

# Pertanian, Kehutanan dan Kemakmuran Petani

**Tim Penulis:**

**Fransina S. Latumahina - Harapin Hafid - Pramono Hadi - Abdul Mutolib  
Yunus Arifien - Muhammad Asir - Cornelia M.A. Wattimena - Vita Sarasi  
Anggi Khairina Hanum Hasibuan - Lufita Nur Alfiah - Azhar  
Primanda Kiky Widyaputra - Akas Piningan Sujalu**



## **PERTANIAN, KEHUTANAN DAN KEMAKMURAN PETANI**

Tim Penulis:

Fransina S. Latumahina, Harapin Hafid, Pramono Hadi, Abdul Mutolib,  
Yunus Arifien, Muhammad Asir, Cornelia M.A. Wattimena, Vita Sarasi,  
Anggi Khairina Hanum Hasibuan, Lufita Nur Alfiah, Azhar,  
Primanda Kiky Widyaputra, Akas Piningan Sujalu.

Desain Cover:

**Usman Taufik**

Tata Letak

**Bila Nurfadillah**

Editor:

**Elan Jaelani**

ISBN:

**978-623-6457-19-1**

Cetakan Pertama:

**Agustus, 2021**

Hak Cipta 2021, Pada Penulis

---

Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang

**Copyright © 2021**

**by Penerbit Widina Bhakti Persada Bandung**

All Right Reserved

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

**PENERBIT:**

**WIDINA BHAKTI PERSADA BANDUNG**

**(Grup CV. Widina Media Utama)**

Komplek Puri Melia Asri Blok C3 No. 17, Desa Bojong Emas,  
Kecamatan Solokan Jeruk, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat

**Anggota IKAPI No. 360/JBA/2020**

Website: [www.penerbitwidina.com](http://www.penerbitwidina.com)

Instagram: @penerbitwidina

|   |            |
|---|------------|
| C. GIS dalam Pemetaan Daerah Irigasi dan Jalur Irigasi .....                                    | 233        |
| D. GIS dalam Mendukung Pertanian Presisi dan Pemetaan Lahan<br>Pertanian .....                  | 234        |
| E. GIS dalam Monitoring Pertanian .....   | 237        |
| F. GIS dalam Analisis Kesesuaian Lahan Pertanian.....   | 239        |
| G. Rangkuman Materi .....   | 241        |
| <b>BAB 13 PEMANFAATAN SUMBER DAYA IKLIM UNTUK PERENCANAAN<br/>BUDIDAYA TANAMAN PANGAN .....</b> | <b>247</b> |
| A. Pendahuluan.....   | 247        |
| B. Neraca Air .....   | 248        |
| C. Neraca Air dan Panjang Musim Tanam .....   | 261        |
| D. Rangkuman Materi .....   | 264        |
| <b>GLOSARIUM .....</b>  | <b>269</b> |
| <b>INDEKS .....</b>   | <b>278</b> |
| <b>PROFIL PENULIS .....</b>   | <b>281</b> |

BAB  
13

## PEMANFAATAN SUMBER DAYA IKLIM UNTUK PERENCANAAN BUDIDAYA TANAMAN PANGAN

---

**Dr. Ir. Akas Pinaringan Sujalu, M.P<sup>1</sup>**

**Dr. Ir. Ismail, M.P<sup>2</sup>**

**Dr. Ir. Hj. Akas Yekti Pulihasih, M.kes., M.M<sup>3</sup>**

**Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda<sup>1,2</sup>**

**Universitas Nahdlatul Ulama Surabaya<sup>3</sup>**

### **A. PENDAHULUAN**

Pertanian yang menjadi segmen penting bagi pembangunan Indonesia memiliki ketergantungan pada kondisi iklim dan cuaca. Jika stabil kondisi atmosfernya, maka stabil pula produksi pertaniannya, bila sebaliknya, maka akan terjadi penurunan produksi pertanian yang berujung pada terhambatnya fungsi pembangunan. Manfaat hasil analisis data cuaca-iklim terutama di bidang pertanian akhir-akhir ini semakin dirasakan di Indonesia sehubungan dengan usaha mencapai kecukupan pangan bagi penduduk. Seperti halnya dengan lahan yang dipandang sebagai salah satu sumber daya alam, iklim dan cuaca merupakan sumber daya alam yang menjadi faktor penentu hasil tanaman. Cuaca dan iklim merupakan faktor yang belum dapat dikendalikan, Dua parameter cuaca

yaitu curah hujan dan temperatur, menjadi ukuran bagi kestabilan atmosfer (Susandi et,al. 2008). Sifat cuaca dan iklim khususnya di daerah tropika, fluktuasinya akan berpengaruh langsung pada produksi pertanian. Beberapa fakta menunjukkan bahwa kegagalan dari hasil panen sekurang-kurangnya disebabkan oleh kondisi iklim yang diabaikan.

Salah satu unsur terpenting dalam pencirian iklim suatu daerah adalah air, yang merupakan sumber daya alam yang bersumber pada hujan. Menyadari bahwa agihan hujan selalu tidak pernah merata di setiap tempat dan waktu, maka akan terjadi perbedaan tingkat kekeringan atau kebasahan antara satu tempat dengan tempat lainnya. Jumlah curah hujan dan distribusinya sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman, melalui kontribusinya terhadap ketersediaan air di dalam tanah. Data curah hujan akan sangat membantu dalam rangka meramalkan pola curah hujan ke depan, dan memberi gambaran kemungkinan kejadian defisit dan surplus air yang pada gilirannya akan bermanfaat bagi penentu kebijakan menyusun program antisipatif guna menghindari peristiwa-peristiwa iklim yang merugikan pembangunan pertanian. Dengan demikian, data iklim itu penting diinventarisir, dan selanjutnya diproses/ diolah agar berdayaguna dan mempertegas strategi dan alternatif pengelolaan lahan yang lebih tepat dan spesifik lokasi melalui Neraca Air.

## **B. NERACA AIR**

Masalah ketersediaan air bagi tanaman sangat menentukan keberhasilan kegiatan pertanian di daerah dengan irigasi yang terbatas atau di areal lahan kering. Hal ini dapat terjadi karena, kegiatan pertanian sangat ditentukan oleh perimbangan antara jumlah air yang tersedia di lahan dengan jumlah air yang dibutuhkan selama pertumbuhannya. Jumlah air yang tersedia pada suatu lahan pertanian dapat dilihat dari kondisi curah hujan, sedangkan jumlah air yang dibutuhkan tanaman dapat digambarkan dengan jumlah air yang dibutuhkan untuk evapotranspirasi. Jumlah air yang tersedia dan jumlah air yang dibutuhkan akan mengalami fluktuasi dari waktu ke waktu, sehingga pada suatu periode dapat terjadi kelebihan air dan pada periode lainnya terjadi kekurangan air bagi tanaman (Hidayat dkk., 2006). Ketersediaan air tanah

akan menentukan pertumbuhan dan hasil tanaman secara langsung, karena kekurangan air menyebabkan penurunan laju fotosintesis dan distribusi asimilat terganggu, serta berdampak negatif pada pertumbuhan tanaman baik pada fase vegetatif maupun fase generatif (Simanjuntak dkk., 2016).

