

PENENTUAN METODE ESTIMASI KEBUTUHAN AIR PADA TANAMAN KELAPA SAWIT BERDASARKAN DATA IKLIM YANG TERBATAS

Iput Pradiko, Nuzul H. Darlan, dan Heri Santoso

ABSTRAK

Keterbatasan jumlah stasiun klimatologi di sebagian besar perkebunan kelapa sawit di Indonesia, menyebabkan kelangkaan data iklim yang sangat diperlukan untuk menentukan kebutuhan air di pertanaman kelapa sawit. Untuk mengatasi permasalahan ini, telah dilakukan penelitian estimasi kebutuhan air, termasuk mengenai keseimbangan air di pertanaman kelapa sawit dengan mengambil lokasi penelitian di wilayah perkebunan Simalungun-Sumatera Utara. Kebutuhan air tanaman di dekati oleh nilai evapotranspirasi. Penentuan nilai evapotranspirasi referensi (E_{To}) dilakukan menggunakan metode berbasis suhu menurut Hargreaves-Samani, Turc, Thornthwaite, Blaney-Cridle, dan Jensen-Hansen. Sementara itu, Metode IRHO yang berbasis hari hujan juga digunakan untuk membandingkan nilai E_{Tc} dari hasil perhitungan Metode Penman. Hasil pengujian performa menggunakan indeks RMSE (*Root Mean Square Error*) menunjukkan bahwa Metode Hargreaves-Samani memiliki performa yang paling baik dibandingkan metode lainnya, ditandai dengan indeks RMSE yang mencapai 0,03. Berdasarkan hasil uji RMSE dan metode dari beberapa penelitian terdahulu, dapat ditentukan suatu metode estimasi kebutuhan air pada tanaman kelapa sawit yang dapat digunakan di daerah dengan data iklim yang terbatas.

Kata kunci : estimasi, kebutuhan air, kelapa sawit, Penman, Hargreaves-Samani

PENDAHULUAN

Kondisi kekurangan dan kelebihan air dapat berakibat negatif terhadap pertumbuhan dan perkembangan kelapa sawit (*water stress*). Kondisi defisit air sebagai akibat rendahnya jumlah dan distribusi curah hujan dapat menyebabkan beberapa efek negatif bagi tanaman kelapa sawit, antara lain dapat mengakibatkan perubahan fisiologi, pertumbuhan yang terhambat, degradasi fotosintesis, dan penurunan laju fotosintesis (Cha-um *et al.*, 2013). Begitu pula dalam kondisi surplus air yang terus menerus (hingga menyebabkan genangan) dapat menyebabkan terganggunya respirasi tanaman dan bahkan akar akan mati (Corley and Tinker, 2008).

Untuk mencegah defisit dan surplus air yang dapat berdampak negatif terhadap tanaman kelapa sawit, perlu dilakukan estimasi kebutuhan air pada tanaman kelapa sawit. Estimasi kebutuhan air dapat dihitung berdasarkan nilai evapotranspirasi. Evapotranspirasi merupakan suatu proses kehilangan air melalui evaporasi dan transpirasi. Pengukuran evaporasi biasanya dihubungkan dengan kehilangan air melalui penguapan yang terjadi pada badan air, permukaan tanah, serta intersepsi pada permukaan vegetasi (McMahon *et al.*, 2013). Adapun transpirasi merupakan proses kehilangan air yang terjadi pada tanaman melalui daun, batang, bunga, maupun akar (Ahmed, 2013).

Evapotranspirasi berdasarkan definisinya dibedakan menjadi evapotranspirasi potensial (E_{Tp}), referensi (E_{To}), aktual (E_{Ta}), dan tanaman (E_{Tc}). Menurut Penman dalam Irmak dan Haman (2003), E_{Tp} adalah jumlah air yang ditranspirasikan oleh tanaman pendek, menutupi tanah dengan sempurna, tingginya seragam, serta kondisi air yang cukup. Sedangkan evapotranspirasi referensi adalah laju evapotranspirasi pada tanaman yang diasumsikan bertinggi 0,12 m, resistensi permukaan yang tetap (70

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

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

detik/m) dan albedo 0,23; yang nilainya hampir sama dengan evapotranspirasi pada rumput dengan tinggi yang sama, aktif berkembang, menutup tanah dengan sempurna dan tidak kekurangan air (Allen *et. al.*, 1998). ETo disebut juga dengan evapotranspirasi referensi tanaman. ETa merupakan evapotranspirasi yang benar-benar terjadi pada kondisi iklim, lingkungan, dan pengelolaan tanaman tertentu (Impron dan Handoko, 2008).

