

# PERBANDINGAN METODE PENDUGAAN EVAPOTRANSPIRASI BERBASIS RADIASI MATAHARI

## *Comparison of Radiation Based Methods for Estimating Evapotranspiration*

**M. Agita Tjandra, Salsa Nur Fadila, Nika Rahma Yanti\***

Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Andalas

E-mail: nikary@ae.unand.ac.id

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan metode empiris berbasis radiasi yang menghasilkan estimasi evapotranspirasi (ET) paling mendekati metode standar Penman Monteith (PM) di wilayah Kelurahan Cupak Tengah, Kecamatan Pauh, Kota Padang. Analisis dilakukan dengan membandingkan empat metode empiris, yaitu Caprio, Droogers and Allen, Berti, serta McGuinness and Bordne terhadap metode Penman Monteith. Parameter yang digunakan meliputi data radiasi matahari, suhu udara, kelembapan relatif, kecepatan angin, dan tekanan barometer. Hasil analisis regresi linier menunjukkan bahwa seluruh metode memiliki hubungan yang kuat dengan metode Penman Monteith ( $R^2 > 0,90$ ), dengan tingkat kedekatan yang berbeda-beda. Metode McGuinness and Bordne memberikan hasil paling mendekati Penman Monteith dengan persamaan regresi  $y = 0,8601x$  dan  $R^2 = 0,9864$ , diikuti oleh metode Caprio, Droogers and Allen, serta Berti. Dengan demikian, metode McGuinness and Bordne dapat direkomendasikan sebagai alternatif pendugaan evapotranspirasi berbasis radiasi untuk wilayah tropis dengan keterbatasan data meteorologi.

**Kata kunci**— Evapotranspirasi; pendugaan; McGuinness and Bordne, Penman Monteith, radiasi matahari

### ABSTRACT

This study aims to determine the most suitable radiation-based empirical method for estimating evapotranspiration (ET) that closely approximates the standard Penman Monteith (PM) method in Cupak Tengah Subdistrict, Pauh District, Padang City. Four empirical methods (Caprio, Droogers and Allen, Berti, and McGuinness and Bordne) were evaluated against the Penman Monteith reference using meteorological parameters including solar radiation, air temperature, relative humidity, wind speed, and barometric pressure. Linear regression analysis revealed that all empirical methods exhibited a strong correlation with the Penman Monteith method ( $R^2 > 0.90$ ), although with varying levels of agreement. The McGuinness and Bordne method produced the closest estimation to the Penman Monteith, with a regression equation of  $y = 0.8601x$  and  $R^2 = 0.9864$ , followed by Caprio, Droogers and Allen, and Berti methods. Therefore, the McGuinness and Bordne approach can be recommended as a reliable alternative for estimating evapotranspiration in tropical regions with limited meteorological data availability.

**Keywords**—Evapotranspiration; estimating; Penman Monteith; McGuinness and Bordne, solar radiation

### PENDAHULUAN

Evapotranspirasi merupakan hal krusial dalam menjaga keseimbangan air di suatu wilayah. Penentuan besaran evapotranspirasi akan memudahkan dalam manajemen dan mengatur irigasi dan menentukan jumlah air yang dibutuhkan jadi dapat menghindari terjadinya kekurangan air, selanjutnya ketersediaan air tetap terjaga dan produksi tanaman dapat menjadi optimal (Lang et al., 2017). Mengingat sulitnya memperkirakan evapotranspirasi aktual di lapangan menggunakan pengukuran lysimeter dan pendekatan neraca air, ET telah umum digunakan untuk menentukannya (Bandyopadhyay et al., 2012). Beberapa pendekatan untuk menghitung laju ET telah dipublikasikan, namun, menentukan yang paling akurat masih menjadi masalah karena ketersediaan data yang dapat diamati masih menjadi tantangan.

Metode FAO56 Penman Monteith (PMF-56) disarankan sebagai teknik yang diterima untuk menentukan ET oleh *International Irrigation and Drainage and Food and Agriculture Organization United Nations Expert Consultation*. Jika dibandingkan dengan pendekatan lain, pendekatan ini

menghasilkan laju ET yang paling adaptif karena memperhitungkan berbagai karakteristik cuaca yang terkait dengan proses evapotranspirasi, termasuk radiasi, kelembaban, suhu, tekanan uap, dan kecepatan angin. Namun, semua variabel masukan ini mungkin tidak tersedia untuk area tertentu, khususnya di negara-negara berkembang di mana masalah kualitas data dan tantangan dalam mengumpulkan semua informasi meteorologi yang diperlukan dapat menjadi kendala yang signifikan (Rahimi Khoob, 2008)(Wanniarachchi & Sarukkalige, 2022).

