

Pengaruh Teknik dan Frekuensi Irigasi terhadap *Water Footprint*, Pertumbuhan, dan Hasil Tumpangsari Jagung dengan Kacang Tanah di Lahan Kering

I Ketut Ngawit^{1*}, Anjar Pranggawan Azhari², Amrul Jihadi³

^{1,2,3}Program Studi Agroekoteknologi, Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas
Mataram, Jl. Majapahit No.62, Mataram, NTB (83125), Indonesia

Email Correspondent*: ngawit@unram.ac.id

Abstract

A common problem in dryland agriculture is the limited availability of irrigation water. Although groundwater irrigation systems are available, they require electrical energy and are less economical. This study aimed to analyze the water footprint of intercropped maize and peanuts using conventional, sprinkler, and evapotranspiration irrigation techniques. Different irrigation frequencies were investigated to determine the optimal irrigation technique with the best water supply. The experiment was conducted using a two-factor randomized block design (RBD). The first factor was irrigation technique, which included three levels: surface, sprinkler, and subsurface irrigation. The second factor was irrigation frequency, with five levels: every 5, 10, 15, 20, and 25 days. Subsurface irrigation every 10 days resulted in the highest water demand (180.36 l m^{-2}), grain yield (2.98 kg m^{-2}), and water footprint ($0.65 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$). Compared to manual irrigation every 25 d (lowest yield: 1.06 kg m^{-2}), this represented a yield increase of 182% (HSD 0.05 = 0.1162). Irrigation every 10 days resulted in a yield of 2.91 kg m^{-2} with a water footprint of $0.61 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$. The water footprint values of the different treatments differed significantly (HSD 0.05 = 0.0323). Subsurface irrigation and subsurface irrigation at a frequency of 5–10 days (evapotranspiration-based irrigation) significantly increased actual evapotranspiration, water efficiency, plant growth, and yield. Sprinkler and subsurface irrigation techniques with an irrigation frequency of once every 10 days are recommended for maize-peanut intercropping in arid regions, as they achieve the highest productivity, although the water footprint tends to be higher

Keywords: water use efficiency, actual evapotranspiration, subsurface irrigation, evapotranspirative irrigation

Abstrak

Masalah yang sering dijumpai pada pengelolaan lahan kering adalah keterbatasan air irigasi. Meskipun tersedia sistem irigasi air tanah, tetapi teknologi ini masih membutuhkan energi listrik atau kurang ekonomis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis water footprint pada budidaya tumpangsari jagung dengan kacang tanah dengan menerapkan teknik irigasi konvensional, sprinkler dan bawah permukaan dengan prinsip irigasi evapotranspiratif menggunakan berbagai skenario tingkat frekuensi irigasi sehingga diperoleh teknik irigasi terunggul dengan pemberian volume air yang optimal. Percobaan menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) dua faktor perlakuan yaitu teknik irigasi yang terdiri atas 3 taraf, yaitu irigasi permukaan, overhead sprinkler dan bawah permukaan. Sedangkan faktor yang kedua tingkat frekuensi irigasi yang terdiri atas 5 taraf frekuensi penyiraman, yaitu: setiap 5, 10, 15, 20 dan 25 hari sekali. Irigasi bawah permukaan dengan frekuensi 10 hari menghasilkan kebutuhan air tertinggi ($180,36 \text{ l m}^{-2}$), hasil setara gabah tertinggi ($2,98 \text{ kg m}^{-2}$), dan water footprint $0,65 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$. Dibanding irigasi manual frekuensi 25 hari (hasil terendah $1,06 \text{ kg m}^{-2}$), terjadi peningkatan hasil 182% (BNJ 0,05 = 0,1162). Irigasi sprinkler 10 hari memberikan hasil $2,91 \text{ kg m}^{-2}$ dengan water footprint $0,61 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$. Nilai water footprint antar perlakuan berbeda signifikan (BNJ 0,05 = 0,0323). Irigasi bawah permukaan dan sprinkler dengan frekuensi 5–10 hari (irigasi evapotranspiratif) secara signifikan meningkatkan evapotranspirasi aktual, efisiensi air, serta pertumbuhan dan hasil tanaman. Teknik irigasi sprinkler dan bawah permukaan dengan volume frekuensi penyiraman setiap 10 hari sekali direkomendasikan untuk tumpangsari jagung-kacang tanah di lahan kering karena memberikan produktivitas tertinggi, meskipun water footprint cenderung lebih tinggi.

Kata Kunci: efisiensi penggunaan air, evapotranspirasi aktual, irigasi bawah permukaan, irigasi evapotranspirasi

PENDAHULUAN

Adanya fenomena perubahan iklim ektrim pada kahir-akhir ini menyebabkan

terjadi masalah kekeringan di beberapa daerah khususnya di daerah yang memiliki curah hujan yang sedikit. Wilayah seperti ini

perubahan iklim dan variabilitasnya berpengaruh signifikan terhadap ketersediaan air irigasi. Terlebih lebih lagi bila terjadi fenomena El-nino maka di beberapa wilayah Indonesia mengalami kekeringan ekstrim dan ketersediaan air tanah memiliki peranan penting karena air merupakan salah satu kebutuhan utama yang wajib harus dipenuhi oleh tanaman. Masalah ini akan menimbulkan kebijakan dan praktek yang sangat menyulitkan terhadap sistem produksi pertanian yang berkelanjutan (Olayide et al., 2016).

Saat ini kebutuhan air terus akan meningkat, sedangkan ketersediaan sumber air mulai berkurang. Penyebabnya selain karena fenomena El-nino juga karena penebangan hutan yang dilakukan secara berlebihan dan juga penebangan yang dilakukan dengan tidak bertanggung jawab. Pada daerah yang rawan akan kekeringan yang hanya mengandalkan air hujan sebagai sumber pengairan, hal inilah yang akan menjadi masalah utama karena akan muncul wilayah lahan kering yang semakin luas. Lahan kering pada dasarnya merupakan lahan-lahan yang secara alamiahnya memiliki beberapa kendala sehingga dalam upaya pemanfaatannya untuk dijadikan sebagai lahan yang produktif untuk pembudidayaan tanaman, dibutuhkan upaya yang ekstra (Ekaputra et al., 2016). Kendala yang umum terjadi dalam upaya pengelolaan lahan kering yakni kesulitan dalam menyediakan air yang cukup bagi kebutuhan tanaman, kondisi tanah ini pun juga miskin unsur hara sehingga dibutuhkan dosis pemupukan yang lebih banyak. Karakter lainnya, yakni tanah yang berbatu sehingga sangat sulit untuk diolah secara mekanis. Upaya dalam penanganan masalah ini

diperlukan tindakan yang tepat, yaitu dengan menggunakan teknik irigasi yang sesuai sehingga permasalahan tersebut dapat diatasi dan selanjutnya lahan kering tersebut dapat dimanfaatkan (Witman, 2021).

