

PENGHITUNGAN WATER FOOTPRINT PRODUKSI TANDAN BUAH SEGAR (TBS) KELAPA SAWIT PADA BERBAGAI WILAYAH DI INDONESIA

Iman Yani Harahap

ABSTRAK

Nilai *Water Footprint* (WFp) mengindikasikan tingkat efisiensi suatu sistem produksi dalam mengkonsumsi air. Dari aspek lingkungan, nilai *Water Footprint* yang besar mengindikasikan sistem kurang ramah lingkungan dan sebaliknya nilai *Water Footprint* yang kecil mengindikasikan sistem ramah lingkungan. Nilai ini, pada akhir-akhir ini, dipertimbangkan dalam berbagai implementasi pelabelan standar keberlanjutan (*sustainability*) sistem produksi kelapa sawit (ISPO, RSPO, dan lain-lain). Makalah ini menyajikan perhitungan nilai *Water Footprint* dalam memproduksi tandan buah segar (TBS) kelapa sawit pada berbagai wilayah di Indonesia. Nilai WFp dihitung mengikuti metode yang dikembangkan Mekonnen dan Hoekstra (2010); Gheewala dkk. (2014) dan Mungkalasiri, dkk (2015). Penghitungan *Water Footprint*, melibatkan konsumsi air yang berasal dari presipitasi (*green water*), air yang bersumber dari permukaan dan bawah permukaan tanah, (*blue water*), dan air yang digunakan untuk mendilusi/menetralkan polutan kimia (*grey water*) sebagai dampak penggunaan pupuk. Data yang digunakan untuk menghitung WFp TBS diperoleh dari data kebun-kebun Perusahaan Perkebunan Negara, pada berbagai wilayah pertanaman kelapa sawit di Indonesia selama 3 tahun (2011-2013), yaitu curah hujan, hari hujan, dosis pupuk, dan data produksi. Hasil perhitungan adalah sebagai berikut, Nilai WFp, produksi tandan buah segar (TBS), kelapa sawit di

Indonesia berkisar $700 - 1.700 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$ dengan rerata $1.034 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$ (setara dengan 1.034 liter per kg TBS), yang meliputi $802 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$ (78 %) berasal dari WFp (*green*), $64 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$ (6 %) berasal dari WFp (*blue*), dan $169 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$ (16 %) berasal dari WFp (*grey*). Nilai WFp TBS ini relatif sangat rendah dibanding WFp tanaman penghasil minyak nabati lainnya, yaitu hanya sekitar 50 % dari WFp tanaman penghasil minyak nabati lainnya (jagung, kedelai, kacang tanah, kelapa, bunga matahari zaitun dan *rapeseed*). Sehingga dari sisi konsumsi air untuk produksi di lapangan pertanaman kelapa sawit lebih efisien dibanding tanaman-tanaman tersebut, yang berarti lebih ramah lingkungan. Nilai WFp TBS kelapa sawit di wilayah Indonesia lebih ditentukan oleh tingkat produktivitasnya dibandingkan komponen penentu lainnya, seperti curah hujan dan pemupukan.

Kata kunci : *Water footprint* (WFp), *green water*, *blue water*, *grey water*, produktivitas, tandan buah segar (TBS)

PENDAHULUAN

Water Footprint adalah karakter konsumsi air untuk menghasilkan suatu unit produksi baik yang bersifat hayati maupun non-hayati. Air yang dikonsumsi dalam proses produksi tersebut dihitung dari mulai awal hingga akhir proses produksi. Nilai *Water Footprint* mengindikasikan tingkat efisiensi suatu sistem produksi dalam mengkonsumsi air. Semakin besar nilai *Water Footprint*, maka semakin kecil efisiensinya dan sebaliknya. Dari aspek lingkungan, nilai *Water Footprint* yang besar mengindikasikan sistem kurang ramah lingkungan dan sebaliknya nilai *Water Footprint* yang kecil mengindikasikan sistem ramah lingkungan. Nilai *Water Footprint*, pada akhir-akhir ini, dipertimbangkan dalam kaitannya dengan penilaian aspek lingkungan

