



## Desain Pertanian Berkelanjutan di Lanskap Karst Gunungkidul: Integrasi Pemanenan Air, Akuakultur, dan Irigasi Tetes

### Design of a Sustainable Agricultural System for the Karst Landscape of Gunungkidul: Integration of Rainwater Harvesting, Aquaculture, and Drip Irrigation

Mohammad Prasanto Bimantio <sup>\*,1</sup>, Amir Noviyanto <sup>2</sup>, Galang Indra Jaya <sup>2</sup>, Dedy Tri Raharjo <sup>2</sup>, Agesty Keviana <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Stiper, Yogyakarta, Indonesia

<sup>2</sup> Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Stiper, Yogyakarta, Indonesia

\*Penulis Korespondensi

Email: [bimantiomp@instiperjogja.ac.id](mailto:bimantiomp@instiperjogja.ac.id)

**Abstrak.** Lanskap karst seperti di Gunungkidul, Yogyakarta, menghadapi tantangan serius dalam sektor pertanian akibat kelangkaan air dan kondisi tanah yang dangkal serta mudah tererosi. Keterbatasan ini menghambat produktivitas pertanian dan ketahanan terhadap variabilitas iklim. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pertanian berkelanjutan yang secara khusus disesuaikan dengan karakteristik wilayah karst. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan pemanenan air hujan, ekstraksi air tanah yang terkendali, akuakultur, dan irigasi tetes. Penerapan dilakukan di Desa Sumbergiri, Gunungkidul. Air hujan dikumpulkan dari atap bangunan dan disimpan untuk digunakan saat musim kemarau, sehingga mengurangi ketergantungan pada air tanah. Air tanah diambil melalui sumur dalam dengan pompa bertenaga surya sebagai sumber cadangan. Limbah akuakultur yang kaya nutrisi dimanfaatkan untuk mengairi tanaman melalui sistem irigasi tetes yang menyalurkan air langsung ke zona akar tanaman secara efisien. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan terintegrasi ini meningkatkan efisiensi penggunaan air, mendukung daur ulang nutrisi, dan meningkatkan hasil panen, bahkan selama musim kemarau. Sistem ini menawarkan model yang dapat direplikasi untuk pertanian berkelanjutan di wilayah karst dan daerah yang kekurangan air.

**Kata kunci:** irigasi tetes, lanskap karst, pemanenan air hujan, pertanian berkelanjutan.

**Abstract.** Karst landscapes such as those in Gunungkidul, Yogyakarta, face severe agricultural challenges due to chronic water scarcity and shallow, erosion-prone soils. These environmental limitations reduce agricultural productivity and resilience to climate variability. To address these constraints, this study aims to design and implement a sustainable agricultural system specifically tailored to karst regions. The proposed system integrates rainwater harvesting, controlled groundwater extraction, aquaculture, and drip irrigation. The integrated design was implemented in Sumbergiri Village, Gunungkidul. Rainwater is harvested from rooftops and stored for dry-season use, reducing reliance on groundwater. Groundwater is extracted using deep wells and solar-powered pumps as a supplementary source. Nutrient-rich aquaculture effluent is reused to irrigate crops through a drip irrigation system, which delivers water directly to plant roots with

*high efficiency. The findings demonstrate that this integrated approach improves water use efficiency, supports nutrient cycling, and enhances crop productivity, even during prolonged dry seasons. This model presents a scalable and replicable solution for sustainable agriculture in karst and other water-scarce environments.*

**Keywords:** *drip irrigation system, integrated water management, karst landscape, rainwater harvesting, sustainable agriculture.*

## 1. Pendahuluan

Kelangkaan air bersih menjadi tantangan global yang kian serius, terutama di wilayah karst seperti Gunungkidul, Yogyakarta. Daerah ini memiliki geografi batu kapur yang membuat aktivitas pertanian sangat bergantung pada air hujan, yang tidak selalu tersedia secara konsisten. Ketergantungan pada musim monsun yang tidak menentu memperburuk kondisi pertanian dan ketahanan pangan. Studi [Antriyandarti et al. \(2023\)](#) menunjukkan bahwa akses air, praktik pertanian, dan diversifikasi pendapatan sangat memengaruhi ketahanan pangan di daerah ini.

Karakteristik geologi karst—dengan porositas tinggi dan sistem drainase bawah tanah—menyulitkan penyimpanan dan pemanfaatan air permukaan. Meski air tanah tersedia di kedalaman, pengaksesannya memerlukan teknologi dan biaya tinggi, serta kajian hidrogeologi mendalam ([Ahmad, 2024](#); [Bonacci, 2015](#)). Meskipun formasi karst dapat menyimpan sejumlah besar air di bawah permukaan, ketersediaan air permukaan sering kali terbatas, terutama selama musim kemarau ([Ferhat et al., 2022](#)).

Pemurnian air dari sumur dalam juga menjadi tantangan, terutama di daerah yang tidak memiliki infrastruktur yang memadai ([Bonacci, 2015](#); [Kresic, 2013](#)). Selain itu, tanah di atas batu kapur sangat tipis dan rentan terhadap erosi, mempercepat degradasi lahan dan penurunan produktivitas pertanian ([Gutiérrez et al., 2014](#)).

