

SMART URBAN FARMING DENGAN PANEL SURYA, AIR HUJAN, DAN LIMBAH AC PADA GEDUNG BERTINGKAT, SEMARANG

Smart Urban Farming with Solar Panels, Rainwater and AC Waste in High-Story Buildings, Semarang

David Suwarno Kusweanto¹, Eldisya Martha Jebatu¹, Nathaniel Wijaya²

¹Universitas Katholik Soegijapranata

²Universitas Diponegoro

ABSTRACT

Indonesia, with its high population density, has resulted in increased land use change and a reduction in food production land. One of the existing concepts to solve this problem is urban farming combined with smart farming. Smart urban farming uses surrounding components to produce a circular life cycle. Hence the main goal of this research is to understand the difference of effectivity and efficiency between urban farming and smart urban farming. One of the food produce that is suitable for smart urban farming is red spinach. In this case study, the method used is life cycle assessment and is applied to a three-story building with energy components from solar panels, water from rain water harvesting, and fertilizer from AC waste water. Urban farming and smart urban farming have differences in their life cycles, urban farming has a linear cycle while smart urban farming has a circular cycle. Smart urban farming has a circular pattern and can provide 100% lighting, 54.6% water and 89.94% fertilizer using solar energy, rainwater harvesting and air conditioning waste. This circular pattern has a positive impact on the environment by reducing the use of environmentally unfriendly sources of water, energy and fertilizer.

Keywords: ac waste, life cycle assessment, smart farming, urban farming

ABSTRAK

Indonesia dengan kepadatan penduduk yang tinggi mengakibatkan peningkatan alih guna lahan dan pengurangan lahan produksi pangan. Salah satu konsep yang ada untuk menyelesaikan masalah ini ialah, *urban farming* yang dikombinasikan dengan *smart farming*. *Smart urban farming* menggunakan komponen-komponen sekitarnya untuk menghasilkan siklus hidup yang sirkular. Oleh karena itu, fokus tujuan penelitian ditujukan untuk mengetahui perbandingan efektivitas dan efisiensi antara metode *urban farming* dengan *smart urban farming*. Salah satu tumbuhan pangan yang sesuai untuk *smart urban farming* ialah bayam merah. Pada studi kasus ini metode yang digunakan ialah *life cycle assessment* dan diterapkan pada bangunan tiga lantai dengan komponen energi dari panel surya, air dari *rain water harvesting*, dan pupuk dari limbah air AC. *Urban farming* dan *smart urban farming* memiliki perbedaan dalam siklus hidupnya, *urban farming* memiliki siklus linear sedangkan *smart urban farming* memiliki siklus sirkular. *Smart urban farming* memiliki pola sirkular dan dapat menyediakan 100% penerangan, 54,6% air, dan 89,94% pupuk menggunakan energi matahari, pemanenan air hujan, dan limbah AC. Pola sirkular ini berdampak positif terhadap lingkungan dengan mengurangi penggunaan sumber air, energi, dan pupuk yang tidak ramah lingkungan.

Kata kunci: life cycle assessment, limbah AC, smart farming, urban farming

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan tingkat kepadatan penduduk yang tinggi. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik jumlah penduduk Indonesia mencapai 275 juta jiwa pada tahun 2022 (BPS, 2023). Hal ini berbanding terbalik dengan luas wilayah daratan Indonesia sebesar 1,9 juta km², sehingga kepadatan penduduk Indonesia idealnya berada di kisaran 144 jiwa/km². Faktanya penyebaran penduduk Indonesia tidak merata dan berpusat di wilayah perkotaan. Badan Pusat Statistik (BPS, 2023) menyebutkan bahwa kepadatan penduduk Indonesia tertinggi berada di wilayah DKI Jakarta yaitu sebesar 16 ribu orang/km² dan tingkat kepadatan penduduk terendah di wilayah Kalimantan Utara hanya sekitar 10 orang/km². Tingkat kepadatan penduduk inilah yang kemudian menjadi permasalahan di berbagai bidang seperti ekonomi, kebutuhan lahan, lapangan pekerjaan, kebersihan wilayah, dan kebutuhan dasar (Prihatin, 2015).

Peningkatan alih guna lahan dan kebutuhan lahan akibat kepadatan penduduk tidak terlepas dari budaya masyarakat Indonesia yang mendirikan bangunan di atas tanah (*landed house*). Hal ini dibenarkan oleh Bambang Eka Jaya, Wakil Ketua Umum *Real Estat* Indonesia (REI) yang menyatakan bahwa *trend land house* masih akan mendominasi sepanjang tahun 2022 (Maharani dan Alexander, 2022). Secara sederhana konsep bangunan *landed house* adalah rumah tapak yang berada di atas tanah atau dibuat horisontal. Untuk itu, beberapa wilayah di Indonesia telah menerapkan konsep *apart* atau bangunan vertikal. Keuntungan pembangunan rumah susun di wilayah perkotaan diantaranya memberikan hunian layak, mengurangi kawasan kumuh perkotaan, dan terjangkau khususnya bagi kalangan menengah ke bawah (Gadeng, *et al.*, 2019).