Radiasi matahari secara signifikan mempengaruhi evapotranspirasi dengan berperan sebagai pendorong utama dalam proses terjadinya evapotranspirasi. Semakin besar radiasi yang diterima permukaan bumi, semakin besar pula potensi evapotranspirasi yang terjadi, baik dari permukaan tanah (evaporasi) maupun tanaman (transpirasi). Penerimaan radiasi juga erat kaitannya dengan faktor musim, pada musim hujan, jumlah curah hujan dan tutupan awan meningkat yang dapat menyebabkan lama penyinaran matahari menjadi lebih pendek, sehingga wilayah dengan tutupan awan yang tinggi dapat menyebabkan penurunan hasil panen dan produktivitas (Mubarak et al., 2018)

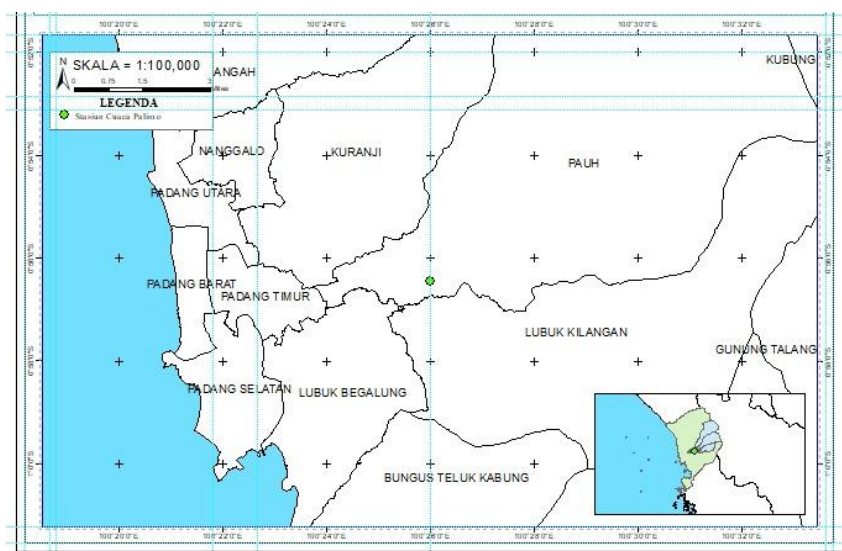
Berbagai penelitian telah menguji metode perhitungan evapotranspirasi berbasis radiasi matahari di berbagai lokasi dan kondisi iklim (Proutsos et al., 2023; Samsuar et al., 2022). Meskipun demikian, masih terdapat tantangan dalam mengadaptasi model-model ini untuk kondisi lokal yang memiliki karakteristik iklim dan penggunaan lahan yang beragam. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi metode perhitungan evapotranspirasi berbasis radiasi matahari yang lebih tepat guna. Studi ini membandingkan efektivitas model berbasis radiasi dalam memperkirakan ET yang dibandingkan dengan metode PM untuk wilayah Kelurahan Cupak Tengah, Kecamatan Pauh, Kota Padang. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang berguna untuk pemilihan metode yang tepat dalam estimasi evapotranspirasi di daerah yang kurang memiliki data meteorologi yang lengkap, serta mendukung perencanaan dan pengelolaan sumber daya air dan pertanian yang lebih efisien.

Berdasarkan uraian diatas, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan akurasi dalam perhitungan evapotranspirasi, yang pada akhirnya dapat mendukung pengelolaan sumber daya air yang lebih efisien dan berkelanjutan, terutama dalam menghadapi perubahan iklim global.

## METODOLOGI PENELITIAN

### A. Lokasi Penelitian

Penelitian ini menggunakan data stasiun Palimo yang terdapat di kelurahan Cupak Tengah, Kecamatan Pauh, Kota Padang. Secara geografis stasiun ini terletak pada  $0^{\circ} 56' 26,5''$  LS -  $100^{\circ} 25' 58,4''$  BT dengan ketinggian 115 mdpl. Peta lokasi stasiun cuaca bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi stasiun Palimo

## B. Alat dan Bahan

Alat yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu perangkat keras dan perangkat lunak. Pada perangkat keras yang digunakan adalah laptop, sedangkan pada perangkat lunak yang digunakan adalah Microsoft Excel. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data cuaca yang didapatkan dari Weather Hawk (*weather station*) terdiri dari parameter-parameter seperti radiasi matahari, suhu, kelembaban, tekanan barometer dan kecepatan angin yang diambil setiap 20 menit dari stasiun cuaca Palimo Indah. Alat Data yang digunakan dalam penelitian ini yakni dari tahun 2020-2023.

## C. Metode

Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan metode Caprio, Droogers and Allen, Berti, dan McGuinness and Bordne dengan metode Penman Monteith dalam mengevaluasi pendugaan evapotranspirasi berbasis radiasi matahari di wilayah penelitian. Kemudian dilakukan evaluasi persamaan regresi,  $R^2$  dan standar deviasi pada masing-masing metode, sehingga akan menghasilkan nilai evapotranspirasi yang mendekati metode Penman Monteith sebagai metode acuan.

Tabel 1. Detail parameter persamaan yang digunakan untuk menentukan evapotranspirasi

| Persamaan             | Referensi                   | Formula                                                             | Parameter                         |
|-----------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Caprio                | (Čadro et al., 2017)        | $ET_0 = (0.01092708T_{mean} + 0.0060706) R_s$                       | $R_s, T_{mean}$                   |
| Droogers and Allen    | (Wayan Sutapa et al., 2021) | $ET_0 = 0.00102R_s (T_{mean} + 16.8) (T_{max} - T_{min})^{0.5}$     | $R_s, T_{mean}, T_{max}, T_{min}$ |
| Berti                 | (Djaman et al., 2015)       | $ET_0 = 0.00193R_s (T_{mean} + 17.8) (T_{max} - T_{min})^{0.5}$     | $R_s, T_{mean}, T_{max}, T_{min}$ |
| McGuinness and Bordne | (Okkan & Kiyamaz, 2020)     | $ET_0 = \{(0.0082(T_{mean} + 32) - 0.19)((23,8846 R_s)/1500)\}25.4$ | $R_s, T_{mean}$                   |

Ket:  $ET_0$  = Evapotranspirasi potensial (mm/hari),  $R_s$  = Radiasi Matahari ( $MJ/m^2/hari$ ),  $T_{mean}$  = suhu rata-rata ( $^{\circ}C$ ),  $T_{max}$  = Suhu maksimum ( $^{\circ}C$ ),  $T_{min}$  = suhu minimum ( $^{\circ}C$ ).