Keterbatasan ini menyebabkan ketersediaan air yang terbatas untuk kebutuhan pertanian dan domestik, terutama selama musim kemarau yang panjang ([Maliva & Missimer, 2012](#)). Solusi berbasis teknologi seperti pemanenan air hujan dan sumur dalam menjadi strategi utama untuk mengatasi krisis air. Sistem panen air hujan terbukti efisien, mampu mengurangi ketergantungan pada air konvensional hingga 70–90% ([Ward et al., 2012](#)) serta mendukung Tujuan Pembangunan Berkelanjutan ([Raimondi et al., 2023](#)). Sementara itu, sumur dalam dapat membuka akses ke cadangan air tanah, meski membutuhkan investasi tinggi ([Ford & Williams, 2007](#)).

Integrasi akuakultur dalam sistem pertanian memberikan manfaat tambahan berupa sumber pangan dan daur ulang nutrisi, terutama nitrogen dan fosfor dari limbah kolam ([Zajdband, 2011](#)). Ketika dikombinasikan dengan irigasi tetes dan sumber air tanah, efisiensi penggunaan air meningkat signifikan ([Setiawan et al., 2018](#)).

Irigasi tetes sendiri merupakan metode paling efisien dalam penggunaan air, dengan efektivitas hingga 80% lebih baik dibanding irigasi konvensional ([Pereira et al., 2002](#); [Suhartono](#)

*et al.*, 2023). Penelitian menunjukkan bahwa integrasi irigasi tetes dengan sistem panen air hujan dan sumur dalam memberikan solusi inovatif untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air dalam aktivitas pertanian, khususnya di daerah seperti lanskap karst (Pandey *et al.*, 2023). Hasil penelitian Akhiriana and Hamawi (2023) menunjukkan bahwa irigasi tetes yang disertai pemberian pupuk organik cair (POC) dapat meningkatkan serapan nutrisi dan hasil pertanian secara keseluruhan.

Penelitian ini bertujuan merancang sistem pertanian berkelanjutan terintegrasi di lanskap karst Gunungkidul, dengan menggabungkan pemanenan air hujan, pemanfaatan air tanah, akuakultur, dan irigasi tetes. Pendekatan holistik ini diharapkan menjadi solusi atas krisis air, degradasi lahan, dan masalah ketahanan pangan di wilayah tersebut.

## 2. Bahan dan Metode

### 2.1. Desain Panen Air Hujan

Desain sistem panen air hujan mempertimbangkan pola curah hujan lokal, kebutuhan penyimpanan, dan kemampuan infrastruktur yang ada. Area potensial untuk pengumpulan air hujan dilakukan dengan memetakan atap, lapangan terbuka, dan permukaan lain yang cocok menggunakan alat pemetaan GIS untuk menghitung luas permukaan yang tersedia secara akurat.

Kapasitas penyimpanan sistem panen air hujan didasarkan pada volume air total yang dibutuhkan untuk irigasi dan akuakultur selama musim kemarau. Aplikasi skala kecil dapat menggunakan tangki *polyethylene* atau beton, sedangkan sistem skala besar memerlukan kolam atau waduk dengan kapasitas penyimpanan lebih besar. Sistem skala besar ini akan dilengkapi mekanisme filtrasi untuk memastikan air yang terkumpul bebas dari kontaminan dan kotoran.

Implementasinya mencakup komponen utama seperti permukaan tangkapan, sistem talang, pipa, dan sistem penyimpanan, yang dapat memberikan manfaat signifikan terhadap penghematan biaya air dan peningkatan kualitas hidup di wilayah kekurangan air (García-Ávila *et al.*, 2023). Air hujan yang dipanen diarahkan melalui jaringan pipa dan saluran dari permukaan pengumpulan ke unit penyimpanan. Selama periode kemarau, air yang disimpan akan dipompa ke sistem irigasi atau kolam akuakultur, mengurangi ketergantungan pada sumber air tanah dan meningkatkan keberlanjutan sistem pertanian.

### 2.2. Desain Pengelolaan Air Tanah

Desain pengelolaan air tanah menekankan pada ekstraksi air yang berkelanjutan dan efisiensi penggunaan air. Sumur dibor secara strategis berdasarkan ketersediaan air tanah, dan pompa bertenaga surya atau hemat energi digunakan untuk meminimalkan dampak lingkungan dan mengurangi biaya operasional.

Metode pengisian ulang akuifer akan diterapkan untuk menjaga keberlanjutan jangka panjang air tanah. Ini melibatkan pengalihan kelebihan air permukaan, yang bersumber dari panen air hujan atau limpasan dari sistem akuakultur, ke sumur atau kolam sirkulasi untuk mengisi kembali akuifer dan mengurangi risiko penipisan. Air tanah akan diintegrasikan ke dalam sistem pasokan air untuk irigasi dan akuakultur saat cadangan panen air hujan tidak mencukupi. Proses ekstraksi air tanah diintegrasikan dengan sistem panen air hujan untuk memastikan penggunaannya terkontrol dan sirkulasi yang terkendali.