Pada beberapa lokasi, seperti misalnya di beberapa wilayah lahan kering pulau Lombok, Propinsi Nusa Tenggara Barat, tersedia sistem irigasi air tanah yang dapat menyediakan air untuk irigasi, tetapi teknologi ini masih membutuhkan energi listrik atau minyak diesel untuk mengoperasikan pompa. Sehingga secara ekonomi seringkali kurang menguntungkan karena biaya produksi yang tinggi. Lebih lanjut, kondisi ini menjadi sangat krusial mengingat luas lahan kering di Pulau Lombok mencapai ratusan ribu hektar. Teknologi irigasi evapotranspiratif dapat diterapkan untuk mengatasi masalah tersebut karena memiliki beberapa keunggulan. Diantaranya adalah operator hanya perlu mengisi air (termasuk nutrisi) dalam bak penampung atau bejana sekali, untuk mencukupi kebutuhan air dan nutrisi dalam beberapa hari kedepan dan tanpa penggunaan sumber daya listrik atau minyak diesel setiap melakukan penyiraman tanaman. Air dan nutrisi hanya hilang apabila digunakan untuk evapotranspirasi tanaman dengan tinggi muka air yang dapat dikendalikan oleh kran dengan katup otomatis yang dapat membuka dan menutup sendiri (Arif et al., 2022; Pande dan Arif, 2023). Teknologi ini dikembangkan dari konsep irigasi evaporasi (Ardiansyah et al., 2019) dan telah diterapkan untuk berbagai jenis tanaman seperti padi (Agustina et al., 2022). Irigasi evapotranspiratif terus dikembangkan termasuk sistem pengaliran air ke tanaman hortikultura dan tanaman perkebunan. Teknologi ini memungkinkan

penggunaan sistem irigasi overhead sprinkler dan bawah permukaan (*sub surface irrigation*). Pada sistem irigasi bawah permukaan, air diresapkan di bawah zona perakaran tanaman didalam tanah, sehingga dapat mengurangi evaporasi (Valentín et al., 2020).

Konsep water footprint (jejak air) merupakan salah satu konsep yang sangat mendukung irigasi evapotranspiratif, karena dapat digunakan untuk mengetahui efektifitas dalam penggunaan air. Konsep water footprint memungkinkan untuk mengetahui jumlah pemakaian air yang diperlukan pada suatu aktivitas budidaya tanaman untuk menghasilkan produk tanaman tertentu (Putra dan Saptomo, 2022). Konsep water footprint ini dapat dilakukan dalam upaya mengukur penghematan pemakaian kebutuhan air untuk budidaya tanaman agar dapat meningkatkan produktivitas hasil panen tanpa harus menggunakan sumber daya air yang berlebihan.

Penelitian tentang irigasi evapotranspiratif pada lahan kering sejauh ini lebih banyak dilakukan pada tanaman tunggal di rumah kaca. Studi yang membandingkan langsung teknik irigasi permukaan, sprinkler, dan bawah permukaan pada sistem tumpangsari jagung-kacang tanah di lapangan, serta mengukur water footprint-nya secara simultan, masih sangat terbatas. Sehubungan dengan permasalahan yang telah diuraikan tersebut, maka dilakukan penelitian ini yang tujuan utamanya untuk: 1) Menganalisis nilai water footprint pada budidaya tumpangsari jagung dengan kacang tanah dengan menerapkan teknik irigasi konvensional, sprinkler dan irigasi bawah permukaan dengan prinsip irigasi evapotranspiratif menggunakan

berbagai skenario tingkat frekuensi irigasi. 2). Menentukan teknik irigasi terunggul dengan pemberian volume air yang optimal. Hipotesis yang diajukan adalah teknik irigasi dan frekuensi penyiraman berpengaruh nyata terhadap semua parameter, serta irigasi bawah permukaan dan sprinkler dengan frekuensi 5–10 hari menghasilkan efisiensi air dan hasil lebih baik dibanding irigasi manual frekuensi jarang.

METODE

Penelitian menggunakan metode eksperimental, yang dilaksanakan pada tanah tegalan milik petani di Dusun Lendang mamben, Desa Anyar, Kecamatan Bayan, Kabupaten Lombok Utara, Proinsi Nusa Tenggara Barat, Indonesia. Penelitian dilaksanakan mulai Bulan Mei 2024 sampai dengan Bulan November 2024. Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah: cangkul, sabit, handtraktor, timbangan analitik, oven, portable leaf area meter, plant tester Merk YMJ-A, sensor EC-5 dari Meter Group Ltd., Humidity Meter R-9062, Termohygro meter MAX-MIN-TH208B, penggaris, gunting pangkas, ember, handsprayer Merk Knapzak-16 l, amplop kertas, papan etiket, tali plastik, pipa paralon berbagai ukuran, selang plastik, keran tipe springkel, keran tetes, kamera, dan alat penunjang lainnya. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: Benih jagung varietas hibrida Bisi-2, benih kacang tanah varietas Gajah, pupuk organik padat, pupuk Urea, pupuk ZK, pupuk TSP, insektisida Desis 25 EC dan fungisida Siento 550 EC.

Percobaan dilakukan pada tanah tegalan yang telah disesain dengan rancang bangun sistem usahatani petak-petak

ekologis terpadu, dengan sistem pola tanam tumpangsari antara jagung dengan kacang tanah dan aplikasi pupuk organik dari limbah kandang ternak sapi dan ternak ayam dengan dosis 25 ton ha⁻¹ ditambah NPK Poska dosis 250 kg ha⁻¹. Percobaan menggunakan Rancangan acak kelompok (RAK) dua faktor perlakuan yaitu teknik irigasi yang terdiri atas 3 taraf, yaitu irigasi curah (manual), overhead sprinkler dan irigasi bawah permukaan. Sedangkan faktor yang ke-dua tingkat frekuensi irigasi (v) yang terdiri atas 5 taraf frekuensi penyiraman, yaitu: v1 = setiap 5 hari sekali, v2 = 10 hari sekali, v3 = 15 hari sekali, v4 = 20 hari sekali, dan v5 = 25 hari sekali. Masing-masing percobaan ditempatkan secara acak dalam tiga blok.

