

Komparasi Metode Estimasi Evapotranspirasi Berbasis Cropwat dan Python (Studi Kasus: Chiang Mai, Thailand)

A Comparative Study of Evapotranspiration Estimation Methods Based on Cropwat and Python
(Case Study: Chiang Mai, Thailand)

*Wahyu Nurkholis Hadi Syahputra¹⁾, Adam Dika Lazuardi²⁾, Yagus Wijayanto¹⁾,
Ahmad Ilham Tanzil¹⁾

¹⁾Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Jember, Jember 68121

²⁾Program Studi Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jember 68121

KATA KUNCI

Cropwat 8.0,
Evapotranspiration,,
Python (Pyet module),
Rice,
Water requirement
estimation

HISTORI ARTIKEL

Diterima : 01-06-2025

Direvisi : 14-07-2025

Diterbitkan: 27-07-2025



*This work is licensed under a
Creative Commons Attribution
4.0 International
License.*

ABSTRAK

Evapotranspirasi (ET) merupakan komponen penting dalam siklus hidrologi yang menggambarkan jumlah air yang menguap dari permukaan tanah, air, dan vegetasi akibat faktor iklim dan fisiologis tanaman. Estimasi laju ET sangat penting dalam pengelolaan kebutuhan air tanaman, terutama padi yang memerlukan air dua hingga tiga kali lebih banyak dibandingkan tanaman pangan lainnya. Berbagai perangkat lunak telah dikembangkan untuk mengestimasi ET, namun sebagian memiliki keterbatasan fitur dan akses, terutama karena bersifat berbayar. Saat ini, Python sebagai bahasa pemrograman yang banyak digunakan di berbagai sektor, termasuk pertanian, telah menghadirkan modul Pyet untuk estimasi ET. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan membandingkan hasil estimasi ET antara perangkat lunak Cropwat 8.0 dan modul Pyet Python dengan menggunakan data iklim harian tahun 2021 di Provinsi Chiang Mai, Thailand, dengan komoditas padi sebagai objek studi. Hasil menunjukkan bahwa modul Pyet memiliki potensi sebagai algoritma estimasi ET dengan korelasi tinggi terhadap hasil Cropwat ($R^2 = 0,981$), sehingga dapat diandalkan dalam analisis kebutuhan irigasi dan manajemen air pertanian.

ABSTRACT

Evapotranspiration (ET) is a vital component of the hydrological cycle, representing the amount of water that evaporates from soil, water bodies, and vegetation due to climatic and plant physiological factors. Estimating the ET rate is crucial for managing plant water requirements, especially for rice, which requires two to three times more water than other staple crops. Various software tools have been developed to estimate ET; however, many are limited in features and access, particularly those that are commercially licensed. Python, as a widely used programming language, has introduced the Pyet module for ET estimation. This study aims to evaluate and compare evapotranspiration estimates produced by the Cropwat 8.0 software and the Python Pyet module, using climate data from Chiang Mai Province, Thailand, in 2021, with rice as the crop of interest. The results indicate that the Pyet module has strong potential as an ET estimation algorithm, showing a high correlation with Cropwat results ($R^2 = 0.981$), so it can be reliably used for analyzing irrigation needs and agricultural water management.

How to Cite:

Syahputra, W. N. H., Lazuardi, A. D., Wijayanto, Y., Tanzil, A. H. (2025). Komparasi Metode Estimasi Evapotranspirasi Berbasis Cropwat dan Python (Studi Kasus: Chiang Mai, Thailand). *Plumula : Berkala Ilmiah Agroteknologi*, 13(2), 50-56.
<https://doi.org/10.33005/plumula.v13i2.250>