Salah satu cara untuk mengetahui fluktuasi ketersediaan air dari bulan ke bulan dapat diketahui dengan menggunakan neraca air antara besarnya masukan air hujan dan, kemampuan tanah menyimpan air dan keluaran dari evapotranspirasi potensial (Djufry, 2012). Neraca air bermanfaat untuk melengkapi gambaran umum dari keadaan air pada suatu daerah (presipitasi, evapotranspirasi, kandungan air dan perubahan kelembaban tanah); menilai kemampuan suatu daerah untuk ditanami melalui pendugaan kebutuhan air bagi tanaman, menguji hubungan iklim atau cuaca dengan hasil produksi tanaman (Ayu dkk., 2013; Paski dkk., 2018). Neraca air (*water balance*) merupakan neraca masukan dan keluaran air disuatu tempat pada periode tertentu, sehingga dapat untuk mengetahui jumlah air tersebut kelebihan (surplus) ataupun kekurangan (defisit). Ditinjau dari penggunaannya di bidang hidrologi, neraca air merupakan penjelasan tentang hubungan antara aliran ke dalam (*in flow*) dan aliran ke luar (*out flow*) disuatu periode tertentu dari proses sirkulasi air. Secara kuantitatif, neraca air menggambarkan prinsip bahwa selama periode waktu tertentu masukan air total sama dengan keluaran air total ditambah dengan perubahan air cadangan (*change in storage*). Nilai perubahan air cadangan ini dapat bertanda positif atau negatif (Soewarno, 2000). Konsep neraca air pada dasarnya menunjukkan keseimbangan antara jumlah air yang masuk ke-yang tersedia di-dan yang keluar dari sistem (atau sub sistem) tertentu. Kegunaan mengetahui kondisi air pada periode surplus dan defisit dapat mengantisipasi bencana yang kemungkinan terjadi, serta dapat pula untuk mendayagunakan air sebaik-baiknya. Perhitungan neraca air memungkinkan untuk mengevaluasi dinamika air tanah dan penggunaan air oleh tanaman secara kuantitatif (Lascano, 2000), dan menghitung ketersediaan air secara spasial pada suatu wilayah tertentu (Latha dkk, 2010).

Di bidang Agroklimatologi, menurut Oldeman dan Frere (1982) dan Hillel (1980) yang dikutip Sujalu (2011, 2014 dan 2019) mengartikan neraca air sebagai selisih antara jumlah air yang diterima oleh tanaman dan kehilangan air dari tanaman beserta tanah melalui evapotranspirasi. Merupakan perincian tentang semua masukan, keluaran, dan perubahan simpanan air yang terdapat pada suatu lahan untuk menetapkan jumlah air yang terkandung di dalam tanah yang menggambarkan perolehan air (surplus atau defisit) dari waktu ke waktu. Manfaat analisis neraca air lahan ini terutama untuk penggunaan Pertanian secara umum dengan tujuan sebagai berikut:

1. Untuk mempertimbangkan kesesuaian bagi pertanian lahan tadah hujan berdasarkan kandungan air tanahnya;
2. Mengatur jadwal tanam dan jadwal panen;
3. Mengatur pemberian air irigasi baik dalam jumlahnya maupun waktunya sesuai dengan keperluan
4. Digunakan sebagai sumber informasi pembuatan bangunan penyimpanan dan pembagi air serta jaringan irigasi/ drainase.

### **1. Model-Model Neraca Air**

Kesetimbangan air dalam suatu sistem tanah-tanaman dapat digambarkan melalui sejumlah proses aliran air yang kejadiannya berlangsung dalam satuan waktu yang berbeda-beda. Kesetimbang air tersebut terdapat dalam berbagai model analisa. Model neraca air cukup banyak, namun yang biasa dikenal terdiri dari tiga model, yaitu:

#### **a. Model Neraca Air Umum.**

Model ini menggunakan data-data klimatologis dan bermanfaat untuk mengetahui berlangsungnya bulan-bulan basah (jumlah curah hujan melebihi kehilangan air untuk penguapan dari permukaan tanah atau evaporasi maupun penguapan dari sistem tanaman atau transpirasi, penggabungan kedua proses tersebut dikenal sebagai evapotranspirasi).

#### **b. Model Neraca Air Lahan.**

Neraca air lahan merupakan neraca air untuk penggunaan lahan pertanian secara umum. Neraca ini bermanfaat dalam mempertimbangkan kesesuaian lahan pertanian, mengatur jadwal

tanam dan panen, dan mengatur pemberian air irigasi dalam jumlah dan waktu yang tepat. Penentuan waktu tanam berdasarkan perhitungan neraca air dimanfaatkan untuk mengetahui dampak perubahan iklim terhadap ketersediaan air pada suatu wilayah (Rafi dkk., 2005; Bari dkk. 2006; Kumambala dan Ervine, 2010). Model ini merupakan penggabungan data klimatologis dengan tanah terutama data kadar air pada Kapasitas Lapang (KL), kadar air tanah pada Titik Layu Permanen (TLP), dan Air Tersedia (WHC= *Water Holding Capacity*). Analisa Kesetimbangan air Lahan dinyatakan dalam bentuk persamaan integral dengan menyederhanakan beberapa persamaan, sehingga Kesetimbangan air suatu kawasan pertanian dapat dinyatakan menggunakan beberapa parameter-parameter, yaitu

- Akumulasi potensial kehilangan air untuk penguapan (APWL; *accumulative potential water loss*) diisi dengan penjumlahan nilai CH-ETP yang negatif secara berurutan bulan demi bulan.

- Kandungan air tanah (KAT)

$$KAT = TLP + AT$$

Untuk KAT yang tidak terjadi APWL, maka  $KAT = KAT \text{ terakhir} + (P-ETP)$ .

Nilai KL akan digunakan jika nilai KAT-nya melebihi nilai KL.