### **2.3. Desain Sistem Akuakultur**

Integrasi akuakultur dalam sistem ini akan memprioritaskan penggunaan air dan nutrisi secara efisien, meningkatkan kesuburan tanah sambil menjaga kesehatan spesies akuatik. Desain kolam akuakultur disesuaikan dengan ketersediaan lahan dan sumber daya air. Kolam skala kecil, dengan kapasitas antara 5.000 hingga 20.000 liter, akan digunakan untuk budidaya ikan, sementara kolam yang lebih besar dapat dibangun untuk operasi skala lebih besar.

Sistem sirkulasi air diterapkan untuk mendistribusikan dan mengelola produk limbah secara merata. Air dari kolam akuakultur dapat dipompa ke sistem irigasi, memperkaya tanah dengan nutrisi sekaligus menyaring nutrisi berlebih untuk meningkatkan kualitas air.

Integrasi air akuakultur ke dalam sistem irigasi akan mengikuti desain *closed loop* yang terkendali. Air yang disaring dari kolam akuakultur akan diarahkan ke tanaman, dengan kelebihan air yang beredar kembali ke kolam. Pendekatan ini mendukung siklus nutrisi, menguntungkan tanaman tanpa membebani sistem akuakultur dengan pemupukan yang berlebihan.

### **2.4. Desain Sistem Irigasi Tetes**

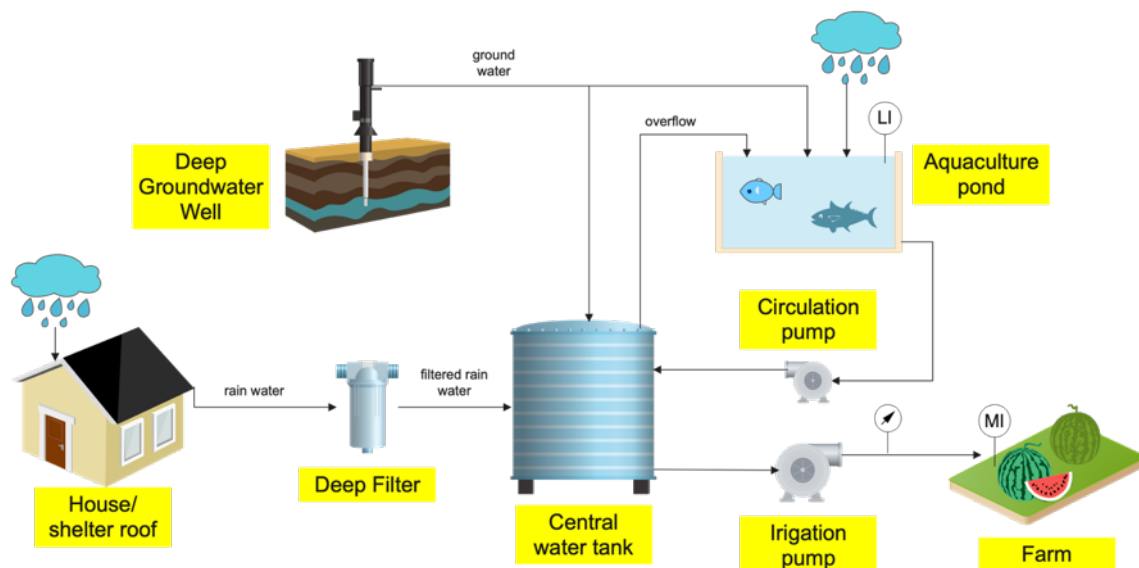
Sistem irigasi tetes dirancang untuk menyuplai air secara presisi ke zona akar tanaman. Emitor akan ditempatkan sesuai dengan jenis tanaman dan jarak antar baris, memastikan setiap tanaman menerima air yang memadai tanpa kehilangan akibat limpasan atau penguapan. Sistem ini akan diotomatisasi menggunakan sensor kelembapan tanah yang memantau kebutuhan air dan mengaktifkan irigasi hanya jika diperlukan. Teknologi irigasi tetes telah terbukti meningkatkan efisiensi penggunaan air dan hasil tanaman di berbagai lokasi, termasuk area yang terbatas sumber daya air, seperti di China (Yang *et al.*, 2023). Implementasi irigasi tetes di Tiongkok telah menghasilkan peningkatan produktivitas tanaman dan efisiensi penggunaan air, yang relevan dengan upaya pertanian berkelanjutan di berbagai kondisi geografis (Wang *et al.*, 2022). Dalam konteks desain sistem pertanian berkelanjutan untuk lanskap karst di Gunungkidul, Yogyakarta, integrasi irigasi tetes dapat memberikan manfaat serupa. Menggabungkan irigasi tetes dengan pemanenan air hujan, penggunaan air tanah, dan akuakultur dapat meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya air dan produktivitas pertanian di daerah tersebut.

Unit kontrol akan mengatur distribusi air berdasarkan data kelembapan tanah secara real-time, prakiraan cuaca, dan jadwal irigasi yang telah ditetapkan. Untuk mencegah penyumbatan emitor, air dari panen air hujan, akuakultur, atau sumber air tanah akan disaring untuk menjaga kualitas air tetap tinggi.