Evapotranspirasi tanaman (ETc) adalah laju evapotranspirasi pada pertanaman yang sehat, yang tumbuh pada kondisi lingkungan yang optimal (tidak kekurangan air maupun kesuburan), sehingga tanaman mampu mencapai potensi produksinya (Doorenbos and Pruitt, 1977; Harahap dan Darmosarkoro, 1999). Kebutuhan air tanaman merupakan tebal air yang dibutuhkan oleh tanaman untuk menggantikan air yang hilang melalui evapotranspirasi tanaman (ETc). Evapotranspirasi dapat diduga melalui pengukuran langsung di lapangan, metode empiris meteorologi, citra satelit, pengukuran lengas tanah, dan sebagainya. Dalam praktiknya, metode mikrometeorologi banyak digunakan dalam penentuan evapotranspirasi.

Beberapa metode empiris meteorologi yang digunakan dalam penentuan nilai evapotranspirasi antara lain Metode Penman, Penman – Monteith, Blaney-Criddle, Turc, Thornthwaite, Hargreaves – Samani, dan masih banyak lagi. Metode Penman merupakan metode yang digunakan sebagai metode standar dan paling banyak digunakan untuk menduga nilai ETo ketika semua data cuaca (suhu, kelembaban, angin, dan radiasi matahari) tersedia (Doorenbos and Pruitt, 1977).

Penentuan kebutuhan air kelapa sawit pernah dilakukan oleh Harahap dan Darmosarkoro (1999) di Indonesia menggunakan Metode Penman. Masalah yang umum dijumpai di banyak perkebunan kelapa sawit di Indonesia adalah ketersediaan data iklim yang sangat terbatas. Hal ini menyebabkan penentuan kebutuhan air di tanaman kelapa sawit menggunakan asumsi yang dikembangkan oleh IRHO (*Institut de Recherche pour Les Huiles et Oleagineux*). Menurutny, nilai ETc kelapa sawit diasumsikan sebesar 150 mm/bulan (5 mm/hari) pada bulan dengan hari hujan kurang dari 10 hari dan 120 mm/bulan (4 mm/hari) pada bulan dengan hari hujan lebih dari 10 hari. Penggunaan nilai asumsi tersebut dapat menimbulkan bias. Oleh karena itu, penelitian ini

dimaksudkan untuk menentukan metode estimasi kebutuhan air, termasuk keseimbangan air di tanaman kelapa sawit dengan kondisi data iklim yang terbatas.

METODOLOGI

Estimasi kebutuhan air terdiri atas beberapa tahapan yaitu estimasi nilai evapotranspirasi standar (ETo), estimasi nilai koefisien tanaman (kc), dilanjutkan dengan estimasi nilai evapotranspirasi tanaman (ETc), kemudian dilanjutkan lagi dengan koreksi curah hujan untuk mendapatkan nilai keseimbangan air. Penelitian ini dilakukan menggunakan data iklim Maret 1996 – Maret 1997 di SMPK (Stasiun Meteorologi Pertanian Khusus) Marihat yang mempunyai letak geografis 02°55' LU dan 99°05' BT. Adapun pertanaman kelapa sawit yang diestimasi kebutuhan airnya diasumsikan berumur lebih dari 7 tahun.

Estimasi Nilai Evapotranspirasi Standar (Eto)

Langkah pertama dalam menentukan kebutuhan air tanaman kelapa sawit adalah estimasi ETo. Estimasi ETo sangat penting dalam pendugaan kebutuhan air suatu tanaman (Kumar *et. al.*, 2012). Metode estimasi yang berbasis data suhu udara yang digunakan dalam penelitian ini ditampilkan pada Tabel 1.