***Author Correspondent:**

Email: wahyu_h@unej.ac.id

PENDAHULUAN

Iklim yang tidak menentu serta pertumbuhan populasi global yang terus meningkat menjadikan ketahanan pangan sebagai tantangan yang kompleks, mengingat kondisi iklim sangat memengaruhi pertumbuhan tanaman dan hasil produksi pertanian. Perubahan iklim, seperti suhu ekstrem dan curah hujan yang tidak teratur, berdampak negatif terhadap produksi padi sebagai salah satu komoditas pangan utama (Rezaei dkk., 2023). Padi merupakan tanaman yang memiliki kebutuhan air lebih tinggi dibandingkan tanaman pangan lainnya, sehingga keterbatasan pasokan air menjadi kendala utama dalam budidaya tanaman ini. Perubahan iklim memengaruhi proses penguapan, evapotranspirasi tanaman (ETc), serta efisiensi penggunaan air (*Water Use Efficiency/WUE*) (Paymard dkk., 2019). Peningkatan suhu udara dapat mempercepat laju penguapan dan evapotranspirasi, sehingga diperlukan pengelolaan yang tepat guna memastikan ketersediaan air yang mencukupi bagi tanaman (Jaafar & Sujud, 2024). Salah satu metode yang dapat digunakan dalam pengelolaan kebutuhan air tanaman adalah dengan menghitung laju evapotranspirasi.

Evapotranspirasi (ET) merupakan proses hilangnya air ke atmosfer melalui penguapan dari permukaan tanah, perairan, serta transpirasi dari jaringan tanaman sebagai hasil interaksi antara faktor lingkungan dan fisiologis tanaman. Oleh karena itu, ET mencerminkan total volume air yang menguap dari tanah, air, dan vegetasi yang dipengaruhi oleh variabel iklim serta karakteristik biologis tanaman. ET berperan penting dalam neraca hidrologi (Chen dkk., 2022). Variabel lingkungan yang memengaruhi ET antara lain radiasi matahari, suhu udara, tekanan udara, kelembaban relatif (RH), dan kecepatan angin. Di sisi lain, karakteristik fisik tanaman seperti jumlah stomata dan luas permukaan daun turut memengaruhi proses evapotranspirasi (Wang dkk., 2023).

Berbagai perangkat lunak seperti AquaCrop, *Decision Support System for Agrotechnology Transfer* (DSSAT), CROPSYST, WOFOST, dan CROPWAT telah banyak dimanfaatkan dalam visualisasi dan simulasi kebutuhan air tanaman serta estimasi ET dalam berbagai kondisi. Namun demikian, sebagian perangkat lunak tersebut memiliki keterbatasan, baik dari segi ketersediaan basis data maupun fitur visualisasi. Beberapa di antaranya juga bersifat berbayar sehingga membatasi akses pengguna. Selain itu, *input* data iklim yang diperoleh dari stasiun cuaca umumnya harus dimasukkan secara manual mengikuti format yang telah ditentukan oleh pengembang aplikasi.

Perkembangan teknologi digital yang pesat telah mendorong peningkatan minat terhadap bahasa pemrograman dan penerapannya di berbagai sektor, termasuk sektor pertanian. Salah satu bahasa pemrograman yang banyak diminati saat ini adalah Python (Cejnek & Vrba, 2022). Python telah digunakan secara luas untuk pengembangan sistem kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*), robotika, serta *Internet of Things* (IoT) (Corno dkk., 2022). Dalam sektor pertanian, penerapan AI berbasis Python telah dilakukan dalam estimasi serapan hara tanaman, deteksi hama menggunakan penglihatan komputer, estimasi kualitas air berbasis model jaringan saraf tiruan, estimasi hasil panen, dan sebagainya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi modul Pyet berbasis Python sebagai pendekatan dalam mengestimasi evapotranspirasi potensial (ETp). Cropwat merupakan aplikasi yang dikembangkan oleh FAO untuk pengelolaan air tanaman berdasarkan estimasi evapotranspirasi referensi (ETo) menggunakan metode Penman-Monteith. Penelitian ini menyajikan analisis korelasi antara hasil estimasi laju ET menggunakan modul Pyet dan aplikasi CROPWAT.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini menggunakan perangkat lunak Cropwat versi 8.0 yang dikembangkan oleh FAO. Python versi 3.10 digunakan dalam penelitian ini untuk menjalankan bahasa pemrograman Python pada sistem operasi Windows 10. Python merupakan bahasa pemrograman yang fleksibel dan dapat dijalankan pada semua sistem operasi. Selain itu, Python bersifat gratis dan dikembangkan di bawah lisensi sumber terbuka (*open-source*). Modul utama Python yang digunakan untuk estimasi evapotranspirasi adalah modul Pyet versi 1.2.2 (Vremec & Collenteur, 2021). Saat ini, modul Pyet dapat menghitung evapotranspirasi potensial (ETp) dengan delapan belas metode, termasuk metode Penman, Penman-Monteith, ASCE-PM, FAO-56, Priestley-Taylor, Kimberly-Penman, Thom-Oliver, Blaney-Criddle, Hamon, Romenako, Linacre, Haude, Turc, Jensen-Haise, McGuinness-Bordne, Hargreaves, FAO-24 radiation, Abtew, Makkink, dan Oudin. Selain modul Pyet, beberapa modul tambahan Python yang digunakan antara lain modul Numpy versi 1.21.6 dan modul Pandas versi 1.3.5. Editor teks Python yang digunakan untuk menganalisis data adalah Jupyter Notebook. Pada

