



Tersedia online

AgriHumanis: Journal of Agriculture and Human Resource Development Studies

Halaman jurnal di <http://jurnal.bapeltanjambi.id/index.php/agrihumanis>



Pemanenan air hujan untuk sistem irigasi dan kendali iklim mikro di greenhouse (*State of the Art*)

Rainwater harvesting for irrigation system and microclimate control in greenhouse (State of the Art)

Sudirman Sirait^{1,2*}, Yunisa Tri Suci^{1,3}, Edo Saputra^{1,4}, Saat Egra², Dwi Santoso²

¹Sekolah Pascasarjana Ilmu Keteknikan Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Indonesia

²Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Borneo Tarakan, Indonesia

³Balai Pelatihan Pertanian Jambi, Indonesia

⁴Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Riau, Indonesia

*email: sudirmansirait@gmail.com

INFO ARTIKEL

Sejarah artikel:

Dikirim 7 Desember 2022

Diterima 16 Februari 2023

Terbit 18 Oktober 2023

Kata kunci:

Iklim mikro greenhouse

Irigasi greenhouse

Kelangkaan air

Pemanenan air hujan

Sistem pendinginan

Keywords:

Cooling system

Greenhouse irrigation

Greenhouse microclimate

Rainwater harvesting

Water scarcity

ABSTRAK

Ketersediaan air semakin terbatas akibat perubahan iklim, perubahan pola curah hujan, pertumbuhan populasi, penggunaan air yang tidak efisien, dan degradasi lingkungan. Pemanenan air hujan menjadi salah satu solusi untuk mengatasi krisis air dan komponen penting dalam menjaga pertumbuhan tanaman yang optimal di dalam greenhouse. Artikel ini mengkaji potensi pemanenan air hujan di greenhouse, teknologi irigasi greenhouse, dan kendali iklim mikro di dalam greenhouse berdasarkan kajian literatur. Tahapan penelitian terdiri dari pengumpulan literatur ilmiah yang relevan dengan topik penelitian, seleksi literatur berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, ekstraksi data, analisis dan sintesis. Metode pemanenan air hujan terdiri dari proses pengumpulan, penyimpanan, dan penggunaan kembali air hujan yang jatuh di atas atap atau permukaan greenhouse. Luasan area tangkapan, kualitas dan kapasitas tangki penyimpanan merupakan faktor yang menentukan tingkat efisiensi pemanenan air hujan pada greenhouse. Irigasi greenhouse dapat dilakukan berdasarkan acuan waktu, iklim mikro, kadar air media tanam, dan phyto-sensing. Adapun metode pengendalian iklim mikro di dalam greenhouse meliputi ventilasi alami, pendinginan evaporative, fan-pad cooling, dan combined cooling systems. Pemanfaatan pemanenan air hujan untuk kendali iklim mikro greenhouse dapat dilakukan dengan sistem Natural Ventilation Augmented Cooling (NVAC) dan relatif murah dibandingkan sistem fan-pad cooling.

ABSTRACT

The availability of water is increasingly limited due to climate change, changes of rainfall, population growth, inefficient use of water, and environmental degradation. Rainwater harvesting is one of the solutions to the water crisis and is an important component in maintaining optimal plant growth in the greenhouse. This article examines the potential of rainwater harvesting in greenhouses, greenhouse irrigation technology, and microclimate control in greenhouses based on a literature review. The stages of the research consisted of collecting scientific literature relevant to the research topic, selecting literature based on inclusion and exclusion criteria, data extraction, analysis, and synthesis. Rainwater harvesting methods consist of the process of collecting, storing, and reusing rainwater that falls on the roof or surface of the greenhouse. The extent of the catchment area, the quality and capacity of the storage tanks are factors that determine the level of efficiency of rainwater harvesting in a greenhouse. Greenhouse irrigation can be carried out based on time, microclimate, moisture content of the growing media, and phyto-sensing. The methods of controlling the microclimate inside the greenhouse include natural ventilation, evaporative cooling, fan-pad cooling, and combined cooling systems. Utilization of rainwater harvesting for greenhouse microclimate control can be done with the Natural Ventilation Augmented Cooling (NVAC) system, which is relatively inexpensive compared to fan-pad cooling systems.

Kutipan format APA:

Sirait, S., Suci, T. Y., Saputra, E., & Egra, S. (2023). Pemanenan air hujan untuk sistem irigasi dan kendali iklim mikro di greenhouse (*State of the Art*). *AgriHumanis: Journal of Agriculture and Human Resource Development Studies*, 2(1), 1-12.

1. PENDAHULUAN

Keberhasilan budidaya tanaman sangat dipengaruhi oleh ketersediaan air dan unsur hara yang cukup untuk tanaman. Ketika kehilangan air melalui penguapan jauh lebih besar daripada penyerapan akar, tanaman akan mengalami stres yang menyebabkan fotosintesis lebih rendah. Kondisi ini akan mengurangi perkembangan dan produksi tanaman. Pada sistem budidaya hidroponik dalam greenhouse pemupukan dan pengairan merupakan proses yang tidak dapat dipisahkan. Hal ini disebabkan unsur hara anorganik yang dibutuhkan oleh tanaman akan larut dalam air irigasi. Air sangat dibutuhkan oleh tanaman untuk menyuplai nutrisi anorganik, mempertahankan konsentrasi oksigen yang tinggi dan konsentrasi garam yang rendah di zona akar tanaman. Desain pemanenan air hujan yang dimanfaatkan untuk sumber air irigasi menjadi salah satu alternatif untuk memenuhi kebutuhan air tanaman. Sistem panen air hujan merupakan pengumpulan atau penampungan air hujan atau aliran permukaan untuk dimanfaatkan pada waktu air hujan rendah dan menjaga air untuk tanaman selalu tersedia.

Pemanenan air hujan tidak hanya berpotensi untuk memenuhi kebutuhan air tetapi juga dapat mengurangi potensi polutan air hujan, mengurangi erosi, dan salah satu upaya pengendalian banjir perkotaan (Karollita dan Koesmartadi 2013; Islam *et al.* 2013). Boyacı dan Kartal (2019) mengemukakan bahwa sistem pemanenan air hujan dapat menyediakan air alternatif pada pertanian rumah kaca yang memberikan manfaat lingkungan dan ekonomi dibandingkan dengan metode penyediaan air tanah atau tradisional. Model *micro-catchment water harvesting* dan *runoff farming water harvesting* menjadi salah satu upaya mengurangi limpasan dan bermanfaat dalam upaya peningkatan ketersediaan air irigasi (Boers dan Ben-Asher 1982). Metode pemanenan air hujan sistem atap mampu mengurangi ketergantungan penggunaan air tanah dan memenuhi kebutuhan air tanaman di greenhouse (Londra *et al.* 2021).