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

Iman Yani Harahap (✉)
Kelti Tanah dan Agronomi
Pusat Penelitian Kelapa Sawit
Jl. Brigjen Katamso No. 51 Medan, Indonesia
Email: iyh_020464@yahoo.co.id

terhadap budidaya kelapa sawit, dan nilai ini dipertimbangkan dalam berbagai implementasi pelabelan standar keberlanjutan (*sustainability*) sistem produksi kelapa sawit (ISPO, RSPO, dan lain-lain). Makalah ini menyajikan perhitungan nilai *Water Footprint* dalam memproduksi tandan buah segar kelapa sawit pada berbagai wilayah di Indonesia.

BAHAN DAN METODE

Nilai *Water Footprint* yang dihitung pada makalah ini mengikuti metode yang dikembangkan Mekonnen dan Hoekstra (2010); Gheewala dkk. (2014) dan Mungkalasiri dkk. (2015). Penghitungan *Water Footprint*, melibatkan konsumsi air yang berasal dari presipitasi (*green water*), air yang bersumber dari permukaan dan bawah permukaan tanah, termasuk yang berasal dari irigasi (*blue water*), dan air yang digunakan untuk mendilusi/menetralkan *pollutant* kimia (*grey water*) sebagai dampak penggunaan bahan-bahan input produksi, seperti pupuk, insektisida, herbisida, dan lain-lain. Dalam perhitungan *grey water*, air yang dikonsumsi untuk mendilusi pupuk sangat besar dibandingkan *pollutant* yang berasal dari sumber lain, sehingga hanya dampak pupuk saja yang diperhitungkan dalam menetapkan *grey water*.

Persamaan umum *Water Footprint* untuk produksi tandan buah segar (TBS) adalah sebagai berikut,

$$WFp \text{ TBS} = WFp \text{ (green)} + WFp \text{ (blue)} + WFp \text{ (grey)} \quad (1)$$

dimana,

WFp TBS : *Water Footprint* untuk produksi tandan buah segar (TBS), ($m^3 \text{ ton}^{-1}$)

WFp (*green*) : Konsumsi air yang berasal dari presipitasi untuk pertumbuhan tanaman selama suatu periode ($m^3 \text{ ton}^{-1}$)

WFp (*blue*) : Konsumsi air yang berasal di luar presipitasi untuk pertumbuhan tanaman selama suatu periode ($m^3 \text{ ton}^{-1}$)

WFp (*grey*) : Konsumsi air untuk mendilusi *pollutant* selama suatu periode pertumbuhan tanaman ($m^3 \text{ ton}^{-1}$)

Nilai *WFp* (*green*), dihitung dengan persamaan berikut,

$$WFp \text{ (green)} = (10 \times \sum_{i=1}^n ETc) / Y \text{ (} m^3 \text{ ton}^{-1} \text{)} \quad (2)$$

dimana,

Etc : Evapotranspirasi tanaman spesifik ($mm \text{ hari}^{-1}$)

Y : Produktivitas TBS ($ton \text{ ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$)

n : Suatu periode tanaman (hari)

$$ETc = kc \times Etp \quad (3)$$

kc : koefisien tanaman kelapa sawit menghasilkan , nilainya 0,93 (Harahap dan Darmosarkoro (1999)

Etp : Evapotranspirasi potensial, nilainya diestimasi dari kondisi hari hujan bulanan, hari hujan ≥ 10 hari per bulan, maka Etp 150 mm per bulan dan hari hujan < 10 hari, maka Etp 120 mm per bulan (Tailliez, 1973).