Perlakuan volume irigasi berdasarkan besarnya evaporasi dari permukaan air bebas yang diukur dengan panci penguapan menggunakan alat drum dengan diameter 60 cm dan tinggi 45 cm yang diisi air setinggi 500 mm. Kc adalah koefisien tanaman dan Eo adalah evaporasi panci yang diukur setiap dua hari sekali sebelum irigasi. Nilai Eo didapatkan dengan mengukur selisih tinggi air yang berkurang di dalam panci pada pukul 07.00 pagi setiap dua hari sekali. Pengurangan tinggi air merupakan nilai Eo yang akan dikalikan dengan 5 konstanta yang berbeda (1, 2, 3, 4 dan 5). Kemudian nilai tersebut dikalikan dengan luas permukaan petak-petak percobaan dan koefisien tanaman (kc) pada setiap fase yang berbeda, maka akan didapat volume air yang diberikan berdasarkan masing-masing perlakuan (Sulistiyono dan Juliana, 2014). Nilai kc tanaman semusim adalah 0,4; 0,75; 1,1; 1,0; dan 0,9. Masing-masing untuk umur tanaman awal, vegetatif, pembungaan, pematangan, dan pemasakan (Ulhaq et al., 2022).

Berdasarkan perhitungan itu, dapat diketahui volume irigasi yang diberikan setiap hari, yaitu dengan mengalikan nilai konstanta, kc, Eo, dan luas petak percobaan (contohnya: 1 x kc x 0.1Eo x luas petak perlakuan).

Data primer yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh melalui pengukuran secara langsung dengan sensor dan stasiun cuaca di lokasi penelitian termasuk kelembaban tanah. Jumlah air irigasi yang dialirkan ke petak-petak perlakuan tanaman, diukur secara manual setiap hari, berdasarkan data tinggi muka air, dan penurunan tinggi muka air pada bak penampung. Jumlah selama siklus tanam dijadikan sebagai hasil pengukuran blue water footprint. Sedangkan kelembaban tanah diukur dengan menggunakan sensor EC-5 dari Meter Group Ltd. pada kedalaman 5 cm di bawah permukaan tanah. Data pertumbuhan dan hasil tanaman yang diukur menggunakan parameter berat biomassa kering tanaman dan berat biji kering hasil panen yang diperoleh, kemudian ditabulasi setelah masa pemanenan.

Analisis data meliputi perhitungan kebutuhan air tanaman dan water footprint, pertumbuhan dan hasil tanaman. Kebutuhan air irigasi diperoleh dari banyaknya jumlah air yang digunakan dalam memenuhi kebutuhan air yang telah terpakai dalam aktivitas yang terjadi pada tanaman seperti evapotranspirasi.

Perhitungan evapotranspirasi potensial dapat dilakukan dengan menggunakan model Hargreaves yang menggunakan parameter suhu dan radiasi matahari (Fausan et al., 2020). Metode ini banyak digunakan karena hanya menggunakan minimum input parameter cuaca dengan hasil yang mendekati metode standar FAO melalui model Penman-

Monteith. Perhitungan menggunakan model Hargreaves, yang dapat dihitung menggunakan persamaan (1) (Assyifa dan Arif, 2023) dengan asumsi tidak tersedia data kecepatan angin dan radiasi matahari dihitung dari suhu udara maksimum dan suhu udara minimum.

$$ET_o = 0,0135 (T_{\text{mean}} + 17,78) R_s \\ (238,8/595,5 - 0,55 \times T_{\text{mean}}) \dots (1)$$

Keterangan:

ET_o = Evapotranspirasi potensial (mm/hari)
 T_{mean} = Suhu udara rata-rata ($^{\circ}\text{C}$)
 R_s = Radiasi matahari ($\text{MJ m}^{-2} \text{ hari}^{-1}$).

Water footprint merupakan jumlah keseluruhan air yang digunakan dalam suatu proses untuk menghasilkan produk tertentu. Terdapat tiga komponen pada water footprint, yaitu: green water footprint, blue water footprint, dan *grey water footprint* (Hoekstra, 2017). Pengukuran nilai green water footprint mengacu pada jumlah air hujan yang mengalami evaporasi selama proses budidaya tanaman. Dalam pelaksanaan percobaan ini, karena tidak pernah turun hujan maka penggunaan air hujan sebagai penyedia kebutuhan air tidak terjadi. Nilai blue water footprint mengacu pada jumlah penggunaan air permukaan serta air tanah sebagai irigasi yang ter-evaporasi selama proses produksi. Nilai grey water footprint menunjukkan jumlah air yang terpakai untuk mereduksi polutan seperti polutan yang berasal dari pemakaian pestisida dan pupuk kimia pada budidaya tanaman (Budiman, 2017). Oleh sebab itu, grey water ditentukan dengan persamaan dari data penggunaan pupuk. Nilai total water footprint dapat dihitung dengan persamaan berikut ini (Assyifa dan Arif, 2023):

$$WF = Wf_{\text{blue}} + Wf_{\text{grey}} \dots (2)$$

$$Wf_{\text{blue}} = CWU_{\text{blue}} / Y \dots (3)$$

$$Wf_{\text{grey}} = WU_{\text{grey}} / Y \dots (4)$$

Keterangan:

WF = Water footprint tanaman ($\text{m}^3 \text{ kg}^{-1}$)

Y = Hasil panen (kg m^{-2})

Wf_{blue} = Blue water footprint tanaman ($\text{m}^3 \text{ kg}^{-1}$)

Wf_{grey} = Grey water footprint tanaman ($\text{m}^3 \text{ kg}^{-1}$)

CWU_{blue} = Blue crop water use/kebutuhan air tanaman ($\text{m}^3 \text{ m}^{-2}$)

Wu_{grey} = Grey water use (m^3/m^2)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Media penanaman menggunakan sistem irigasi manual, sprinkler dan bawah permukaan dan pipa digunakan sebagai media pengaliran air irigasi. Meskipun dikendalikan dengan kran otomatis, kebutuhan air selama masa tanam sedikit berfluktuasi pada semua skenario sistem irigasi. Akan tetapi, perubahan tinggi muka air pada bak penampung tidak signifikan dan masih mendekati dengan tinggi muka air yang relatif sama. Rata-rata tinggi muka air pada bak penampung selama aplikasi sistem irigasi manual, sprinkler dan bawah permukaan adalah 7,2 cm, 12,9 cm, dan 10,6 cm yang berarti penyimpangan tinggi muka air hanya 2,45%, 0,95%, dan 5,63%. Hal ini menunjukkan bahwa irigasi evapotranspiratif mampu mengendalikan tinggi muka air bak penampung dengan sangat baik. Teknologi yang dikembangkan ini merupakan teknologi yang sederhana dan tidak membutuhkan sumberdaya energi listrik dengan menggunakan sistem irigasi evapotranspiratif yang dapat menjaga tinggi muka air yang dikehendaki. Hal ini sejalan dengan usaha peningkatan produktivitas hasil pertanian

dapat dilakukan melalui upaya seperti pengembangan teknologi sistem irigasi berbasis irigasi evapotranspiratif (Triana et al., 2018; Muharomah et al., 2023).