Komponen-komponen utama pada pemanenan air hujan terdiri dari tangki penampungan, atap bangunan sebagai tangkapan air hujan, filter untuk menyaring kotoran yang terangkut oleh air hujan, dan saluran pengumpul (Zuliarti dan Saptomo 2021; Worm *et al.* 2006; Chao-Hsien Liaw dan Yao-Lung Tsai 2004). Jumlah air hujan yang dipanen sangat ditentukan oleh luas atap tangkapan air hujan. Semakin luas atap greenhouse yang digunakan maka jumlah air hasil panen air hujan akan semakin besar (Islam *et al.* 2013). Talang atap dan tangki penyimpanan dalam greenhouse harus berukuran yang cukup untuk menampung air hujan. Konsumsi air tanaman dalam greenhouse harus dihitung dengan benar untuk menentukan ukuran penyimpanan pada greenhouse. Model neraca air dalam greenhouse dapat digunakan untuk menentukan kebutuhan dan dimensi tangki penampungan air hujan (Londra *et al.* 2021).

Pengelolaan sistem irigasi dan pemberian larutan nutrisi secara manual dalam rumah tanaman sangat sulit dilakukan dan dapat mengurangi efisiensi air irigasi. Umumnya lahan dengan sistem irigasi dapat memberikan hasil produksi sebesar 42% dan mengalami penurunan sebesar 20% pada lahan tanpa sistem irigasi (Siebert dan Döll 2010). Penerapan sistem irigasi tetes dalam greenhouse selama 0,84 jam/hari dapat memberikan air sesuai kebutuhan tanaman secara tepat waktu dengan efisiensi keseragaman 76,97%, efisiensi penggunaan irigasi 74,37%, dan efisiensi penyaluran 91,49% (Ekaputra *et al.* 2016). Penggunaan teknologi irigasi yang dilengkapi sistem kontrol otomatis menggunakan mikrokontroler Arduino Uno ATmega328P dapat meningkatkan produktivitas tanaman padi dan efisiensi air irigasi (Nurfaijah *et al.* 2015). Menurut Sirait *et al.* (2015); Sirait dan Maryati (2018) menyatakan bahwa tenaga surya dapat dimanfaatkan untuk mengoperasikan sistem penggerak outlet irigasi elektromekanis secara otomatis dan mampu mengoperasikan sistem selama 24 jam secara kontinyu.

Disisi lain kegiatan budidaya tanaman pada greenhouse juga sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan iklim mikro seperti temperatur, kelembaban, cahaya, dan konsentrasi CO₂ (Suhardiyanto 2009). Kondisi iklim mikro pada greenhouse yang tidak sesuai dengan tanaman akan mengganggu pertumbuhan dan penurunan hasil panen. Menurut Mardjuki (1994) bahwa rata-rata temperatur yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman berkisar 15-30°C dan kelembaban udara yang tinggi dapat menimbulkan penyakit tanaman yaitu merangsang pertumbuhan jamur. Jika kelembaban media tanam tanaman kurang dari 20-30% dari nilai optimal maka tanaman cepat layu

(Mardjuki 1994). Disamping itu media dan bahan yang digunakan untuk greenhouse juga sangat berpengaruh terhadap temperatur di dalam greenhouse (Alahudin 2013).

Penggunaan ventilasi pada greenhouse dapat menyebabkan pertukaran udara secara alamiah yang mengganti udara panas dalam greenhouse dengan udara yang kaya CO₂ dari luar greenhouse (Romdhonah *et al.* 2015). Suhardiyanto (2009) mengemukakan bahwa penerapan bukaan ventilasi pada bagian dinding dan atap greenhouse mampu mempertahankan kenaikan suhu udara di bawah 6°C. Nusantara *et al.* (2021) dan Fahmi *et al.* (2014) melaporkan bahwa perlakuan humidifikasi dari alat kontrol kelembaban dan suhu serta penambahan peneduh pada atap rumah tanaman mampu menurunkan suhu sebesar $\pm 2^{\circ}\text{C}$ dan meningkatkan kelembaban $\pm 5\%$. Disamping itu penerapan sistem *evaporative cooler* pada greenhouse juga mampu menurunkan suhu $\pm 1^{\circ}\text{C}$ dan meningkatkan kelembaban $\pm 5,1\%$ (Anisum *et al.* 2016).

Pada kajian pemanenan air hujan untuk sistem irigasi dan kendali iklim mikro di greenhouse, terdapat beberapa rumusan masalah yang perlu untuk dikembangkan. Pertama, mengkaji bagaimana potensi pemanenan air hujan dapat diterapkan pada di greenhouse untuk memenuhi kebutuhan tanaman. Hal ini meliputi metode yang digunakan untuk mengumpulkan dan menyimpan air hujan yang dipanen serta efisiensinya untuk menyediakan kebutuhan air di dalam greenhouse. Diperlukan studi literatur mengenai teknologi yang telah dikaji dan digunakan dalam pemanenan air hujan pada greenhouse. Hal ini mencakup desain dan infrastruktur sistem pemanenan air hujan, seperti tangki penampungan dan penyimpanan, penyaringan dan pemanfaatan. Selain itu, kajian juga perlu mempertimbangkan bagaimana pemanenan air hujan dapat mengurangi ketergantungan terhadap sumber air tanah dan permukaan untuk memenuhi kebutuhan tanaman di dalam greenhouse. Mengidentifikasi manfaat penggunaan air hujan dalam mengurangi penggunaan sumber air lain dapat membantu dalam mengelola sumber daya air secara berkelanjutan di greenhouse.

Selanjutnya, perlu memahami bagaimana sistem irigasi dapat dioptimalkan untuk memenuhi kebutuhan air tanaman di dalam greenhouse. Hal ini meliputi pemilihan metode irigasi yang tepat, kebutuhan air tanaman, dan pengaturan irigasi yang efisien. Perlu dipertimbangkan bagaimana teknologi kendali irigasi di dalam greenhouse untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air irigasi dan produktivitas tanaman. Terakhir, bagaimana pemanenan air hujan dapat dimanfaatkan untuk kendali iklim mikro di greenhouse. Fokus kajian ini mengidentifikasi metode-metode untuk mengendalikan parameter iklim mikro di dalam greenhouse terutama suhu dan kelembaban. Selama proses kajian, perlu mempertimbangkan keuntungan ekonomi, lingkungan, dan sosial seiring dengan tantangan mengimplementasikan di dalam greenhouse. Berdasarkan rumusan masalah ini, kajian mengenai pemanenan air hujan untuk sistem irigasi dan kendali iklim mikro di greenhouse dapat memberikan wawasan penting dan informasi yang relevan bagi petani dan peneliti untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan pertanian di dalam greenhouse.