Nilai *WFp* (*blue*), dihitung dengan persamaan berikut,

$$WFp \text{ (blue)} = (10 \times \sum_{i=1}^n (ETc - CH_{\text{eff}})) / Y \text{ (} m^3 \text{ ton}^{-1} \text{)} \quad (4)$$

dimana,

Etc : Evapotranspirasi tanaman spesifik ($mm \text{ hari}^{-1}$)

CH_{eff} : Curah hujan efektif ($mm \text{ hari}^{-1}$), nilainya 98 % dari Curah hujan

Y : Produktivitas TBS ($ton \text{ ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$)

n : Suatu periode tanaman (hari)

Jika, nilai $ETc < CH_{\text{eff}}$, maka nilai *WFp* (*blue*) = 0

(Gheewala, *et al.*, 2014).

Nilai *WFp* (*grey*), dihitung dengan persamaan berikut,

$$WFp \text{ (grey)} = \{(A. \text{ Appl}) / (C_{\text{max}} - C_{\text{min}})\} / Y \text{ (} m^3 \text{ ton}^{-1} \text{)} \quad (5)$$

dimana,

A : fraksi pencucian akibat limpasan permukaan (run-off)

Appl : dosis pemupukan (kg ha^{-1})

C_{\max} : batas konsentrasi unsur kimia yang masih diperbolehkan dari standar kesehatan lingkungan (mg L^{-1})

C_{\min} : konsentrasi umum unsur kimia yang alami pada lingkungan (mg L^{-1})

Y : Produktivitas TBS ($\text{ton ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$)

Data masukkan yang diperlukan untuk menggunakan persamaan-persamaan di atas, meliputi data primer dan sekunder. Data primer

diperoleh dari data kebun Perusahaan Perkebunan Negara, pada berbagai wilayah pertanaman kelapa sawit di Indonesia selama 3 tahun (2011-2013), yaitu curah hujan, hari hujan, dosis pupuk, dan data produksi. Data sekunder diperlukan untuk menghitung WFp (*grey*), yaitu meliputi fraksi pencucian pupuk akibat limpasan permukaan dan batas konsentrasi unsur kimia yang berasal dari pupuk yang diperbolehkan di lingkungan dan konsentrasi alami unsur kimia pupuk secara alami di lingkungan.

Menurut Mekmonen dan Hoekstra (2010), fraksi pencucian pupuk bervariasi menurut jenis pupuk, yaitu berkisar 3% pada fosfor sampai dengan 10 % pada pupuk nitrogen. Pada paper ini, dasar perhitungan pencucian digunakan nilai yang terbesar yaitu pencucian nitrogen sebesar 10 %, cara ini juga digunakan oleh Mekmonen dan Hoekstra (2010). Umumnya pupuk yang digunakan dalam pengamatan

Tabel 1. Produktivitas, klimat, dan dosis pupuk pada berbagai lokasi kebun di Indonesia (rerata tahun 2011-2013)

Wilayah	No. Lokasi	Umur Tanaman (tahun)	Iklim (mm tahun^{-1})*			Dosis pupuk ($\text{kg pohon}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$)	Produktivitas TBS ($\text{ton ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$)
			CH	HH	ETp		
Sumatera Utara	1.	5 - 9	2.284	102	1.680	6,26	21,22
	2.	9 - 16	2.441	113	1.650	7,45	24,33
	3.	6 - 20	2.104	107	1.620	9,76	24,00
	4.	7 - 22	1.624	124	1.560	7,27	27,83
Riau	1.	6 - 22	2.327	117	1.590	6,45	14,50
	2.	9 - 15	2.317	150	1.560	9,38	17,49
Jambi	1.	9 - 16	2.798	107	1.620	7,58	25,40
	2.	14 - 18	2.629	106	1.620	7,39	27,10
Sumatera Selatan	1.	6 - 14	2.519	118	1.560	7,28	16,29
	2.	5 - 9	2.580	134	1.590	8,14	15,69
Lampung	1.	8 - 21	2.174	110	1.620	6,90	16,00
	2.	8 - 21	2.347	118	1.650	8,40	18,64
Banten	1.	5 - 11	2.723	159	1.530	6,74	10,40
	2.	5 - 23	3.294	161	1.560	6,04	13,88
Kalimantan Barat	1.	4 - 29	1.920	134	1.560	7,00	16,64
	2.	5 - 17	2.918	137	1.530	7,46	17,80
Kalimantan Timur	1.	5 - 22	1.940	170	1.500	7,77	17,00
	2.	8 - 28	2.352	186	1.470	5,96	16,53
Kalimantan Selatan	1.	13 - 14	2.371	135	1.560	6,43	18,00
	2.	6 - 9	1.985	102	1.680	4,67	21,93
Sulawesi Tengah	1.	14 - 16	2.703	132	1.590	8,40	22,64