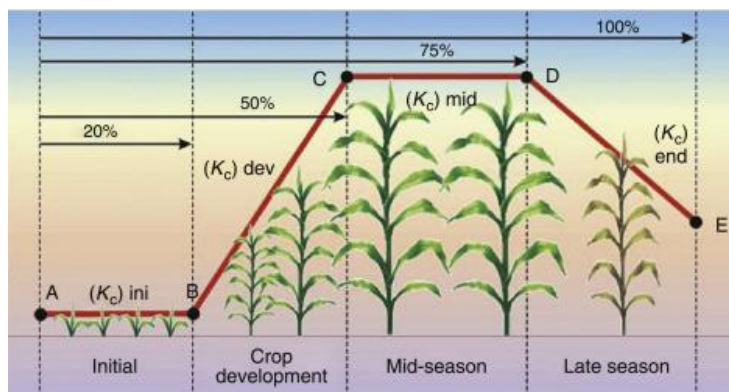
perangkat lunak Cropwat 8.0, estimasi evapotranspirasi dilakukan berdasarkan nilai ETo dengan menggunakan metode Penman-Monteith.

Penelitian ini difokuskan pada lokasi tertentu, yaitu Distrik Mueang (Chiang Mai, Thailand). Data klimatologi diperoleh dari stasiun cuaca dengan koordinat lintang 18-47 LU, bujur 098-59 BT, dan ketinggian 312 meter di atas permukaan laut. Data klimatologi yang dikumpulkan meliputi tekanan udara, suhu maksimum, suhu minimum, kelembaban relatif maksimum, kelembaban relatif minimum, curah hujan, durasi penyinaran matahari, arah angin, dan kecepatan angin. Data yang digunakan merupakan data iklim harian selama tahun 2021.

Evapotranspirasi tanaman (ETc) bervariasi tergantung pada kondisi cuaca (ETo) serta tahap pertumbuhan tanaman. Koefisien tanaman (Kc), yang nilainya berubah selama musim tanam sesuai dengan perubahan fisiologis tanaman, merupakan rasio antara evapotranspirasi referensi (ETo) dan evapotranspirasi tanaman (ETc). Dalam perhitungan ETc , diperlukan nilai koefisien tanaman (Kc), di mana setiap komoditas tanaman memiliki nilai Kc yang berbeda-beda. Untuk menentukan evapotranspirasi tanaman (ETc), digunakan rumus berikut berdasarkan (Farias dkk., 2017):

$$ETc = ETo \times Kc$$

Nilai Kc merepresentasikan pengaruh pertumbuhan tanaman terhadap kebutuhan air (Libardi dkk., 2019). Secara umum, tahap pertumbuhan tanaman dibagi menjadi empat fase, yaitu tahap awal (*initial*), tahap perkembangan tanaman (*crop development*), tahap pertengahan musim (*mid-season*), dan tahap akhir musim (*late season*) (Pokorny, 2018), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Penelitian ini mensimulasikan nilai Kc pada tanaman padi. Berdasarkan referensi FAO, nilai Kc tanaman padi pada masing-masing tahap tersebut adalah 1,05 untuk tahap awal, 1,20 untuk tahap perkembangan, 0,90 untuk tahap pertengahan musim, dan 0,60 untuk tahap akhir musim.