Artikel ini bertujuan untuk mengkaji dan merangkum potensi pemanenan air hujan di greenhouse, teknologi irigasi greenhouse, dan kendali iklim mikro di dalam greenhouse berdasarkan kajian literatur. Penelitian ini diharapkan akan memberikan pemahaman yang lebih baik tentang pemanenan air hujan di greenhouse, teknologi irigasi greenhouse, dan kendali iklim mikro di dalam greenhouse. Hasil penelitian ini dapat membantu petani dan pengelola greenhouse untuk mengoptimalkan penggunaan sumber air dan mengurangi dampak negatif pada lingkungan yang disebabkan oleh penggunaan sumber air secara berlebihan. Adapun tahapan penelitian terdiri dari pengumpulan literatur ilmiah yang relevan dengan topik penelitian, seleksi literatur berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, ekstraksi data dari literatur yang terpilih, analisis data yang telah dikumpulkan, dan penyusunan artikel berdasarkan hasil analisis data.

Penelitian ini menggunakan pendekatan literatur review untuk mengumpulkan dan menganalisis literatur ilmiah yang relevan dengan topik penelitian. Pada penelitian ini, literatur review dilakukan untuk memahami dan menganalisis teori, konsep, dan hasil penelitian sebelumnya tentang pemanenan air hujan untuk sistem irigasi dan kendali iklim mikro di greenhouse. Sumber data yang digunakan merupakan literatur ilmiah tentang pemanenan air hujan, teknologi irigasi greenhouse, dan kendali iklim mikro di dalam greenhouse. Sumber data ini meliputi artikel pada jurnal nasional dan internasional, buku, dan basis data ilmiah lain yang kredibel. Pada penelitian ini dilakukan analisis data dengan cara mengkaji hasil penelitian sebelumnya berdasarkan literatur yang telah dikumpulkan.

Analisis data mencakup identifikasi potensi dan efisiensi pemanenan air hujan, teknologi irigasi greenhouse, dan kendali iklim mikro di dalam greenhouse.

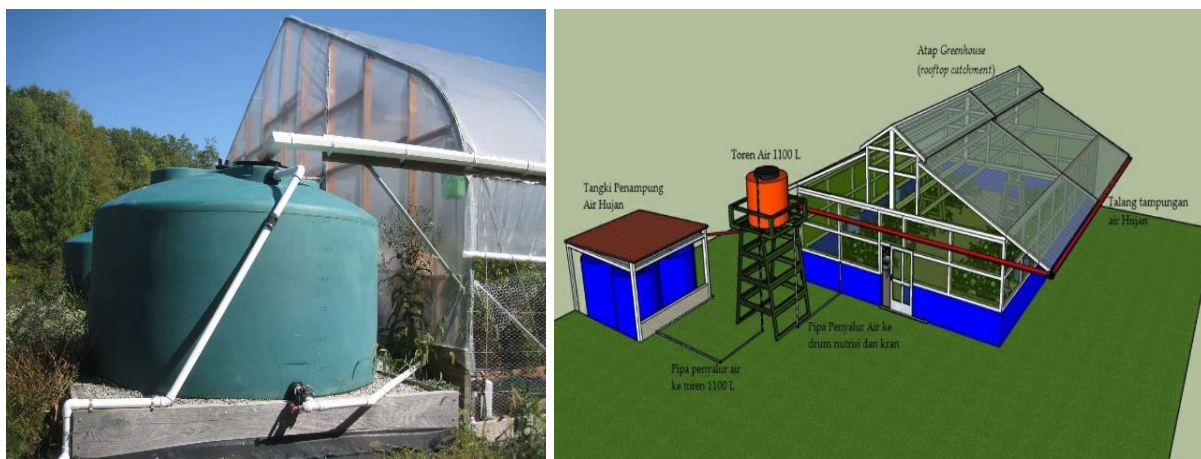
2. STATE OF THE ART

2.1. PEMANENAN AIR HUJAN

Memanen dan memanfaatkan air hujan merupakan alternatif sumber air yang sudah dilakukan untuk memenuhi kebutuhan tanaman. Beberapa penelitian mengidentifikasi bahwa salah satu cara konservasi penggunaan air hasil pemanenan air hujan pada bangunan *green architecture* untuk sumber air irigasi dapat mengurangi penggunaan air tanah (Berliandika dan Prihatmaji 2016; Pasaribu *et al.* 2020; Boers dan Ben-Asher 1982). Metode pemanenan air hujan sistem atap (*rooftop rain water harvesting system*) pada greenhouse dapat dilakukan untuk memenuhi kebutuhan air irigasi dengan memanfaatkan tangki penyimpanan yang terletak diatas permukaan tanah (Wenhua *et al.* 2010; Islam *et al.* 2013; Karollita dan Koemartadi 2013; Berliandika dan Prihatmaji 2016; Boyacı dan Kartal 2019; Londra *et al.* 2021). Pada penelitian tersebut air hasil panen air hujan ditampung di tangki penyimpanan yang terhubung secara seri dan terletak diatas permukaan tanah. Berliandika dan Prihatmaji (2016) melakukan penelitian pemanenan air hujan dengan memanfaatkan kemiringan sistem atap greenhouse 25° - 40° yang mengalirkan air ke talang menuju tangki penampungan yang terletak diatas permukaan tanah.

Islam *et al.* (2013) melakukan penelitian pemanenan air hujan dengan sistem atap seluas 610 m^2 dapat memenuhi kebutuhan air irigasi dalam greenhouse. Jumlah air hujan yang dikumpulkan tidak hanya memenuhi kebutuhan irigasi puncak rumah kaca (hampir 700 galon air per hari), tetapi juga dapat mencukupi kebutuhan irigasi sekitar greenhouse. Konstruksi tangki dilakukan secara seri dengan jaringan pipa pvc 4 inchi dan pengoperasiannya menggunakan pompa secara otomatis berdasarkan *setpoint* tekanan pada saluran (25-40 psi/172,4-275,8 kPa). Metode pemanenan air hujan mampu menghemat biaya sebesar C\$90,53 setiap tahun. Pada studi ini masalah terbesar selama pengoperasian sistem *rain water harvesting* adalah tumbuhnya alga di salah satu tangki air penyimpanan. Analisis efisiensi dan ekonomi pemanenan air hujan telah dilakukan oleh Wenhua *et al.* (2010). Metode pemanenan air hujan memiliki efisiensi mencapai 66,1% dari total curah hujan dan tingkat penggunaan air hujan dapat mencapai 69% dari total penggunaan air. Nilai efisiensi pemanenan air hujan diperoleh berdasarkan volume air hujan yang dipanen dan total curah hujan efektif.