Estimasi Nilai Koefisien Tanaman (kc)

Koefisien tanaman adalah rasio dari evapotranspirasi tanaman (ETc) dengan evapotranspirasi referensi (ETo). Faktor-faktor yang menentukan nilai koefisien tanaman (kc) adalah karakteristik tanaman, laju perkembangan tanaman, waktu tanam, lama waktu pertumbuhan, dan kondisi iklim (Doorenbos and Pruitt, 1977). Nilai kc pada penelitian ini diasumsikan sesuai dengan hasil penelitian Harahap dan Darmosarkoro (1999) di wilayah Simalungun, Sumatera Utara pada klon MK 60 dengan kerapatan tanam 130 pokok/ha pada umur lebih dari 7 tahun, yaitu 0,93. Nilai kc tersebut sejalan dengan pernyataan Carr (2011), yang menyatakan bahwa nilai kc pada tanaman kelapa sawit dewasa yang diirigasi dengan baik berkisar 0,8 – 1,0. Selain itu, berdasarkan literatur elektronik FAO (2013) dituliskan bahwa tanaman famili palem – palem memiliki koefisien tanaman berkisar 0,8 – 0,9.

Metode	Persamaan	Kebutuhan data meteorologi
Thornthwaite (TW) ⁽²⁾	$ET_o = 1.6 \left(10 \frac{T}{I}\right)^A$	Suhu udara rata – rata bulanan
Hargreaves-Samani (HA) ⁽¹⁾⁽³⁾	$ET_o = 0.0023 (T_{max} - T_{min})^{0.5} (T_{mean} + 17.8) R_a$	Radiasi ekstraterestrial dan suhu udara rata – rata
Turc (TU) ⁽¹⁾	$ET_o = 0.013 \frac{T_{mean}}{T_{mean} + 15} (23.88 R_s + 50)$ $R_s = 0.16 R_a (T_{max} - T_{min})^{0.5}$	Suhu udara rata – rata dan radiasi matahari
Blaney-Criddle (BC) ⁽⁴⁾	$ET_o = p (0.46 T_{mean} + 8.13)$	Suhu udara rata – rata
Jensen-Hansen (JH) ⁽⁵⁾	$ET_o = CT (T_{mean} - T_x) \times R_s$ $CT = \frac{1}{\left(45 - \frac{h}{137}\right) + \left(\frac{365}{e^o(T_{max}) - e^o(T_{min})}\right)}$ $T_x = -2.5 - 0.14 \times (e^o(T_{max}) - e^o(T_{min})) - \frac{h}{500}$	Suhu udara rata – rata, elevasi

Keterangan : ET_o = evapotranspirasi referensi (mm/hari), T_{max} = suhu maksimum harian ($^{\circ}C$), T_{min} = suhu minimum harian ($^{\circ}C$), T_{mean} = suhu rata-rata dihitung dengan rumus $(T_{max} + T_{min})/2$, T = suhu rerata bulanan, I = indeks bahang tahunan (jumlah dari i , dimana $i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.54}$), $A = (6.75 \times 10^{-7} I^3) - (7.71 \times 10^{-5} I^2) + (1.79 \times 10^{-2} I) + 0.49239$, R_s = radiasi matahari (mm/hari), R_a = radiasi ekstraterestrial (mm/hari), p = persentase harian panjang hari rata – rata, h = ketinggian tempat, $e^o(T_{max}) = 0.6108 \times 2.7183^{(17.27 T_{min}/T + 237.3)}$, $e^o(T_{min}) = 0.6108 \times 2.7183^{(17.27 T_{min}/T + 237.3)}$

Sumber : (1) Yoder *et. al.* (2005); (2) Impron dan Handoko (2008); (3) Martinez *et. al.* (2010); (4) Niaghi *et. al.* (2013); (5) Adeboye *et. al.* (2009).

Estimasi Nilai Evapotranspirasi Tanaman (Etc)

Nilai ET_c dapat diduga menggunakan Persamaan 1. Metode lain yang biasa digunakan dalam penentuan ET_c apabila hanya terdapat data curah hujan dan hari hujan adalah Metode IRHO.

