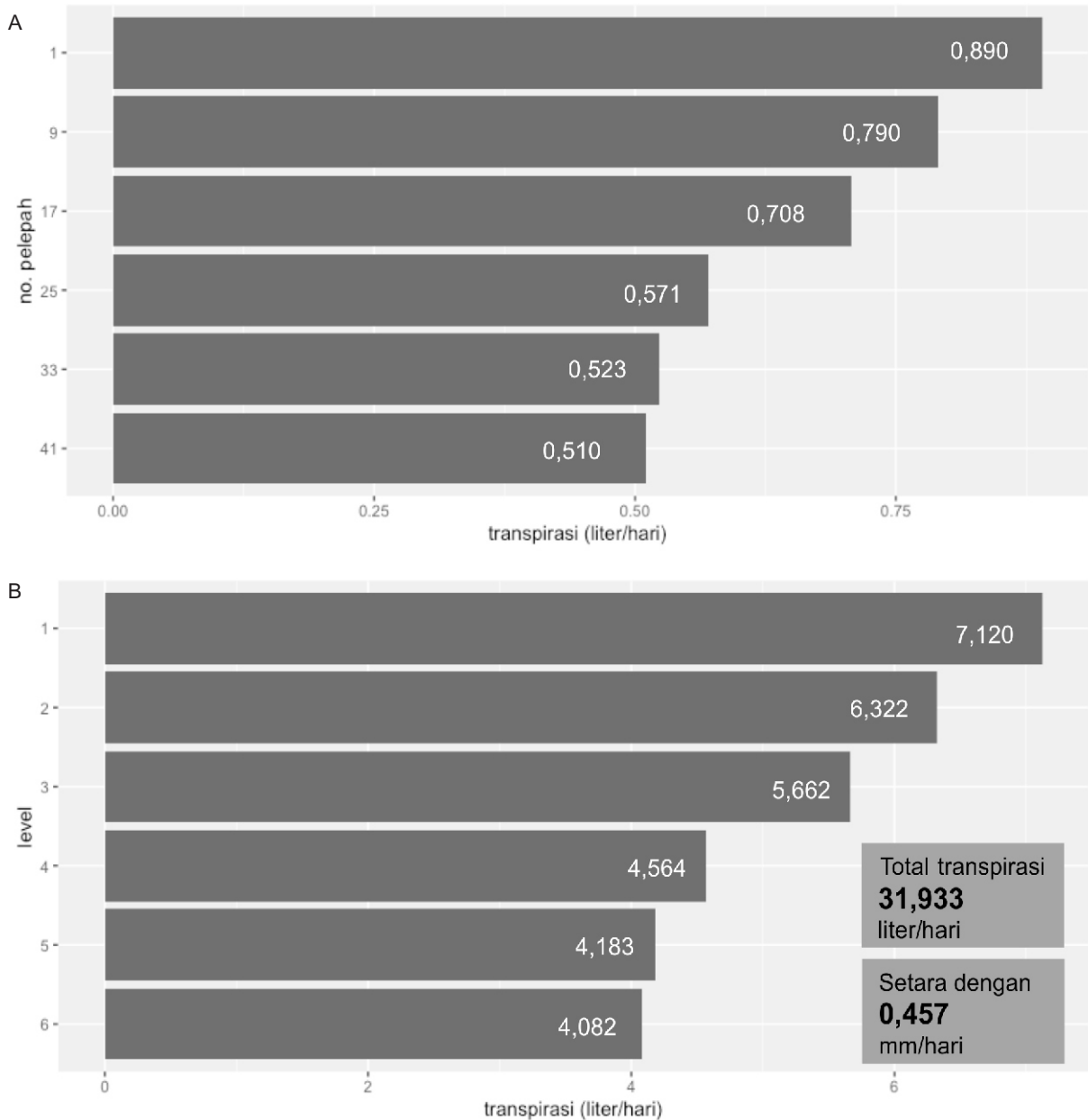
Penelitian lain yang dilakukan pada tanaman kelapa sawit umur 12 tahun di Jambi menunjukkan bahwa rerata air yang ditranspirasikan adalah sekitar 1,1 mm/hari (Niu *et al.*, 2015). Hasil estimasi transpirasi kelapa sawit di Jambi berkisar antara 0,2 mm/hari pada tanaman berumur 2 tahun, dan 2,5 mm/hari pada tanaman umur 12 tahun (Röhl *et al.*, 2015). Secara umum transpirasi tanaman kelapa sawit tidak lebih tinggi jika dibandingkan dengan tanaman lain. Sebagai pembanding, transpirasi tanaman karet tercatat sekitar 2,44 mm/hari (Kobayashi *et al.*, 2014), tanaman kakao sekitar 0,5-2,2 mm/hari (Kohler *et al.*, 2014), dan hutan primer sekitar 1,0-1,7 mm/hari (McJannet *et al.*, 2007).