Ketiga sistem irigasi yang diterapkan berpengaruh signifikan terhadap kelembaban tanah pada masing-masing petak perlakuan. Berdasarkan hasil pengukuran, kelembaban tertinggi terjadi pada perlakuan irigasi bawah permukaan dan tingkat volume irigasi 5 kc.Eo, dengan rata-rata kelembaban sebesar $0,53 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Sistem irigasi sprinkler pada tingkat volume irigasi yang sama memiliki rata-rata kelembaban sebesar $0,47 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Kelembaban terendah terjadi pada sistem irigasi manual dengan tingkat volume irigasi 1 kc.Eo dan kelembaban sebesar $0,35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Kelembaban tanah pada setiap perlakuan skenario sistem irigasi yang diterapkan ternyata bersifat linier sejalan dengan semakin bertambahnya tingkat volume irigasi. Bila dibandingkan dengan tinggi muka air pada bak penampung, kelembaban tanah berkorelasi positif dengan penurunan tinggi muka air pada bak penampung.

Lebih rendahnya kelembaban tanah pada perlakuan irigasi manual dan sprinkler, diduga karena penanaman dilakukan di lapang, sehingga parameter cuaca seperti kecepatan angin berpengaruh pada evapotranspirasi. Secara biologis, kelembaban tanah yang lebih tinggi pada irigasi bawah permukaan dibandingkan irigasi manual dan sprinkler memungkinkan akar jagung dan kacang tanah menyerap air secara kontinu tanpa mengalami cekaman air.

Situasi ini menjaga turgor sel, membuka stomata lebih lama, dan meningkatkan laju fotosintesis bersih yang meningkatkan akumulasi biomasa kering (Caterina et al., 2018). Sebaliknya pada irigasi manual air yang diberikan ke tanaman lebih besar menghilang sebelum sempat masuk ke zona perakaran akibat evaporasi permukaan dan run-off. Dari sisi hidrologi, irigasi bawah permukaan menekan evaporasi langsung dari permukaan tanah karena air tidak terpapar sinar matahari dan angin. Air yang diberikan hampir seluruhnya tersedia untuk transpirasi, sehingga rasio transpirasi terhadap evaporasi lebih tinggi daripada irigasi manual (valentin et al., 2020). Hal ini menjelaskan mengapa kebutuhan air total lebih tinggi namun produktivitas air (hasil per unit evapotranspirasi) juga lebih baik.

Parameter lain seperti suhu udara dan radiasi matahari menjadi faktor dominan yang berpengaruh pada proses evapotranspirasi. Radiasi matahari rata-rata yang diperoleh selama 16 minggu setelah penanaman sebesar $4,01 \text{ MJ m}^{-2} \text{ hari}^{-1}$ sedangkan suhu rata-rata yang diperoleh sebesar $29,73^\circ\text{C}$. Dibandingkan dengan di wilayah dataran tinggi nilai radiasi matahari tersebut 42% lebih kecil (Arif et al., 2022). Hal ini berimbas pada semakin kecilnya evapotranspirasi yang terjadi dibandingkan dengan di wilayah dataran rendah, yang mana lokasi percobaan berada di wilayah dataran rendah (Elmetwalli dan Elnemr, 2020).

Tabel 1. Pengaruh sistem irigasi permukaan, sprinkler dan irigasi bawah permukaan dan frekuensi penyiraman terhadap evapotranspirasi potensial (mm minggu⁻¹) tanaman

Perlakuan	Hasil Pengamatan Minggu Ke-													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Manual	9,88 a	9,36 a	8,65 a	7,17 a	6,69 a	6,49 a	6,24 a	5,98 a	5,85 a	5,85 a	7,00 a	7,65 a	10,00 a	10,47 a
Sprinkler	8,98 b	8,77 b	8,06 b	6,99 b	6,62 a	6,43 a	5,87 c	5,97 a	5,59 b	5,59 b	6,18 c	6,79 c	8,18 c	8,30 c
Bawah Permukaan	8,56 b	8,53 c	8,15 b	6,79 c	6,28 b	6,10 b	6,12 b	5,80 b	5,42 c	5,42 c	6,71 b	7,33 b	8,97 b	8,44 b
BNJ0.05	0,409	0,216	0,457	0,348	0,216	0,103	0,072	0,069	0,065	0,065	0,004	0,015	0,068	0,191
Vi	7,40 c	7,89 d	7,54 c	6,74 b	6,27 c	6,11 c	5,82 c	5,56 d	5,02 d	5,02 d	5,38 e	5,78 e	7,02 d	7,19 d
V2	7,81 c	7,56 e	6,62 d	6,09 c	5,86 d	5,80 d	5,61 d	5,36 e	5,00 d	5,00 d	5,48 d	5,91 d	7,01 d	7,20 d
V3	9,09 b	8,33 c	8,31 b	7,03 b	6,56 b	6,30 b	5,95 b	5,82 c	5,57 c	5,57 c	6,58 c	7,21 c	9,09 c	902 c
V4	9,60 b	9,81 b	9,33 a	5,50 a	6,94 a	6,71 a	6,48 a	6,34 b	6,17 b	6,17 c	7,66 b	8,45 b	10,84 b	10,50 b
V5	11,27a	10,13a	9,64 a	7,56 a	7,02 a	6,78 a	6,54	6,50 a	6,33 a	6,33 a	8,03 a	8,92 a	11,27 a	11,44 a
BNJ0.05	0,528	0,278	0,590	0,449	0,162	0,133	0,092	0,089	0,084	0,084	0,005	0,019	0,088	0,246

Keterangan : Angka pada kolom yang sama diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata pada uji BNJ 0,05

Tabel 2. Pengaruh sistem irigasi permukaan, sprinkler dan bawah permukaan dan frekuensi penyiraman terhadap evapotranspirasi aktual tanaman (mm minggu⁻¹)