di lapangan adalah menggunakan pupuk majemuk NPK (15 : 10 : 22) plus 1,0 % *trace element* dan pupuk tunggal magnesium (kieserit atau dolomit). Sumber nitrogen untuk pupuk majemuk tersebut digunakan urea dengan kadar N 46 %. Dosis pupuk ditentukan oleh rekomendasi Pusat Penelitian Kelapa Sawit. Sedangkan penetapan nilai-nilai batas konsentrasi unsur kimia yang masih diperbolehkan dari standar lingkungan (C_{max}), dan konsentrasi alami pada lingkungan (C_{min}), mengikuti standar U.S. *Environmental Protection Agency*, US-EPA (Mekonnen dan Hoekstra, 2010). Nilai C_{max} ditetapkan 10 mg per liter dan nilai C_{min} diestimasi 0 mg per liter. Beberapa literatur, menyampaikan beberapa nilai ini, yaitu 13 mg dan 0,4 mg per liter untuk masing nilai C_{max} dan C_{min} (Franke dan Mathews dari *water footprint network*, C & A Foundation). Lebih lanjut Mekonnen dan Hoekstra (2015), menyatakan nilai tersebut adalah 2,9 mg dan 0,36 mg per liter untuk masing-masing nilai C_{max} dan

C_{min} tersebut. Pada makalah ini nilai-nilai tersebut yang digunakan untuk menghitung WFp (grey) berdasarkan pada standar US-EPA.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Produktivitas, kondisi iklim, dan pemupukan

Produktivitas, kondisi iklim, dan pemupukan setiap lokasi yang dihitung dinilai *Water Footprint* (WFp) disajikan pada Tabel 1. Produktivitas tiap wilayah bervariasi, dengan kisaran 10 - 27 ton per ha per tahun. Produktivitas tersebut ditentukan oleh umur tanaman, kondisi lahan termasuk iklim dan teknik budidaya pada masing-masing lokasi, termasuk pemupukan. Produktivitas yang relatif tinggi umumnya terjadi di wilayah Sumatera Utara, dan relatif rendah terjadi pada wilayah Banten. Curah hujan pada lokasi yang diamati bervariasi antara 1.600 - 3.200 mm per tahun dengan variasi hari hujan berkisar 100 - 180 hari per tahun. Pemupukan umumnya adalah

Tabel 2. *Water foot print* (WFp) produksi tandan buah segar (TBS) per tahun pada berbagai lokasi