### Persamaan Penman Monteith

Pada tahun 1948, Penman menggabungkan keseimbangan energi yang dapat dihitung menggunakan metode perpindahan massa, sehingga menghasilkan persamaan untuk menghitung penguapan dari permukaan air terbuka. Persamaan ini menggunakan data klimatologi seperti radiasi matahari, suhu, kelembaban dan kecepatan angin. Metode kombinasi ini dikembangkan lebih lanjut oleh banyak peneliti dan diperluas ke permukaan yang dipotong dengan memasukkan faktor resistensi (Htwe & Thant, 2014). Model evapotranspirasi ini merupakan metode standar FAO modifikasi dari model sebelumnya dengan jumlah data yang dibutuhkan adalah sama. Adapun persamaannya sebagai berikut (Allen et al., 1998) :

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + \frac{R_s}{r_a})}$$

Keterangan:

- $ET_0$  : Evapotranspirasi potensial (mm/hari)
- $R_n$  : Radiasi net ( $MJ/m^2/hari$ )
- $G$  : Kepadatan fluks panas tanah ( $MJ/m^2/hari$ )
- $T$  : Suhu ( $^{\circ}C$ )
- $\Delta$  : Kurva kemiringan tekanan uap ( $kPa/^{\circ}C$ )
- $\gamma$  : Konstanta psikometrik ( $kPa/^{\circ}C$ )
- $U_2$  : Kecepatan angin (m/s)
- $e_s$  : Tekanan uap saturasi (kPa)
- $e_a$  : Tekanan uap aktual (kPa)
- $P_a$  : Tekanan udara (hPa)

## D. Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil estimasi evapotranspirasi dari empat metode empiris berbasis radiasi terhadap nilai acuan metode Penman Monteith. Nilai evapotranspirasi

harian dihitung menggunakan masing-masing metode berdasarkan data cuaca Stasiun Palimo Indah periode 2020–2023. Selanjutnya, dilakukan analisis regresi linier sederhana untuk menilai tingkat kesesuaian antara metode empiris dan Penman Monteith melalui koefisien determinasi ( $R^2$ ) dan kemiringan garis regresi. Evaluasi ketelitian dilakukan dengan menghitung nilai standar deviasi (SD), di mana nilai  $R^2$  yang tinggi menunjukkan estimasi yang lebih akurat dan SD yang kecil data cenderung seragam dan konsisten. Hasil analisis kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik hubungan linear guna memudahkan interpretasi dan penentuan metode yang paling mendekati nilai evapotranspirasi acuan.

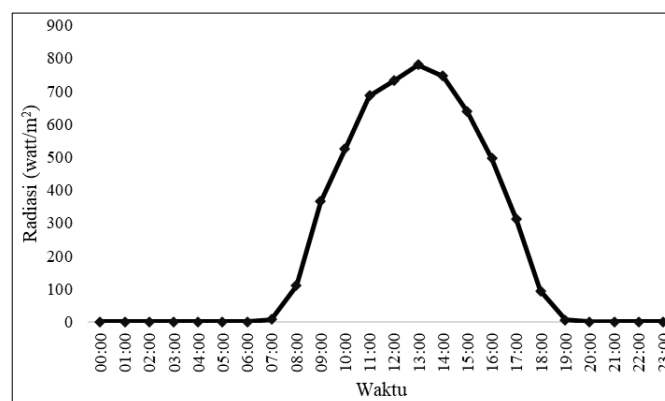
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Evapotranspirasi merupakan proses hilangnya air dari permukaan bumi ke atmosfer melalui dua mekanisme utama, yaitu evaporasi dari permukaan tanah atau air dan transpirasi dari jaringan tanaman. Kedua proses ini dapat menggambarkan hubungan erat antara kondisi atmosfer, permukaan lahan dan vegetasi. Persamaan Penman Monteith digunakan untuk memperkirakan laju evapotranspirasi karena mengintegrasikan antara energi matahari, udara, dan transpirasi dari tanaman. Persamaan ini menggunakan data klimatologi yakni radiasi matahari, suhu, kelembapan dan kecepatan angin.

### 1. Radiasi Matahari

Sinar matahari memiliki peran penting dalam menyuplai energi untuk proses evapotranspirasi sehingga menunjukkan hubungan yang kuat antara radiasi matahari dan nilai Evapotranspirasi Penman Monteith (Allen et al., 1998). Radiasi matahari memiliki hubungan linear yang paling baik dibandingkan dengan parameter iklim yang lain (Samsuar et al., 2022). Stasiun Palimo Indah tanggal 1 April 2020, didapat nilai radiasi matahari dengan pola persebaran seperti Gambar 2.

