

Metoda Neraca Air dan Aplikasinya untuk Pendugaan Kekeringan dengan Data Satelit

Erna Sri Adiningsih *)
Sumardjo.

ABSTRACT

Drought can be estimated by using water balance method. The water balance suggested by Thornthwaite dan Mather (1957), one of the methods which exist, is the simple one, and the result is accurate enough to predict the drought. There are two components of the method, rainfall and evapotranspiration, which can be estimated from satellite. In case of this study the curves of water balance's parameters derived from TOVS data tend to be the same as those derived from field data. Therefore, it is possible to monitor the drought by using satellite data. Even, the model of the drought prediction possibly could be made.

ABSTRAK

Kekeringan dapat diduga dengan menggunakan metoda neraca air. Di antara berbagai metoda yang ada, metoda neraca air Thornthwaite dan Mather (1957) merupakan metoda yang sederhana dan hasilnya cukup teliti untuk menduga kekeringan yang akan terjadi. Dua komponen neraca air yaitu curah hujan dan evapotranspirasi, dapat

diduga oleh satelit. Di dalam studi kasus ini beberapa parameter neraca air yang diturunkan dari data TOVS cenderung membentuk kurva yang sama dengan parameter yang diperoleh dari data lapangan. Dengan demikian, kekeringan dapat dipantau melalui satelit dengan menggunakan metoda neraca air. Bahkan model pendugaan kekeringan melalui satelit memungkinkan untuk dibuat.

1. PENDAHULUAN

Kekeringan merupakan suatu kejadian yang merugikan bagi usaha pertanian terutama tanaman pangan. Berbagai batasan dikemukakan untuk menjelaskan arti kekeringan berdasarkan disiplin ilmu masing-masing ahli pembuat definisi ini. Namun menurut *klimatologi pertanian*, kekeringan diartikan sebagai suatu gangguan yang terjadi dalam hubungan kesetimbangan antara *tanah-air-tanaman* dan *atmosfer*, yang mengakibatkan air dalam tanah tidak mampu mencukupi kebutuhan air untuk tanaman. Oleh karena itu, untuk menen-

*) Staf Bidang Meteorologi Antariksa, Satca-Pusfatsa, LAPAN.

tukan kekeringan, perlu diketahui keadaan air dalam tanah. Studi yang tepat untuk mempelajarinya adalah menentukan neraca air tanah suatu daerah. Dari berbagai metoda yang ada, metoda menurut Thornthwaite dan Mather (1957) [8] merupakan suatu metoda yang baik untuk digunakan. Hal ini telah dibuktikan dari berbagai studi yang dilakukan untuk beberapadaerah dengan hasil yang baik.

Satelit merupakan suatu wahana yang dapat digunakan untuk memantau perilaku iklim di daerah yang luas. Dengan demikian, satelit dapat digunakan untuk memantau simpanan air tanah secara tidak langsung. Hal ini dilakukan dengan menduga besarnya curah hujan dan evapotranspirasi, sehingga dengan metoda neraca air [8], dapat diketahui simpanan air tanah suatu daerah. Pada gilirannya kekeringan di Indonesia dapat dipantau sedini mungkin dan dibuat modelnya, sehingga kerugian yang diakibatkannya dapat dikurangi seminimal mungkin.

2. KONSEP NERACA AIR

Pada dasarnya neraca air merupakan suatu perincian dari masukan (input) dan keluaran (output) air pada suatu lahan. Namun, untuk menentukannya di alam sebenarnya sulit, karena terjadi proses yang kompleks dan saling mempengaruhi dalam siklus air di bumi.

Tahap pertama dalam perhitungan neraca air adalah menentukan beberapa komponen masukan dan keluaran air berdasarkan proses terjadinya siklus air. Komponen masukan air dalam suatu sistem hidrologi adalah presipitasi (curah hujan). Curah hujan yang jatuh ke permukaan bumi sebagian akan tertahan oleh tajuk tanaman dan kemudian diuapkan kembali (intersepsi), sedang sebagian lagi akan jatuh ke permukaan tanah melalui aliran batang vegetasi dan curahan tajuk. Air yang sampai ke permukaan tanah sebagian akan meresap ke dalam tanah (infiltrasi), dan sebagian akan mengalir di permukaan tanah (aliran permukaan). Air yang terinfiltrasi kemudian akan ditahan oleh tanah (simpanan air tanah) dan juga akan mengalir di bawah permukaan, serta sebagian akan mengisi air bumi. Simpanan air tanah akan berkurang karena terjadi evapotranspirasi dan transpirasi (evapotranspirasi), yang akan membentuk awan hujan. Proses inilah yang di-