Jaringan distribusi air akan dibangun, di mana air dari sistem panen air hujan, ekstraksi air tanah, dan kolam akuakultur akan mengalir ke titik distribusi. Dari sana, air akan diarahkan ke sistem irigasi tetes dan kolam akuakultur sesuai dengan kebutuhan air dalam sistem.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Sistem ini diterapkan di lahan karst Desa Sumbergiri, Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkidul, Provinsi Yogyakarta. Lahan karst di Desa Sumbergiri dimanfaatkan oleh Kelompok Tani Giri Muda untuk menanam semangka dan cabai. Namun, selama musim kemarau, kelompok ini tidak dapat bercocok tanam karena keterbatasan ketersediaan air. Biasanya, aktivitas pertanian hanya dapat dilakukan pada musim hujan.



Gambar 1. Skema Integrasi Sumber Daya Air di Wilayah Karst (sumber: pribadi)

**Gambar 1** menunjukkan sistem pengelolaan air terintegrasi yang dirancang untuk pertanian berkelanjutan, terutama di wilayah dengan kelangkaan air atau lanskap karst seperti Gunungkidul, Yogyakarta. Sistem ini menggabungkan berbagai sumber air dan teknologi, termasuk panen air hujan, ekstraksi air tanah, akuakultur, dan irigasi tetes, ke dalam satu kerangka sistem terpadu yang bertujuan untuk memaksimalkan efisiensi penggunaan air dan mendukung produktivitas pertanian.

Sistem ini dimulai dengan komponen pemanen air hujan, yang memanfaatkan atap bangunan sebagai area tangkapan untuk mengumpulkan air hujan. Dalam desain ini, atap logam secara efisien mengarahkan air hujan ke sistem talang yang terletak di sepanjang tepi atap, seperti yang terlihat pada **Gambar 2**. Penelitian [Ward et al. \(2012\)](#) menunjukkan bahwa sistem pemanenan air

hujan di wilayah semi-arid dapat mencapai efisiensi hingga 70-90%. Hasil ini sejalan dengan penelitian saat ini yang mengungkapkan bahwa pemanenan air hujan mampu mengurangi ketergantungan pada sumber air tanah di wilayah karst Gunungkidul (Bimantio *et al.*, 2025). Raimondi *et al.* (2023) menekankan bahwa pemanenan air hujan juga relevan untuk mitigasi kekeringan dan mendukung keberlanjutan lingkungan, mendukung hasil penerapan penelitian ini.



Gambar 2. Atap Bangunan yang Dimanfaatkan sebagai Area Tangkapan Air (sumber: pribadi)

Air hujan yang terkumpul diarahkan melalui sistem talang menuju *deep filter*, yang menggunakan lapisan kerikil, pasir, karbon aktif, dan media filtrasi lainnya untuk menghilangkan kotoran, sedimen, dan kontaminan. Sistem perpipaan dirancang secara tepat guna untuk memungkinkan aliran air yang lancar dari talang ke filter, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Proses filtrasi ini memastikan bahwa hanya air bersih yang masuk ke dalam sistem, yang kemudian disimpan dalam *central water tank*. Sistem panen air hujan ini menyediakan sumber air yang dapat diperbarui dengan biaya rendah, sehingga mengurangi ketergantungan pada air tanah dan menawarkan solusi berkelanjutan bagi daerah yang memiliki curah hujan terbatas atau musiman.



Gambar 3. Sistem Perpipaan dari Talang Air Hujan Menuju *Deep Filter* dan Aliran ke *Central Water Tank* (sumber: pribadi)

Komponen pendukung utama dalam sistem ini adalah ekstraksi air tanah melalui sumur dalam yang mencapai kedalaman 50 meter di bawah permukaan tanah, seperti terlihat pada Gambar 4. Sumur ini berfungsi sebagai sumber air tambahan, terutama selama periode kemarau panjang ketika air hujan tidak tersedia. Air tanah yang diekstraksi diarahkan ke *central water tank*,

di mana air ini digabungkan dengan sumber air lainnya. Penyimpanan yang terpusat ini memastikan pasokan air yang konsisten, yang sangat penting untuk mempertahankan produktivitas pertanian di lingkungan yang terbatas air. Air tanah di wilayah karst terkonsentrasi dalam area bawah tanah atau celah-celah. Salah satu keunggulan mata air karst adalah daya limpasan yang lambat. Hal ini membuat mata air karst memiliki kapasitas penyimpanan besar, memastikan debit yang signifikan selama musim kemarau (Susilo *et al.*, 2021). Studi Setiawan *et al.* (2018) juga menunjukkan bahwa pengisian ulang akuifer adalah pendekatan penting untuk menjaga keberlanjutan air tanah di wilayah karst, seperti yang diterapkan dalam penelitian ini.

Tingkat ekstraksi air tanah dikontrol untuk mencegah penipisan akuifer, yang menjadi perhatian khusus di wilayah karst karena akuifer rentan terhadap eksploitasi berlebihan dan kontaminasi. Jalur terintegrasi antara kolam akuakultur dan *central water tank* memungkinkan air mengalir di antara keduanya, menjaga keseimbangan level air dan memastikan kelebihan air dapat dialihkan dan digunakan kembali dalam sistem.