Transpirasi tanaman kelapa sawit dalam penelitian kali ini hanya sekitar 35% dari total evapotranspirasi tanaman kelapa sawit, jika dibandingkan dengan nilai evapotranspirasi tanaman kelapa sawit yang berkisar antara 4-5 mm/hari (Carr, 2011), atau sekitar 4,7 mm/hari (Röhl *et al.*, 2015). Persentase transpirasi terhadap evapotranspirasi dalam penelitian ini sesuai dengan penelitian Röhl *et al.* (2015) yang menyatakan bahwa umumnya transpirasi kelapa sawit sebesar 8-53% dari total evapotranspirasi. Sementara itu, sekitar 65% sumber penguapan air dari lahan dapat berasal dari evaporasi tanah di bawah kanopi tanaman, air yang terjebak dalam pelepah bekas tunasan, dan sumber-sumber lain yang perlu dikaji lebih jauh untuk mengetahui kuantifikasinya.

Berdasarkan tingkat transpirasi harian dan perbandingannya terhadap evapotranspirasi harian yang diperoleh dari penelitian ini, maka seharusnya tingkat evapotranspirasi dari perkebunan kelapa sawit dapat lebih diefektifkan dengan berbagai cara, salah satunya dengan memodifikasi kondisi lingkungan di areal sekitar tanaman. Modifikasi tersebut dilakukan untuk menekan penguapan air dari tanah bera / *bare soil*, misalnya dengan pemanfaatan *cover crops*. *Cover crops* atau tanaman penutup tanah dapat membantu menjaga kelembaban tanah dan serasahnya dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kesuburan tanah (Meyer *et al.*, 2019). Selain itu, dapat juga dilakukan sistem tumpang sawit / *intercropping*

dengan tanaman lain yang sesuai dan memiliki nilai ekonomi tinggi. Disamping itu, cara lain yang dapat dilakukan adalah dengan menerapkan teknik konservasi air melalui pembuatan rorak ataupun

guludan guna mengurangi air yang terlimpas pada saat musim hujan dan menyediakan tambahan sumber air saat musim kemarau (Pradiko *et al.*, 2014).



Gambar 4. Rerata transpirasi masing-masing pelepah (A). Transpirasi per tingkatan / level pelepah (B). Level 1 mewakili transpirasi pelepah no. 1-8, level 2 mewakili pelepah no. 9-16, level 3 mewakili pelepah no. 17-24, level 4 mewakili pelepah no. 25-32, level 5 mewakili pelepah no. 33-40, sedangkan level 6 mewakili pelepah no. 41-48.

Figure 4. The average of fronds transpiration (A). The transpiration for each fronds level (B). Level 1 represents transpiration for frond no. 1-8, level 2 represents frond no. 9-16, level 3 represents frond no. 17-24, level 4 represents frond no. 25-32, level 5 represents frond no. 33-40, and level 6 represents frond no. 41-48.