sebut sirkulasi air (siklus hidrologi). Oleh karena proses sirkulasi air ini dinilai sangat rumit, maka para ahli klimatologi kemudian menyusun persamaan neraca air secara sederhana dengan mengeliminir beberapa komponen tertentu. Persamaan neraca air yang dimaksud adalah :

$$CH = ETP + P + R + \Delta KAT$$

di mana : CH = curah hujan (mm)

ETP = evapotranspirasi potensi (mm)

P = perkolasi (mm)

R = aliran permukaan (mm)

ΔKAT = perubahan simpanan air tanah (mm)

Dari persamaan di atas kemudian disusun berbagai metoda neraca air yang pernah diusulkan, seperti oleh Thornthwaite dan Mather (1957), Palmer (1965), Baier dan Robertson (1966).

Sesuai dengan komponen-komponen yang ada dalam persamaan di atas, neraca air di suatu daerah dipengaruhi oleh faktor iklim, topografi, geologi, tanah dan vegetasi. Faktor iklim yang berpengaruh adalah curah hujan dan evapotranspirasi. Kondisi dan kerapatan vegetasi akan mempengaruhi laju evapotranspirasi. Sifat fisik dan kimia tanah akan mempengaruhi jumlah air yang dapat diserap dan disimpan dalam tanah, sedangkan kondisi geologi dan topografi mempengaruhi laju aliran permukaan dan perkolasi.

3. NERACA AIR SISTEM THORNTHWAITHE DAN MATHER.

Thornthwaite dan Mather (1957) mengajukan suatu metoda perhitungan neraca air berdasarkan persamaan neraca air tersebut di atas. Data yang diperlukan dalam perhitungan metoda ini adalah curah hujan dan evapotranspirasi potensial periodik, baik periode harian, mingguan, dekad ataupun bulanan. Informasi lain yang diperlukan adalah kapasitas simpanan air tanah. Adapun parameter-parameter yang dihasilkan adalah simpanan air tanah aktual, perubahan simpanan air tanah, evapotranspirasi aktual, defisit dan surplus air tanah, dan aliran permukaan. Metoda perhitungan Thornthwaite dan Mather (1957), ini disebut dengan metoda tata buku (bookkeeping method). Proses perhitungannya dapat dilakukan dengan bantuan tabel-tabel yang telah disusun oleh mereka.

Ada beberapa asumsi yang digunakan dalam metoda

tata buku. Yang pertama, semua air hujan dapat mengisi air tanah. Prioritas penggunaan air hujan adalah untuk memenuhi kebutuhan evapotranspirasi. Kelebihan air yang lain akan mengisi simpanan air tanah. Ke dua, bila simpanan air tanah telah mencapai batas maksimalnya, maka kelebihan air dihitung sebagai surplus. Bila kandungan air tanah melebihi batas maksimal, maka akan terjadi perkolasi dan aliran ke samping.

Dengan adanya beberapa asumsi tersebut, maka metoda tata buku akan memberikan hasil yang baik bila daerahnya datar atau daerah dengan bentuk wilayah tertutup, misalnya suatu Daerah Aliran Sungai (DAS). Dengan demikian, maka metoda tata buku sangat sesuai untuk perhitungan neraca air wilayah.

Langkah pertama dalam metoda tata buku adalah, menentukan selisih antara curah hujan (P) dengan evapotranspirasi potensial (PE). Nilai P-PE ini bisa positif, tetapi juga bisa negatif. Kemudian menentukan akumulasi kehilangan air secara potensial (accumulation potential water loss/APWL), yang merupakan akumulasi nilai P-PE negatif.

Selanjutnya, dihitung besarnya simpanan air tanah (ST) yang ditentukan oleh simpanan air tanah maksimum (water holding capacity/WHC) dan APWL. Perhitungan ST dilakukan mulai nilai P-PE negatif, dengan persamaan sebagai berikut:

$$ST = WHC \times k \left[\frac{APWL}{|APWL|} \right]$$

di mana : ST = simpanan air tanah

WHC = simpanan air tanah maksimum

k = konstanta

APWL = akumulasi kehilangan air secara potensial.