- Perubahan kadar air tanah (dKAT)

$$dKAT = KAT(\text{bulan } x) - KAT(\text{bulan } x-1)$$

- Evapotranspirasi Aktual (ETA)

Bila  $CH > ETP$  maka  $ETA = ETP$  karena ETA mencapai maksimum;

Bila  $CH < ETP$  maka  $ETA = CH + |dKAT|$

- Defisit (D)

$$D = ETP - ET$$

- Surplus (S)

$$S = CH - ETP - dKAT$$

Air Tanah Tersedia (ATS)

$$ATS (\%) = \frac{S}{KAT} \times 100\%$$

Keterangan

TLP : titik layu permanen

AT :  $KL - TLP$

KAT : kadar air tanah

KL : kapasitas lapang

|APWL| : nilai absolut APWL

KL: kapasitas lapang, yaitu keadaan tanah yang cukup lembab yang menunjukkan jumlah air terbanyak yang dapat ditahan oleh tanah terhadap gaya tarik gravitasi. Air yang dapat ditahan tanah tersebut akan terus-menerus diserap akar tanaman atau menguap sehingga tanah makin lama makin kering. Pada suatu saat akar tanaman tidak lagi mampu menyerap air sehingga tanaman menjadi layu. Kandungan air pada kapasitas lapang diukur pada tegangan  $1/3$  bar atau 33 kPa atau pF 2,53 atau 346 cm kolom air.

TLP: titik layu permanen, yaitu kondisi kadar air tanah dimana akar-akar tanaman tidak mampu lagi menyerap air tanah, sehingga tanaman layu. Tanaman akan tetap layu pada siang atau malam hari. Kandungan air pada titik layu permanen diukur pada tegangan 15 bar atau 1.500 kPa atau pF 4,18 atau 15.849 cm tinggi kolom air.

ATS : Air Tanah Tersedia, yaitu banyaknya air yang tersedia bagi tanaman yang diperoleh dari selisih antara kapasitas lapang (KL) dan titik layu permanen (TLP). Hasil dari ATS terbagi 5 kelas yang menyatakan ketersediaan air tanah bagi tanaman seperti tertera pada Tabel 13.1.

**Tabel 13.1 Persentase Air Tanah Tersedia (ATS)**

| Air Tanah Tersedia | Sangat kurang | Kurang | Sedang | Cukup  | Sangat Cukup |
|--------------------|---------------|--------|--------|--------|--------------|
| Persentase         | < 10%         | 10-40% | 40-60% | 60-90% | >90%         |

c. Model Neraca Air Tanaman.

Model ini merupakan penggabungan data klimatologis, data tanah, dan data tanaman. Neraca air ini dibuat untuk tujuan khusus pada suatu jenis tanaman tertentu. Data tanaman yang digunakan adalah data koefisien tanaman (kc) pada komponen keluaran dari neraca air.

**2. Analisis Neraca Air Model Thornthwaite and Matter (1957) dalam (Sujalu, 2010, 2014, 2019)**

Model neraca air dalam artikel ini dipilih yang paling sederhana, dari banyak model-model dugaan komponen neraca air yang ada. Model Thornthwaite dan Matter (1957) merupakan model cukup populer, selain itu dikenal juga model-model Neraca Air lain yang berbeda berdasarkan

penghitungan ETP (*Evapotranspirasi Potensial*), seperti: Blaney-Criddle, Penman (1948), Penman-Monteith (1964), Makkink (1957), dan Priestly-Taylor (1972). Prosedur perhitungan neraca air menurut Thornthwaite and Mather (1957) menggunakan sistem "*Book Procedure or Note Book*" (Calvo, 2009) dalam bentuk persamaan umum:

$$CH = ETA \pm \Delta KAT \pm Li$$

sedangkan :

CH = curah hujan (mm)

ETA = evapotranspirasi aktual ( $\leq$  ETP) (mm)

$\Delta$  KAT = perubahan kandungan air tanah (mm)

Li = limpasan permukaan (run off) (mm)

Dalam perhitungan neraca air lahan bulanan diperlukan data masukan yaitu curah hujan bulanan (CH), suhu udara (T), evapotranspirasi bulanan (ETP), kapasitas lapang (KL) dan titik layu permanen (TLP). Nilai - nilai yang diperoleh dari analisis neraca air lahan ini menggunakan asumsi- asumsi :

- a. Lahan berupa tanah dimana air yang masuk pada tanah tersebut hanya berasal dari curah hujan saja
- b. Keadaan profil tanah homogen sehingga KL dan TLP mewakili seluruh lapisan dan hamparan tanah.

Data-data tentang besarnya KL dan TLP pada berbagai jenis tanah dengan menggunakan data-data kadar air tanah pada kedalaman tanah 0 – 30 cm untuk tanaman pangan dan 0 - 60 cm untuk tanaman perkebunan tersebut untuk mengisi KAT pada wilayah yang direncanakan. Selain itu dapat juga menggunakan data Nilai Kemampuan tanah menahan air pada berbagai tekstur tanah berdasarkan hasil perkalian antara prosentase luas penggunaan lahan, air tersedia dan kedalaman zone perakaran.

Sebagai gambaran kemampuan tanah menahan aitr pada berbagai tekstur dan jenis vegetasi dapat dilihat pada tabel 13.2 dibawah ini.

**Tabel 13.2 Kemampuan Tanah Menahan Air Pada  
Kombinasi Tanah dan Vegetasi**

| <b>Tekstur</b>                   | <b>Air tersedia<br/>(mm/m)</b> | <b>Kedalaman<br/>Perakaran (m)</b> | <b>Kemampuan tanah<br/>menahan air (mm)</b> |
|----------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|---|
| <b>Tanaman perakaran dangkal</b> |                                |                                    |   |
| Pasir halus                      | 100                            | 0.50                               | 50  |
| Lempung Berpasir                 | 150                            | 0.50                               | 75  |
| Lempung Berdebu                  | 200                            | 0.62                               | 125   |
| Lempung Berliat                  | 250                            | 0.40                               | 100   |
| Lempung                          | 300                            | 0.25                               | 75  |
| <b>Tanaman perakaran sedang</b>  |                                |                                    |   |
| Pasir halus                      | 100                            | 0.75                               | 75  |
| Lempung Berpasir                 | 150                            | 1.00                               | 150   |
| Lempung Berdebu                  | 200                            | 1.00                               | 200   |
| Lempung Berliat                  | 250                            | 0.80                               | 200   |
| Lempung                          | 300                            | 0.50                               | 150   |
| <b>Tanaman perakaran dalam</b>   |                                |                                    |   |
| Pasir halus                      | 100                            | 1.00                               | 100   |
| Lempung Berpasir                 | 150                            | 1.00                               | 150   |
| Lempung Berdebu                  | 200                            | 1.25                               | 250   |
| Lempung Berliat                  | 250                            | 1.00                               | 260   |
| Lempung                          | 300                            | 0.67                               | 200   |
| <b>Tanaman Perkebunan</b>        |                                |                                    |   |
| Pasir halus                      | 100                            | 1.50                               | 150   |
| Lempung Berpasir                 | 150                            | 1.67                               | 250   |
| Lempung Berdebu                  | 200                            | 1.50                               | 300   |
| Lempung Berliat                  | 250                            | 1.00                               | 250   |
| Lempung                          | 300                            | 0.70                               | 200   |
| <b>Hutan</b>                     |                                |                                    |   |
| Pasir halus                      | 100                            | 2.50                               | 250   |
| Lempung Berpasir                 | 150                            | 2.00                               | 300   |
| Lempung Berdebu                  | 200                            | 2.00                               | 400   |
| Lempung Berliat                  | 250                            | 1.60                               | 400   |
| Lempung                          | 300                            | 1.17                               | 350   |