Metode pemanenan air hujan untuk memenuhi kebutuhan air irigasi pada greenhouse juga dilakukan di wilayah Provinsi Kirsehir, Turki (Boyacı dan Kartal 2019). Air hujan yang dipanen melalui sistem atap greenhouse dapat digunakan untuk mengairi tanaman yang dibudidayakan. Hasil pemanenan air hujan dapat memenuhi 61,49% kebutuhan air irigasi untuk tanaman. Pada penelitian ini dilakukan perhitungan kebutuhan air tanaman metode Penman-Monteith dan volume penyimpanan. Analisis ketahanan dan efisiensi tangki penampungan air hasil panen air hujan juga telah dilakukan oleh Londra *et al.* (2021). Analisis tersebut mengacu pada data curah hujan wilayah penelitian selama 12 tahun. Model neraca air digunakan untuk menentukan kebutuhan dan dimensi tangki penampungan untuk kebutuhan irigasi dalam greenhouse. Rata-rata nilai koefisien keandalan tangki penyimpanan air hasil panen air hujan 72-90% untuk memenuhi kebutuhan air tanaman.



Gambar 1. Konstruksi pemanenan air hujan pada greenhouse
(Sumber : Islam *et al.* 2013 dan Pasaribu *et al.* 2020)

Pasaribu *et al.* (2020) melakukan penelitian pemanenan air hujan pada greenhouse menggunakan 3 buah tangki penyimpanan berkapasitas 5300 liter yang terletak diatas permukaan tanah. Air hasil panen air hujan dimanfaatkan sebagai air baku pencampuran nutrisi pada tanaman sistem hidroponik. Pencampuran larutan nutrisi dilakukan pada 4 buah tangki nutrisi berkapasitas 100 liter. Kualitas air panen air hujan harus memenuhi baku mutu air irigasi dan kebutuhan konsumtif tanaman. Berdasarkan parameter TDS, pH, TSS, EC, dan kekeruhan bahwa kualitas hasil pemanenan air hujan memenuhi baku mutu air irigasi serta tidak membahayakan tanaman (Islam *et al.* 2013). Berdasarkan *Guidelines for Interoretation of Water Quality for Irrigation* air irigasi untuk tanaman harus memenuhi kriteria mutu air irigasi dengan parameter TDS 100-500 mg/l, pH 6-8,5, TSS 200-1000 mg/l, dan EC 0,27-1,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Ayers dan Westcot 1985). Sedangkan menurut PP No. 82 tahun 2001 nilai TSS 1000-2000 mg/l, pH 5-9, dan TDS 50-400 mg/l.

2.2. IRIGASI GREENHOUSE

Penggunaan teknologi otomatis pada irigasi greenhouse telah banyak berkembang untuk menghemat energi dan biaya. Ouammi *et al.* (2020) melakukan pengembangan sistem kontrol metode *fuzzy logic* untuk mengatur kinerja irigasi greenhouse secara *real-time* dan mampu mengurangi biaya. Sistem kontrol irigasi dibangun untuk pengoperasian irigasi berdasarkan nilai temperatur dalam greenhouse. Nasiakou *et al.* (2016); Liao *et al.* (2021); Seethalakshmi *et al.* (2021) telah mengembangkan sistem kontrol irigasi greenhouse dengan penggunaan sistem IoT dan sistem sensor nirkabel. Sistem tersebut dibangun untuk mengoperasikan sistem irigasi tetes, pemberian konsentrasi larutan nutrisi ke tanaman, dan kontrol lingkungan mikro dalam greenhouse. Pengoperasian irigasi mengacu pada nilai kelembaban tanah dan temperatur dalam greenhouse. Adapun *setpoint* kelembaban tanah untuk pengoperasian sistem irigasi adalah <30% : 1 jam, 30-50% : 30 menit, 50-70% : 15 menit, dan >75% : *off-state*. Liao *et al.* (2021) menyatakan bahwa penggunaan teknologi kontrol otomatis pada irigasi greenhouse mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air irigasi tanaman tomat mencapai 41,23 kg/m³ dibandingkan irigasi tradisional sebesar 31,58 kg/m³.

Teknologi irigasi yang diterapkan pada greenhouse umumnya adalah irigasi tetes. Incrocci *et al.* (2020) melaporkan bahwa sebagian besar irigasi yang diterapkan dalam greenhouse di Eropa adalah irigasi tetes. Pawlowski *et al.* (2017) mengembangkan teknologi irigasi tetes untuk tanaman tomat pada greenhouse untuk menjaga tingkat kelembaban tanah yang diinginkan dan menjaga penggunaan air serendah mungkin. Skema sistem kontrol irigasi dibangun menggunakan Generalized Predictive Controller (GPC) berbasis model transpirasi tanaman tomat di dalam greenhouse. Penerapan teknologi ini mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air irigasi sebesar 20% dibandingkan dengan sistem kontrol *on-off* biasa. Selain itu Libardi *et al.* (2019) juga telah mengembangkan penggunaan teknologi otomatis pada irigasi sprinkler yang dioperasikan mengacu pada data ETC dan Kc untuk tanaman tebu di greenhouse yang diukur menggunakan lysimeter.

Sedangkan Cayuela *et al.* (2022) mengembangkan *decision support system developed for precision irrigation management (DSSPIM)* menggunakan data karakteristik tanaman, jenis tanah, hidrolis jaringan irigasi, dan iklim mikro yang direkam oleh sensor mampu mengurangi penggunaan air irigasi sebesar 20% pada tanaman pohon dan hortikultura. Di sisi lain Mavrogianopoulos (2016) mengembangkan sistem irigasi untuk tanaman sistem hidroponik yang menggunakan larutan nutrisi secara efisien. Pemberian air dan nutrisi dilakukan berdasarkan frekuensi irigasi yang konstan ditambah fraksi pelindian 20-30%. Pada penelitian ini dilakukan sistem kontrol yang menggunakan dosis irigasi sesuai dengan karakteristik tanah atau substrat dan frekuensi irigasi berdasarkan evapotranspirasi. Penerapan teknologi ini dapat meningkatkan efisiensi irigasi dibandingkan secara konvensional karena mampu memperhitungkan kapasitas menahan air (*water holding capacity*) dari substrat atau media yang digunakan.