$$ET_c = kc ET_o \dots\dots\dots(\text{Persamaan 1})$$

Koreksi Curah Hujan

Curah hujan yang terukur pada alat penakar hujan masih merupakan curah hujan bruto. Tidak semua air dari curah hujan bruto dapat dimanfaatkan oleh

tanaman tetapi hanya curah hujan netto-lah yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Hal ini karena masih terjadi kehilangan air pada curah hujan bruto melalui proses *run off*, intersepsi vegetasi, dan perkolasi. Oleh karena itu, curah hujan bruto harus dikoreksi dengan nilai intersepsi, perkolasi dan *run off* untuk mendapatkan curah hujan netto/curah hujan efektif. Penghitungan curah hujan efektif pada penentuan kebutuhan air tanaman kelapa sawit di Indonesia belum dilakukan. Di Malaysia, penelitian yang dilakukan Bakoume *et al.* (2013) menggunakan Persamaan Troch untuk menghitung curah hujan efektif (Persamaan 2). Pada penelitian ini, nilai AWHC (*Available Water Holding Capacity*) diasumsikan sebesar 200 mm.

$$ER (AWHC) = \left[R_m \times \left(\frac{0.025}{ET_c} - 0.001 \right) + R_m \times (0.6 + 0.0016 ET_c) \right] \times f \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2})$$

Keterangan :

ER (AWHC) = hujan efektif yang dipengaruhi AWHC (*Available Water Holding Capacity*). AWHC adalah jumlah air yang tersedia dalam tanah untuk diserap tanaman atau dapat disebut juga sebagai kapasitas lapang.

Rm = curah hujan bulanan.

Etc = evapotranspirasi tanaman.

f = faktor koreksi. Faktor koreksi dimasukkan dalam persamaan mengingat hanya 2/3 air di dalam cadangan air tanah yang bisa digunakan oleh tanaman kelapa sawit. Nilai $f = 1$ jika AWHC tanah adalah 75 mm. Nilai f berturut – turut 0,73 dan 1,08 untuk nilai AWHC 20 mm dan 200 mm. Nilai AWHC ini dapat diketahui dari asumsi maupun pengukuran langsung (Sys *et. al.* (1978) dalam Bakoume (2013)).

Perhitungan Keseimbangan Air

Secara sederhana, perhitungan keseimbangan air kelapa sawit dapat dihitung dengan Persamaan 3. Jika nilainya positif berarti terjadi surplus air, tetapi jika nilainya negatif berarti terjadi defisit air.

Keseimbangan air = $CH - ETC$ (Persamaan 3)

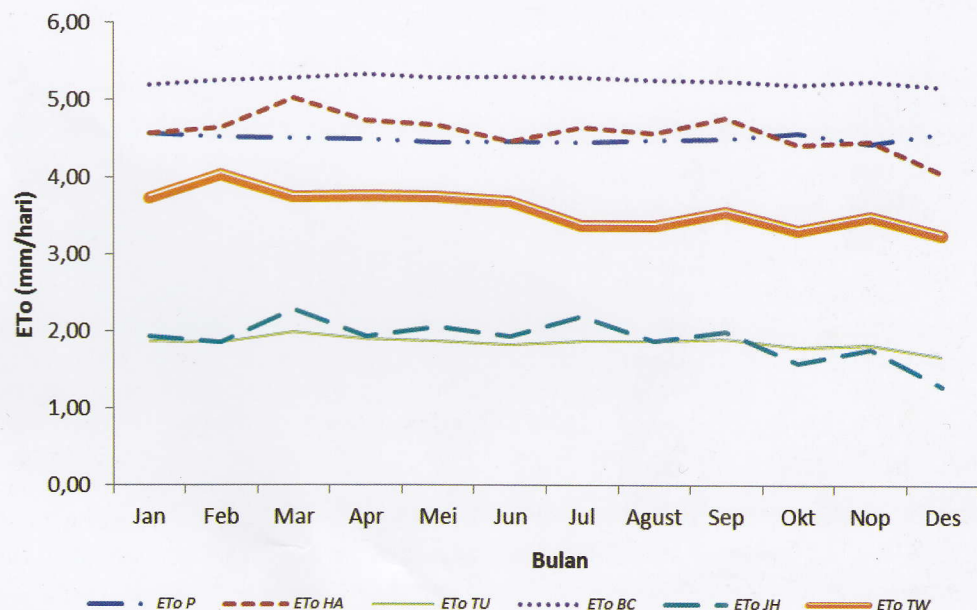
Pengujian Performa Metode Estimasi ETo dan Etc