Wilayah	No. Lokasi	Umur Tanaman (tahun)	WFp (green) ($m^3 ton^{-1}$)	WFp (blue) ($m^3 ton^{-1}$)	WFp (grey) ($m^3 ton^{-1}$)	WFp Total ($m^3 ton^{-1}$)
Sumatera Utara	1.	5 - 9	728	33	125	886
	2.	9 - 16	624	7	130	760
	3.	6 - 20	621	46	172	839
	4.	7 - 22	516	78	111	704
Riau	1.	6 - 22	1.009	53	189	1.250
	2.	9 - 15	821	98	227	1.146
Jambi	1.	9 - 16	587	30	127	743
	2.	14 - 18	550	18	116	684
Sumatera Selatan	1.	6 - 14	881	71	189	1.141
	2.	5 - 9	932	76	220	1.228
Lampung	1.	8 - 21	932	118	183	1.232
	2.	8 - 21	814	75	191	1.081
Banten	1.	5 - 11	1.353	118	275	1.746
	2.	5 - 23	1.034	78	184	1.296
Kalimantan Barat	1.	4 - 29	863	90	178	1.131
	2.	5 - 17	791	13	178	982
Kalimantan Timur	1.	5 - 22	812	74	194	1.080
	2.	8 - 28	818	63	153	1.034
Kalimantan Selatan	1.	13 - 14	797	21	151	970
	2.	6 - 9	705	67	90	862
Sulawesi Tengah	1.	14 - 16	646	125	157	928
Rerata			802 (78 %)	64 (6 %)	169 (16 %)	1.034

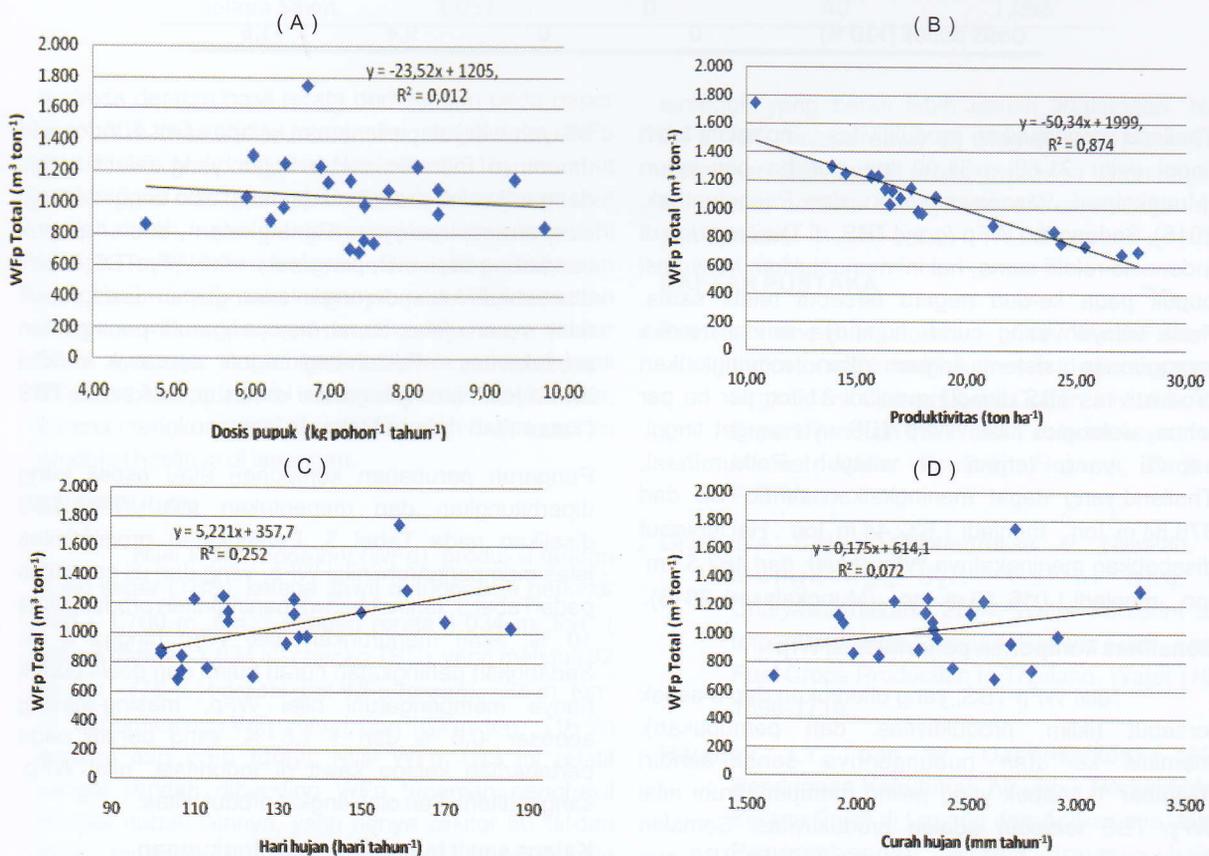
menggunakan pupuk majemuk NPK (15 : 10 : 22) plus 1,0 % *trace element* dan pupuk tunggal magnesium (kieserit atau dolomit) dengan dosis total berkisar 4,67 - 9,38 kg per pohon per tahun. Tingkat produktivitas, curah hujan, dan pemupukan tersebut merupakan komponen-komponen yang terlibat dalam perhitungan Wfp.