### 3. Langkah-Langkah Menyusun Neraca Air Lahan

#### a. Kolom Suhu Udara

Masukkan data suhu udara rata-rata bulanan dalam satu tahun, yang dihitung dari data jangka panjang, misalnya selama 10 tahun.

#### b. Kolom Indeks Panas (I).

Masukkan data Indeks Panas, dengan menggunakan hasil perhitungan Indeks panas berdasarkan suhu udara, sebagai contoh dapat dilihat pada Tabel 3

#### c. Kolom Evapotranspirasi yang belum disesuaikan (ETPx)

Beberapa wilayah memiliki keterbatasan data iklim, maka dapat menggunakan model Hargreave yang cukup akurat untuk menghitung evapotranspirasi acuan harian walaupun hanya dengan masukan suhu (maksimum, minimum dan rata-rata) harian dan radiasi ekstraterestial harian. Adapun persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$ETP = 0.0135 (T+17.78).RS$$

Dimana:

ETp = Evapotranspirasi Potensial (mm/hari)

T = suhu rata-rata harian (oC)

RS = Radiasi Matahari ekivalen evaporasi (mm/hari)

Selain itu penentuan ETP yang paling umum dari Thornthwaite dan Mather (1957) sering disebut sebagai ETP sebelum terkoreksi (ETPx), menggunakan rumus empiris:

#### 1) Evapotranspirasi untuk suhu di bawah 26,5 °C

$$ETPx = 1,6 \cdot \left(\frac{10t}{I}\right)^a$$

$$a = 0,000000675 I^3 - 0,0000771 I^2 + 0,01792 I + 0,49239$$

$$I = \sum \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514}$$

Dimana:

T = suhu rata-rata bulanan (oC)

I = Indeks panas tahunan

2) Evapotranspirasi untuk suhu di atas atau sama dengan 26,5 °C

$$ETP (t \geq 26,5 \text{ } ^\circ\text{C}) = - 0,0433 t^2 + 3,2244 t - 41.545$$

**Tabel 13.3 Menghitung Evapotranspirasi potensial sebelum terkoreksi (ETPx)**

| Bulan     | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | Σ     |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| T (°C)    | 26,6 | 26,6 | 26,8 | 27,0 | 27,0 | 27,1 | 26,7 | 27,1 | 27,3 | 27,5 | 27,2 | 27,0 |       |
| I         | 12,6 | 12,5 | 12,7 | 12,8 | 12,9 | 12,9 | 12,6 | 12,9 | 13,0 | 13,2 | 13,0 | 12,9 | 154,1 |
| ETPx (mm) | 4,5  | 4,5  | 4,6  | 4,6  | 4,6  | 4,7  | 4,6  | 4,7  | 4,7  | 4,8  | 4,7  | 4,6  |       |

d. Kolom Evapotranspirasi yang sudah disesuaikan (ETP)

Selanjutnya menentukan ETP setelah terkoreksi (ETP), pada langkah ini terbagi menjadi 2 kegiatan, yaitu

- 1) Mencari faktor koreksi. Contoh untuk bumi belahan selatan, guna mengetahui faktor koreksi (f) ETP yang disesuaikan berdasarkan derajat Lintang. Sebagai contoh Posisi Palangka Raya ada 2 oLS maka pada bulan Januari diperoleh angka faktor koreksi 31,5, dan seterusnya hingga bulan Desember diperoleh angka 31,5.
- 2) Menetapkan ETP disesuaikan (ETP adj).

Cara mencarinya adalah dengan mengalikan antara ETP yang belum disesuaikan (ETPx) dengan faktor koreksi (f) melalui persamaan:  $ETP = f \times ETPx$

Keterangan : f = faktor koreksi berdasarkan letak lintang lokasi penelitian.

e. Kolom curah hujan (CH)

Diisi dengan data curah hujan rata-rata bulanan atau curah hujan dengan peluang tertentu (misal CH dengan peluang ( $P > 75\%$ )) yang dapat mewakili seluruh lahan. Beberapa metode menggunakan analisa curah hujan efektif, yaitu curah hujan yang jatuh selama masa tumbuh tanaman, yang dapat digunakan untuk memenuhi air konsumtif tanaman. Untuk mengetahui curah hujan efektif (Re) bulanan diambil 70% dari curah hujan minimum tengah-bulanan dengan periode 5 tahun. Analisa curah hujan efektif ini dilakukan dengan maksud untuk menghitung kebutuhan air irigasi. Curah hujan

efektif atau curah hujan andalan ialah bagian dari keseluruhan curah hujan yang secara efektif tersedia untuk kebutuhan air tanaman.