Metode estimasi ETo berbasis suhu serta Metode IRHO diuji performanya terhadap Metode Penman menggunakan indeks RMSE (*Root Mean Square Error*). Metode yang paling baik performanya adalah metode yang indeks RMSE-nya yang mendekati nilai 0. Nilai estimasi kebutuhan air menggunakan Metode Penman yang digunakan untuk pengujian performa masing-masing metode adalah data yang dihasilkan oleh Harahap dan Darmosarkoro (1999) di SMPK Marihat, Simalungun, Sumatera Utara pada klon MK 60 dengan kerapatan tanam 130 pohon/ha dan kurun waktu penelitian Maret 1996 – Maret 1997 (1 tahun).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Metode Estimasi Nilai Evapotranspirasi Standar (Eto)

Berdasarkan hasil pengujian masing-masing metode (Gambar 2), dapat diketahui bahwa hasil perhitungan ETo menggunakan Metode Turc (TU) dan Jensen-Hansen (JH) nilainya jauh di bawah Metode Penman (P). Metode Blaney-Criddle (BC) menghasilkan nilai ETo yang selalu berada di atas nilai ETo Metode P. Adapun metode yang cukup dekat hasil perhitungan ETo-nya dengan Metode Penman adalah



Gambar 2. Perbandingan nilai ETo rerata harian

Keterangan : P = Penman; HA = Hargreaves-Samani; TU = Turc; BC = Blaney-Criddle; JH = Jensen-Hansen; TW = Thornthwaite

Metode Hargreaves-Samani (HA). Hal ini dapat dilihat berdasarkan hasil plotting nilai ETo Penman yang berhimpit dengan ETo Hargreaves-Samani.

Performa masing-masing metode dapat diketahui melalui uji RMSE (Tabel 2). Berdasarkan uji RMSE diketahui bahwa metode TU merupakan metode yang paling besar nilai RMSE-nya yaitu sebesar 9,43. Hal ini menunjukkan bahwa metode TU memiliki performa yang kurang baik dibandingkan dengan metode lainnya. Adapun metode yang memiliki nilai RMSE paling kecil adalah HA, yaitu sebesar 0,03. Berdasarkan nilai RMSE tersebut, metode HA merupakan metode yang paling dapat mewakili nilai ETo hasil perhitungan menggunakan Metode Penman. Hal ini sesuai dengan pernyataan Adeboye *et. al.* (2009) yang menyatakan bahwa indeks RMSE merupakan indikator yang baik dalam menentukan performa model/metode.

Tabel 2. Hasil uji RMSE

Metode	RMSE
P - HA	0,03
P - TU	9,43
P - BC	2,33
P - JH	9,31
P - TW	3,41

Pengujian Metode Estimasi Nilai Evapotranspirasi Tanaman (ETc)

Merujuk pada Persamaan 1, nilai ETc dapat dihitung dengan mengalikan ETo dengan nilai kc (koefisien tanaman) yang diasumsikan sebesar 0,93. Dengan nilai kc yang sama, maka nilai RMSE masing-masing metode relatif tidak berubah. Hasil uji RMSE (Tabel 3) menunjukkan bahwa Metode HA merupakan metode yang hasil perhitungan ETc-nya paling bagus performanya, kemudian disusul oleh Metode IRHO. Berdasarkan kondisi tersebut, dapat dikatakan bahwa selama masih tersedia data suhu udara, lebih baik estimasi nilai ETc diduga menggunakan Metode HA. Namun apabila tidak tersedia data suhu udara, maka estimasi ETc dapat dihitung menggunakan Metode IRHO.