Cara lain adalah, dengan melihat tabel ST yang telah dibuat oleh Thornthwaite dan Mather (1957). Setelah itu dibuat besarnya perubahan ST dari waktu ke waktu (ΔST).

Perhitungan dilanjutkan dengan menentukan besarnya evapotranspirasi aktual (AE), yaitu evapotranspirasi yang terjadi pada saat simpanan air tanah tidak maksimum lagi.

Jika P-PE negatif (simpanan air tanah tidak maksimum), $AE = P + |\Delta ST|$. Sebaliknya, dalam keadaan P-PE positif, simpanan air tanah dalam keadaan maksimum, maka $AE = PE$.

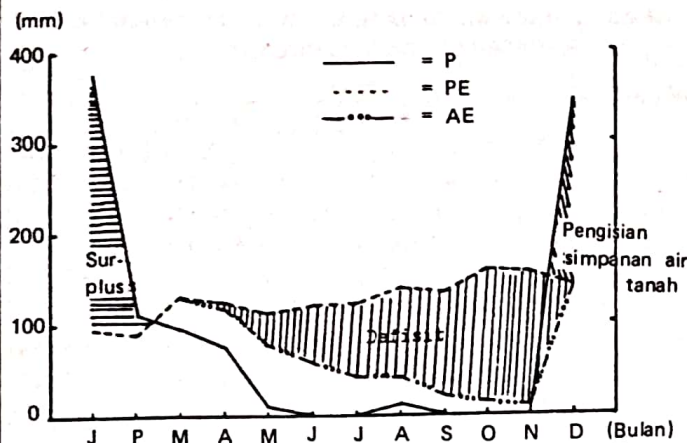
Langkah terakhir adalah menentukan defisit (D) dan surplus (S) air tanah. Defisit hanya terjadi pada saat P - PE negatif, besarnya sama dengan PE - AE. Pada saat lain (PE - AE, positif) terjadi surplus air tanah, besarnya adalah $S = (P - PE) - |\Delta ST|$. Sebagai contoh perhitungan neraca air [8], secara keseluruhan dapat dilihat Tabel 1 serta Gambar 1 dan 2. Neraca air yang dibuat adalah untuk daerah Mojosari, Jawa Timur, yang merupakan daerah kering, sehingga sesuai dengan contoh perhitungan. Data iklim Mojosari diambil dari hasil penelitian Boediono (1987), [5] Sedangkan data WHC ditentukan dari sifat fisik tanah yang dianggap sama dengan nilai kapasitas lapang tanah tersebut, diambil dari Abdullah Abbas, dkk (1987) [1].

Dari tabel dan gambar-gambar tersebut tampak, bahwa kekeringan akan mulai terjadi pada bulan Maret, walaupun belum begitu hebat. Hal ini disebabkan curah hujan pada bulan Maret tidak mencukupi lagi untuk memenuhi kebutuhan air tanaman, sehingga simpanan air tanah mulai digunakan untuk memenuhi kebutuhan air tanaman. Akhir terjadinya kekeringan dimulai pada bulan Desember, yakni pada saat simpanan air tanah meningkat kembali. Dengan demikian, awal, akhir dan lamanya kekeringan dapat diketahui dari neraca air ini.

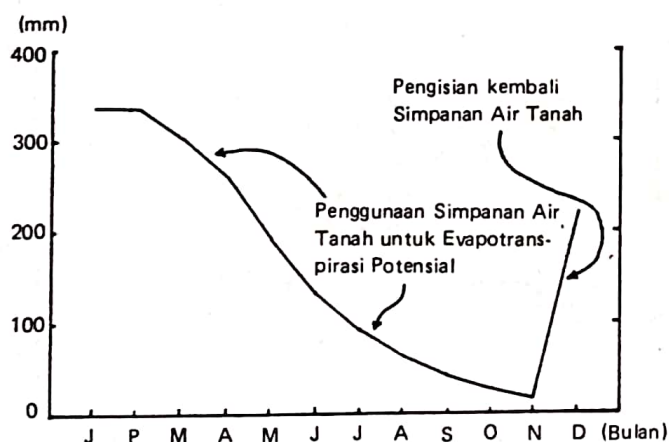
Tabel 1. CONTOH PERHITUNGAN NERACA AIR MENURUT METODA THORNTHWAITE DAN MATHER (1957) DI DAERAH MOJOSARI TAHUN 1982.