Gambar 4. Sumur Dalam yang Terhubung dengan *Central Water Tank* dan Kolam Akuakultur (sumber: pribadi)

*Central water tank* berfungsi sebagai *reservoir* utama, menampung air hujan yang telah disaring, air tanah, dan kelebihan air dari kolam akuakultur. Model penyimpanan terpusat ini memungkinkan pengelolaan dan alokasi sumber daya air secara efisien, menjamin distribusi air sesuai dengan kebutuhan pertanian secara *real-time*. Dengan menggabungkan sumber-sumber ini, dapat memaksimalkan penggunaan sumber daya dan mendukung daur ulang air dalam sistem, sehingga mengurangi ketergantungan pada input eksternal. Sistem *central water tank* yang diaplikasikan adalah seperti pada Gambar 5.

Untuk memfasilitasi pengaliran air, sistem ini mencakup serangkaian pompa. Pompa sirkulasi menghubungkan *central water tank* dengan kolam akuakultur, memungkinkan aliran air yang terkontrol antara keduanya, sehingga menjaga kualitas air dan level nutrisi yang optimal.

Sirkulasi air ini mengurangi risiko stagnasi di kolam dan memungkinkan air yang kaya nutrisi dapat diakses oleh bagian lain dalam sistem.

Pompa irigasi digunakan untuk mengambil air dari *central water tank* dan mendistribusikannya ke lahan pertanian dan irigasi. Di sini, tanaman diairi menggunakan sistem irigasi tetes, yang menyuplai air langsung ke zona akar tanaman, meminimalkan kehilangan akibat penguapan dan limpasan. Metode ini sangat menguntungkan di daerah kering, di mana konservasi air sangat penting.

Pengaturan dengan sistem pompa ganda, memungkinkan pengelolaan air yang fleksibel dan efisien. Pompa sirkulasi memastikan kondisi optimal untuk akuakultur, sementara pompa irigasi menjamin pasokan air yang stabil untuk irigasi tanaman. Kombinasi komponen-komponen ini menciptakan jaringan distribusi air yang berkelanjutan, memaksimalkan penggunaan kembali air, mendukung siklus nutrisi, dan meningkatkan ketahanan sistem secara keseluruhan. Hasil ini sejalan dengan penelitian [Maison et al. \(2020\)](#) dan [Hananto et al. \(2023\)](#) yang membahas implementasi pompa irigasi bertenaga surya untuk meningkatkan efisiensi pengairan lahan pertanian dalam sistem pertanian berkelanjutan.



Gambar 5. *Central Water Tank* dengan Pompa Sirkulasi (kanan) dan Pompa Irigasi (kiri)  
(sumber: pribadi)

Kolam akuakultur sangat diperlukan dalam sistem ini dengan mendukung budidaya ikan, yang tidak hanya berkontribusi pada produksi pangan tetapi juga memperkaya air dengan nutrisi dari limbah ikan ([Putra et al., 2022](#)). Nutrisi ini, terutama nitrogen dan fosfor, berfungsi sebagai pupuk alami yang dapat diarahkan untuk irigasi tanaman ([Harahap, 2019](#)). Mekanisme limpasan mengintegrasikan kolam dengan *central water tank*, memungkinkan kelebihan air dari kolam

akuakultur untuk tersirkulasi kembali dalam sistem. Hal ini mencegah pemborosan air dan meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman.

Pengelolaan kualitas air seperti yang dibahas dalam studi [Wiandari \*et al.\* \(2024\)](#) juga relevan untuk integrasi akuakultur, di mana kualitas air yang baik berperan dalam menjaga kesehatan ikan sekaligus mendaur ulang nutrisi untuk meningkatkan kesuburan tanah. Proses *loop* ini mendukung kesuburan tanah sekaligus mengurangi kebutuhan akan pupuk kimia. Kolam ini terhubung dengan *central water tank*, sehingga dapat menerima air dari tangki atau mengembalikan air berlebih ke tangki saat kapasitas kolam terlampaui. Pengaturan ini difasilitasi oleh pompa sirkulasi, memastikan bahwa air tetap teroksigenasi dan mencegah stagnasi. Selain itu, limpasan dari kolam dapat dialihkan ke komponen lain dalam sistem untuk meminimalkan pemborosan air.

Kolam akuakultur pada [Gambar 6](#) memiliki peran ganda dalam sistem terintegrasi ini dengan meningkatkan pengelolaan sumber daya air dan kesuburan tanah. Lokasinya yang dekat dengan lahan pertanian memungkinkan akses yang mudah ke air yang kaya nutrisi, mengoptimalkan penggunaan sumber daya, dan mendukung pendekatan holistik terhadap pertanian berkelanjutan.



Gambar 6. Kolam Akuakultur (sumber: pribadi)

Area pertanian, yang merupakan lahan utama untuk aktivitas bercocok tanam, mendapatkan manfaat dari integrasi berbagai sumber air, termasuk air hujan, air tanah, dan air yang diperkaya nutrisi dari kolam akuakultur. Dalam sistem ini, air disuplai langsung ke zona akar setiap tanaman melalui emitor irigasi tetes, memastikan akar tanaman menerima kelembapan yang cukup tanpa menjenuhkan tanah di sekitarnya ([Avianto \*et al.\*, 2024](#)). Sistem irigasi tetes yang digunakan adalah seperti pada [Gambar 7](#).