Water footprint pada berbagai wilayah di Indonesia

Hasil perhitungan Wfp untuk memproduksi tandan buah segar (TBS) di Indonesia disajikan pada Tabel 2. Nilai Wfp tersebut berkisar 700 - 1.700 m³ ton⁻¹ dengan rerata 1.034 m³ ton⁻¹ (setara dengan

1.034 liter per kg TBS), yang meliputi 802 m³ ton⁻¹ (78 %) berasal dari Wfp (*green*), 64 m³ ton⁻¹ (6 %) berasal dari Wfp (*blue*), dan 169 m³ ton⁻¹ (16 %) berasal dari Wfp (*grey*). Pemenuhan konsumsi air terbesar (78 %) dalam memproduksi TBS yang digunakan untuk *growth* tanaman (termasuk pertumbuhan tandan buah) diperoleh dari presipitasi (curah hujan) dan kekurangannya sekitar 6 % diperoleh dari sumber lain seperti cadangan air tanah dan permukaan. Enam belas persen (16 %), air kemudian digunakan untuk mendilusi polutant pupuk yang digunakan dalam kultur teknis kelapa sawit tersebut.

Hasil penghitungan Suttayakul dkk. (2016),



Gambar 1. Hubungan antara nilai *Water Footprint* (Wfp) dengan komponen penghitungannya, yaitu dosis pupuk (a), produktivitas TBS (b), hari hujan (c), dan curah hujan (d).

menunjukkan bahwa nilai WFp TBS di Thailand sekitar $1,063 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$, yang meliputi 68 % WFp (*green*), 18 % WFp (*blue*), dan 14 % WFp (*grey*). Ini berarti sumber air yang dikonsumsi dari presipitasi atau curah hujan relatif lebih kecil dibanding di Indonesia, sedangkan untuk memenuhi kebutuhan air diperoleh dari

cadangan air baik di permukaan maupun di dalam tanah. Nilai WFp (*green*) di Thailand yang lebih rendah terutama disebabkan oleh curah hujan yang relatif rendah (936 - 1.188 mm per tahun) dibanding di Indonesia (1.600 - 3.200 mm per tahun). Selain itu, tingkat produktivitas pada wilayah yang diamati di

Tabel 3. Sensitifitas perubahan nilai *water footprint* (WFp) terhadap perubahan komponen penghitung sebesar + 10 %

Komponen penghitung	Perubahan Nilai <i>Water footprint</i> (%)			
	WFp (<i>green</i>)	WFp(<i>blue</i>)	WFp(<i>grey</i>)	WFp Total
Curah hujan (+10 %)	0	-9,3	0	-0,6
Produksi (+10 %)	-10,3	-9,3	-9,4	-9,0
Dosis pupuk (+10 %)	0	0	9,4	+1,6