Adapun beberapa metode teknologi irigasi untuk sistem budidaya tanaman pada greenhouse adalah sebagai berikut (Nikolaou *et al.* 2019) :

Tabel 1. Teknologi pengendalian sistem irigasi pada greenhouse

Pengendalian irigasi	Acuan kendali	Metode/penggunaan perangkat	Sistem kendali	Referensi
Berbasis waktu	time/waktu	kontrol irigasi	Jadwal dan frekuensi irigasi	Lizarraga <i>et al.</i> (2003); Silber <i>et al.</i> (2003)
		lysimeter	referensi ETc	Beeson (2011); Vera-Repullo <i>et al.</i> (2015)
Pemantauan iklim mikro	evapotranspirasi	pan-evaporasi	referensi ETc	Fernandes <i>et al.</i> (2003)
		pengukur suhu	referensi ETc	Schiattone <i>et al.</i> (2018)
		etc models	penggunaan air oleh tanaman	Qiu <i>et al.</i> (2013); Baille <i>et al.</i> (1994)
	radiasi matahari	pyranometer	frekuensi irigasi	Nikolaou <i>et al.</i> (2017); Jovicich <i>et al.</i> (2007)
Pemantauan kadar air media tanam	water potensial	tensiometer dan sensor hambatan listrik	frekuensi / dosis irigasi	Pardossi <i>et al.</i> (2009)
	kandungan air volumetrik (<i>vwc</i>)	dielectric sensor	frekuensi irigasi	Pardossi <i>et al.</i> (2009); Nemali <i>et al.</i> (2007); Murray <i>et al.</i> (2004)
	konduktivitas listrik	sensor konduktivitas listrik	frekuensi irigasi	Mavrogianopoulos (2016); Dorais <i>et al.</i> (2001); Liopa-Tsakalidi <i>et al.</i> (2015)
	persentase drainase	rumus matematika, perangkat komputer	volume dan frekuensi irigasi	Shin dan Son (2015)
Phyto-sensing	potensi air pada daun	ruang tekanan	waktu irigasi	Raviv dan Blom (2001)
	resistensi stomata	porometer difusi	waktu irigasi	Raviv dan Blom (2001)
	canopy temperature	infrared thermometry	waktu irigasi	Raviv dan Blom (2001); Prenger <i>et al.</i> (2005); Nikolaou <i>et al.</i> (2017b)
	aliran air di batang	heat balance sap flow sensor	waktu irigasi/deteksi kekurangan air	Raviv dan Blom (2001); Swaef dan Steppe (2010); Ehret <i>et al.</i> (2001)
	perubahan diameter batang	dentrometer	waktu irigasi	Raviv dan Blom (2001)
	reflektansi tanaman	sistem penginderaan tanaman	mendeteksi cekaman air	Katsoulas <i>et al.</i> (2016); Kim <i>et al.</i> (2015)



Gambar 2. Pengendalian irigasi greenhouse berbasis pemantauan iklim mikro menggunakan perangkat *lysimeter*
(sumber : Nikolaou *et al.* 2019)



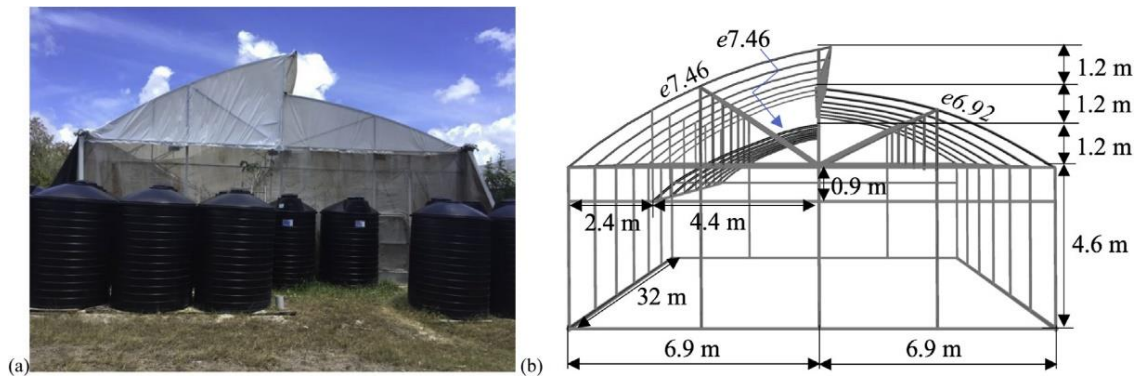
Gambar 3. Pengendalian irigasi greenhouse berbasis *phyto-sensing* menggunakan perangkat sensor batang dan daun tanaman
(sumber : Nikolaou *et al.* 2019)

2.3. KONTROL LINGKUNGAN MIKRO GREENHOUSE

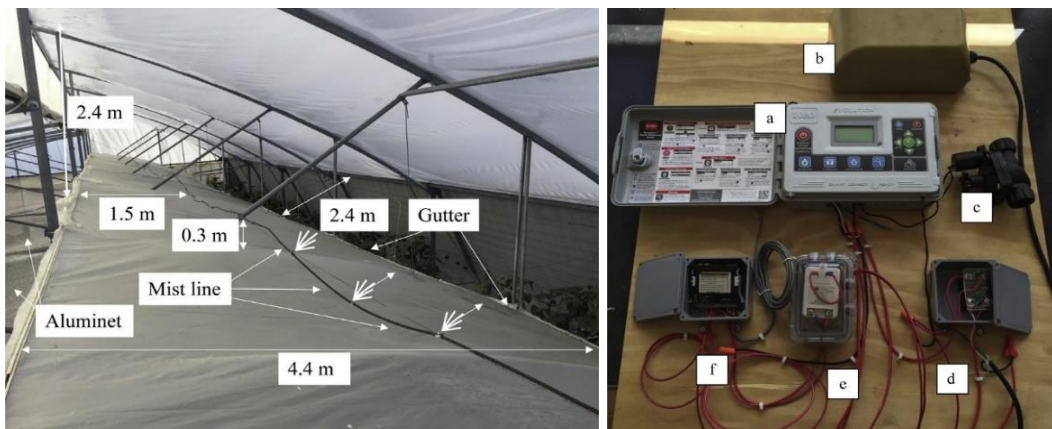
Penggunaan greenhouse dalam produksi tanaman merupakan salah satu cara untuk menciptakan lingkungan yang mendekati kondisi pertumbuhan tanaman yang optimal. Temperatur dan kelembaban merupakan salah satu faktor iklim yang harus dikendalikan dalam greenhouse. Nusantara *et al.* (2021) mengemukakan bahwa kondisi temperatur pada greenhouse sangat dipengaruhi oleh UV index sinar matahari yang masuk ke dalam greenhouse. Ada beberapa metode sistem pendinginan yang telah digunakan saat ini dalam greenhouse yaitu ventilasi alami, kabut bertekanan tinggi (*fogging*), sistem screen/layar, *fan-pad cooling*, dan *combined cooling systems*. Metode pendinginan *root zone cooling* dan perlakuan pendingin larutan nutrisi pada tanaman hidroponik dalam greenhouse juga telah dikembangkan untuk menghemat energi yang dibutuhkan.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan metode pengendalian lingkungan mikro dalam greenhouse. McCartney dan Lefsrud (2018) mengembangkan sistem pendinginan menggunakan metode NVAC dengan desain ventilasi alami samping dan atap greenhouse. Air pendingin bersumber dari hasil panen air hujan dan dialirkan melalui nozzle yang dipasang di atap NVAC dan beroperasi secara otomatis berdasarkan acuan nilai suhu di dalam greenhouse. Sistem NVAC mampu menurunkan temperatur sebesar 1,3-3,6 °C dan sistem pendinginan ini memiliki biaya yang relatif murah dibandingkan sistem pendingin kipas. Biaya yang dibutuhkan untuk sistem NVAC

ini sebesar $\$9,05 \text{ m}^{-2}$. Biaya yang dibutuhkan lebih kecil dibandingkan dengan sistem pendingin menggunakan kipas yaitu $\$0,0037 \text{ h}^{-1}\text{m}^{-2}$. Jumlah air yang dibutuhkan untuk sistem pendingin NVAC sebesar 8-25% dari total kebutuhan air irigasi pada greenhouse ($1,9\text{-}2,5 \text{ L m}^{-2} \text{ day}^{-1}$).