Tabel 3. Hasil uji RMSE

Metode	RMSE
P-HA	0,03
P-TU	9,43
P-BC	2,33
P-JH	9,31
P-TW	3,41
P-IRHO	0,27

Hasil Perhitungan Kebutuhan dan Keseimbangan Air Kelapa Sawit

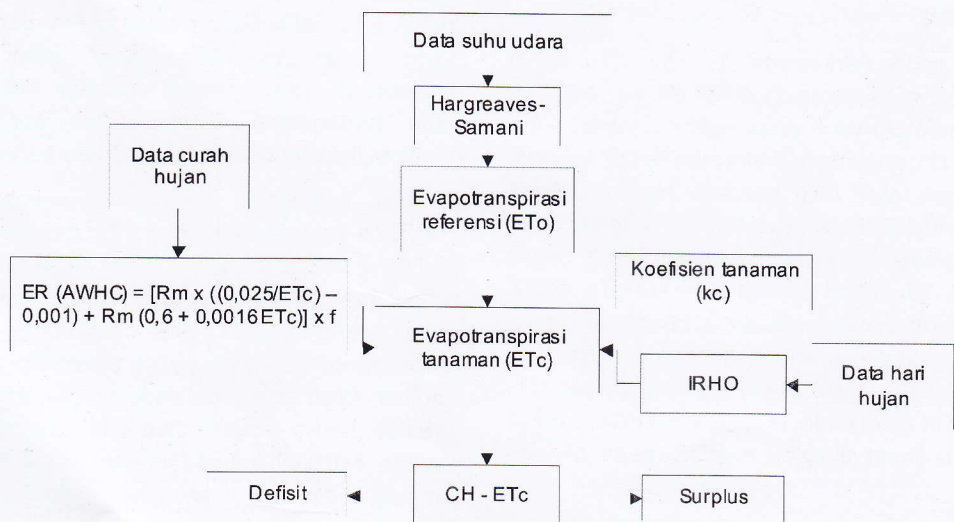
Hasil perhitungan kebutuhan air dan keseimbangan air di tanaman kelapa sawit di Simalungun, Sumatera Utara menggunakan Metode Penman, Metode IRHO, dan metode berbasis suhu terhadap tanaman kelapa sawit MK 60 berumur lebih dari 7 tahun pada interval waktu Maret 1996 – Maret 1997 ditampilkan pada Tabel 4. Pada tabel tersebut tercantum nilai curah hujan efektif, ETo, ETc serta keseimbangan air.

Nilai curah hujan dikoreksi menggunakan Persamaan 2. Selisih curah hujan bruto dan netto berkisar antara 27-73 mm/bulan. Selisih nilai curah hujan tersebut berbeda-beda tergantung nilai ETc hasil perhitungan masing-masing metode. Sebagai contoh, selisih rata-rata antara curah hujan bruto dan curah hujan efektif adalah sebesar 37 mm/bulan (untuk ETc berdasarkan Metode Penman). Nilai ini cukup besar dan akan cukup riskan jika tidak dimasukkan dalam proses estimasi kebutuhan air pada pertanaman kelapa sawit karena dapat menimbulkan kesalahan estimasi kebutuhan air.

Nilai kebutuhan air dan keseimbangan air mengikuti pola nilai ETo dan ETc. Berdasarkan nilai-nilai yang tercantum dalam Tabel 4 dan uraian-uraian pada sub-bab 3.1; 3.2, Metode HA merupakan metode yang menghasilkan nilai kebutuhan air dan keseimbangan air yang paling dekat dengan Metode Penman. Oleh karena itu, pada kondisi data iklim yang terbatas (hanya tersedia data suhu dan curah hujan), metode estimasi kebutuhan dan keseimbangan air yang dapat digunakan terangkum pada Gambar 3.

Tabel 2. Perbandingan perhitungan kebutuhan air kelapa sawit berumur >7 tahun menggunakan beberapa metode.

Parameter	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
Curah hujan	109	281	302	291	335	162	259	386	440	314	189	267
Curah hujan efektif P	95	239	267	251	291	140	225	336	380	275	162	234
Curah hujan efektif HA	95	241	271	255	295	140	228	338	386	272	163	227
Curah hujan efektif TU	81	205	225	215	248	119	192	286	325	232	139	195
Curah hujan efektif BC	99	248	275	263	305	146	236	351	396	285	170	242
Curah hujan efektif JH	81	205	230	216	252	120	196	286	327	228	138	190
Curah hujan efektif TW	91	233	251	241	279	134	211	315	360	255	154	216
ETo (mm) P	142	127	140	135	138	134	138	139	135	142	133	142
ETo (mm) Hargreaves	142	130	156	142	145	134	144	142	143	137	134	126
ETo (mm) Turc	58	52	62	57	58	55	58	58	57	56	55	52
ETo (mm) Blaney-Criddle	161	147	164	160	164	159	164	163	157	161	157	160
ETo (mm) Jensen-Hansen	60	52	71	58	64	58	68	58	60	49	53	40
ETo (mm) Thornthwaite	116	113	117	113	117	111	105	105	107	103	105	101
ETc (mm/bulan) P	132	118	138	125	128	124	128	129	125	132	123	132
ETc (mm/bulan) HA	132	121	145	132	135	125	134	132	133	127	125	117
ETc (mm/bulan) TU	54	48	58	53	54	51	54	54	53	52	51	48
ETc (mm/bulan) BC	150	137	153	149	153	148	153	152	146	150	146	149
ETc (mm/bulan) JH	56	48	66	54	60	54	63	54	56	46	49	37
ETc (mm/bulan) TW	108	105	108	105	108	103	97	97	99	96	98	94
ETc (mm/bulan) IRHO	150	120	120	120	120	120	150	120	120	120	120	120
Keseimbangan air (mm) P	-37	121	129	126	163	16	97	207	255	143	39	102
Keseimbangan air (mm) HA	-37	120	126	123	160	15	94	206	253	145	38	110
Keseimbangan air (mm) TU	27	157	167	162	194	68	138	232	272	180	88	147
Keseimbangan air (mm) BC	-51	111	122	114	152	-2	83	199	250	135	24	93
Keseimbangan air (mm) JH	25	157	164	162	192	66	133	232	271	182	89	153
Keseimbangan air (mm) TW	-17	128	143	136	171	31	114	218	261	159	56	122
Keseimbangan air (mm) IRHO	-41	161	182	171	215	42	109	266	320	194	69	147