Saat siang hari intensitas radiasi matahari semakin meningkat hingga mencapai nilai 700 Watt/m<sup>2</sup>, yang dapat mengakibatkan suhu pada siang hari juga meningkat. Hal ini juga diperkuat dengan penelitian (Sianturi, 2021) di Jambi yang menyatakan bahwa nilai maksimum radiasi global pada tengah hari dapat mencapai 1200 Watt/m<sup>2</sup> dan nilai radiasi baur mencapai 600 Watt/m<sup>2</sup> saat tengah hari. Siang hari nilai radiasi matahari tinggi karena kombinasi faktor-faktor seperti sudut datang sinar matahari, kondisi cuaca, dan aktivitas matahari. Radiasi matahari berasal dari proses thermonuklir yang terjadi di matahari. Konsentrasi radiasi matahari memiliki aktivitas tinggi ketika siang hari saat cuaca cerah yakni sekitar jam 07:00 s/d jam 15:00 wib. Namun, radiasi matahari tersebut dapat mengalami perubahan ketika terhalang oleh awan atau hujan (Subiakto, 2015).

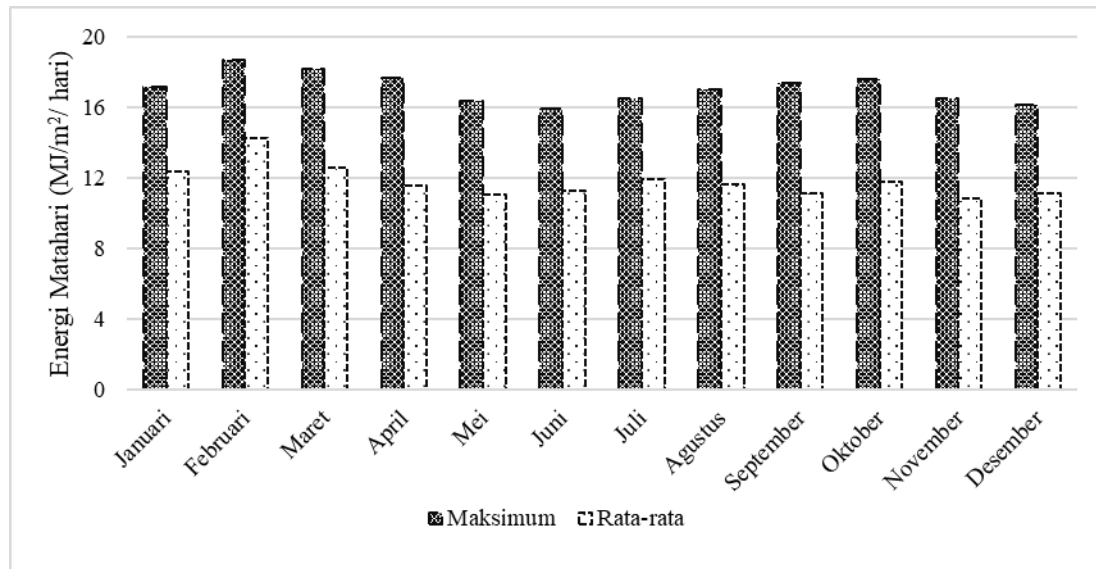


Gambar 2. Radiasi Matahari (Watt/m<sup>2</sup>) pada 1 April 2020

### 2. Energi Matahari

Energi matahari merupakan sumber utama dalam neraca energi permukaan yang mengendalikan berbagai proses fisik di atmosfer dan biosfer, termasuk penguapan, transpirasi, serta fotosintesis tanaman. Besarnya energi radiasi yang diterima di permukaan bumi bergantung pada posisi matahari, kondisi atmosfer, tutupan awan, serta karakteristik lokal seperti elevasi dan lintang geografis (Allen et al., 1998). Analisis terhadap besarnya energi matahari, baik nilai maksimum maupun rata-rata

bulanannya, penting dilakukan untuk memahami dinamika ketersediaan energi di lokasi kajian. Gambar 3 merepresentasikan energi matahari bulanan dan hubungannya dalam mempengaruhi evapotranspirasi.



Gambar 3. Sebaran energi matahari bulanan maksimum dan rata-rata

Berdasarkan Gambar 3, rata-rata energi matahari yang dihasilkan dari tahun 2020-2023 berkisar antara 10.5 – 14 MJ/m<sup>2</sup>/hari. Hal ini dikarenakan Indonesia memiliki sinar matahari melimpah sepanjang tahun yaitu lebih dari 6 jam sehari atau sekitar 2400 jam setahun, dengan intensitas rata-rata sekitar 4.8 kWh/m<sup>2</sup> per hari atau setara dengan 17.2 MJ/m<sup>2</sup>/hari diseluruh wilayah Indonesia (Octavianti et al., 2018).

Fluktuasi energi matahari yang terjadi setiap bulannya dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti letak matahari, variasi intensitas sinar matahari, topografi, kondisi cuaca, dan lainnya. Perbedaan topografi seperti letak terhadap garis lintang, ketinggian, dan jenis permukaan tanah dapat mempengaruhi jumlah energi matahari yang mencapai permukaan bumi. Komposisi atmosfer juga berpotensi mempengaruhi jumlah energi Matahari yang diterima. Hal ini berkaitan dengan jumlah uap air di atmosfer yang dapat menahan laju sinar matahari, terutama jika disertai hujan. Fluktuasi energi matahari yang terjadi setiap bulannya dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti letak Matahari, variasi intensitas sinar Matahari, topografi, kondisi cuaca, dan lain-lain. Banyaknya energi matahari yang mampu mencapai permukaan bumi dapat diakibatkan oleh perbedaan topografi, seperti letak terhadap garis lintang, ketinggian, dan jenis permukaan tanah. Komposisi atmosfer juga berpotensi mempengaruhi jumlah energi Matahari yang diterima. Analisis *time series* berkaitan dengan beberapa faktor yang kemungkinan mempengaruhi durasi radiasi matahari, seperti aktivitas matahari serta fenomena El Nino dan La Nina. Lama penyinaran yang pendek biasanya terjadi pada cuaca yang sangat berawan, lembap, atau bahkan hujan sepanjang hari, yang merupakan salah satu ciri daerah hujan tropis (Hamdi & Sumaryati, 2020).