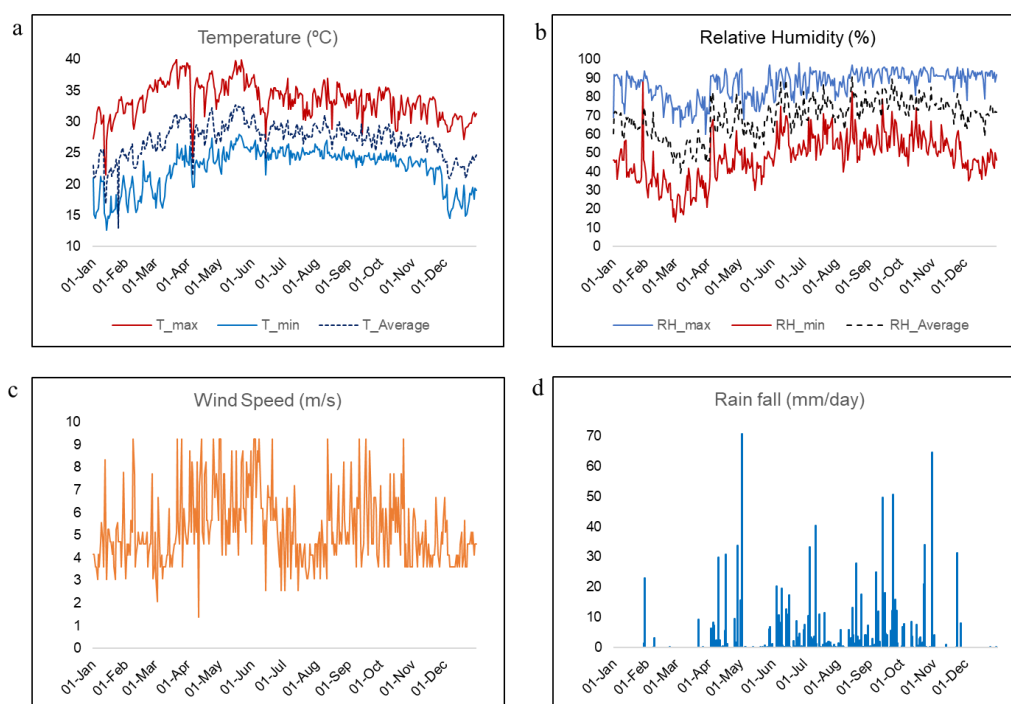
Gambar 1. Tahapan Pertumbuhan Tanaman (Irmak, 2008)

HASIL DAN PEMBAHASAN

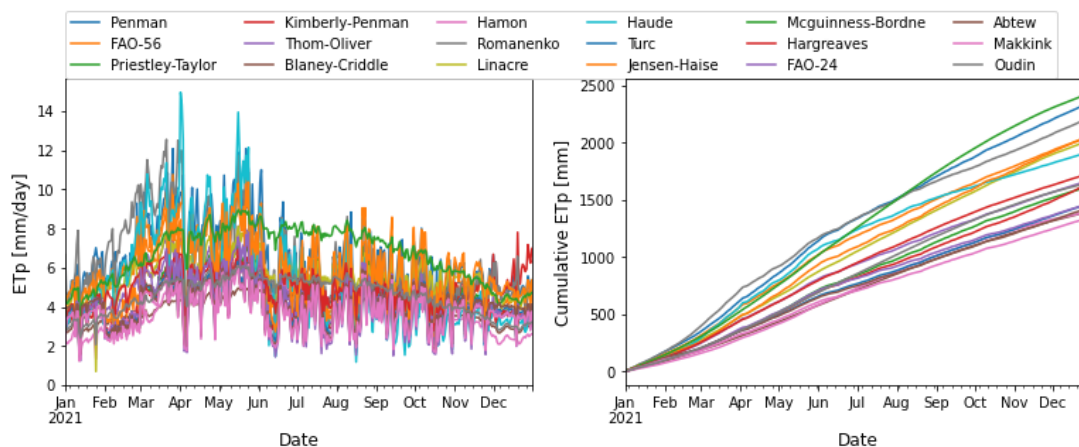
Data iklim harian yang dikumpulkan dari stasiun cuaca Chiang Mai merepresentasikan kondisi mikroklimat di wilayah tersebut. Data yang diperoleh dari stasiun cuaca Chiang Mai pada tahun 2021 meliputi suhu udara, kelembaban relatif (RH), curah hujan, kecepatan angin, dan durasi penyinaran matahari, yang disajikan pada Gambar 2.