UNSUR	BULAN												SETAHUN
	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
P	377	114	97	76	9	0	0	12	0	0	0	346	1301
PE	95	90	131	125	113	122	124	140	135	159	157	143	1533
P - PE	282	24	-34	-49	-104	-122	-124	-128	-135	-159	-157	-204	-
APWL			-34	-83	-187	-309	-433	-561	-696	-855	-1012		-
ST	335	335	302	261	191	132	91	62	41	26	16	220	-
ΔST	0	0	-33	-41	-70	-59	-41	-29	-21	-15	-10	204	-
AE	95	90	130	117	79	59	41	41	21	15	10	142	840
D	-	-	1	8	34	63	83	99	114	144	147	-	693
S	282	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	306

Keterangan : P = curah hujan (mm)
 PE = evapotranspirasi potensial (mm)
 APWL = akumulasi kehilangan air secara potensial (mm)
 ST = simpanan air tanah (mm), ditentukan maksimum 335 mm berdasarkan data fisika tanah.
 AE = evapotranspirasi aktual (mm)
 D = defisit air tanah (mm)
 S = surplus air tanah (mm)
 ΔST = perubahan simpanan air tanah (mm)



Gambar 1. GRAFIK NERACA AIR DI DAERAH MOJOSARI TAHUN 1982.



Gambar 2. GRAFIK SIMPANAN AIR TANAH DI DAERAH MOJOSARI TAHUN 1982.

4. APLIKASI METODA NERACA AIR UNTUK MEMANTAU KEKERINGAN MELALUI SATELIT.

Ada dua hal yang dapat dihasilkan dari satelit cuaca di Indonesia. Yang pertama adalah pendugaan curah hujan dari foto satelit. Berbagai metoda telah dikembangkan untuk memperkirakan besarnya curah hujan yang diterima di suatu daerah. Walaupun di Indonesia masih terus diteliti dan dikembangkan, namun di negara maju pendugaan curah hujan melalui satelit telah menjadi hal yang rutin dilakukan dengan hasil yang memuaskan.

DI LAPAN, perkiraan curah hujan dilakukan dengan bantuan satelit lingkungan (NOAA) dan satelit cuaca (GMS). Salah satu metoda yang bisa dilakukan di LAPAN adalah metoda Follansbee (Agus Hidayat dan Sumardjo, 1986) [2].

Tahap pertama adalah menentukan daerah yang akan diteliti curah hujannya. Selanjutnya, dengan mengamati tiga tipe awan hujan yang meliputi daerah tersebut, ditentukan besarnya curah hujan. Tipe awan yang dimaksud adalah awan Cumulonimbus, awan Nimbostratus dan awan Cumulus Congestus. Curah hujan yang diperkirakan untuk daerah yang diteliti, di hitung dengan persamaan:

$$Re = \frac{K_1 C_1 + K_2 C_2 + K_3 C_3}{100}$$

Dimana : Re = curah hujan yang diperkirakan untuk satu daerah penelitian;

C_1 = persentase daerah penelitian yang tetap oleh awan Cumulonimbus;

C_2 = persentase daerah penelitian yang tertutup oleh awan Nimbostratus;

C_3 = persentase daerah penelitian yang tertutup oleh awan Cumulus Congestus;

K_1, K_2, K_3 = koefisien empirik berturut-turut untuk Cumulonimbus, Nimbostratus, dan Cumulus Congestus.

Dari pengalaman yang diperoleh Follansbee, nilai terbaik untuk koefisien empirik tersebut di atas adalah $K_1 = 1.0$, $K_2 = 0.25$ dan $K_3 = 0.02$. Guna penentuan tipe awan seperti yang terlihat pada persamaan di atas, maka sebelumnya harus dilakukan klasifikasi awan dengan menggunakan metoda nephanalyses. Dengan dapat diketahuinya nilai curah hujan pada suatu daerah, maka komponen masukan dari neraca air telah dapat ditentukan.