Gambar 4. Desain greenhouse NVAC. (a) greenhouse dan tangki pemanenan air hujan; (b) dimensi bangunan greenhouse (Sumber : McCartney dan Lefsrud 2018)



Gambar 5. Atap NVAC dan sistem kontrol NVAC pada greenhouse. (a) pengontrol irigasi seri evolution; (b) pompa bertekanan 160-psi; (c) katup selenoid elektrik; (d) dan (e) transformator; (f) sensor suhu dan kelembaban relatif (Sumber : McCartney dan Lefsrud 2018)

Anisum *et al.* (2016) juga telah mengembangkan sstem pendingin *evaporative cooler* yang dilengkapi dengan kipas mampu menurunkan suhu sebesar $\pm 1^\circ\text{C}$ dan meningkatkan kelembaban udara sebesar 5,1% serta seragam dengan pola aliran udara yang terjadi dari inlet menuju outlet. Disamping itu Fahmi *et al.* (2014) mengembangkan sistem humidifikasi dari alat kontrol suhu dan kelembaban ditambah dengan peneduh pada atap yang terbuat dari daun pada rumah tanaman mampu menurunkan rata-rata suhu sebesar $7\text{-}9^\circ\text{C}$ dan meningkatkan $\text{RH} \pm 5\%$. Teknik kontrol lingkungan mikro greenhouse juga dikembangkan oleh Romdhonah *et al.* (2015) dengan mendesain ventilasi alami di atap menghadap utara ($18,75 \times 1,00 \text{ m}$), ventilasi di atap menghadap selatan ($18,75 \times 1,00 \text{ m}$), ventilasi di dinding menghadap utara ($18,75 \times 3,63 \text{ m}$), ventilasi di dinding menghadap selatan ($18,75 \times 3,63 \text{ m}$), ventilasi di dinding menghadap timur ($8,00 \times 3,63 \text{ m}$), dan ventilasi di dinding menghadap barat ($8,00 \times 3,63 \text{ m}$). Hasil penelitian menunjukkan bahwa distribusi suhu udara dan kelembaban pada greenhouse tipe standard peak tidak berbeda jauh dengan luar greenhouse yaitu $23,0\text{-}31,7^\circ\text{C}$ dan 69-95,7%.



Gambar 6. Sistem pendinginan *fan and pad cooling system* dan *evaporative cooler*
(Sumber: <https://id.exhaustfanchina.com/memproyeksikan/kipas-ventilasi-rumah-kaca/> dan <https://www.growerssupply.com/prod/108997.html>)

Sistem pengendalian suhu dan kelembaban secara otomatis dalam greenhouse juga telah dikembangkan oleh Nusantara *et al.* (2021) dengan memanfaatkan mikrokomputer Banana Pi, relay, sensor GUVA-S12SD, sensor SHT11, terminal listrik dan kipas MPH 1000 ukuran 12 inci. Sensor SHT11 berfungsi untuk mendeteksi suhu dan kelembaban pada suatu ruangan. Sistem mendesain kipas yang beroperasi secara otomatis untuk mengendalikan suhu dan dapat dipantau melalui website yang dibangun dengan bahasa pemrograman PHP dan HTML serta MySQL untuk database. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada saat UV index mencapai angka 10, suhu didalam rumah kaca masih dapat diturunkan hingga ± 3 °C, jika UV index >10, suhu tetap dapat diturunkan dalam angka yang lebih kecil.

3. KESIMPULAN

Metode pemanenan air hujan terdiri dari proses pengumpulan, penyimpanan, dan penggunaan kembali air hujan yang jatuh di atas atap atau permukaan greenhouse. Pemanenan air hujan dapat mengurangi ketergantungan pada sumber air tanah dan menciptakan kondisi lingkungan mikro di dalam greenhouse yang optimal untuk pertumbuhan tanaman. Luasan area tangkapan, kualitas dan kapasitas tangki penyimpanan merupakan faktor yang menentukan efisiensi pemanenan air hujan pada greenhouse. Pemanfaatan air hujan untuk sistem irigasi dan kendali iklim mikro di dalam greenhouse dapat meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan pertanian. Irigasi greenhouse dapat dilakukan berdasarkan acuan waktu, iklim mikro, kadar air media tanam, dan *phyto-sensing*. Sedangkan metode kontrol iklim mikro di dalam greenhouse meliputi ventilasi alami, pendinginan evaporative, *fan-pad cooling*, dan *combined cooling systems*. Pemanfaatan pemanenan air hujan untuk kendali iklim mikro greenhouse dapat dilakukan dengan sistem *Natural Ventilation Augmented Cooling* (NVAC) dan relatif murah dibandingkan sistem fan-pad cooling.

DAFTAR PUSTAKA

- Alahudin M. 2013. Kondisi Termal Bangunan Greenhouse dan Screenhouse pada Fakultas Pertanian Universitas Musamus Merauke. *Jurnal Ilmiah Mustek Anim Ha*. 2(1):16–27.
- Anisum, Bintoro N, Goenadi S. 2016. Analisis Distribusi Suhu Dan Kelembaban Udara Dalam Rumah Jamur (Kumbung) Menggunakan Computational Fluid Dynamics. *Agritech*. 36(1):64–70.
- Ayers RS, Westcot DW. 1985. *Water quality for agriculture. Irrigation And Drainage Paper 29 Rev. 1*. Rome. Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Baille M, Baille A, Laury JC. 1994. A simplified model for predicting evapotranspiration rate of nine ornamental species vs. climate factors and leaf area. *Scientia Horticulturae*. 59(3–4):217–232. doi:10.1016/0304-4238(94)90015-9.
- Beeson RC. 2011. Weighing lysimeter systems for quantifying water use and studies of controlled water stress for crops grown in low bulk density substrates. *Agricultural Water Management*.