- f. Mencari selisih curah hujan dengan ETP terkoreksi  
Langkah ini adalah mengurangi jumlah CH bulan tertentu dengan ETP pada bulan yang sama. Apabila curah hujan melebihi evapotranspirasi potensial ( $P > ETP$ ), maka terjadi peningkatan air tanah sehingga air cukup tersedia bahkan lahan mengalami kelebihan air atau surplus (S), dan sebaliknya jika curah hujan lebih kecil dari evapotranspirasi potensial ( $P < ETP$ ), akan berkurang kandungan air dalam tanah bahkan dapat mencapai keadaan defisit.
- g. Mencari akumulasi potensi kehilangan air (APWL= *Accumulation Potential Water loss*)  
APWL digunakan untuk mengetahui potensi kehilangan air pada bulan kering. Cara perhitungan: dimulai dari nilai  $P - ETP$  yang mempunyai nilai (-) negatif, kemudian secara berurutan dijumlahkan dengan nilai  $P - ETP$  berikutnya sampai dengan nilai  $P - ETP$  negatif yang terakhir.
- h. Mencari kadar air tanah (KAT)  
Perhitungan nilai KAT di mana terjadi APWL dengan rumus:  
 $KAT = TLP + AT$   
Untuk KAT di mana tidak terjadi APWL, maka  $KAT = KAT_{\text{terakhir}} + (P - ETP)$ . Nilai KL akan digunakan jika nilai KAT-nya melebihi nilai KL.
- -Sebagai contoh: KAT mei (APWL= -9), KL=250 mm, TLP =100 maka  $AT = 250 - 100 = 150$  mm, sehingga  
KAT mei =  $100 + 150 = 241,1$  mm.
  - Mengisi nilai KAT yang tidak terjadi APWL dengan cara:  $KAT = KAT_{\text{terakhir}} + (CH - ETP)$ , jika nilai KAT-nya mencapai kapasitas lapang (KL) maka yang diambil adalah nilai KL. Misalnya untuk bulan Nopember:  $KAT_{\text{terakhir}} = KAT_{\text{oktober}} (124 \text{ mm})$  dan  $CH - ETP_{\text{Nopember}} = 63 \text{ mm}$ , maka  $KAT_{\text{November}} = 124 + 63 = 187$  (belum mencapai KL). Sehingga untuk Pebruari:  $KAT_{\text{terakhir}} = KAT_{\text{Januari}} (250 \text{ mm})$  dan  $CH - ETP_{\text{Januari}} = 128 \text{ mm}$ , maka  $KAT_{\text{November}} = 250 + 128 = 378$  (melebihi KL = 250) sehingga  $KAT_{\text{Januari}} = 250$  mm

i. Mengisi kolom perubahan kadar air tanah ( $\Delta KAT$ )

Nilai  $\Delta KAT$  bulan tertentu diperoleh dari  $KAT$  bulan tersebut dikurangi  $KAT$  bulan sebelumnya. Nilai positif menyatakan perubahan kandungan air tanah yang berlangsung pada  $CH > ETP$  (musim hujan), penambahan berhenti bila  $\Delta KAT = 0$  setelah  $KL$  tercapai. Seluruh  $CH$  dan sebagian  $KAT$  akan dievapotranspirasikan apabila  $CH < ETP$  atau  $\Delta KAT$  negatif.

Perubahan kadar air tanah ( $WCS$ ; *Soil water content*) adalah perbedaan kadar air pada periode ke periode sebelumnya antara berurutan. Untuk setiap perubahan kandungan air tanah, dapat dihitung dengan formula  $R-ETP$  dan jika dengan nilai negatif, akan ada defisit (kekurangan) air untuk ( $ETP = ETa$ ). Sebaliknya, jika ( $R-ETP$ ) positif, maka akan terjadi surplus/ kelebihan air, sehingga ketersediaan air tanah menurun secara eksponensial yang dinyatakan oleh persamaan (Hidayat et al., 2006; Sujalu, 2011; Karim, 2012; Rao and Bhaskara, 2015):

$$ASW = WHC \times ka,$$

$$WHC = FC - PWP,$$

$$WCS = PWP + ASW$$

$$K = (Po + P1)/WHC$$

Dimana:

$WCS = Actual Soil Water Content$ ; kandungan air tanah actual (mm)

$ASW = Availability of Soil Water$ ; air tanah tersedia (mm)

$WHC = water holding capacity or availability of Maximum Soil Water$ ; kapasitas tanah menyimpan air (mm)

$FC = Field Capacity$ ; kapasistas lapang (mm)

$PWP = Permanent Wilting Point$ ; Titik layu permanen (mm)

$a = Accumulate Potential Water Loss (APWL)$ ; akumulasi kehilangan air tanah potensial

$Po = 1.000412351$  (konstanta)

$PI = -1.07380730$  (konstanta)

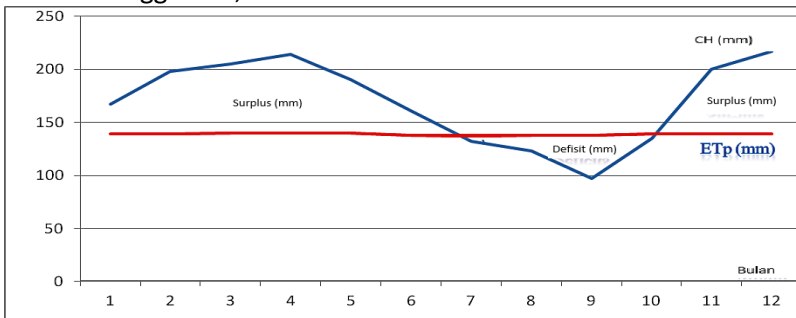
j. Mengisi kolom Evapotranspirasi Aktual ( $ETA$ )

Bila  $CH > ETP$  maka  $ETA = ETP$  karena  $ETA$  mencapai maksimum. Bila  $CH < ETP$  maka  $ETA = CH + |\Delta KAT|$ , karena  $CH$  dan  $\Delta KAT$  seluruhnya akan di evapotranspirasikan.

- k. Mengisi kolom Defisit (D)  
Defisit berarti berkurangnya air untuk dievapotranspirasikan sehingga,  $D = ETP - CH$ , berlangsung pada musim kemarau.
- l. Mengisi kolom Surplus (S)  
Surplus berarti kelebihan air ketika  $CH > ETP$  sehingga,  $S = (CH - ETP) - \Delta KAT$ , berlangsung pada musim hujan.
- m. Mengisi kolom Run-Off  
Run off (RO) merupakan aliran permukaan atau limpasan. Thornthwaite dan Mather (1957) membagi RO menjadi dua bagian: a) 50% dari Surplus bulan sekarang ( $S_n$ ) dan b) 50% dari RO bulan sebelumnya ( $RO_{n-1}$ ).  
Sehingga, RO bulan sekarang ( $R_n$ ) = 50% ( $S_n + RO_{n-1}$ ).