KESIMPULAN

Laju transpirasi masing-masing pelepah kelapa sawit berbeda-beda. Laju transpirasi tertinggi terjadi pada pelepah no.1 dan cenderung akan semakin menurun pada pelepah-pelepah di tingkatan bawah. Rerata kebutuhan air untuk memenuhi transpirasi tanaman kelapa sawit pada umur 5 tahun adalah 0,457 mm/hari/tanaman atau sebesar 31,933 liter/hari/tanaman. Hal ini berarti bahwa transpirasi tanaman kelapa sawit pada umur 5 tahun adalah 35% dari total evapotranspirasi yang mencapai 4,7 mm/hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Bayona-Rodriguez, C. J., & Romero, H. M. 2016. Estimation of transpiration in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) with the heat ratio method. *Agronomía Colombiana*, 34(2), 172–178. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n2.55649>
- Bleby, T. M., Burgess, S. S. O., & Adams, M. A. 2004. A validation, comparison and error analysis of two heat-pulse methods for measuring sap flow in *Eucalyptus marginata* saplings. *Functional Plant Biology*, 31, 645–658. <https://doi.org/10.1071/FP04013>
- Brum, M., Oliveira, R. S., López, J. G., Licata, J., Pypker, T., Chia, G. S., Tinôco, R. S., & Asbjornsen, H. 2020. Effects of irrigation on oil palm transpiration during ENSO-induced drought in the Brazilian Eastern Amazon. *Agricultural Water Management*, xxx(xxxx), 1 – 1 1 1 . <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106569>
- Carr, M. K. v. 2011. The water relations and irrigation requirements of oil palm (*Elaeis guineensis*): A review. *Expl. Agric.*, 47(4), 629–652. <https://doi.org/10.1017/S0014479711000494>
- Darwis, A., Nurrochmat, D. R., Massijaya, M. Y., Nugroho, N., Alamsyah, E. M., Bahtiar, E. T., & Safe'i, R. 2013. Vascular bundle distribution effect on density and mechanical properties of oil palm trunk. *Asian Journal of Plant Sciences*, 12(5), 208–2013. <http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf>
- Dong, W., Li, C., Hu, Q., Pan, F., Bhandari, J., & Sun, Z. 2020. Potential Evapotranspiration Reduction and Its Influence on Crop Yield in the North China Plain in 1961-2014. *Advances in Meteorology*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/3691421>
- Doorenbos, J., & Pruitt, W. O. 1977. Crop water requirements crop water requirements. In *Irrigation and Drainage paper* (Issue 24).
- Ferrara, G., & Flore, J. A. 2003. Comparison between different methods for measuring transpiration in potted apple trees. *Biologia Plantarum*, 46(1), 41–47. <https://doi.org/https://doi.org/10.1023/A:1022301931508>
- Garnier, E., Berger, A., & Martin, M. 1988. How to Estimate Leaf Transpiration from Water Potential Measurements? *Flora*, 181, 131–135. [https://doi.org/10.1016/S0367-2530\(17\)30358-4](https://doi.org/10.1016/S0367-2530(17)30358-4)
- Haijun, L., Cohen, S., Lemcoff, J. H., Israeli, Y., & Tanny, J. 2015. Sap flow, canopy conductance and microclimate in a banana greenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology*, 201, 165–175. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.11.009>
- Ismanov, M., Francis, P., Henry, C., & Espinoza, L. 2019. Relations among Sap Flow, Soil Moisture, Weather, and Soybean Plant Parameters in High Water Demand and Final Growth Stages. *Agricultural Sciences*, 10, 371–385. <https://doi.org/10.4236/as.2019.103030>
- Kirkham, M. B. 2014. Sap Flow. *Principles of Soil and Plant Water Relations, Chapter 20*, 375–390. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-420022-7.00021-5>
- Kobayashi, N., Kumagai, T., Miyazawa, Y., Matsumoto, K., Tateishi, M., Lim, T. K., Mudd, R. G., Ziegler, A. D., Giambelluca, T. W., & Yin, S. 2014. Transpiration characteristics of a rubber plantation in central Cambodia. *Tree Physiology*, 34, 285–301. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpu009>