Pelepasan air secara terkontrol dan perlahan mengurangi kehilangan akibat penguapan dan meminimalkan limpasan, menjadikan teknik irigasi ini sangat efektif di lingkungan kering dan semi-kering ([Hermawan \*et al.\*, 2024](#)). Pendekatan presisi ini juga membantu mencegah pertumbuhan gulma dengan menjaga tanah di sekitarnya tetap kering, sehingga mengurangi persaingan untuk nutrisi dan air.

Dengan memanfaatkan sistem irigasi tetes, memastikan bahwa tanaman menerima hidrasi yang presisi dan nutrisi penting, meningkatkan hasil panen dan kesehatan tanah. Sistem irigasi tetes dalam sistem ini terhubung ke *central water tank*, yang menggabungkan berbagai sumber air, termasuk air hujan yang telah disaring, air tanah, dan air kaya nutrisi dari kolam akuakultur. Akibatnya, tanaman menerima air yang tidak hanya efisien dalam pengaliran tetapi juga kaya nutrisi esensial, secara alami meningkatkan pertumbuhan tanaman dan kesuburan tanah. Hasil ini sesuai dengan hasil Penelitian [Khairunnisak et al. \(2017\)](#) dan [Avianto et al. \(2024\)](#) menunjukkan bahwa sistem irigasi tetes otomatis berbasis mikrokontroler dapat memberikan air sesuai kebutuhan tanaman dengan efisiensi mencapai 100%. Hal ini memaksimalkan efisiensi penggunaan air di wilayah karst melalui penerapan sistem irigasi tetes yang terintegrasi. Sistem terintegrasi ini tidak hanya mengoptimalkan penggunaan air tetapi juga berkontribusi pada model pertanian berkelanjutan yang tangguh dalam menghadapi kelangkaan air dan kendala lingkungan.



Gambar 7. Irigasi Tetes (sumber: pribadi)

Sistem pengelolaan air terintegrasi ini memberikan pendekatan yang komprehensif dan sistematis terhadap pertanian berkelanjutan. Dengan menggabungkan panen air hujan, ekstraksi air tanah, akuakultur, dan irigasi tetes, desain ini memaksimalkan efisiensi penggunaan air, menciptakan daur ulang nutrisi, dan meningkatkan produktivitas. Sistem ini memberikan model yang dapat diadopsi di wilayah yang menghadapi masalah sumber daya air, sehingga menawarkan solusi pertanian yang berkelanjutan. Sistem ini diterapkan dalam bentuk sejenis oleh [Oktavia et al. \(2024\)](#) yang menyoroti pengembangan sistem pengumpulan air hujan yang lebih canggih dengan penggunaan tangki dan sistem filtrasi. Konsep pengelolaan sumber daya air dengan pendekatan holistik terhadap pengelolaan daerah aliran sungai dan sumber daya air, termasuk praktik konservasi dan rehabilitasi tanah

Secara keseluruhan, sistem ini memaksimalkan efisiensi sumber daya, mengurangi dampak lingkungan, dan meningkatkan produktivitas pertanian. Hal ini menjadikannya model yang *robust* untuk praktik pertanian berkelanjutan di lanskap yang marjinal. Dengan pendekatan terintegrasi, sistem ini mendukung keberlanjutan jangka panjang baik dalam pengelolaan sumber daya air maupun produktivitas pertanian.

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini membuktikan bahwa sistem pertanian terintegrasi yang menggabungkan panen air hujan, pemanfaatan air tanah, akuakultur, dan irigasi tetes efektif diterapkan di lanskap karst Gunungkidul, Yogyakarta, dengan meningkatkan efisiensi air, mendukung daur ulang nutrisi, dan mendorong pertanian berkelanjutan. Panen air hujan mengurangi ketergantungan pada air tanah, sementara ekstraksi air tanah yang terkendali berfungsi sebagai cadangan saat kemarau. Akuakultur menyediakan pangan tambahan dan air bernutrisi untuk tanaman, mengurangi kebutuhan pupuk kimia. Irigasi tetes menyalurkan air secara tepat ke akar, meminimalkan penguapan dan limpasan. Secara keseluruhan, sistem ini mengoptimalkan sumber daya, meningkatkan produktivitas, dan menjadi solusi adaptif bagi pertanian di wilayah karst yang rawan kekeringan.

#### Singkatan yang Digunakan

POC	Pupuk Organik Cair
GIS	Geographic Information System
IoT	Internet of Things
DRTPM	Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat
PBM	Program Pemberdayaan Berbasis Masyarakat
DAS	Daerah Aliran Sungai

#### Pernyataan Ketersediaan Data

Data akan tersedia berdasarkan permintaan.

#### Kontribusi Para Penulis

**Mohammad Prasanto Bimantio:** Konseptualisasi, Metodologi, Perolehan dana, Administrasi proyek, Pengawasan, Penulisan – draf awal, Penulisan – tinjauan dan penyuntingan.