Thailand menunjukkan produktivitas yang relatif lebih tinggi yaitu 21,88 - 31,00 ton per ha per tahun (Mungkalasari, Wisanswannakan, dan Paengjuntuek, 2015), Sedangkan WFp (*grey*) TBS, di Thailand dan di Indonesia relatif sama, hal ini menunjukkan konsumsi pupuk pada ke-dua negara tersebut relatif sama. Pada wilayah yang curah hujannya rendah, maka penggunaan sistem irigasi akan meningkatkan produktivitas TBS dari 21 menjadi 31 ton per ha per tahun, walaupun nilai WFp TBS nya sangat tinggi, seperti yang terjadi di wilayah Pathumthani, Thailand, yang dapat meningkatkan WFP TBS dari $678,84 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$ menjadi $1.532,44 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$. Hal tersebut disebabkan meningkatnya WFp (*blue*), dari $162,53 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$ menjadi $1.016,13 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$ (Mungkalasari, 2015).

Sensifitas komponen penentu nilai Wfp

Nilai WFp TBS, yang ditentukan dari 3 aspek tersebut (iklim, produktivitas, dan pemupukan), memiliki keeratan hubungannya sendiri-sendiri (Gambar 1). Aspek yang paling mempengaruhi nilai WFp TBS tersebut adalah produktivitas. Semakin tinggi tingkat produktivitas, maka nilai WFp TBS nya semakin kecil, yang berarti pertanaman kelapa sawit yang berproduktivitas tinggi lebih ramah lingkungan, terkait konsumsi air.

Meningkatnya hari hujan dan curah hujan cenderung meningkatkan nilai WFp. Hal tersebut terkait dengan

wilayah-wilayah pertanaman kelapa sawit di Indonesia umumnya memiliki curah hujan yang relatif tinggi, dengan jumlah presipitasi tahunan lebih tinggi dari laju evapotranspirasinya. Peningkatan dosis pupuk cenderung tidak mempengaruhi nilai WFp TBS, hal ini disebabkan kecenderungan peningkatan dosis pupuk tidak secara jelas dapat mempengaruhi peningkatan produktivitas. Faktor lingkungan, termasuk kondisi iklim lebih mempengaruhi kondisi produktivitas TBS (Tabel 1).

Pengaruh perubahan komponen atau aspek yang diperhitungkan dan menentukan nilai WFp TBS disajikan pada Tabel 3. Peningkatan produktivitas jelas mempengaruhi nilai WFp, yang dari uji sensitifitas pada Tabel 3, terlihat bahwa peningkatan produktivitas 10 %, akan menurunkan nilai WFp hingga 9 %. Sedangkan peningkatan curah hujan dan dosis pupuk hanya mempengaruhi nilai WFp, masing-masing sebesar -0,6 % dan + 1,6 %, yang berarti pada pertanaman kelapa sawit di Indonesia, nilai WFp, sangat ditentukan oleh tingkat produktifitas.

Kelapa sawit tanaman ramah lingkungan

Hasil perhitungan WFp berbagai produksi tanaman penghasil minyak nabati, telah disampaikan oleh Mekonnen dan Hoekstra (2010), termasuk untuk tanaman kelapa sawit (Tabel 4). Nilai perhitungan WFp TBS tersebut ($1.098 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$) tidak jauh

Tabel 4. Water footprint (Wfp) berbagai macam tanaman penghasil minyak nabati hasil perhitungan Mekonnen dan Hoekstra (2010).

Tanaman	Water footprint ($m^3 ton^{-1}$)			
	Green	Blue	Grey	Total
Kedelai	2.037	70	37	2.145
Kacang tanah	2.469	150	163	2.782
Kelapa	2.669	2	16	2.687
Bunga matahari	3.017	148	201	3.366
Zaitun	2.470	499	45	3.015
Rapeseed	1.703	231	336	2.271
Kelapa Sawit	1.057	0	40	1.098

berbeda dengan hasil rerata perhitungan pada paper ini ($1.034 m^3 ton^{-1}$), tetapi nilai perhitungan WFp (*blue*), oleh Mekonnen dan Hoekstra (2010), tersebut adalah $0 m^3 ton^{-1}$, yang berarti pada wilayah tersebut jumlah curah hujan efektif sepanjang tahun melebihi jumlah evapotranspirasinya. Dibanding tanaman penghasil minyak nabati lainnya, nilai WFp tanaman kelapa sawit relatif sangat rendah, yaitu hanya sekitar 50 % nya saja. Hal ini berarti bahwa produksi hasil tanaman kelapa sawit termasuk ramah lingkungan, karena mengkonsumsi air relatif rendah dalam proses produksi hasilnya di lapangan.