Berdasarkan Gambar 2a, suhu di Chiang Mai cenderung meningkat dari bulan Maret hingga Juni. Hal ini juga terlihat dari grafik curah hujan pada Gambar 2d, di mana pada bulan Maret tidak terjadi hujan. Kondisi ini menunjukkan bahwa tanaman yang cocok ditanam pada bulan tersebut adalah tanaman yang tidak membutuhkan banyak air. Mengingat tanaman padi membutuhkan pasokan air yang tinggi, maka akan lebih baik jika penanaman dilakukan pada musim hujan untuk meminimalkan defisit air bagi tanaman (Putra dkk., 2021).

Evapotranspirasi harian disimulasikan menggunakan modul Python *Pyet* yang ditampilkan pada Gambar 3. Modul *Pyet* mampu menghitung ETp dengan delapan belas metode yang berbeda, serta memberikan hasil kumulatif ETp dalam satu tahun, salah satunya adalah metode Penman-Monteith. Sementara itu, perangkat lunak Cropwat 8.0 hanya dapat menghitung estimasi ETo dengan menggunakan metode Penman-Monteith.



Gambar 2. Data Iklim Harian Tahun 2021 di Distrik Mueang, Chiang Mai, Thailand
(a) Suhu; (b) Kelembaban Relatif; (c) Kecepatan Angin; (d) Curah Hujan

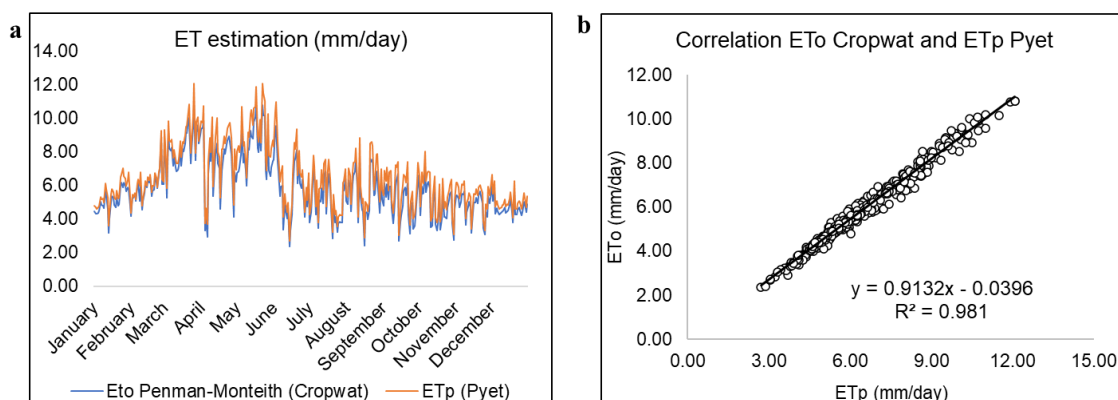


Gambar 3. Estimasi ETp Menggunakan Modul Pyet pada Python

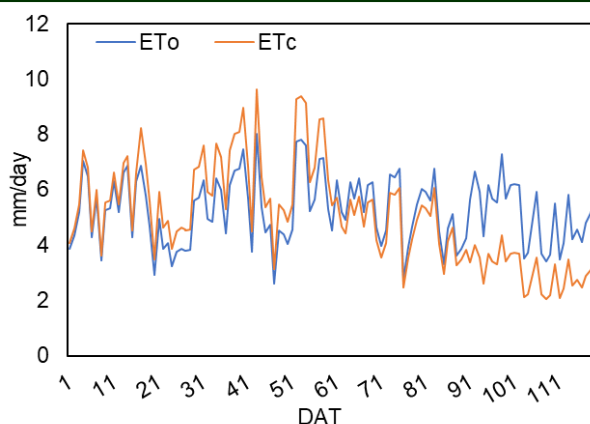
Perbandingan estimasi evapotranspirasi antara Penman-Monteith pada Cropwat 8.0 dan PyET (Gambar 4a) menunjukkan perbedaan yang bervariasi sepanjang tahun. Metode Penman-Monteith (PM) dipilih karena merupakan metode standar yang direkomendasikan oleh FAO (FAO-56) untuk estimasi evapotranspirasi referensi (ET_o), mengingat kemampuannya mengintegrasikan berbagai variabel iklim seperti radiasi matahari, suhu, kelembaban, dan kecepatan angin secara komprehensif dibandingkan metode empiris lain seperti Hargreaves atau Blaney-Criddle (Adlan dkk., 2021). Sehingga, metode Penman-Monteith lebih akurat dan dapat diterapkan pada berbagai kondisi iklim, sehingga lebih andal dalam perencanaan irigasi dan manajemen air pertanian.