Posisi matahari terhadap bumi mempengaruhi lama penyinaran matahari. Posisi matahari yang tepat di atas garis khatulistiwa mempengaruhi sudut datangnya sinar matahari ke permukaan bumi. Matahari bergerak di sekitar bumi dalam lintasan elips yang disebut ekliptika. Pada bulan Januari, matahari berada di bagian utara khatulistiwa yang menyebabkan lama penyinaran matahari relatif lebih pendek dan intensitas radiasi matahari menurun, sedangkan pada bulan November matahari berada di bagian selatan khatulistiwa (Yuliatmaja, 2009). Musim penghujan terjadi ketika matahari berada di utara khatulistiwa, sehingga nilai radiasi yang lebih rendah dibandingkan musim kemarau. Nilai radiasi yang sampai ke permukaan bumi berbeda-beda sesuai dengan kondisi langit, karena curah hujan yang tinggi dapat mengurangi intensitas radiasi matahari (Endriatno et al., 2022).

### 3. Laju Evapotranspirasi

Perhitungan laju ET dari ke 5 metode memiliki hasil yang berbeda-beda sebagaimana tersaji dalam Tabel 2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ET yang dihasilkan metode Penman Monteith berkisar antara 2,38 mm/hari sampai 3,12mm/hari.

| Tabel 2. Perbandingan Laju ET Rata-rata Bulanan |                                                                  |        |                    |       |                       |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------|--------------------|-------|-----------------------|
| Bulan                                           | Rata-rata Nilai ET harian (mm/hari) setiap bulan Tahun 2020-2023 |        |                    |       |                       |
|                                                 | Penman Monteith                                                  | Caprio | Droogers and Allen | Berti | McGuinness and Bordne |
| Januari                                         | 2,801                                                            | 3,721  | 1,665              | 2,671 | 2,346                 |
| Februari                                        | 3,124                                                            | 4,346  | 2,040              | 2,061 | 2,791                 |
| Maret                                           | 2,939                                                            | 4,079  | 1,837              | 1,882 | 2,572                 |
| April                                           | 2,741                                                            | 1,921  | 1,639              | 1,921 | 2,375                 |
| Mei                                             | 2,681                                                            | 3,706  | 1,563              | 1,930 | 2,351                 |
| Juni                                            | 2,622                                                            | 3,337  | 1,504              | 1,834 | 2,161                 |
| Juli                                            | 2,584                                                            | 3,605  | 1,572              | 1,896 | 2,244                 |
| Agustus                                         | 2,589                                                            | 3,585  | 1,556              | 1,955 | 2,277                 |
| September                                       | 2,467                                                            | 3,343  | 1,463              | 1,828 | 2,150                 |
| Oktober                                         | 2,468                                                            | 3,333  | 1,470              | 1,895 | 2,141                 |
| November                                        | 2,386                                                            | 3,178  | 1,380              | 1,691 | 1,991                 |
| Desember                                        | 2,589                                                            | 3,375  | 1,465              | 1,818 | 2,125                 |
| Rata-rata                                       | 2,666                                                            | 3,461  | 1,596              | 1,994 | 2,294                 |
| S.Deviasi                                       |                                                                  | 0,594  | 0,580              | 0,890 | 0,407                 |

Secara umum, perolehan laju ET tertinggi diperoleh pada bulan Februari, kecuali pada metode Berti perolehan tertinggi didapatkan pada Bulan Januari. Hasil ini mengindikasikan bahwasannya radiasi matahari berpengaruh langsung terhadap laju evapotranspirasi yang terjadi, dimana data radiasi bulan februari juga merupakan nilai tertinggi pada setiap tahunnya (Valipour, 2015)(Proutsos et al., 2023). Intensitas radiasi matahari yang tinggi maka akan menyebabkan tanaman cepat kering diakibatkan laju evaporasi yang meningkat. Selain itu juga akan menyebabkan banyak stomata terbuka, yang pada gilirannya meningkatkan laju transpirasi (Khusni et al., 2018).