KESIMPULAN

Nilai *Water Footprint* (WFp), produksi tandan buah segar (TBS), kelapa sawit di Indonesia berkisar $700 - 1.700 m^3 ton^{-1}$ dengan rerata $1.034 m^3 ton^{-1}$ (setara dengan 1.034 liter per kg TBS), yang meliputi $82 m^3 ton^{-1}$ (78 %) berasal dari WFp (*green*), $64 m^3 ton^{-1}$ (6 %) berasal dari WFp (*blue*), dan $169 m^3 ton^{-1}$ (16 %) berasal dari WFp (*grey*). Nilai WFp TBS ini relatif sangat rendah dibanding WFp tanaman penghasil minyak nabati lainnya, yaitu hanya sekitar 50 % dari WFp tanaman penghasil minyak nabati lainnya (jagung, kedelai, kacang tanah, kelapa, bunga matahari zaitun dan *rapeseed*). Sehingga dari sisi konsumsi air untuk produksi di lapangan pertanaman kelapa sawit lebih efisien dibanding tanaman-tanaman

tersebut, yang berarti lebih ramah lingkungan. Nilai WFp TBS kelapa sawit di wilayah Indonesia lebih ditentukan oleh tingkat produktivitasnya dibandingkan komponen penentu lainnya, seperti curah hujan dan pemupukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Franke, N. and R. Mathews. _____. Grey Water Footprint Indicator of Water Pollutions in the Production of Organic vs Conventional Cotton in India. The Expert Panel on the Water Footprint Assessment Manual. Water Footprint Network, C & A Foundation.
- Gheewala, S.H., T. Silalertruksa, P. Nilsalab, R. Mungkung, S.R. Perret and N. Chaiyawannakarn. 2014. Water Footprint and Impact of Water Consumption for Food, Feed, Fuel Crops Production in Thailand. *Water* (16) : 1698-1718
- Harahap, I.Y., dan W. Darmosarkoro. 1999. Pendugaan Kebutuhan Air untuk Pertumbuhan Kelapa Sawit di Lapang dan Aplikasinya dalam Pengembangan Sistem Irigasi. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 7(2): 87-104
- Mekonnen and A.Y. Hoekstra. 2010. The Green, Blue, and Grey Water Footprint of Crops and Derived Crop Products. Research Report Series Unesco-IHE, Vol 1, (47): 12 p.

- Mekonnen, M.M and A.Y. Hoekstra. 2015. Global Grey Water Footprint and Water Pollution Levels Related to Anthropogenic Nitrogen Loads to Fresh Water. *Environ Sci. Technol* (49): 12860-12868
- Mungkalasiri, J., R. Wisansuwannakorn and W. Paengjuntuek. 2015. Water Footprint Evaluation of Oil Palm Fresh Fruit Bunches in Pathumthani and Chonburi (Thailand). *International Journal of Environment Science and Development*. Vol. 6 (6) : 455-459
- Suttayakul, P., A.H. Kittikun, C. Suksaroj, J. Mungkalasiri, R. Wisansuwannakorn, C. Musikavong. 2016. Water footprints of products of oil palm plantations and palm oil mills in Thailand. *Science of The Total Environment* (52): 521-529
- Tailliez, B.J. 1973. Perhitungan Defisit Air. *Bulletin BPPM*, 4(4): 145-148