- Kohler, M., Hanf, A., Barus, H., Hendrayanto, & Holscher, D. 2014. Cacao trees under different shade tree shelter: effects on water use. *Agroforest Syst* (2014), 88, 63–73. <https://doi.org/10.1007/s10457-013-9656-3>
- Legros, S., Mialet-Serra, I., Caliman, J.-P., Siregar, F. A., Clément-Vidal, A., & Dingkuhn, M. 2009. Phenology and growth adjustments of oil palm (*Elaeis guineensis*) to photoperiod and climate variability. *Annals of Botany*, 104(6), 1171–1182. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp214>
- McJannet, D., Fitch, P., Disher, M., & Wallace, J. 2007. Measurements of transpiration in four tropical rainforest types of north Queensland, Australia. *Hydrological Processes*, 21, 3549–3564. <https://doi.org/10.1002/hyp.6576>
- Meyer, N., Bergez, J. E., Constantin, J., & Justes, E. 2019. Cover crops reduce water drainage in temperate climates: A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(1). <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0546-y>
- Milne, R., Deans, J. D., Ford, E. D., Jarvis, P. G., Leverenz, J., & Whitehead, D. 1985. A Comparison of two methods of estimating transpiration rates from a sitka spruce plantation. *Boundary-Layer Meteorology*, 32(1), 155–175.
- Murray, F. 1967. On the computation of saturation vapor pressure. *J. Appl. Meteorol.*, 6, 203–204.
- Nascimento, P. T., Castro, G. F. de, & Júnior, J. C. F. B. 2018. Water requirement of irrigated and rainfed crops. *International Journal of Hydrology*, 2(3), 338–341. <https://doi.org/10.15406/ijh.2018.02.00093>
- Niu, F., Roll, A., Hardanto, A., Meijide, A., Kohler, M., Hendrayanto, & Holscher, D. 2015. Oil palm water use: calibration of a sap flux method and a field measurement scheme. *Tree Physiology*, 35(5), 563–573. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpv013>
- Pereira, L. S., & Alves, I. 2013. Crop Water Requirements. In *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences* (Issue May). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.05129-0>
- Pradiko, I., Darlan, N., & Santoso, H. 2014. Teknik konservasi tanah dan air di perkebunan kelapa sawit dalam menghadapi perubahan iklim. *Prosiding Seminar Nasional Milad FP UISU*.
- Pradiko, I., Farrasati, R., Rahutomo, S., Ginting, E. N., Candra, D. A. A., Krissetya, Y. A., & Mahendra, Y. S. 2020. Pengaruh iklim terhadap dinamika kelembaban tanah di piringan pohon tanaman kelapa sawit. *WARTA PPKS*, 25(1), 39–51.
- Röll, A., Niu, F., Meijide, A., Hardanto, A., Knohl, A., & Hölscher, D. 2015. *Transpiration in an oil palm landscape: effects of palm age*. 5619–5633. <https://doi.org/10.5194/bg-12-5619-2015>
- Ruiz-Penalver, L., Vera-repullo, J. A., Jiménez-buendía, M., Guzman, I., & Molina-Martinez, J. M. 2014. Development of an innovative low cost weighing lysimeter for potted. *Agricultural Water Management*, 151, 103–113. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.09.020>
- Steppe, K., Vandegehuchte, M. W., Tognetti, R., & Mencuccini, M. 2015. Sap flow as a key trait in the understanding of plant hydraulic functioning. *Tree Physiology*, 35, 341–345. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpv033>
- Suresh, K., Nagamani, C., Kantha, D. L., & Kumar, M. K. 2012. Changes in photosynthetic activity in five common hybrids of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seedlings under water deficit. *Photosynthetica*, 50(4), 549–556. <https://doi.org/10.1007/s11099-012-0062-2>
- Wang, Y., Cao, G., Wang, Y., Webb, A. A., Yu, P., & Wang, X. 2019. Response of the daily transpiration of a larch plantation to variation in potential evaporation, leaf area index and soil moisture. *Scientific Reports*, 9(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41186-1>
- Zhang, D., Du, Q., Zhang, Z., Ji, X., Song, X., & Li, J. 2017. Vapour pressure deficit control in relation to water transport and water productivity in

- greenhouse tomato production during summer. *Scientific Reports*, August 2016, 1–11. <https://doi.org/10.1038/srep43461>
- Zhang, Q., Jia, X., Shao, M., Zhang, C., Li, X., & Ma, C. 2018. Sap flow of black locust in response to short-term drought in southern Loess Plateau of China. *Scientific Reports*, 8, 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24669-5>