**Amir Noviyanto:** Investigasi, Kurasi data, Visualisasi, Penulisan – tinjauan dan penyuntingan.

**Galang Indra Jaya:** Analisis formal, Visualisasi, Validasi, Penulisan – tinjauan dan penyuntingan. **Dedy Tri Raharjo:** Investigasi, Kurasi data, Perangkat lunak. **Agesty**

**Keviana:** Investigasi, Kurasi data, Penulisan

#### Pernyataan Konflik Kepentingan

Para penulis naskah ini menyatakan tidak ada konflik kepentingan atau kepentingan yang bersaing.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Kelompok Tani Giri Muda atas partisipasi aktif dalam kegiatan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat. Program ini didanai oleh Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi melalui Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRTPM) dalam skema Program Pemberdayaan Berbasis Masyarakat (PBM) dengan Nomor Kontrak Induk 068/E5/PG.02.00/PM.BATCH.2/2024.

### Daftar Pustaka

- Ahmad, I. M. (2024). Air Terkelola, Panen Terjaga: Adaptasi Petani di Lahan Karst dalam Menghadapi Perubahan Iklim. *Endogami*, 7(2), 301–315. <https://doi.org/10.14710/endogami.7.2.301-315>
- Akhiriana, E., & Hamawi, M. (2023). Pengaruh Aplikasi Beberapa Dosis POC dengan Sistem Irigasi Tetes Terhadap Budidaya Beberapa Jenis Peterseli di Dataran Rendah. *Agroteknika*, 6(1), 81–90. <https://doi.org/10.55043/agroteknika.v6i1.199>
- Antriyandarti, E., Barokah, U., Rahayu, W., Laia, D. H., & Asami, A. (2023). Factors Associated with Food Security of Dryland Farm Households in the Karst Mountains of Gunungkidul Indonesia. *Sustainability*, 15(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/su15118782>
- Avianto, Y., Noviyanto, A., Jaya, G. I., Handru, A., Ferhat, A., Hartanto, E. S., ..., & Shofry, M. A. (2024). Integrating Automated Drip Irrigation and Organic Matter to Improve Enzymatic Performance and Yield of Water Efficient Chilli in Karst Region. *Journal of Ecological Engineering*, 25(11), 175–187. <https://doi.org/10.12911/22998993/192820>
- Bimantio, M. P., Noviyanto, A., Jaya, G. I., Raharjo, D. T., Keviana, A., & Suparyanto, T. (2025). Pemanenan Air Hujan Ex-Situ oleh Masyarakat Petani untuk Efektivitas Air Irigasi di Pertanian Lahan Kering, Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta. *PengabdianMu: Jurnal Ilmiah Pengabdian kepada Masyarakat*, 10(2), 607–617. <https://doi.org/10.33084/pengabdianmu.v10i2.8718>
- Bonacci, O. (2015). Surface Waters and Groundwater in Karst. Dalam Z. Stevanović (Ed.), *Karst Aquifers—Characterization and Engineering* (hlm. 149–169). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-12850-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-12850-4_5)
- Ferhat, A., Seizarsyah, T., Bimantio, M. P., Nugraha, N. S., Putra, D. P., Suparyanto, T., Hidayat, A. A., & Pardamean, B. (2022). A Geoelectric Approach for Karst Groundwater Analysis. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 998, 1–10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/998/1/012012>
- Ford, D., & Williams, P. D. (2007). *Karst hydrogeology and geomorphology*. John Wiley & Sons.
- García-Ávila, F., Guanoquiza-Suárez, M., Guzmán-Galarza, J., Cabello-Torres, R., & Valdiviezo-Gonzales, L. (2023). Rainwater harvesting and storage systems for domestic supply: An overview of research for water scarcity management in rural areas. *Results in Engineering*, 18, 101153. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101153>
- Gutiérrez, F., Parise, M., De Waele, J., & Jourde, H. (2014). A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst. *Earth-Science Reviews*, 138, 61–88. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.08.002>
- Hananto, Y., Ulma, Z., Zain, A. T., Wibowo, M. J., & Rachmanita, R. E. (2023). Penerapan Teknologi Pompa Irigasi Pertanian Bertenaga Surya di Desa Dukuhdempok Kecamatan Wuluhan Kabupaten Jember. *Journal of Community Development*, 4(1), 18–26. <https://doi.org/10.47134/comdev.v4i1.126>
- Harahap, K. S. (2019). Pemanfaatan Unsur Nitrogen Limbah Budidaya Ikan Lele Sebagai Pupuk Cair Organik. *Jurnal Education and development*, 7(1), 80–83.