Ke dua, dari data TOVS dapat diperoleh data suhu udara. Berdasarkan data tersebut, dapat diduga besarnya PE [8]. Rumus ini dapat diduga besarnya PE hanya dengan data suhu udara pada ketinggian ± 1.20 meter. Adapun rumus penduga PE [8] adalah :

$$PE = 1.6 \left(10 \frac{t}{I} \right)^a$$

$$\text{Di mana : } a = (6.75 \times 10^{-7}) I^3 - (7.71 \times 10^{-5}) I^2 + (1.79 \times 10^{-2}) I + 0.49$$

$$I = \text{jumlah } i \text{ dalam setahun, di mana } i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1.514}$$

Adapun arti beberapa notasi di atas adalah PE = evapotranspirasi potensial, I = indeks panas kumulatif setahun, i = indeks panas bulanan, t = suhu udara bulanan.

Di dalam prakteknya, bila data suhu udara telah dapat ditentukan, maka nilai PE dapat dihitung dengan menggunakan tabel-tabel yang telah disusun [8]. Dari penelitian Nasir (1976) [6] dan Beadiono (1987) [5] dilaporkan, bahwa meskipun perhitungan PE dengan rumus Thornthwaite memberikan hasil yang berlebihan (over estimate), namun masih cukup baik untuk digunakan di Indonesia. Walaupun demikian, dapat disimpulkan bahwa komponen kedua dari neraca air tanah sistem tata buku telah dapat ditentukan.

Berdasarkan kedua data tersebut di atas dan dilengkapi dengan data WHC dari lapangan, simpanan air tanah suatu daerah dapat diketahui dengan metoda neraca air ini. Selanjutnya, kekeringan dapat diamati dan ditentukan melalui satelit.

Untuk menguji ketelitian dan ketepatan hasil perhitungan neraca air melalui satelit dan dengan pengukuran di permukaan disampaikan suatu studi kasus analisis perbandingan neraca air di Mojosari tahun 1985, seperti terlihat pada Tabel 2 dan 3 serta Gambar 3 dan 4. Unsur curah hujan (P) diambil dari pengukuran lapangan, karena belum tersedia data curah hujan dari satelit di LAPAN. Data PE bulan Agustus sampai Desember ditentukan dari data TOVS sesuai dengan data yang tersedia di Satca LAPAN sampai saat ini. Sedangkan data bulan Januari sampai Juli 1985, ditentukan dari hubungan antara data TOVS dengan data pengukuran permukaan.

Tabel 2. NERACA AIR DI DAERAH MOJOSARI TAHUN 1985 BERDASARKAN DATA TOVS.

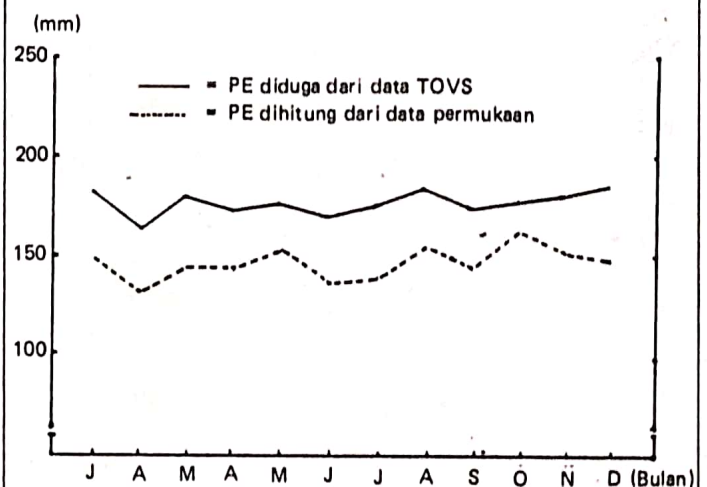
UNSUR	BULAN												Setahun
	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sep	Okt	Nop	Des	
P	323	393	420	81	1	6	37	0	0	0	184	208	1653
PE	186	167	182	173	177	170	176	184	174	178	181	188	2136
P - PE	137	226	238	-92	-176	-164	-139	-184	-174	-178	3	20	-
Acc PWL	-	-	-	-92	-268	-432	-571	-755	-929	-1107	-	-	-
ST	175	335	335	259	158	100	68	41	25	15	18	38	-
ST	137	160	0	-76	-101	-58	-32	-27	-16	-10	3	20	0
AE	186	167	182	157	102	64	69	27	16	10	181	188	1349
D	-	-	-	16	75	106	107	157	158	168	-	-	787
S	0	66	238	-	-	-	-	-	-	-	0	0	304

Keterangan : Sama seperti pada Tabel 1.