Gambar 3. Diagram alir metode estimasi kebutuhan dan keseimbangan air kelapa sawit menggunakan data iklim terbatas (studi kasus SMPK Marihat, Kab. Simalungun, Sumatera Utara)

Menurut Rana *et. al.* (2009), akurasi nilai ETo sangat dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu akurasi penentuan ETo dan akurasi penentuan kc (koefisien tanaman). Oleh karena itu, untuk mengurangi bias, sebelum digunakan Metode HA harus dikalibrasi secara lokal terlebih dahulu. Beberapa penelitian untuk mengkalibrasi Metode Hargreaves (HA) sudah dilakukan di beberapa tempat antara lain daerah semi-arid dan sub-humid tropis di Yucatan, Meksiko (Bautista *et.al.*, 2009); barat laut Iran (Mohammadieh *et. al.*, 2009); daerah pesisir di India (Murugappan *et. al.*, 2011); Arab Saudi (ElNesr *et. al.*, 2011). Literatur–literatur tersebut secara umum menjelaskan bahwa kalibrasi dan evaluasi dapat meningkatkan signifikansi dan performa metode terkait.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pada kondisi data iklim yang terbatas (hanya tersedia data suhu dan curah hujan), metode estimasi kebutuhan dan keseimbangan air yang dapat digunakan adalah gabungan dari Metode Hargreaves-Samani, nilai koefisien tanaman kelapa sawit, dan Persamaan Troch untuk koreksi data curah hujan. Selain itu perlu diingat, selama masih tersedia data suhu udara, estimasi evapotranspirasi tanaman (ETc) kelapa sawit lebih baik menggunakan Metode Hargreaves-Samani daripada Metode IRHO yang berbasis hari hujan.

Saran

Perlu dilakukan pengujian (kalibrasi dan validasi) metode estimasi kebutuhan air tanaman kelapa sawit di berbagai wilayah dengan karakter iklim dan varietas tanaman kelapa sawit yang berbeda. Selain itu, perlu dilakukan penghitungan nilai kc untuk tanaman kelapa sawit varietas lain, penghitungan nilai AWHC/kapasitas lapang tanah agar diperoleh data aktual yang diharapkan dapat menghasilkan metode yang lebih akurat lagi.

DAFTAR PUSTAKA

Adeboye O. B., Osunbitan J. A., Adekalu K. O., Okunade D. A. 2009. Evaluation of FAO Penman Monteith and Temperature Based Models in Estimating Reference

Evapotranspiration. *Agricultural Engineering International : The CIGR Journal*. Manuscript number 1291. Volume XI.

Ahmed Husein I and Liu Junmin. 2013. Evaluating Reference Crop Evapotranspiration (ETo) in the Centre of Guanzhong Basin. *Engineering* 5 : 459 – 468.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements. *Irrigation and Drainage Paper No. 56*, FAO, Rome, Italy.

Bakoume C., Shahbudin N., Yacob S., Siang C. S., 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.

Bautista F., Bautista D., Delgado-Carranza C. 2009. Calibration of the equations of Hargreaves and Thornthwaite to estimate the potential evapotranspiration in semi-arid and subhumid tropical climates for regional applications. *Atmósfera* 22(4) : 331-348.