- 98(6):967–976. doi:10.1016/j.agwat.2011.01.005.
- Berliandika B, Prihatmaji YP. 2016. Baciro Urban Grenhouse “Pendekatan Desain Pada Optimalisasi Pemanfaatan Cahaya Matahari Dan Penampungan Air Hujan.” Di dalam: *Prosiding seminar nasional “Menuju Masyarakat Madani dan Lestari.”* Yogyakarta.: Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Universitas Islam Indonesia. hlm. 72–83.
- Boers TM, Ben-Asher J. 1982. A review of rainwater harvesting. *Agricultural Water Management*. 5(2):145–158. doi:10.1016/0378-3774(82)90003-8.
- Boyacı S, Kartal S. 2019. Rainwater Harvesting on Greenhouse Roof and Use in Irrigation. *International Journal of Research -GRANTHAALAYAH*. 7(2):93–100. doi:10.29121/granthaalayah.v7.i2.2019.1011.
- Cayuela Flores CM, González Perea R, Camacho Poyato E, Montesinos P. 2022. An ICT-based decision support system for precision irrigation management in outdoor orange and greenhouse tomato crops. *Agricultural Water Management*. 269(December 2021). doi:10.1016/j.agwat.2022.107686.
- Dorais M, Papadopoulos AP, Gosselin A. 2001. Influence of electric conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. *Agronomie*. 21:367–383.
- Ehret D, Lau A, Bittman S, Lin W, Shelford T, Ehret D, Lau A, Bittman S, Lin W, Shelford T. 2001. Automated monitoring of greenhouse crops To cite this version : HAL Id : hal-00886117. 21(4):403–414.
- Ekaputra EG, Delvi Y, Deni S, Fadli I. 2016. Rancang Bangun Sistem Irigasi Tetes Untuk Budidaya Cabai (*Capsicum Annum L.*) Dalam Greenhouse Di Nagari Biaro, Kecamatan Ampek Angkek, Kabupaten Agam, Sumatera Barat. *Jurnal Irigasi*. 11(2):103–112.
- Fahmi MN, Yohana E, Sugiyanto. 2014. Simulasi Distribusi Suhu Dan Kelembapan Relatif Pada Rumah Tanaman (Green House) Dengan Sistem Humidifikasi. *Jurnal Teknik Mesin*. 2(1):41–48.
- Fernandes C, Corá JE, de Araújo JAC. 2003. Evapotranspiração de referência estimativa em casas de vegetação. *Scientia Agricola*. 60(3):591–594. doi:10.1590/S0103-90162003000300027.
- Incrocci L, Thompson RB, Fernandez-Fernandez MD, De Pascale S, Pardossi A, Stanghellini C, Roupheal Y, Gallardo M. 2020. Irrigation management of European greenhouse vegetable crops. *Agricultural Water Management*. 242(April):106393. doi:10.1016/j.agwat.2020.106393.
- Islam S, Lefsrud M, Adamowski J, Bissonnette B, Busgang A. 2013. Design, construction, and operation of a demonstration rainwater harvesting system for greenhouse irrigation at McGill University, Canada. *HortTechnology*. 23(2):220–226. doi:10.21273/horttech.23.2.220.
- Jovicich E, Cantliffe DJ, Stoffella PJ, Haman DZ. 2007. Bell Pepper Fruit Yield and Quality as Influenced by Solar Radiation-based Irrigation and Container Media in a Passively Ventilated Greenhouse. *HortScience*. 42(3):642–652.
- Karollita M, Koesmartadi C. 2013. Teknologi pemanenan air hujan pada perancangan arsitektur rumah tinggal Heinz Frick. *Jurnal Tesa Arsitektur*. 11(2):108–116.
- Katsoulas N, Elvanidi A, Ferentinos KP, Kacira M, Bartzanas T, Kittas C. 2016. Crop reflectance monitoring as a tool for water stress detection in greenhouses: A review. *biosystems engineering*. 151:374–398.
- Kim M, Kim S, Kim Y, Choi Y, Seo M. 2015. Infrared Estimation of Canopy Temperature as Crop Water Stress Indicator. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 48(5):499–504. doi:10.7745/kjssf.2015.48.5.499.
- Liao R, Zhang S, Zhang X, Wang M, Wu H, Zhangzhong L. 2021. Development of smart irrigation systems based on real-time soil moisture data in a greenhouse: Proof of concept. *Agricultural Water Management*. 245(September):106632. doi:10.1016/j.agwat.2020.106632.
- Libardi LGP, Rogério Teixeira de Faria, Dalri AB, Rolim G de S, Palaretti LF, Coelho AP, Martins IP. 2019. Evapotranspiration and crop coefficient (Kc) of pre-sprouted sugarcane plantlets for greenhouse irrigation management. *Agricultural Water Management*. 212:306–316.
- Liopa-Tsakalidi A, Barouchas P, Salahas G. 2015. Response of Zucchini to the Electrical Conductivity of the Nutrient Solution in Hydroponic Cultivation. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 4:459–462. doi:10.1016/j.aaspro.2015.03.053.
- Lizarraga A, Boesveld H, Huibers F, Robles C. 2003. Evaluating irrigation scheduling of hydroponic tomato in Navarra, Spain. *Irrigation and Drainage*. 52(2):177–188. doi:10.1002/ird.86.
- Londra PA, Kotsatos IE, Theotokatos N, Theocharis AT, Dercas N. 2021. Reliability analysis of rainwater harvesting tanks for irrigation use in greenhouse agriculture. *Hydrology*. 8(3). doi:10.3390/HYDROLOGY8030132.