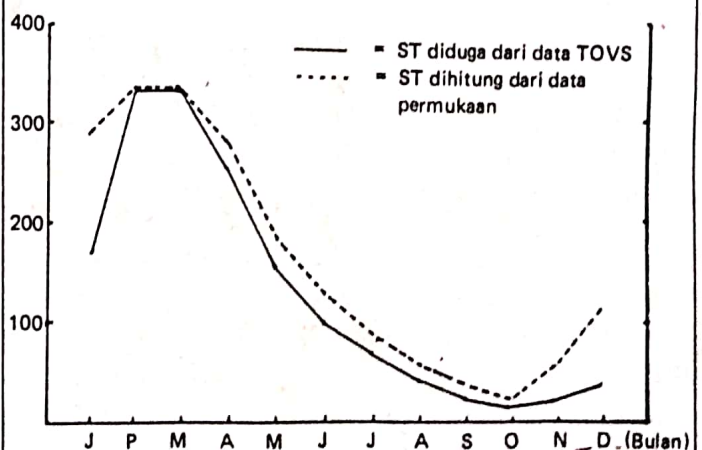
Tabel 3. NERACA AIR DI DAERAH MOJOSARI TAHUN 1985 BERDASARKAN DATA PERMUKAAN

UNSUR	BULAN												Setahun
	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sep	Okt	Nop	Des	
P	323	393	420	81	1	6	37	0	0	0	184	208	1653
PE	151	132	144	144	153	138	139	156	144	162	152	149	1764
P - PE	172	261	276	-63	-152	-132	-132	-156	-144	-162	32	59	-
Acc PWL	-	-	-	-63	-215	-347	-479	-635	-779	-941	-	-	-
ST	287	335	335	281	184	127	88	57	38	24	56	115	-
ST	172	48	0	-54	-97	-57	-39	-31	-19	-14	32	59	0
AE	151	132	144	135	98	63	76	31	19	14	152	149	1164
D	-	-	-	9	55	75	63	125	125	148	-	-	600
S	0	213	276	-	-	-	-	-	-	-	0	0	489

Keterangan : Sama seperti pada Tabel 1.



Gambar 3. GRAFIK EVAPOTRANSPIRASI POTENSIAL DI DAERAH MOJOSARI TAHUN 1985 BERDASARKAN DATA TOVS DAN DATA PERMUKAAN.



Gambar 4. GRAFIK SIMPANAN AIR TANAH DI DAERAH MOJOSARI TAHUN 1985 BERDASARKAN DATA TOVS DAN DATA PERMUKAAN.

Dari Tabel 2 dan 3 serta Gambar 3 dapat dilihat, bahwa nilai PE hasil perhitungan dengan data TOVS lebih tinggi dari PE yang dihitung dengan data permukaan. Hal ini disebabkan data suhu udara TOVS lebih besar dari data suhu udara permukaan, padahal PE dihitung dari nilai suhu udara ini. Oleh karena itu, PE dari data TOVS mempunyai pola yang sama dengan PE data permukaan. Hal ini terlihat dari kecenderungan data PE keduanya yang hampir sama, yaitu jika PE data TOVS meningkat maka PE data permukaan juga meningkat, dan sebaliknya. Disamping itu, dilihat dari hubungannya, ternyata PE data TOVS mempunyai korelasi yang cukup besar dengan PE data permukaan, yaitu sebesar 0.64. Dengan demikian, PE dari data TOVS dapat digunakan untuk pendugaan neraca air sistem tata buku. Akan tetapi, agar hasilnya lebih tepat perlu dilakukan koreksi antara PE data TOVS dengan PE data permukaan. Dengan persamaan regresi, koreksi PE data TOVS dengan PE data permukaan di Mojosari didapatkan sebagai berikut :

$$Y = 106.19 + 0.49 X$$

Di mana : Y = PE dari data TOVS

X = PE dari data permukaan

Selanjutnya, Tabel 2 dan 3 serta Gambar 4 memperlihatkan, bahwa pendugaan simpanan air tanah melalui data satelit maupun data permukaan memberikan pola yang sama yaitu, mengalami penurunan mulai bulan April dan meningkat mulai bulan Oktober. Juga pola defisit maupun surplus airnya memberikan hasil yang seirama. Namun demikian tampak, bahwa derajat defisit air dengan data satelit lebih tinggi dari data permukaan. Keadaan ini disebabkan pengaruh data PE dari TOVS yang lebih besar dari data permukaan, seperti telah dijelaskan sebelumnya.