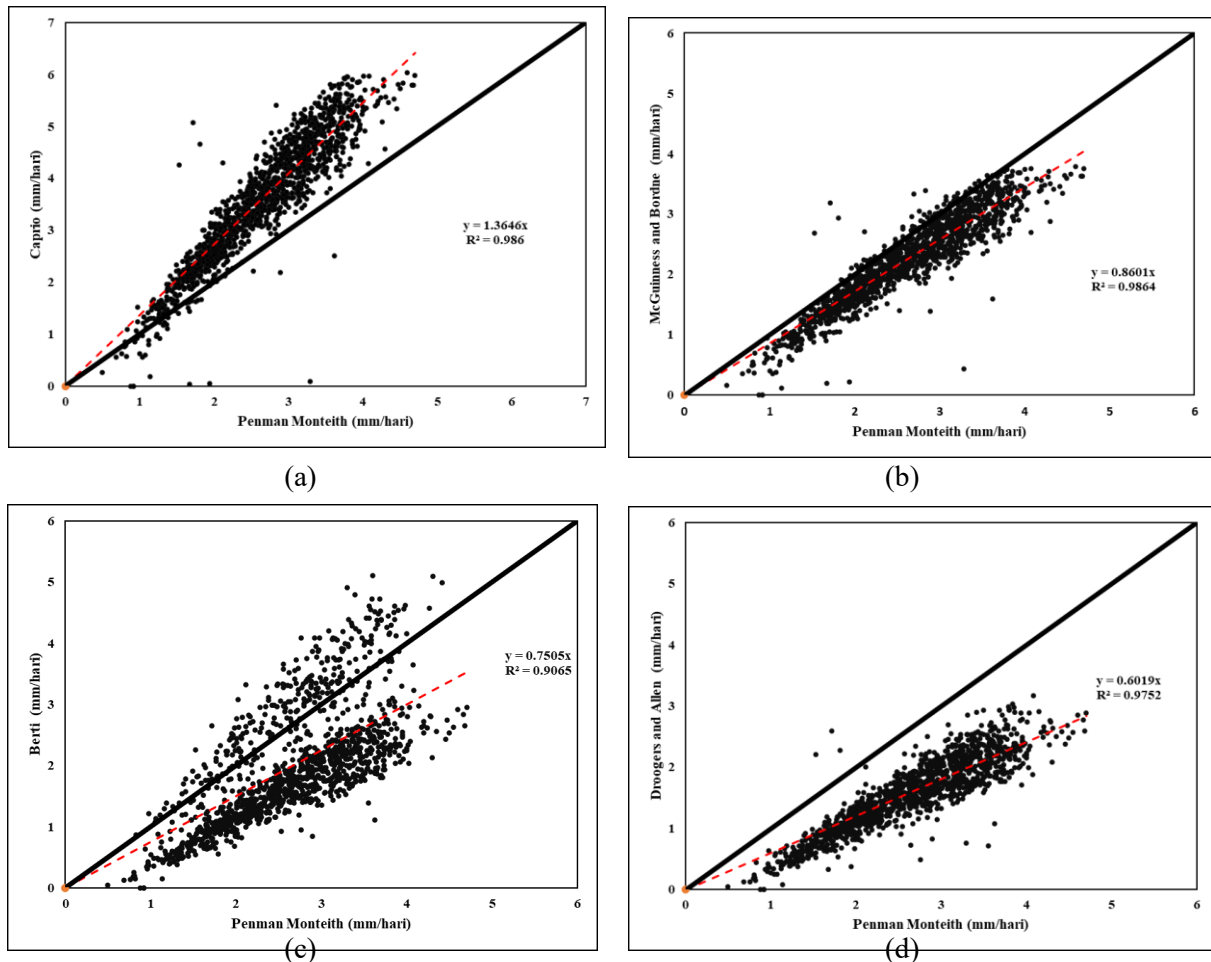
Standar deviasi adalah ukuran yang digunakan untuk mengukur seberapa jauh data beragam. Jika standar deviasi rendah, maka data cenderung berdekatan dengan rata-rata. Sebaliknya, jika standar deviasi tinggi, maka data tersebar lebih luas dalam rentang nilai (Suban et al., 2019). Standar deviasi yang didapatkan berbeda-beda setiap metode yang dibandingkan. Metode McGuinness and Bordne memiliki nilai standar deviasi terkecil yaitu 0,407 yang artinya antara metode McGuinness and Bordne dan metode Penman Monteith memiliki data variasi yang relatif kecil, sehingga dapat dikatakan bahwa metode McGuinness and Bordne merupakan metode yang paling mendekati hasil metode Penman Monteith. Pada sisi berlawanan perolehan SD terbesar didapatkan pada metode Berti 0,890 sehingga dapat dikatakan perbedaan rentang nilai ET relatif jauh dengan metode PM. Berdasarkan hasil yang diperoleh urutan perbandingan metode-metode ini adalah metode McGuinness and Bordne, Caprio, Droogers and Allen, dan Berti

### 4. Perbandingan Evapotranspirasi berbagai Metode

Analisis perbandingan evapotranspirasi harian dilakukan melalui pendekatan regresi linier guna mengevaluasi tingkat kesesuaian antara metode empiris berbasis radiasi dan metode acuan Penman Monteith. Hal ini bertujuan untuk melihat sejauh mana hasil estimasi masing-masing metode mengikuti pola variasi evapotranspirasi acuan yang dihitung berdasarkan parameter meteorologis lengkap. Hasil perbandingan ini dapat dilihat pada Gambar 4.

Setiap grafik memiliki garis hitam solid 1:1 (kesesuaian) dan garis regresi merah putus-putus (hubungan aktual). Persamaan regresi dan nilai  $R^2$  menunjukkan seberapa baik setiap metode empiris dengan Penman Monteith. Laju ET yang terjadi setiap harinya berkisar antara 1 hingga 5 mm/hari. Secara jelas dapat dilihat bahwasannya sebaran hasil yang diperoleh pada setiap perbandingan tidak

terlalu jauh berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang sangat kuat antar kedua metode yang dibandingkan karena nilai *R square* hampir mendekati nilai satu (Güzel et al., 2023).