Secara umum, ETp dari PyET lebih tinggi dibandingkan ET_o dari Cropwat, terutama pada April–Juni, dengan deviasi maksimum sekitar 1,5 mm/hari. Rata-rata harian ET dari PyET adalah 5,74 mm/hari, sementara dari Cropwat 5,42 mm/hari, dengan selisih rata-rata 0,32 mm/hari ($\pm 5,9\%$). Untuk interpretasi yang tepat, perlu dibedakan antara ET_o dan ETp. ET_o adalah evapotranspirasi dari tanaman referensi dalam kondisi optimal dan digunakan bersama K_c untuk menghitung kebutuhan air tanaman. Sementara ETp mencerminkan evapotranspirasi maksimum dari permukaan terbuka. Keduanya memiliki korelasi tinggi (Gambar 4b), namun digunakan dalam konteks berbeda. ETp umumnya digunakan untuk area yang luas seperti perairan terbuka, daratan, waduk, dan atmosfer. Di sisi lain, ET_o menggunakan persamaan standar dan nilai K_c untuk menghitung kebutuhan air tanaman. Oleh karena itu, definisi ET_o lebih spesifik dibandingkan ETp (Xiang dkk., 2020).

Gambar 4b menunjukkan regresi linier antara ETp (Pyet) dan ET_o (Cropwat) dengan hubungan positif yang sangat kuat ($R^2 = 0,981$). Persamaan regresi ($y = 0,9132x - 0,0396$) menunjukkan bahwa ETp dapat digunakan untuk mengestimasi ET_o dengan tingkat akurasi tinggi. Hubungan ini mendukung penggunaan output PyET dalam Jupyter Notebook untuk menghitung ET_c tanaman melalui rumus $ET_c = K_c \times ET_o$, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 4. (a) Perbandingan ETO metode PM menggunakan Cropwat 8.0 dan ETp menggunakan modul Pyet; (b) Korelasi antara ETO metode PM menggunakan Cropwat 8.0 dan ETp menggunakan modul Pyet



Gambar 5. Grafik Dinamika ETo dan ETc Tanaman Padi Selama Musim Tanam

Simulasi penanaman padi dilakukan pada periode 1 Juli hingga 28 Oktober 2021, yaitu saat intensitas hujan mulai meningkat. Simulasi diasumsikan berlangsung selama 120 hari setelah pindah tanam (*Days After Transplanting/DAT*). Berdasarkan Gambar 5, diketahui bahwa nilai ETc pada tahap awal pertumbuhan lebih tinggi dibandingkan ETo. Hal ini disebabkan oleh nilai Kc yang tinggi pada fase awal dan perkembangan, yang menunjukkan bahwa tanaman membutuhkan lebih banyak air. Pada fase ini terjadi pertumbuhan vegetatif, yakni peningkatan jumlah daun dan anakan, sehingga laju evapotranspirasi juga meningkat (Putra dkk., 2021).

SIMPULAN

Analisis evapotranspirasi berperan penting dalam perencanaan neraca hidrologi dan kebutuhan air pertanian. Cropwat merupakan perangkat lunak dari FAO yang menggunakan metode Penman-Monteith untuk estimasi kebutuhan air tanaman. Sebagai alternatif *open source*, modul PyET dalam Python juga mampu mensimulasikan evapotranspirasi potensial (ETp) menggunakan metode yang sama. Hasil analisis menunjukkan korelasi sangat kuat antara ETp (PyET) dan ETo (Cropwat) dengan R^2 sebesar 0,981, yang mengindikasikan tingkat kesamaan estimasi sebesar 98,1%. Dengan tingkat akurasi tersebut, modul PyET dapat dianggap sebagai alat potensial untuk menghitung evapotranspirasi tanaman (ETc), sehingga dapat diandalkan dalam analisis kebutuhan irigasi dan manajemen air pertanian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Laboratorium REEC, Departemen Teknik Mesin, serta *Laboratory of Precision Agriculture and Geoinformatics*, Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember.