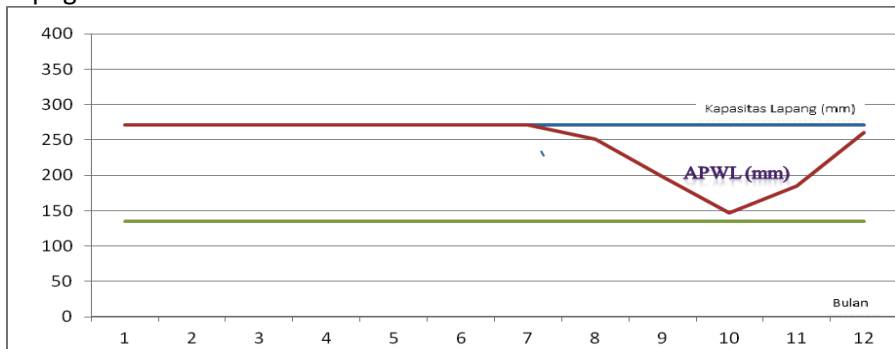
#### 4. Interpretasi Neraca Air

Setelah neraca air tersusun, contoh Neraca Air Bulanan Sub DAS Karangmumus (Tabel 4), maka selanjutnya dilakukan interpretasi. Untuk neraca air umum cukup digunakan langkah 1 - 6 (Gambar 1), sedangkan untuk neraca air lahan digunakan seluruh langkah dari 1 – 13, untuk neraca air tanaman perlu ditambahi satu langkah yaitu langkah 4 dikalikan faktor “koefisien tanaman ( $k_c$ )” atau  $ETP_{adj} \times K_c$ . Nilai  $k_c$  dapat dilihat pada berbagai buku tentang hidrologi. Analisis keseimbangan air bulanan dari hasil yang disebutkan di atas menunjukkan bahwa daerah-daerah ini memiliki surplus selama analisis keseimbangan air delapan Bulanan dari hasil yang disebutkan di atas menunjukkan bahwa daerah-daerah ini memiliki surplus selama delapan bulan yang terjadi dalam periode bulan dari Januari hingga Juni, dan November - Desember.



Gambar 13.1 Neraca Air Lahan Sub DAS Karangmumus, Kota Samarinda

Selain mengalami surplus air bulanan, wilayah Sub DAS Karangmumus juga mengalami defisit air kumulatif bulanan dalam jangka waktu 4 bulan dari Juli hingga Oktober. Nilai APWL dimanfaatkan untuk evapotranspirasi aktual (ETA) dan tidak adanya pasokan air hujan menyebabkan defisit (gambar 2). Pengaruh defisit air ini tergantung pada kemampuan menyimpan/menahan air tanah, yang berbeda untuk setiap jenis tanah yang dipengaruhi oleh kandungan tanah liat (tekstur), bahan organik dan topografi.



Gambar 13.2 Defisit Air Tanah (<math>< 50\%</math> Kapasitas lapang) Sub DAS Karangmumus

Hasil analisis menunjukkan perubahan drastis terjadi pada Juli hingga Oktober karena pada bulan Juni mayoritas penelitian memasuki musim transisi. Periode itu adalah musim kemarau yang ditandai adanya defisit air di wilayah sub DAS Karangmumus, dan musim kemarau terjadi secara merata di seluruh wilayah pada bulan Juni, dan dampak kekeringan yang diperkuat hingga mencapai puncaknya pada bulan Agustus hingga September. Kurangnya curah hujan selama Juli hingga Agustus diikuti oleh suhu udara yang relatif tinggi yang mengarah ke air defisit di zona akar aktif menyebabkan gangguan keseimbangan air tanah.

**Tabel 13.4 Neraca Air Bulanan Sub DAS Karangmumus, Kota Samarinda (116049' EL – 117008'EL dan 0034' SL = 0045'SL)**

| Elements                                   | Month |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|  | Jan.  | Feb.  | Mar   | Apr.  | May   | June  | July  | Agst  | Sept  | Oct.  | Nov.  | Des.  |
| Rain fall/CH (mm)                          | 194.0 | 143.0 | 233.0 | 333.0 | 183.0 | 113.0 | 178.0 | 121.0 | 104.0 | 134.0 | 198.0 | 214.0 |
| Evapotr. Pot. /ETP (mm)                    | 139.0 | 138.7 | 139.6 | 140.2 | 139.6 | 138.4 | 137.2 | 138.1 | 138.4 | 139.3 | 139.3 | 138.7 |
| CH – ETP (mm)                              | 55.0  | 4.3   | 94.4  | 192.8 | 42.4  | -25.4 | 40.8  | -17.1 | -34.4 | -5.3  | 58.7  | 75.3  |
| APWL (mm)                                  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | -17.1 | -51.5 | -61.8 | 0     | 0     |
| Soil Water available/SWC (mm) <sup>1</sup> | 268   | 268   | 268   | 268   | 268   | 242,6 | 268   | 250.9 | 198.5 | 136.7 | 185.4 | 260.7 |
| Δ WCS                                      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | -25.8 | 0     | -17.1 | -58.0 | -62.0 | -3.3  | 0     |
| Evapotr. Akt./ETA (mm) <sup>2</sup>        | 139.0 | 138.7 | 139.6 | 140.2 | 139.6 | 138.4 | 136.9 | 142.0 | 152.0 | 196.0 | 139.3 | 138.7 |
| Defisit (mm)                               | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0.3   | 3.9   | 13.6  | 26.7  | 0     | 0     |
| Surplus (mm)                               | 55.0  | 4.3   | 94.4  | 192.8 | 42.4  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 58.7  | 75.3  |

Note : <sup>1</sup> Water Content of Soil (WCS) at Field Capacity (FC)

<sup>2</sup> Actual evapotranspiration (ETA) in the period of time deficit (R<ETP) was obtained from R (mm) + Δ WCS. While at the time of surplus (R> ETP) the amount equal to ETP

### C. NERACA AIR DAN PANJANG MUSIM TANAM

Analisis periode pertumbuhan diperlukan dalam penilaian untuk mengukur periode waktu di setiap tahun ketika pasokan kelembaban dari curah hujan dianggap memadai, dari sudut pandang iklim, untuk mengizinkan pertumbuhan tanaman. Periode pertumbuhan dapat ditentukan menggunakan analisis keseimbangan air untuk mengurangi risiko panen di area tertentu. Panjang musim tanam adalah periode (dalam hari) selama setahun ketika  $CH > 0,5$  ETP. Panjang Musim Tanam (*Lenght Growing season: LGS*) berguna dalam menentukan panjang siklus budidaya tanaman dan kalender tanam rata-rata. Perhitungan periode pertumbuhan didasarkan pada model Neraca Air, membandingkan ketersediaan air dengan permintaan air tanaman (CH dengan ETP), menggunakan nilai rata-rata bulanan. Periode pertumbuhan "normal" ditandai dengan periode kering, periode lembab (juga disebut periode menengah) dan periode basah (atau lembab). Panjang musim tanam ditentukan dengan menghitung hari dalam setahun ketika suhu rata-rata di atas ambang batas di mana tanaman berkecambah dan terus tumbuh (bersama dengan vegetasi endemik). Status dan pola ketersediaan air merupakan faktor yang utama dalam menentukan pola tanam semusim yang sangat ditentukan oleh ketersediaan air untuk tanaman. Waktu tanam atau musim tanam (GS) khususnya pada lahan kering atau lahan tadah hujan tergantung pada ada tidaknya curah hujan dan distribusinya selama kurun waktu tertentu.