Gambar 4. Perbandingan nilai ET; (a) Penman Monteith-Caprio, (b) Penman Monteith-Droogers and Allen, (c) Penman Monteith-Berti, (d) Penman Monteith-McGuinness and Bordne

Metode McGuinness and Bordne menunjukkan hasil paling mendekati metode Penman Monteith dengan persamaan regresi  $y = 0,8601x$  dan  $R^2 = 0,9864$ . Hal ini menunjukkan bahwa metode ini memiliki tingkat akurasi tinggi dalam merepresentasikan laju evapotranspirasi aktual berdasarkan data radiasi, suhu, dan kelembapan. Koefisien kemiringan sebesar 0,8601 mengindikasikan bahwa metode McGuinness and Bordne cenderung sedikit menyimpang nilai evapotranspirasinya dibandingkan metode Penman Monteith, khususnya pada nilai ET yang tinggi. Namun, pola sebaran data yang mengikuti garis 1:1 menunjukkan bahwa kedua metode memiliki hubungan yang konsisten dan stabil pada berbagai kondisi. Hasil ini menguatkan bahwa metode McGuinness and Bordne memiliki performa yang baik dalam menduga evapotranspirasi berbasis radiasi pada daerah beriklim tropis lembap seperti Kota Padang. Temuan ini sejalan dengan penelitian (Berti et al., 2014) yang menyatakan bahwa metode berbasis radiasi, terutama McGuinness and Bordne, memberikan hasil estimasi yang cukup dekat dengan Penman Monteith apabila data radiasi dan suhu tersedia secara akurat.

Metode Caprio menghasilkan nilai regresi  $y = 1,3646x$  dengan  $R^2 = 0,986$ , menunjukkan kecenderungan overestimasi terhadap nilai ET-PM, terutama pada kisaran evapotranspirasi tinggi. Fenomena serupa juga dilaporkan oleh (Trajkovic & Kolakovic, 2009) yang menjelaskan bahwa metode Caprio sensitif terhadap fluktuasi suhu harian dan cenderung melebihkan estimasi pada daerah berintensitas radiasi tinggi. Sementara itu, metode Berti ( $y = 0,7505x$ ;  $R^2 = 0,9065$ ) dan Droogers and Allen ( $y = 0,6019x$ ;  $R^2 = 0,9752$ ) menunjukkan kecenderungan underestimasi terhadap ET-PM, yang mengindikasikan bahwa metode tersebut kurang mampu menangkap pengaruh faktor aerodinamik seperti kecepatan angin dan defisit tekanan uap. Hal ini membuatnya menjadi yang kurang tepat untuk diandalkan dari keempat perbandingan metode yang digunakan. Dengan demikian, metode

McGuinness and Bordne dapat direkomendasikan sebagai alternatif praktis untuk pendugaan evapotranspirasi di daerah yang keterbatasan datanya belum memungkinkan penerapan metode Penman Monteith secara penuh.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis regresi linier terhadap empat metode empiris, diperoleh bahwa seluruh metode menunjukkan hubungan yang kuat dengan metode Penman Monteith ( $R^2 > 0,90$ ), namun dengan tingkat akurasi yang bervariasi. Metode McGuinness and Bordne menghasilkan nilai  $R^2 = 0,9864$  dan kemiringan garis regresi  $y = 0,8601x$ , yang menunjukkan tingkat kesesuaian paling tinggi terhadap nilai evapotranspirasi Penman Monteith. Sehingga, metode ini dapat direkomendasikan sebagai alternatif pendugaan evapotranspirasi berbasis radiasi untuk wilayah dengan ketersediaan data meteorologi terbatas. Urutan kesesuaian perbandingan metode-metode dengan Penman Monteith adalah metode McGuinness and Bordne, Caprio, Droogers and Allen, dan Berti.

## DAFTAR PUSTAKA

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). FAO Irrigation and Drainage Paper Crop by. *Irrigation and Drainage*, 300(56), 300.
- Bandyopadhyay, A., Bhadra, A., Swarnakar, R. K., Raghuwanshi, N. S., & Singh, R. (2012). Estimation of reference evapotranspiration using a user-friendly decision support system: DSS\_ET. *Agricultural and Forest Meteorology*, 154–155, 19. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.10.013>
- Berti, A., Tardivo, G., Chiaudani, A., Rech, F., & Borin, M. (2014). Assessing reference evapotranspiration by the Hargreaves method in north-eastern Italy. *Agricultural Water Management*, 140, 20–25. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.03.015>
- Čadro, S., Uzunović, M., Žurovec, J., & Žurovec, O. (2017). Validation and calibration of various reference evapotranspiration alternative methods under the climate conditions of Bosnia and Herzegovina. *International Soil and Water Conservation Research*, 5(4), 309–324. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.07.002>
- Djaman, K., Balde, A. B., Sow, A., Muller, B., Irmak, S., N'Diaye, M. K., Manneh, B., Moukoubi, Y. D., Futakuchi, K., & Saito, K. (2015). Evaluation of sixteen reference evapotranspiration methods under sahelian conditions in the Senegal River Valley. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3(March), 139–159. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.02.002>
- Endriatno, N., Sudarsono, S., Sudia, B., Imran, A. I., Aminur, A., Aksar, P., & Salimin, S. (2022). Kajian Intensitas Radiasi Matahari Bulanan Untuk Pemanfaatan Energi Surya di Sulawesi Tenggara. *Jurnal Fokus Elektroda : Energi Listrik, Telekomunikasi, Komputer, Elektronika Dan Kendali*, 7(1), 18. <https://doi.org/10.33772/jfe.v7i1.23117>
- Güzel, H., Üneş, F., Erginer, M., Kaya, Y. Z., Taşar, B., Erginer, İ., & Demirci, M. (2023). A comparative study on daily evapotranspiration estimation by using various artificial intelligence techniques and traditional regression calculations. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 20(6), 11328–11352. <https://doi.org/10.3934/mbe.2023502>
- Hamdi, S., & Sumaryati. (2020). Pola Lama Penyinaran Matahari Dalam 20 Tahun Pengamatan Di Sumedang (Sunshine Duration Pattern During 20 Years Observation At Sumedang). *Jurnal Sains Dirgantara*, 7(2), 81–94. <https://doi.org/10.30536/j.jsd.2020.v17.a3111>
- Htwe, A. T., & Thant, A. A. (2014). *Comparison of Radiation-based Method and the Standard Penman-Monteith Estimates of Reference Evapotranspiration in Myanmar*. 03(05), 857–864.
- Khusni, L., Hastuti, R. B., & Prihastanti, E. (2018). Pengaruh Naungan terhadap Pertumbuhan dan Aktivitas Antioksidan pada Bayam Merah (*Alternanthera amoena* Voss.). *Buletin Anatomi Dan Fisiologi*, 3(1), 62. <https://doi.org/10.14710/baf.3.1.2018.62-70>
- Lang, D., Zheng, J., Shi, J., Liao, F., Ma, X., Wang, W., Chen, X., & Zhang, M. (2017). A comparative study of potential evapotranspiration estimation by eight methods with FAO Penman–Monteith method in southwestern China. *Water (Switzerland)*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/w9100734>
- Mubarak, S., June, T., Fmipa, G., Lv, W., & Ipb, K. (2018). Efisiensi Penggunaan Radiasi Matahari dan Respon Tanaman Kedelai ( *Glycine max* L .) terhadap Penggunaan Mulsa Reflektif Solar