Kehadiran hunian layak dengan konsep vertikal di wilayah perkotaan merupakan tantangan sekaligus peluang bagi perkembangan sumber daya manusia yang ada. Dibalik beberapa keuntungan pemanfaatan lahan, tantangan berikutnya adalah menyediakan sarana dan prasarana yang menunjang kebutuhan masyarakat, terutama pangan secara berkelanjutan (Sedana dan Permini, 2023). Peningkatan populasi penduduk perkotaan yang tidak diimbangi dengan ketersediaan lahan pangan dapat diatasi dengan pertanian perkotaan (*urban farming*).

Di Indonesia konsep *urban farming* mulai diminati saat masa pandemi Covid-19 (Andini *et al.*, 2021). *Urban farming* merupakan konsep pertanian lahan terbatas menjadi lahan berkebun yang produktif (Putra *et al.*, 2021). *United Nations Development Programme* (UNDP) dalam Putra *et al.*, (2021) mendefinisikan *urban farming* sebagai aktivitas produksi, pengolahan, dan pemasaran bahan pangan di kawasan perkotaan dengan memanfaatkan lahan dan perairan yang ada di wilayah tersebut. Contoh lahan terbatas yang dimanfaatkan diantaranya balkon, atap, pekarangan, pinggir jalan, dan bahkan di dalam ruangan.

Perbedaan konsep pertanian perkotaan dengan pertanian konvensional adalah pelaku dan media tanam (Putra *et al.*, 2021). Orientasi pertanian konvensional adalah hasil produksi, sedangkan pertanian perkotaan adalah penyesuaian karakter masyarakat perkotaan. Inovasi pertanian perkotaan menekankan aspek kualitas dan penggunaan bahan non-organik (kimia) sehingga lebih sehat. Hasil penelitian Andini, *et al.* (2021) menyimpulkan bahwa *urban farming* dapat meningkatkan kualitas pangan, kesehatan mental, dan estetika ruangan sempit. *Urban farming* pada rumah susun juga berkontribusi terhadap lingkungan seperti penurunan suhu udara seiring meluasnya area hijau, pemanfaatan limbah sebagai media tanam, dan penggunaan pupuk organik (Putra *et al.*, 2021).

Kontribusi *urban farming* dalam ketahanan pangan hijau yang berkelanjutan perlu didukung dengan pemanfaatan teknologi. Beberapa inovasi teknis yang dikembangkan diantaranya penyediaan varietas unggul, sistem irigasi dan pemupukan, pengendalian hama ramah lingkungan, sistem bio-intensif, dan pemanfaatan limbah organik (Sulistiyowati dan Ilhami, 2018). Contoh penerapan teknologi pada *urban farming* adalah *smart farming* yang menggunakan IoT MQTT panel berbasis android pada tanaman hidroponik (Dewi, *et al.*, 2021), sistem penyaringan air AC (*Air Conditioning*) untuk penyiraman tanaman (Al-Rosyid, *et al.*, 2022), pemanfaatan *drone* untuk monitor wilayah pertanian, dan lain sebagainya. Hal ini berarti penggunaan teknologi dan digitalisasi dalam *urban farming* bertujuan untuk estimasi dan optimasi produk pertanian.

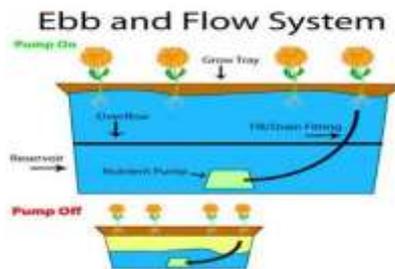
Smart urban farming secara sederhana dapat dipahami sebagai pertanian cerdas berbasis teknologi pada pertanian perkotaan yang terintegrasi untuk meningkatkan produktivitas tanaman. Konsep integrasi teknologi dalam pengembangan pertanian ramah lingkungan hijau dapat diterapkan pada rumah susun di Indonesia (Bafdal, 2021). Konsep integrasi dan ramah lingkungan yang direncanakan bertujuan untuk memastikan sistem pertanian perkotaan yang cerdas, terukur, dan berkelanjutan. *Pertama*, pertanian cerdas berarti memanfaatkan teknologi dalam operasional pertanian. Teknologi tersebut dapat berupa penggunaan solar panel untuk penyaliran, penggunaan air hujan dan air limbah AC sebagai nutrisi tambahan. *Kedua*, pertanian terukur berarti segala bentuk aktivitas pertanian yang akan dilakukan telah direncanakan. Misalnya menentukan jenis tanaman yang sesuai untuk *urban farming* pada rumah susun, memperhitungkan kebutuhan benih, persiapan peralatan pertanian, dan penataan lahan pangan yang estetik. *Ketiga*, pertanian berkelanjutan (*sustainable agriculture*) merupakan pertanian yang tidak hanya berorientasi pada keuntungan ekonomi, tetapi juga menjadi kualitas lingkungan hidup. Hal yang dikembangkan adalah peningkatan kualitas media tanam, penggunaan pupuk organik, dan penghematan energi, serta menambah nilai estetika ruangan.