Lamanya musim tanam di lahan tadah hujan berhubungan langsung dengan jumlah dan sebaran curah hujan dan sifat tanah dalam menahan air (Coughlan dan Huda, 2008; Odekunle, 2014). Jumlah air yang dibutuhkan tanaman (konsumsi air) atau air yang diserap oleh akar tanaman hampir sama dengan jumlah air yang hilang akibat evapotranspirasi tanaman. Panjang musim tanam bervariasi dari satu tempat ke tempat lain. Sebagian besar tanaman membutuhkan musim tanam setidaknya 90 hari. Demikian pula, untuk memeriksa hubungan antara tanggal tanam tanaman palawija dan curah hujan, wilayah tanaman kedua (palawija) terbatas pada curah hujan jika ada beberapa hari ketika curah hujan kurang dari 0,5 ETP (menggunakan curah hujan bulanan rata-rata yang diinterpolasi dengan nilai harian, dan nilai ETP harian, seperti yang dijelaskan di atas). Upaya intensifikasi lahan pertanian ditentukan oleh status ketersediaan dan kebutuhan air pertanian. Untuk wilayah yang memiliki keseimbangan ketersediaan dan kebutuhan air pertanian positif, maka diprediksi daerah tersebut akan berpeluang dilakukan peningkatan indeks tumbuh.

Dengan mengetahui status keseimbangan air daerah, dapat diketahui potensi lahan pertanian tersebut. Pada prinsipnya, potensi lahan yang akan digarap dengan berbagai macam komoditas yang berkaitan dengan awal dan panjang musim tanam, intensitas tanam, jenis komoditas, teknik budidaya dan potensi hasil panen yang bersangkutan. Potensi masa tanam ditentukan oleh ketersediaan air tanah yang diperoleh dari perhitungan keseimbangan air tanah. Berdasarkan batasan yang diberikan FAO (1978) dan Reddy (1983) tentang penentuan awal musim tanam dengan menggunakan pendekatan rasio antara curah hujan (CH) dan potensi evapotranspirasi (CH/ETP), di tabel 5 menunjukkan bahwa rasio CH/ETP berubah.

Periode pertumbuhan normal didefinisikan sebagai satu periode yang memiliki kelebihan curah hujan atas ETP (yaitu periode lembab). Penentuan periode tanam tersedia untuk tanaman yang dipilih (kedelai, jagung, padi tadah hujan) dilakukan dengan metode Reddy dalam Pramudia (1989) yaitu dengan cara menentukan periode curah hujan efektif yang tersedia, yang didasarkan pada curah hujan (CH) dan evapotranspirasi potensial (ETP). Periode curah hujan efektif yang tersedia

adalah jumlah dengan waktu yang berurutan dari minggu-minggu yang mempunyai nilai CH/ETP rata-rata (PE-17 minggu) tidak kurang dari 0,75 awal periode curah hujan efektif terjadi pada minggu yang mempunyai nilai CH/ETP tidak kurang dari 0,5 awal musim ujan atau minggu yang mempunyai nilai CH/ETP tidak kurang 0,5 awal musim hujan atau musim tanam yang tersedia adalah seminggu menjelang awal periode curah hujan efektif. Sedangkan persiapan penanaman dapat dimulai pada saat nilai CH/ETP rata-rata per 17 minggu tidak kurang dari 0,5 tidak kurang dari 0,5 dengan nilai CH/ETP harus lebih dari 0,25. adapun curah hujan efektif yang tersedia ini digunakan tanaman yang sesuai dengan umur tanaman tersebut. Metode ini telah diaplikasikan di daerah semi arid tropik di India.

Periode seperti itu memenuhi kebutuhan evapotranspirasi tanaman dan mengisi kembali kelembaban yang pasti dari profil tanah. Periode pertumbuhan menengah didefinisikan sebagai salah satu di mana curah hujan biasanya tidak melebihi ETP tetapi tidak untuk sebagian tahun. Penentuan lamanya masa tanam (lamanya musim tanam) dapat dilakukan berdasarkan rasio CH/ETP (rasio curah hujan dan potensi evapotranspirasi) yang didefinisikan sebagai selang waktu dalam setahun yang memiliki rasio CH/ETP  $> 0,5$  ditambah waktu yang dibutuhkan untuk evapotranspirasi sebanyak 100 mm air tanah dianggap tersedia di dalam tanah (FAO, 1978; Hidayat dkk., 2006; Sujalu, 2011). Sedangkan masa tanam diartikan sebagai periode yang memiliki kandungan air tanah  $\geq 50\%$  air tanah tersedia. Hal ini mengacu pada pendapat Buckman dan Bradi (1969) dalam Hidayat et al (2006) bahwa untuk mendapatkan pertumbuhan tanaman yang baik, jika 50-85% air yang tersedia di lahan telah habis maka harus ditambah air, jika tidak informasi dapat diperoleh periode defisit dan surplus air. Sebagai contoh dapat dilihat penentuan panjang musim tanam di SUB DAS Karangmumus pada Tabel 13.5 berikut ini;

**Tabel 13.5 Rasio Curah Hujan dan Evapotranspirasi potensial (ETP)**

| Unsur Iklim  | Bulan |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|              | 1     | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  |
| CH (mm)      | 194   | 123 | 233 | 333 | 183 | 113 | 178 | 121 | 104 | 134 | 198 | 214 |
| ETP          | 139   | 139 | 140 | 140 | 140 | 138 | 137 | 138 | 138 | 139 | 139 | 139 |
| Rasio CH/ETP | 1,4   | 0,9 | 1,7 | 2,4 | 1,3 | 0,8 | 1,3 | 0,9 | 0,8 | 0,9 | 1,4 | 1,5 |

Berdasarkan tabel 13.5, dapat dilihat bahwa rasio CH dan ETP atau CH/ETP setiap bulannya selalu  $> 0,5$  sehingga dapat dikatakan bahwa wilayah Sub DAS Karangmumus memiliki panjang musim tanam sepanjang tahun, dan pada tahun-tahun basah potensial untuk dilakukan budidaya padi 3 x sepanjang tahun atau 2 x budidaya padi dan sekali palawija. Sedangkan pada periode tahun kering masih potensial untuk dilakukan 2 x budidaya padi atau budidaya padi dan palawija masing-masing sekali.