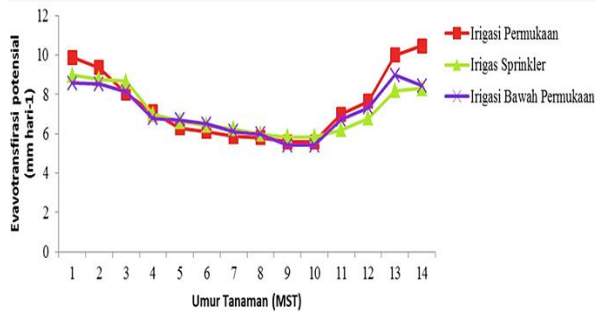
Perlakuan	Hasil Pengamatan Minggu Ke-													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Manual	3,425c	3,413c	6,048b	7,474b	6,275b	6,097b	5,874c	5,799b	5,415c	4,874c	5,557c	6,114c	7,359c	7,467b
Sprinkler	3,593b	3,509b	6,116b	7,697b	6,619a	6,430a	6,244a	5,971a	5,590b	5,031b	6,039b	6,593b	8,070b	7,592b
Bawah Permukaan	3,953a	3,743a	6,484a	7,882a	6,690a	6,488a	6,118b	5,979a	5,851a	5,266a	6,296a	6,881a	8,995a	9,427a
BNJ0.05	0,163	0,086	0,343	0,382	0,1257	0,1031	0,0715	0,0695	0,0650	0,0585	0,0034	0,0134	0,0612	0,1716
V1	3,840b	3,924b	7,000a	8,254a	6,939a	6,706a	6,482a	6,341b	6,174b	5,556b	6,895b	7,602b	9,753b	9,451b
V2	4,507a	4,051a	7,227a	8,319a	7,016a	6,781a	6,537a	6,504a	6,332a	5,698a	7,229a	8,028a	10,14a	10,291a
V3	3,636b	3,614c	6,231b	7,419b	6,557b	6,293b	5,946b	5,817c	5,574c	5,017c	5,925c	6,491c	8,183c	8,115c
V4	3,176c	3,154d	5,657c	7,735b	5,859d	6,113c	5,822c	5,561d	4,996d	4,496d	4,932d	5,323d	6,304d	6,473d
V5	3,124c	3,031e	4,963d	6,695c	6,269e	5,801d	5,607d	5,361e	5,018d	4,516d	4,842e	5,203e	6,321d	6,481d
BNJ0.05	0,2111	0,1113	0,4427	0,4935	0,1623	0,1331	0,0922	0,0898	0,0839	0,0755	0,0043	0,0173	0,0789	0,2216

Keterangan: Angka pada kolom yang sama diikuti huruf kecil yang sama tidak berbeda nyata pada uji BNJ0,05

Tabel 3. Pengaruh sistem irigasi permukaan, sprinkler dan bawah permukaan dan frekuensi penyiraman terhadap kebutuhan air tanaman (l m⁻² hari⁻¹)

Perlakuan	Hasil Pengamatan Minggu Ke-													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Manual	6,852c	6,826c	12,10b	14,95c	12,55b	12,19b	11,75c	11,60b	10,83c	9,75c	11,12c	12,23c	14,72c	14,94b
Sprinkler	7,186b	7,017b	12,23b	15,39a	13,24a	12,86a	12,24b	11,94a	11,18b	10,06b	12,08b	13,18b	16,14b	15,18b
Bawah Permukaan	7,904a	7,485a	12,97a	15,77a	13,38a	12,98a	12,49a	11,96a	11,70a	10,53a	12,59a	13,76a	17,99a	18,85a
BNJ0.05	0,3271	0,1725	0,6859	0,7645	0,2514	0,2062	0,1429	0,1391	0,1300	0,1170	0,0067	0,0268	0,1223	0,3433
V1	3,840b	7,848b	14,00a	16,51a	13,88a	13,41a	12,96a	12,68b	12,35b	11,11b	13,79b	15,20b	19,51b	18,90b
V2	9,015a	8,101a	14,45a	16,64a	14,03a	13,56a	13,07a	13,01a	12,66a	11,39a	14,46a	16,06a	20,29a	20,58a
V3	3,636b	7,228c	12,46b	15,71b	13,11b	12,58b	11,89b	11,63c	11,15c	10,03c	11,85c	12,98c	16,37c	16,23c
V4	3,124c	6,309d	11,32c	15,47b	12,54c	12,22c	11,64c	11,12d	10,04d	9,032d	9,863d	10,65d	12,64d	12,96d
V5	3,176c	6,062e	9,926d	13,39c	11,72d	11,60d	11,21d	10,72e	9,992d	8,993d	9,684e	10,41e	12,61d	12,95d
BNJ0.05	0,4223	0,2226	0,8855	0,9870	0,3246	0,2662	0,1846	0,1796	0,1679	0,1511	0,0087	0,0346	0,1580	0,4432

Keterangan: Angka pada kolom yang sama diikuti huruf kecil yang sama tidak berbeda nyata pada uji BNJ0,05



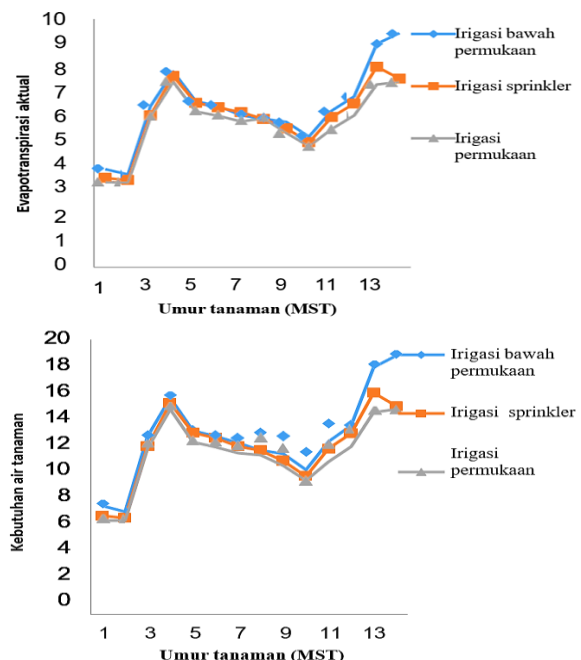
Gambar 1. Grafik perbandingan evapotranspirasi potensial pada perlakuan irigasi permukaan, sprinkler dan bawah permukaan selama pengamatan 14 minggu

Perhitungan kebutuhan air tanaman dilakukan untuk menentukan nilai *water footprint* hingga akhir siklus pertumbuhan. Kebutuhan air dihitung berdasarkan evapotranspirasi tanaman (ETc), yang diperoleh dari hasil perkalian evapotranspirasi potensial (ETo) dengan koefisien tanaman (Kc). Nilai ETo dihitung menggunakan metode Hargreaves dengan memanfaatkan data suhu rata-rata dan radiasi matahari dari lokasi penelitian. Selain itu, data evaporasi diperoleh melalui pengamatan panci evaporasi dengan mencatat penurunan tinggi muka air setiap hari. Perbandingan nilai evapotranspirasi potensial pada setiap perlakuan disajikan pada Tabel 1, sedangkan fluktuasi rata-rata selama 14 minggu ditampilkan pada Gambar 1.