Selain itu, dari kedua tabel dan gambar tersebut di atas terlihat, bahwa kekeringan mulai terjadi bulan April sampai Januari, di mana keadaan simpanan air tanah sangat rendah. Keadaan demikian menunjukkan, bahwa gejala kekeringan di Mojosari dapat dipantau melalui satelit dengan pendekatan neraca air sistem tata buku.

Dari penjelasan di atas dapat dikatakan, bahwa perhitungan neraca air dengan data satelit dapat digunakan untuk menentukan daerah-daerah yang

mengalami kekeringan-sedini mungkin. Walaupun untuk penerapannya lebih lanjut masih perlu dilakukan beberapa tahapan penelitian yang lebih seksama untuk memodifikasi beberapa unsur-unsurnya, sehingga hasilnya akan lebih tepat dan teliti. Apalagi dihubungkan dengan luas daerah cakupan satelit yang dapat memantau seluruh daerah di Indonesia, maka pendekatan seperti ini cocok digunakan untuk mengurangi dampak dari kekeringan yang mungkin terjadi.

5. KESIMPULAN.

Kekeringan merupakan kejadian yang merugikan bagi pertanian. Neraca air dapat digunakan untuk mengetahui terjadinya kekeringan di suatu daerah. Berbagai metoda neraca air telah dikembangkan. Metoda neraca air Thornthwaite dan Mather (1957), yang disebut sebagai metoda neraca air sistem tata buku, merupakan metoda perhitungan neraca air yang sederhana dengan hasil yang cukup baik. Ada dua komponen neraca air yang dapat diduga dengan satelit cuaca dan lingkungan, yaitu curah hujan dan evapotranspirasi potensial. Curah hujan dapat diperkirakan dengan berbagai metoda pendugaan yang ada, misalnya metoda Folansbee dan metoda Barret. Data evapotranspirasi potensial dapat diduga dengan data suhu udara hasil pengamatan TOVS melalui rumus Thornthwaite. Dari studi kasus yang diteliti di ketahui, bahwa hasil pendugaan melalui satelit dapat memberikan pola kekeringan yang sama dengan data permukaan, walaupun derajat kekeringan air satelit relatif lebih tinggi dibanding data permukaan. Untuk itu modifikasi dari pendugaan unsur-unsur neraca air perlu dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- 1). Abdullah Abbas Id., Sofyan H. Nur dan Harry K, 1984. "*Pengaruh mulsa dan air tersedia terhadap efisiensi hasil tanaman kedelai MK 1982 di Mojosari.*" Proyek Penelitian Tanah No. 0/Kons/1984. Pusat Penelitian Tanah, Bogor.
- 2). Agus Hidayat dan Sumardjo., 1986; "*Meneliti jumlah curah hujan guna perkiraan kebutuhan air tanaman melalui data satelit cuaca,*" Kongres Ilmu Pengetahuan Nasional IV, Jakarta, 8 – 12 September 1986.

- 3) Baier, W and G.W. Robertson., 1966, "A new versatile soil moisture budget." Can. J. Plant Sci., 46 : 299–315.
- 4). Barret E. C. 1970. "The estimation of monthly rainfall from satellite data." Mon. Wea. Rev., 4 : 322 – 327.
- 5) Boediono. 1987. "Analisis beberapa unsur dan metode perhitungan neraca air di stasiun Mojosari Jawa Timur. Tesis Sarjana. Jur. Geofisika dan Meteorologi, FMIPA IPB, Bogor.
- 6) Nasir, A. A. 1976. "Studi tentang evapotranspirasi potensial dengan menggunakan lisimeter drainase di Sukamantri – Bogor. Tesis Sarjana. Dept. IPA, Faperta – IPB, Bogor.
- 7) Palmer, W. C. 1965. "Meteorological Drought," Research Paper No. 45, US Dept. of Commerce Weather Bureau, Washington.
- 8) Thornthwaite, C. W. and J.R. Mather. 1957." Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and The Water Balance." Drexel Institute of Technology, New Jersey.