#### **D. RANGKUMAN MATERI**

Sifat cuaca dan iklim khususnya di daerah tropika, fluktuasinya akan berpengaruh langsung pada produksi pertanian. Beberapa fakta menunjukkan bahwa kegagalan dari budaya pertanian dalam skala luas sekurang-kurangnya disebabkan oleh kondisi iklim yang diabaikan. Salah satu unsur terpenting dalam pencirian iklim suatu daerah adalah air, yang merupakan sumber daya alam yang bersumber pada hujan. Jumlah curah hujan dan distribusinya sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman. Upaya intensifikasi lahan pertanian ditentukan oleh status ketersediaan dan kebutuhan air pertanian. Dengan mengetahui status keseimbangan air daerah melalui Neraca Air, dapat diketahui potensi lahan pertanian tersebut. Untuk wilayah yang memiliki keseimbangan ketersediaan dan kebutuhan air pertanian positif, maka diprediksi daerah tersebut akan berpeluang dilakukan peningkatan indeks tumbuh. Dengan demikian, data iklim itu penting diinventarisir, dan selanjutnya diproses/ diolah agar berdayaguna dan mempertegas strategi dan alternatif pengelolaan lahan yang lebih tepat dan spesifik lokasi melalui Neraca Air.

### **TUGAS DAN EVALUASI**

1. Sebutkan Potensi Sumber daya Iklim yang dapat dipergunakan untuk Budidaya Hortikultur, Padi dan Palawija
2. Bagaimanakah Status Curah Hujan bulanan di daerah anda
3. Susunlah Neraca Air Lahan di wilayah anda
4. Tentukan Panjang Musim tanam wilayah tersebut
5. Apakah yang dapat anda simpulkan tentang Neraca Air dan Panjang Musim Tanam di daerah anda.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bari, M.A, and K. R. J. Smettem. (2006). A conceptual model of daily water balance following partial clearing from forest to pasture. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 10: 321–337 Binh, N.D., V.V.N.
- Brisson, N., Bernard, S. dan Patrick, B. (1992). Agrometeorological soil water balance for crop simulation models. *Agricultural and Forest Meteorology* 59: 267-287.
- Djufry, F. (2012).Pemodelan neraca air tanah untuk pendugaan surplus dan deficitair untuk pertumbuhan tanaman pangan di KabupatenMerauke, Papua.*Informatika Pertanian*, 21(1) : 1-9.
- Ghandhari, A., & Moghaddam, S. M. R. A. (2011). Water balance principles: A review of studies on five watersheds in Iran. *Journal of Environmental Science and Technology*, 4(5), 465- 479.
- Hidayat, T., Koesmaryono, Y., & Pramudia, A. (2006). Analisis Neraca Air dalam Penentuan Potensi Musim Tanam Tanaman Pangan di Provinsi Banten. *Journal Floratek*, 2, 55–62.
- Karim, M. R., Ishikawa, M., & Ikeda, M. (2012). Modeling of seasonal water balance for crop production in Bangladesh with implications for future projection. *Italian Journal of Agronomy*, 7(2), 21. 146-153.
- Kumambala, P.G and Ervine, A. (2010). Water Balance Model of Lake Malawi and Its Sensitivity to Climate Change. *The Open Hydrology Journal*4: 152-162
- Lascano, R.J. (1991). Review of models for predicting soil water balance. *IAHS Publ* 199: 443-458. Lascano, R.J.2000. A General System to Measure and Calculate Daily Crop Water Use. *Journal Agronomy* 92: 821-832.
- Mardawilis, Sudira, P., Sunarminto, B. H., & Shiddiq, D. (2011). Analisis Neraca Air Untuk Pengembangan Tanaman Pangan Pada Kondisi Iklim Yang Berbeda. *Agritech* 31(2), 109–115.
- Musyadik, A., & Masetyowati, T. (2014). Penentuan Masa Tanam Kedelai Berdasarkan Analisis Neraca Air Di Kabupaten Konawe Selatan, Sulawesi Tenggara. *Widyariset*, 17(2), 277–282.

- Nugroho, B. D. A., & Nuraini, L. (2016). Cropping Pattern Scenario based on Global Climate Indices and Rainfall in Banyuwangi District, Central Java, Indonesia. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 9, 54-63.
- Odekunle, T. O. (2004). Rainfall and the length of the growing season in Nigeria. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 24(4), 467-479.
- Paski, J. A. I., Faski, G. I. S. L., Handoyo, M. F., & Pertiwi, D. A.S. (2018). Analisis Neraca Air Lahan untuk Tanaman Padi dan Jagung Di Kota Bengkulu. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 15(2):83-90.
- Pramudia, A. dan W. Estiningtyas. (1996). Pemanfaatan Informasi Sumberdaya Iklim Dalam Perencanaan Pola Tanam dan Pengelolaan Air di Lahan Rawa Sebakung. *Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk*, Nomor 14, 1996. BPP Pertanian-PUSLITTANAK Bogor.
- Rao, M. S., dan Bhaskara, N. M. (2015). Andhra Pradesh water balance and cropping pattern of the Garladinne Mandal, Anapapuramu District, Andhra Pradesh, India. *Transactions of Institute of Indian Geographers*, 37(1)
- Sabaruddin, L. N. Arafah, H. Syaf, S. Leomo, T.C. Rakian and J. La Fua. (2021). Analysis of Soil Water Balance to Determine Planting Time of Crops on Dryland, Indonesia. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 24: 241-251
- Sujalu, A. P. (2011). Water Balanced Analysis to Available Growing Season at River Pinang District, East Kalimantan. In: *Proceeding of International Conference on Sustainable Agriculture and Food Security (ICSAFS 2011)*. Faculty of Agriculture. Padjadjaran University.
- Sujalu, A. P., Hidayanto, M., Fiana, Y., & Asih, A. Y. P. (2019). Analysis Of Water Balance To Determine Cropping Patterns Of Food Crop In Sub-Watershed Tenggarong, Kutai Kartanegara Regency. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 25(1), 214-220.
- Sujalu, A., Hardwinarto, I., & Boer, S. (2014). Analysis of water balance to determine cropping patterns for food crops in watershed Karangmumus-the province of east Kalimantan. *Agrolife Scientific Journal*, 3(2), 68-74.

- Surmaini, E., E. Runtunuwu, dan I. Las. (2010). Upaya Sektor Pertanian Dalam Menghadapi Perubahan Iklim. *Jurnal Litbang Pertanian*, 30(1)1-8
- Thornthwaite, C.W., and J.R. Mather. (1957). Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the waterbalance: Centeron, N.J., Laboratory of Climatology, Publication in Climatology, Vol. 10, no. 3, pp. 185-311.
- Tufaila M., L. Mpia, dan J. Karim, 2017. Analisis Neraca Air Lahan pada Jenis Tanah yang Berkembang pada Daerah Karts di Kecamatan Parigi Kabupaten Muna Sulawesi Tenggara. *Agritech*, 37 (2) : 215-219.