- Mardjuki. 1994. *Pertanian Dan Masalahnya*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Mavrogianopoulos GN. 2016. Irrigation dose according to substrate characteristics, in hydroponic systems. *Open Agriculture*. 1(1):1–6. doi:10.1515/opag-2016-0001.
- McCartney L, Lefsrud MG. 2018. Field trials of the Natural Ventilation Augmented Cooling (NVAC) greenhouse. *Biosystems Engineering*. 174:159–172. doi:10.1016/j.biosystemseng.2018.07.004.
- Murray JD, Lea-Cox JD, Ross DS. 2004. Time domain reflectometry accurately monitors and controls irrigation water applications in soilless substrates. *Acta Horticulturae*. 633:75–82. doi:10.17660/ActaHortic.2004.633.8.
- Nasiakou A, Vavalis M, Zimeris D. 2016. Smart energy for smart irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture*. 129:74–83. doi:10.1016/j.compag.2016.09.008.
- Nemali KS, Montesano F, Dove SK, van Iersel MW. 2007. Calibration and performance of moisture sensors in soilless substrates: ECH2O and Theta probes. *Scientia Horticulturae*. 112(2):227–234. doi:10.1016/j.scienta.2006.12.013.
- Nikolaou G, Neocleous D, Katsoulas N, Kittas C. 2017a. Effect of irrigation frequency on growth and production of a cucumber crop under soilless culture. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 29(11):863–871. doi:10.9755/ejfa.2017.v29.i11.1496.
- Nikolaou G, Neocleous D, Katsoulas N, Kittas C. 2017b. Modelling transpiration of soilless greenhouse cucumber and its relationship with leaf temperature in a mediterranean climate. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 29(12):911–920. doi:10.9755/ejfa.2017.v29.i12.1561.
- Nikolaou G, Neocleous D, Katsoulas N, Kittas C. 2019. Irrigation of greenhouse crops. *Horticulturae*. 5(1):1–20. doi:10.3390/horticulturae5010007.
- Nurfaijah, Setiawan BI, Arif C, Widodo S. 2015. Sistem Kontrol Tinggi Muka Air Untuk Budidaya Padi. *Jurnal Irigasi*. 10(2):97. doi:10.31028/ji.v10.i2.97-110.
- Nusantara EV, Ardiansah I, Bafdal N. 2021. Desain Sistem Otomatisasi Pengendalian Suhu Rumah Kaca Berbasis Web Pada Budidaya Tanaman Tomat. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*. 9(1):34–42. doi:10.21776/ub.jkptb.2021.009.01.05.
- Ouammi A, Achour Y, Dagdougui H, Zejli D. 2020. Optimal operation scheduling for a smart greenhouse integrated microgrid. *Energy for Sustainable Development*. 58:129–137. doi:10.1016/j.esd.2020.08.001.
- Pardossi A, Incrocci L, Incrocci G, Malorgio F, Battista P, Bacci L, Rapi B, Marzialetti P, Hemming J, Balendonck J. 2009. Root Zone Sensors for Irrigation Management in Intensive Agriculture. *Sensors*. 9(4):2809–2835. doi:10.3390/s90402809.
- Pasaribu LS, Bafdal N, Suryadi E. 2020. Kajian Kualitas Air dan Volume Pemanenan Air Hujan Sistem Atap Pada Greenhouse Academic Leadership Grant. *Prosiding Seminar Nasional ...* 4(1):198–204.
- Pawlowski A, Sánchez-Molina JA, Guzmán JL, Rodríguez F, Dormido S. 2017. Evaluation of event-based irrigation system control scheme for tomato crops in greenhouses. *Agricultural Water Management*. 183:16–25. doi:10.1016/j.agwat.2016.08.008.
- Prenger JJ, Ling PP, Hansen RC, Keener HM. 2005. Plant response-based irrigation in a greenhouse: System evaluation. *Transactions of the ASAE*. 48(3):1175–1183.
- Qiu R, Kang S, Du T, Tong L, Hao X, Chen R, Chen J, Li F. 2013. Effect of convection on the Penman-Monteith model estimates of transpiration of hot pepper grown in solar greenhouse. *Scientia Horticulturae*. 160:163–171. doi:10.1016/j.scienta.2013.05.043.
- Raviv M, Blom TJ. 2001. The effect of water availability and quality on photosynthesis and productivity of soilless-grown cut roses. *Scientia Horticulturae*. 88(4):257–276. doi:10.1016/S0304-4238(00)00239-9.
- Romdhonah Y, Suhardiyanto H, Erizal, Saptomo SK. 2015. Analisis Ventilasi Alamiah Pada Greenhouse Tipe Standard Peak Menggunakan Computational Fluid Dynamics. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*. 3(2):170–178.
- Schiattone MI, Viggiani R, Di Venere D, Sergio L, Cantore V, Todorovic M, Perniola M, Candido V. 2018. Impact of irrigation regime and nitrogen rate on yield, quality and water use efficiency of wild rocket under greenhouse conditions. *Scientia Horticulturae*. 229(October 2017):182–192. doi:10.1016/j.scienta.2017.10.036.
- Seethalakshmi E, Shunmugam M, Pavaiyarkarasi R, Joseph S, Edward paulraj J. 2021. An automated irrigation system for optimized greenhouse using IoT. *Materials Today: Proceedings*.(xxxx). doi:10.1016/j.matpr.2020.12.636.
- Shin JH, Son JE. 2015. Development of a real-time irrigation control system considering transpiration,

- substrate electrical conductivity, and drainage rate of nutrient solutions in soilless culture of paprika (*Capsicum annuum* L.). *European Journal of Horticultural Science*. 80(6):271–279. doi:10.17660/eJHS.2015/80.6.2.
- Siebert S, Döll P. 2010. Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation. *Journal of Hydrology*. 384:198–217.
- Silber A, Xu G, Wallach R. 2003. High irrigation frequency: The effect on plant growth and on uptake of water and nutrients. *Acta Horticulturae*. 627(3):89–96. doi:10.17660/ActaHortic.2003.627.10.
- Sirait S, Maryati S. 2018. Sistem Kontrol Irigasi Sprinkler Otomatis Bertenaga Surya di Kelompok Tani Kecamatan Meureubo Kabupaten Aceh Barat. *Jurnal Irigasi*. 13(1):55. doi:10.31028/ji.v13.i1.55-66.
- Sirait S, Saptomo SK, Purwanto MYJ. 2015. Rancang Bangun Sistem Otomatisasi Irigasi Pipa Lahan Sawah Berbasis Tenaga Surya. *Jurnal Irigasi*. 10(1):21. doi:10.31028/ji.v10.i1.21-32.
- Suhardiyanto H. 2009. *Teknologi Rumah Tanaman Untuk Iklim Tropika Basah: Pemodelan Dan Pengendalian Lingkungan*. Bogor: IPB Press.
- Swaef T De, Steppe K. 2010. Linking stem diameter variations to sap flow, turgor and water potential in tomato. *Functional Plant Biology*. 37(5):429–438. doi:10.1071/FP09233.
- Vera-Repullo JA, Ruiz-Peñalver L, Jiménez-Buendía M, Rosillo JJ, Molina-Martínez JM. 2015. Software for the automatic control of irrigation using weighing-drainage lysimeters. *Agricultural Water Management*. 151:4–12. doi:10.1016/j.agwat.2014.10.021.
- Wenhua J, Jianming C, van Veenhuizen M. 2010. Efficiency and economy of a new agricultural rainwater harvesting system. *Chinese Journal of Population Resources and Environment*. 8(4):41–48. doi:10.1080/10042857.2010.10685002.
- Zuliarti A, Saptomo SK. 2021. Perancangan dan Pemanfaatan Penampung Air Hujan dengan Filtrasi Sederhana Skala Unit Perumahan Villa Citra Bantarjati. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. 6(3):159–176. doi:10.29244/jsil.6.3.159-176.