Rata-rata nilai evapotranspirasi potensial berfluktuasi selama pengamatan 14 minggu. Rata-rata nilai Eto pada perlakuan irigasi manual (M), signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan nilai rata-rata Eto pada perlakuan irigasi sprinkler (S) irigasi dan bawah permukaan (P), yaitu berturut-turut adalah 7,45 mm minggu⁻¹, 7,13 mm minggu⁻¹ dan 7,19 mm minggu⁻¹. Hal ini menandakan pemanfaatan air oleh tanaman pada perlakuan irigasi manual kurang efisien karena banyaknya kehilangan air akibat run-off, evaporasi, faktor kesuburan tanah dan kesehatan tanaman. Nilai kesehatan tanaman yang semakin baik dapat menekan laju

evapotranspirasi potensial karena air efektif digunakan untuk proses metabolisme dalam sel-sel tanaman dalam proses pertumbuhannya, sehingga evapotranspirasi aktual cenderung meningkat (Valentín et al., 2020). Hasil ini juga sejalan dengan perlakuan tingkat volume air irigasi yang diberikan, bahwa pada perlakuan frekuensi irigasi setiap 5 hari (V1) dan 10 hari sekali (V2) nilai rata-rata evapotranspirasi potensial dan aktual selalu signifikan lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan frekuensi irigasi setiap 15 (V3), 20 (V4) dan 25 hari sekali (V5) (Tabel 1 dan 2).

Kebutuhan air tanaman diperoleh berdasarkan jumlah air yang digunakan untuk evapotranspirasi tanaman (evapotranspirasi aktual). Fluktuasi nilai evapotranspirasi aktual dari tiga skenario sistem irigasi yang diterapkan terhadap kondisi lahan selama 14 minggu disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik evapotranspirasi aktual harian (mm minggu⁻¹) tanaman tumpangsari antara jagung dengan kacang tanah (Gambar atas) dan kebutuhan air tanaman (l m⁻³ minggu⁻¹) (Gambar bawah)

Aplikasi irigasi sprinkler dan irigasi bawah permukaan dengan frekuensi penyiraman setiap 5 hari sekali dan 10 hari sekali memiliki kebutuhan air tanaman tertinggi jika dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Hal tersebut berbanding lurus dengan nilai total evapotranspirasi selama 14 minggu pengukuran, yang menunjukkan irigasi sprinkler dan irigasi bawah permukaan dengan frekuensi penyiraman setiap 5 hari dan 10 hari sekali memiliki nilai total kebutuhan air tanaman tertinggi. Total kebutuhan air tanaman tumpangsari jagung dengan kacang tanah selama tumbuhnya pada perlakuan irigasi permukaan sebanyak $162,41 \text{ l m}^{-2}$, yang setara dengan $1,66 \text{ l m}^{-2} \text{ hari}^{-1}$, sprinkler $170,00 \text{ l m}^{-2}$, setara dengan $1,73 \text{ l m}^{-2} \text{ hari}^{-1}$ dan irigasi dibawah permukaan $180,36 \text{ l m}^{-2}$, yang setara dengan $1,84 \text{ m}^{-2} \text{ hari}^{-1}$. Nilai evapotranspirasi aktual ini berkorelasi positif dengan produksi bobot biomas kering dan hasil biji kering tanaman, yaitu semakin besar nilai evapotranspirasi aktual maka produksi tanaman akan meningkat. Selain itu, evapotranspirasi aktual juga berkorelasi positif dengan kebutuhan air tanaman (Fausan et al., 2020).

Berdasarkan data pada Gambar 2, tampak bahwa evapotranspirasi aktual dan kebutuhan air tanaman tumpang sari jagung dengan kacang tanah menunjukkan trend yang sangat mirip, yaitu puncak tertinggi evapotranspirasi aktual dan kebutuhan air tanaman terjadi pada fase pertumbuhan vegetatif aktif, yaitu pada kisaran umur tanaman 3 - 5 MST dan pada saat fase pembungaan dan pembuahan saat tanaman berumur 9 – 11 MST. Hasil yang sama juga terjadi pada tanaman padi yang ditanam di

greenhouse dan cekaman kekeringan yang dialami padi pada periode umur 9 – 11 MST (Pande dan arif, 2023). Kebutuhan air yang paling banyak bagi tanaman kacang tanah terjadi pada fase pembungaan dan pengisian polong. Sedangkan kebutuhan air tanaman jagung yang paling banyak terjadi pada fase pembungaan dan pengisian biji. Fase yang paling sensitif terhadap kekurangan air terjadi pada fase akhir pengisian polong kacang tanah dan fase pembentukan biji pada jagung (Arif et al., 2020; Valentín et al., 2020).

Perbedaan kemampuan tanaman menyerap air dipengaruhi juga oleh jalur lintasan proses fotosintesisnya. Jagung termasuk tanaman dengan lintasan fotosintesis C4, kacang tanah termasuk tanaman C3. Tanaman yang mengikuti lintasan fotosintesis C3 menggunakan air lebih banyak dibandingkan dengan tanaman dengan lintasan fotosintesis C4. Tumbuhan dengan lintasan fotosintesis C3, memerlukan air sebanyak 500–1168 ml untuk menghasilkan 1 gram bahan kering, sedangkan tumbuhan dengan lintasan fotosintesis C4 kebutuhan airnya lebih efisien yaitu 250 - 355 ml untuk menghasilkan 1 gram bahan kering (Caterina et al., 2018).

Kebutuhan air tanaman yang terpenuhi optimal pada perlakuan irigasi sprinkler dan irigasi bawah permukaan, yang ternyata berpengaruh positif terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman serta nilai water footprint yang dihitung berdasarkan jumlah total pemakaian air dalam memenuhi kebutuhan tanaman untuk menghasilkan produk (bobot biomas kering dan hasil biji kering).

Terdapat dua komponen pada perhitungan water footprint yaitu blue water footprint dan grey water footprint. Blue water footprint berasal dari air yang digunakan untuk proses evapotranspirasi sedangkan grey water footprint berasal dari pemakaian air untuk pemberian pupuk pestisida (rumus 2, 3 dan 4). Data hasil panen dan penggunaan air serta hasil perhitungan water footprint ditunjukkan pada Tabel 4.