Carr M. K. V. 2011. The Water Relations and Irrigation Requirements of Oil Palm (*Elaeis guineensis*) : A Review (*Abstract*). [Terhubung berkala] <http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract?fromPage=online&aid=8364940#> (21 November 2013).

Cha-um S., Yamada N., Takabe T., Kirdmanee C. 2013. Physiological Features 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 and Tinker P. B. 2003. *The Oil Palm*. Blackwell Science, Oxford.

Doorenbos J. and Pruitt W. O. 1977. *Guidelines for Predicting Crop Water Requirements*. FAO *Irrigation and Drainage Paper*. 144p.

ElNesr M. N., Alazba A. A., Amin M.T. 2011. Modified Hargreaves' Method as an Alternative to the Penman-monteith Method in the Kingdom of Saudi Arabia. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 5(6) : 1058 – 1069.

- FAO Corporate Document Repository. *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements*. [Terhubung berkala] <http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm> (20 November 2013).
- Harahap I. Y. dan Darmosarkoro W. 1999. Pendugaan Kebutuhan Air untuk Pertumbuhan Kelapa Sawit di Lapang dan Aplikasinya dalam Pengembangan Sistem Irigasi. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit* 7(2) : 87 – 104.
- Impron dan Handoko. 2008. *Modul 9 – Evapotranspirasi. Modul Klimatologi*. Jurusan Geofisika dan Meteorologi, FMIPA – IPB.
- Irmak S. and Haman D. Z. 2003. *Evapotranspiration: Potential or Reference?*. ABE 343 : One of a series of the Agricultural and Biological Engineering Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.
- Kumar R., Jat M. K., Shankar V. 2012. Methods to Estimate Irrigated Reference Crop Evapotranspiration – A Review. *Water Science & Technology* 66.3.
- Martinez J. C. and Thepadia M. 2010. Estimating Reference Evapotranspiration with Minimum Data in Florida. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 136(7) : 494 – 501.
- McMahon T. A., Peel M. C., Lowe L., Srikanthan R., and McVicar T. R. 2013. Estimating Actual, Potential, Reference Crop and Pan Evaporation Using Standard Meteorological Data : A Pragmatic Synthesis. *Atmosfera* 22(4) : 331 – 348.
- Mohammadieh M. N., Mohammadi M., Helali J., Sohrab B. N. T. 2009. Evaluation of Hargreaves Equation for Calculating Daily Eto (Case Study: North West of Iran). *Advances in Natural and Applied Sciences* 3(2) : 273 – 278.
- Murugappan A., Subburayan S., Mohan S. 2011. Performance Evaluation of Calibrated Hargreaves Method for Estimation of Ref-ET in a Hot and Humid Coastal Location in India. *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)* 3(6) : 4728 – 4743.
- Niaghi A. R., Majnooni-Heris A., Haghi D. Z., and Mahtabi G. 2013. Evaluate Several Potential Evapotranspiration Methods for Regional Use in Tabriz, Iran. *J. Appl. Environ. Biol. Sci.*, 3(6): 31 – 41.
- Rana G., Katerji N., Ferrara R.M. *An operational direct model to accurately determine crop evapotranspiration of crops cultivated in the Mediterranean region*. In : El Moujabber M. (ed.), Mandi L. (ed.), Trisorio-Liuzzi G. (ed.), Martín I.(ed.), Rabi A. (ed.), Rodríguez R. (ed.). Technological perspectives for rational use of water resources in the Mediterranean region. Bari : CIHEAM, 2009. p. 69-79 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 88).
- Sys, C., Bouckaert, W., & Vercruysse, J. (1978). Cartographie, évaluation et aménagement des sols du périmètre sucrier de Lubilashi (Zaïre). Comité pour l'étude des sols. [Mapping, evaluation and development of soils in the Lubilashi (Zaire) sugar area. Soil study comity. Geologic Institute, Belgium] Institut Géologique, Belgique, Rapport technique.
- Yoder R. E., Odhiambo L.O., Wright W. C. 2005. Evaluation of Methods for Estimating Daily Reference Crop Evapotranspiration at A Site in The Humid Southeast United States. *American Society Agricultural Engineers* 21 (2) : 197 – 202.