DAFTAR PUSTAKA

- Adlan, Setiawan, B. I., Arif, C., & Saptomo, S. K. (2021). Evaluasi Metode Pendugaan Laju Evapotranspirasi Standar (ETo) Menggunakan Bahasa Pemrograman Visual Basic Microsoft Excel di Kabupaten Nagan Raya Aceh. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 6(1), 35–48. <https://doi.org/10.29244/jsil.6.1.35-48>
- Cejnek, M., & Vrba, J. (2022). Padasip: An open-source Python toolbox for adaptive filtering. *Journal of Computational Science*, 65(October), 101887. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2022.101887>
- Chen, Q. W., Liu, M. J., Lyu, J., Li, G., Otsuki, K., Yamanaka, N., & Du, S. (2022). Characterization of dominant factors on evapotranspiration with seasonal soil water changes in two adjacent forests in the semiarid Loess Plateau. *Journal of Hydrology*, 613(PB), 128427. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128427>
- Corno, F., De Russis, L., & Sáenz, J. P. (2022). Computational notebooks to support developers in prototyping IoT systems. *International Journal of Human Computer Studies*, 165(September 2021). <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2022.102850>
- Farias, V. D. D. S., Lima, M. J. A. DE, Nunes, H. G. G. C., Sousa, D. D. P., & Souza, P. J. D. O. P. DE. (2017). Water Demand, Crop Coefficient and Uncoupling Factor of Cowpea in the Eastern Amazon. *Revista Plumula : Berkala Ilmiah Agroteknologi*: Vol.13. No. 2 Juli 2025

Caatinga, 30(1), 190–200. <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n121rc>

- Irmak, S. (2008). Evapotranspiration. In S. E. Jørgensen & B. D. B. T.-E. of E. Fath (Eds.), *Encyclopedia of Ecology* (pp. 1432–1438). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00270-6>
- Jaafar, H. H., & Sujud, L. H. (2024). High-resolution satellite imagery reveals a recent accelerating rate of increase in land evapotranspiration. *Remote Sensing of Environment*, 315, 114489. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114489>
- Libardi, L. G. P., de Faria, R. T., Dalri, A. B., de Souza Rolim, G., Palaretti, L. F., Coelho, A. P., & Martins, I. P. (2019). Evapotranspiration and crop coefficient (Kc) of pre-sprouted sugarcane plantlets for greenhouse irrigation management. *Agricultural Water Management*, 212, 306–316. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.09.003>
- Paymard, P., Yaghoubi, F., Nouri, M., & Bannayan, M. (2019). Projecting climate change impacts on rainfed wheat yield, water demand, and water use efficiency in northeast Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 138(3–4), 1361–1373. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02896-8>
- Pokorny, J. (2018). Evapotranspiration. *Encyclopedia of Ecology*, 2, 292–303. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11182-0>
- Putra, B. T. W., Syahputra, W. N. H., Rusdamin, Indarto, Anam, K., Darmawan, T., & Marhaenanto, B. (2021). Comprehensive measurement and evaluation of modern paddy cultivation with a hydroganics system under different nutrient regimes using WSN and ground-based remote sensing. *Measurement*, 178, 109420. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109420>
- Rezaei, E. E., Webber, H., Asseng, S., Boote, K., Durand, J. L., Ewert, F., Martre, P., & MacCarthy, D. S. (2023). Climate change impacts on crop yields. *Nature Reviews Earth & Environment*, 4(12), 831–846. <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00491-0>
- Vremec, M., & Collenteur, R. (2021). PyEt-a Python package to estimate potential and reference evapotranspiration. *EGU General Assembly Conference Abstracts*, EGU21--15008.
- Wang, W., Huo, Z., Rong, Y., Wang, C., Zhang, C., & Wang, X. (2023). A novel water use efficiency model based on stomata coupling crop growth and farmland water cycle processes in arid area. *Journal of Hydrology*, 617(PA), 128974. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128974>
- Xiang, K., Li, Y., Horton, R., & Feng, H. (2020). Similarity and difference of potential evapotranspiration and reference crop evapotranspiration – a review. *Agricultural Water Management*, 232(August 2019). <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106043>