Berdasarkan pengukuran rata-rata pertumbuhan dan hasil tanaman tumpangsari antara jagung dengan kacang tanah yang diukur berdasarkan bobot biomas keringnya, hasil tertinggi terjadi pada sistem irigasi bawah permukaan (P) dengan frekuensi penyiraman setiap 10 hari sekali (V2) dan terendah terjadi pada sistem irigasi permukaan (M) dengan frekuensi penyiraman setiap 25 hari sekali (V5). Rata-rata pertumbuhan bobot biomas kering

tanaman pada sistem irigasi sprinkler hampir sama dengan irigasi bawah permukaan. Selain terhadap pertumbuhan rata-rata bobot biomas kering tanaman, kedua sistem irigasi unggul ini juga berpengaruh positif terhadap hasil biji kering tanaman tumpangsari yang dikonversi menjadi bobot setara gabah kering giling dan total pemakaian air untuk pertumbuhan tanaman yang dikur dengan nilai water footprint. Rata-rata hasil bobot setara gabah dan water footprint tertinggi terjadi pada sistem irigasi bawah permukaan (P) dan seprinkler (S) dengan volume frekuensi irigasi V2 dan terendah terjadi pada sistem irigasi permukaan (M) dengan volume frekuensi irigasi V5.

Frekuensi penyiraman 5-10 hari (V1 dan V2) menghasilkan hasil terbaik karena interval tersebut memberikan keseimbangan optimal antara ketersediaan air dan aerasi tanah. Pada frekuensi 5 hari (V1), tanah

Tabel 4. Pengaruh sistem irigasi permukaan, sprinkler dan bawah permukaan dengan frekuensi pengairan terhadap bobot berangkas kering tanaman (kg m^{-2}), hasil setara gabah (kg m^{-2}) dan total nilai water footprint water footprint

Parameter pengamatan	Frekuensi pengairan	Perlakuan Teknik Irigasi						Rata-rata	BNJ _{0,05}
		Permukaan (Manual)	% Selisih	Sprinkler	% Selisih	Bawah Permukaan	% Selisih		
Bobot berangkas kering tanaman (kg m^{-2})	V1	2.8267	156,2	3.2067	190,6	3.3500	203,6	3,1278 b	0,0496
	V2	2.9433	166,7	3.4133	209,3	3.3500	203,6	3,2355 a	
	V3	2.1733	97,0	3.1400	184,6	3.1300	183,7	2,8144 c	
	V4	1.4067	27,5	1.5933	44,4	1.5567	41,1	1,5189 d	
	V5	1.1033	0,0	1.4366	30,2	1.3667	23,9	1,3022 e	
	Rata-rata	2.0907 b		2.5580 a		2.5507 a			
BNJ _{0,05}		0,03843							
Bobot hasil Setara gabah Kering giling (kg m^{-2})	V1	2.1633	104,7	2.5767	143,8	3.0033	184,2	2,5811 a	0,1500
	V2	2.2400	112,0	2.9067	175,1	2.9833	182,4	2,7100 a	
	V3	2.0200	91,2	2.2600	113,9	2.3733	124,6	2,2178 b	
	V4	1.1799	11,7	1.3633	29,0	1.0267	-2,8	1,1867 c	
	V5	1.0567	0,0	1.0433	-1,3	0.9667	-8,5	1,0222 d	
	Rata-rata	1.7320 b		2.0300 a		2.0707 a			
BNJ _{0,05}		0,1162							
Total water footprint (m^3/kg)	V1	0.5024	137,5	0.5410	155,8	0.6017	184,5	0,5483 b	0,0417
	V2	0.5926	180,2	0.6139	190,3	0.6506	207,6	0,6190 a	
	V3	0.2711	28,2	0.3113	47,2	0.7850	271,2	0,4558 c	
	V4	0.2382	12,6	0.2848	34,7	0.2065	-2,4	0,2432 d	
	V5	0.2115	0,0	0.2749	30,0	0.2080	-1,7	0,2314 e	
	Rata-rata	0.3632 b		0.4052 a		0.4904 a			
BNJ _{0,05}		0,0323							

Keterangan : Angka pada kolom yang sama diikuti huruf kecil yang sama tidak berbeda nyata pada uji BNJ_{0,05}.

Kolom '% Selisih' dihitung terhadap kontrol (irigasi manual frekuensi 25 hari) dengan rumus ((nilai perlakuan - nilai kontrol) / nilai kontrol) \times 100%. Tanda negatif menunjukkan penurunan.

berada dalam kondisi mendekati jenuh dalam jangka waktu lama, sehingga oksigen terlarut di zona perakaran menurun, menghambat respirasi akar dan penyerapan hara makro seperti N dan K (Supriadi et al., 2018). Sebaliknya, pada frekuensi 15–25 hari (V3–V5), kelembaban tanah turun pada akhir interval, memicu penutupan stomata, penurunan laju fotosintesis, dan peningkatan senyawa reaktif oksigen yang memicu hasil biji berkurang drastis. Frekuensi 10 hari memungkinkan menjaga kelembaban tanah pada kapasitas lapang hingga sedikit cekaman ringan yang justru merangsang perakaran lebih dalam. Kondisi ini memaksimalkan hasil baik pada jagung (pengisian biji) maupun kacang tanah (pengisian polong).

Hasil ini menunjukkan bahwa hasil panen berkorelasi positif dengan besarnya evapotranspirasi aktual dan volumer air yang digunakan tanaman, sebagaimana dinyatakan pada penelitian sebelumnya (Elmetwalli dan Elnemr, 2020). Evapotranspirasi aktual adalah total air yang hilang. Kebutuhan air irigasi (CWUblue) dirancang untuk memenuhi evapotranspirasi aktual, sedangkan water footprint sama dengan total air yang digunakan dibagi hasil panen. Produktivitas tanaman dapat meningkat meskipun water footprint meningkat, asalkan peningkatan hasil melebihi peningkatan penggunaan air. Evapotranspirasi aktual pada perlakuan terbaik meningkat 11% dibanding irigasi manual dengan frekuensi setiap 25 hari tetapi hasil meningkat 182%, sehingga water productivity melonjak. Ini membuktikan bahwa irigasi bawah permukaan frekuensi 5-10 hari mentransformasi air menjadi biomassa lebih efisien, meskipun water footprint absolut

lebih tinggi. Oleh karena itu, interpretasi water footprint harus dikaitkan dengan produktivitas lahan dan efisiensi air, bukan nilainya sendiri. Selain itu pemberian volume air yang berlebihan justru dapat menurunkan produksi sebagaimana terjadi pada perlakuan V1. Hal ini juga menunjukkan bahwa ketersediaan air irigasi yang cukup dan berpengaruh terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman secara optimal (Supriadi et al., 2018)

KESIMPULAN

Teknik irigasi dan frekuensi penyiraman terunggul yang diperoleh adalah teknik irigasi sprinkler dan bawah permukaan dengan volume frekuensi penyiraman setiap 5-10 hari sekali yang menghasilkan hasil setara gabah tertinggi ($2,98 \text{ kg m}^{-2}$), kebutuhan air total $180,4 \text{ l m}^{-2}$, *water footprint* $0,65 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$, dan *water productivity* $16,5 \text{ kg m}^{-3}$. Skenario penerapan teknik irigasi ini merupakan irigasi evapotranspiratif, mampu secara signifikan meningkatkan evapotraspirasi aktual tanaman, meningkatkan penggunaan air tanaman dan secara simultan mampu mempertahankan kesuburan tanah serta meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman.