- Radiation Use Efficiency and Soybean ( *Glycine max* L .) Responses to the Utilization of Reflective Mulches. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 46(3), 247–253.
- Octavianti, A., Muliadi, & Apriansyah. (2018). Estimasi Intensitas Radiasi Matahari di Wilayah Kota Makassar. *Prisma Fisika*, 6, No. 3(3), 152–159.
- Okkan, U., & Kiymaz, H. (2020). Questioning of empirically derived and locally calibrated potential evapotranspiration equations for a lumped water balance model. *Water Science and Technology: Water Supply*, 20(3), 1141–1156. <https://doi.org/10.2166/wcc.2019.292>
- Proutsos, N., Tigkas, D., Tsevreni, I., Alexandris, S. G., Solomou, A. D., Bourletsikas, A., Stefanidis, S., & Nwokolo, S. C. (2023). A Thorough Evaluation of 127 Potential Evapotranspiration Models in Two Mediterranean Urban Green Sites. *Remote Sensing*, 15(14), 1–41. <https://doi.org/10.3390/rs15143680>
- Rahimi Khoob, A. (2008). Comparative study of Hargreaves's and artificial neural network's methodologies in estimating reference evapotranspiration in a semiarid environment. *Irrigation Science*, 26(3), 253–259. <https://doi.org/10.1007/s00271-007-0090-z>
- Samsuar, S., Mubarak, H., & Lestari, N. (2022). Estimation of Potential Evapotranspiration for Optimizing the Usage of Surface Irrigation in Wajo District. *Jurnal Agritechno*, 15(02), 141–148. <https://doi.org/10.20956/at.vi.935>
- Sianturi, Y. (2021). Pengukuran dan Analisa Data Radiasi Matahari di Stasiun Klimatologi Muaro Jambi. *Megasains*, 12(1), 40–47. <https://doi.org/10.46824/megasains.v12i1.45>
- Suban, A. L., Reja, I. D., & Doren, H. Y. M. (2019). Optimalisasi Pemahaman Materi Rangkaian Logika Menggunakan Metode Diredt Instruction dan Perangkat Bantu Simulasi Circuit Wizard. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 6(1).
- Subiakto, T. (2015). Selisish rerata radiasi matahari bulanan musim panas dan hujan hasil observasi tahun 2015 di Balailapan Pasuruan. *Seminar Nasional Pendidikan Saintek 2016*, 242–248.
- Trajkovic, S., & Kolakovic, S. (2009). Evaluation of reference evapotranspiration equations under humid conditions. *Water Resources Management*, 23(14), 3057–3067. <https://doi.org/10.1007/s11269-009-9423-4>
- Valipour, M. (2015). Retracted: Comparative Evaluation of Radiation-Based Methods for Estimation of Potential Evapotranspiration. *Journal of Hydrologic Engineering*, 20(5). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0001066](https://doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0001066)
- Wanniarachchi, S., & Sarukkalige, R. (2022). A Review on Evapotranspiration Estimation in Agricultural Water Management: Past, Present, and Future. *Hydrology*, 9(7), 1–12. <https://doi.org/10.3390/hydrology9070123>
- Wayan Sutapa, Saparuddin, Arafat, Y., Lipu, S., Rustiati, N. B., & Putu Hendra Adi Pratama, I. (2021). The Performance of Thirty-Eight Evapotraspiation Methods against the Penman Montieth Method. *Journal of Engineering Research (Kuwait)*, 11(1), 136–147. <https://doi.org/10.36909/jer.13251>
- Yuliatmaja, M. R. (2009). Kajian Lama Penyinaran Matahari Dan Intensitas Radiasi Matahari Terhadap Pergerakan Semu Matahari Saat Solstice Di Semarang. *Skripsi*, 4.