<https://www.neliti.com/id/publications/561347/pemanfaatan-unsur-nitrogen-limbah-budidaya-ikan-lele-sebagai-pupuk-cair-organik>

- Hermawan, H., Alawiyah, T., Imani, N. P., Saidah, H., Irawan, A. U., Zamharia, M., ..., & Widyasari, N. M. C. D. (2024). Penerapan Metode Irigasi Tetes Guna Mendukung Kegunaan Air yang Efisien di Desa Ketangga Kecamatan Suwela Kabupaten Lombok Timur. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 7(3), 975–981. <https://doi.org/10.29303/jpmipi.v7i3.9019>
- Khairunnisak, K., Devianti, D., & Mustafiril, M. (2017). Kajian Aplikasi Alat Penyiraman Otomatis dengan Sistem Irigasi Tetes Berbasis Perubahan Kadar Air Tanah pada Tanaman Pakcoy (*Brassica chinensis* L.). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 2(3), 294–307. <https://doi.org/10.17969/jimfp.v2i3.3709>
- Kresic, N. (2013). *Water in karst: Management, vulnerability, and restoration*. McGraw-Hill.
- Maison, M., Samsidah, S., Nurhidayah, N., & Afrianto, M. F. (2020). Penerapan Pompa Vakum untuk Irigasi Pertanian di Kelurahan Mudung Laut Kecamatan Pelayangan Kota Jambi. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Pinang Masak*, 1(1), 8–12. <https://doi.org/10.22437/jpm.v1i1.9152>
- Maliva, R., & Missimer, T. (2012). *Arid Lands Water Evaluation and Management*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-29104-3>
- Oktavia, F., Rahmasary, A. N., & Hariyanti, K. S. (2024). Infrastruktur Panen Air Pertanian: Solusi Berkelanjutan untuk Ketahanan Air di Sektor Pertanian. *Warta Sumber Daya Lahan Pertanian*, 1(1), 1–4. <https://epublikasi.pertanian.go.id/berkala/wSDL/issue/download/625/18>
- Pandey, H. K., Singh, V. K., Singh, R. P., & Singh, S. K. (2023). Soil Loss Estimation Using RUSLE in Hard Rock Terrain: A Case Study of Bundelkhand, India. *Water Conservation Science and Engineering*, 8(1), 55. <https://doi.org/10.1007/s41101-023-00229-5>
- Pereira, L., Oweis, T., & Zairi, A. (2002). Irrigation management under water scarcity. *Agricultural Water Management*, 57, 175–206. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(02\)00075-6](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00075-6)
- Putra, I. G. K. P., Rai, I. N., & Wijana, G. (2022). Aplikasi Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) dan Limbah Air Kolam Lele dengan Sistem Irigasi Tetes terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa* L.). *Agrotrop: Journal on Agriculture Science*, 12(2), 175. <https://doi.org/10.24843/AJoAS.2022.v12.i02.p01>
- Raimondi, A., Quinn, R., Abhijith, G. R., Becciu, G., & Ostfeld, A. (2023). Rainwater Harvesting and Treatment: State of the Art and Perspectives. *Water*, 15(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/w15081518>
- Setiawan, T., Isnaini, S., Asghaf, N. M. A., & Effendi, I. (2018). Sistem Imbuhan Air Tanah Daerah Karst Wonosari – Baron, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta Berdasarkan Analisis Isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$ . *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 9(3), 143–155. <http://dx.doi.org/10.34126/jlbg.v9i3.235>
- Suhartono, S., Umam, C., Supriyadi, S., & Saputro, E. (2023). Rancang Bangun Fertigasi Tetes dan Kontrol Lingkungan Mikro Berbasis IoT Terhadap Pertumbuhan Tanaman Selada (*Lactuca sativa* L.). *Jurnal BETA (Biosistem dan Teknik Pertanian)*, 11(1), 67. <https://doi.org/10.24843/JBETA.2023.v11.i01.p08>
- Susilo, H., Purwantoro, D., & Rahadiansyah, S. (2021). Model Performance Index of Ground Water Irrigation Systems in the Karst Mountain Region: Case Study in Gunung Kidul Regency, Yogyakarta. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 641(1), 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/641/1/012014>
- Wang, H., Wang, N., Quan, H., Zhang, F., Fan, J., Feng, H., Cheng, M., Liao, Z., Wang, X., & Xiang, Y. (2022). Yield and water productivity of crops, vegetables and fruits under subsurface drip irrigation: A global meta-analysis. *Agricultural Water Management*, 269, 107645. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107645>

- Ward, S., Barr, S., Butler, D., & Memon, F. A. (2012). Rainwater harvesting in the UK: Socio-technical theory and practice. *Technological Forecasting and Social Change*, 79(7), 1354–1361. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.04.001>
- Wiandari, N. P., Maroeto, & Mindari, W. (2024). Kajian Kualitas Air pada Berbagai Penggunaan Lahan di Sub DAS Jagir Kota Surabaya. *Agroteknika*, 7(3), 314–332. <https://doi.org/10.55043/agroteknika.v7i3.276>
- Yang, P., Wu, L., Cheng, M., Fan, J., Li, S., Wang, H., & Qian, L. (2023). Review on Drip Irrigation: Impact on Crop Yield, Quality, and Water Productivity in China. *Water*, 15(9), 1733. <https://doi.org/10.3390/w15091733>
- Zajdband, A. D. (2011). Integrated Agri-Aquaculture Systems. Dalam E. Lichtfouse (Ed.), *Genetics, Biofuels and Local Farming Systems* (hlm. 87–127). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-1521-9\\_4](https://doi.org/10.1007/978-94-007-1521-9_4)