Bila mengairi tanaman tumpangsari jagung-kacang tanah disarankan menggunakan teknik irigasi sprinkler dan bawah permukaan dengan volume frekuensi penyiraman setiap 5-10 hari sekali. Adapun irigasi pada budidaya kedelai, kacang hijau, dan padi gogo di lahan kering perlu penelitian lebih lanjut sebelum rekomendasi yang sama diterapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, H., Setiawan, B. I., Sugiyanta, Solahudin, M., & Dewi, V. A. K. (2022). Subsurface evapotranspiration irrigation system design in System of Rice Intensification (SRI) Salibu paddy cultivation. *Asian Journal of Applied Sciences*, 10(1), 2468–2491.
- Ardiansyah, Setiawan, B. I., Arif, C., & Saptomo, S. K. (2019). Peningkatan efisiensi aplikasi air pada petakan sawah dengan penerapan irigasi evaporatif (kajian teoritis). *Jurnal Irigasi*, 14(1), 47–54.
- Arif, C., Setiawan, B., & Sofiyuddin, H. (2020). Analisis evapotranspirasi potensial pada berbagai model empiris dan jaringan syaraf tiruan dengan data cuaca terbatas. *Jurnal Irigasi*, 15(2), 71–84.
- Arif, C., Wibisono, Y., Nugroho, B. D. A., Saputra, S. F. D., Malik, A., Setiawan, B. I., Mizoguchi, M., & Ardiansyah, A. (2022). Functional design of pocket fertigation under specific microclimate and irrigation rates: A preliminary study. *Agronomy Journal*, 12(6), Article 6.
- Assyifa, N. K., & Arif, C. (2023). Analisis water footprint pada sistem irigasi bawah permukaan dengan teknologi irigasi evapotranspiratif untuk budidaya pakcoy (*Brassica rapa* L.). *Jurnal Irigasi*, 17(2), 45–55.
- Budiman, M. E. S. (2017). Water footprint produksi gula tebu. *Jurnal Rekayasa, Teknologi, dan Sains*, 1(2), 120–131.
- Caterina, C., Carmelo, M., Berruti, A., Borin, M., & Antonio, C. B. (2018). Responses of different *Panicum miliaceum* L. genotypes to saline and water stress in a marginal Mediterranean environment. *Agronomy Journal*, 8(1), 801–808.
- Ekaputra, E. G., Yanti, D., Saputra, D., & Irsyad, F. (2016). Rancang bangun sistem irigasi tetes untuk budidaya cabai (*Capsicum annum* L.) dalam green house di Nagaro Biaro, Kecamatan Ampek Angkek, Kabupaten Agam, Sumatera Barat. *Jurnal Irigasi*, 11(2), 103–112.
- Elmetwalli, A. H., & Elnemr, M. K. (2020). Influence of deficit irrigation and nitrogen fertilization on potato yield, water productivity and net profit. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 22(3), 61–68.
- Emmanuel, O. O., Kow, T. I., & Labode, P. (2016). Differential impacts of rainfall and irrigation on agricultural production in Nigeria: Any lessons for climate-smart agriculture? *Journal of Agricultural Water Management*, 178, 30–36.
- Fausan, A., Setiawan, B. I., Arif, C., & Saptomo, S. K. (2020). Analisa model evaporasi dan evapotranspirasi menggunakan pemodelan matematika pada visual basic di Kabupaten Maros. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 5(3), 179–196.
- Hoekstra, A. Y. (2017). Water footprint assessment: Evolvement of a new research field. *Water Resources Management*, 31(10), 3061–3081.
- Muharomah, R., Setiawan, B. I., & Watanabe, T. (2023). A model and its performance of evapotranspirative irrigation tested to grow water lettuces. *Journal of Appropriate Technology*, 9(1), 1–8.
- Pande, I. G. P. M., & Arif, C. (2023). Water footprint analysis of paddy cultivation by subsurface irrigation in a greenhouse. *Jurnal Teknik Pengairan: Journal of Water Resources Engineering*, 14(1), 1–12.
- Putra, A. G., & Saptomo, S. K. (2022). Water dan carbon footprint pada budidaya tanaman padi dengan sistem otomatisasi model irigasi bawah permukaan. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 7(1), 33–48.
- Sulistiyono, E., & Juliana, A. E. (2014). Irrigation volume based on pan evaporation and their effects on water

- use efficiency and yield of hydroponically grown chilli. *Journal of Tropical Crop Science*, 1(1), 9–12.
- Supriadi, D., Susila, A., & Sulistyono, E. (2018). Penetapan kebutuhan air tanaman cabai merah (*Capsicum annuum* L.) dan cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.). *Jurnal Hortikultura Indonesia*, 9(1), 38–46.
- Triana, A. N., Purnomo, R. H., Panggabean, T., & Juwita, R. (2018). Aplikasi irigasi tetes (drip irrigation) dengan berbagai media tanam pada tanaman pakcoy (*Brassica rapa* L.). *Jurnal Keteknik Pertanian*, 6(1), 93–100.
- Ulhaq, Y. D., Arif, C., & Suharnoto, Y. (2022). Analisis tampak air pada sistem irigasi bawah permukaan dengan pocket fertigation untuk tanaman melon dalam greenhouse. *Jurnal Irigasi*, 16(2), 33–45.
- Valentín, F., Nortes, P. A., Domínguez, A., Sánchez, J. M., Intrigliolo, D. S., Alarcón, J. J., & López-Urrea, R. (2020). Comparing evapotranspiration and yield performance of maize under sprinkler, superficial and subsurface drip irrigation in a semi-arid environment. *Irrigation Science*, 38(1), 105–115.
- Witman, S. (2021). Penerapan metode irigasi tetes guna mendukung efisiensi penggunaan air di lahan kering. *Jurnal Triton*, 12(1), 20–28.