Pelaksanaan *smart urban farming* dapat dilakukan dengan berbagai metode yang disesuaikan dengan luas lahan, media tanam, dan jenis tanaman. Salah satu metode penanaman yang umumnya digunakan adalah hidroponik. Hidroponik merupakan teknik bercocok tanam dengan menggunakan media air atau larutan khusus (Putra *et al*, 2021). Metode hidroponik lazim disebut sebagai *soilless culture* karena tidak menggunakan media tanah. Nutrisi yang terkandung di dalam tanah akan dilarutkan ke dalam air melalui media lain yang mengandung unsur hara. Beberapa media yang digunakan diantaranya serabut kelapa, serat mineral, pasir, pecahan batu bata, arang, serbuk kayu, dan lain sebagainya.

Menurut Putra *et al* (2021) kelebihan teknik hidroponik pada lahan sempit adalah efisiensi penggunaan air, pupuk, dan tenaga serta memiliki nilai jual yang tinggi. Selain itu, hidroponik juga dapat digunakan pada banyak tanaman di luar musimnya. Beberapa tanaman yang baik digunakan diantaranya tanaman sayuran, buah-buahan, hias, bumbu-bumbuan, dan *biopharma* (Susilawati, 2019). Tanaman tersebut cenderung banyak diminati dan memiliki nilai jual yang tinggi karena sebagian besar tanaman hidroponik dirawat secara organik.

Metode hidroponik yang digunakan dalam studi kasus ini adalah sistem pasang surut (*ebb and flow system*). *Ebb and flow system* (EFS) bekerja menggunakan dua fase yaitu fase pasang dan fase surut (Susilawati, 2019). Fase pasang merupakan fase tanaman diberi larutan nutrisi, air, dan oksigen melalui pompa dari bak penampung ke media yang membasahi akar. Sedangkan fase surut adalah fase turunnya air dan nutrisi ke bak penampungan dengan memanfaatkan

gaya gravitasi. Keuntungan penggunaan sistem EFS adalah tanaman mendapat aliran nutrisi secara otomatis dan berkala yang diatur menggunakan pompa air dan *timer* sehingga mempermudah waktu perawatan tanaman. Sistem EFS juga memiliki kekurangan yang perlu diatasi seperti penggunaan listrik dengan subsidi solar panel, dan pengaturan nutrisi yang stabil dengan memanfaatkan tambahan limbah air AC. Teknik EFS yang direncanakan diperlihatkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Model *Ebb and Flow System* (Sumber: Susilawati, 2019)

Pengembangan studi kasus mengenai *smart urban farming* menggunakan limbah air AC dan energi solar panel merupakan hal yang jarang dilakukan. Meskipun demikian, Inovasi tersebut diharapkan menjadi solusi praktis pengembangan *smart urban farming* yang sirkular. Selain itu, objek penelitian yang dikembangkan adalah *life cycle* tanaman dengan memanfaatkan konsep pertanian pintar yang terintegrasi. Rumusan pertanyaan yang muncul dari penelitian ini ialah bagaimana perbedaan *urban farming* dengan *smart urban farming*, dan berapa besar keunggulan tersebut berdasarkan siklus hidup yang dimiliki keduanya. Oleh karena itu, fokus tujuan penelitian ditujukan untuk mengetahui perbandingan efektivitas dan efisiensi antara metode *urban farming* dengan *smart urban farming*.

Solar Panel sebagai Penyinaran

Cahaya matahari merupakan kebutuhan utama dalam proses pertumbuhan tanaman (Wimudi dan Fuadiyah, 2021). Sinar matahari dibutuhkan dalam proses fotosintesis baik pada tanaman tanaman heliofit (intensitas cahaya matahari tinggi) dan skiofit (intensitas cahaya matahari rendah). Meskipun demikian, lahan pertanian rumah susun memiliki kendala letak pekarangan yakni ada yang terpapar cahaya matahari minim dan ada yang terpapar matahari penuh. Untuk menyeimbangkan asupan sinar matahari yang cukup dan merata peneliti menggunakan solar panel. Solar panel dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi listrik yang dihubungkan pada lampu penyinaran pada lahan minim sinar matahari. Sementara, pada lahan dengan penyinaran penuh, solar panel dihubungkan dengan alat penyiram tanaman otomatis untuk menjaga kelembaban tanaman. Solusi lain yang ditawarkan untuk menghemat penggunaan energi solar panel adalah penentuan jenis tanaman heliofit dan skiofit sebelum melakukan *urban farming*.

Rain Water Harvesting

Metode tertua untuk memenuhi kebutuhan pasokan air di dunia mungkin adalah pemanenan air hujan (*rain water harvesting*). Karena peningkatan kemampuan teknis, beberapa negara kini mendorong penggunaan pendekatan ini untuk mengatasi tekanan pada pasokan air yang disebabkan oleh perubahan iklim, lingkungan, dan sosiologis (Campisano, *et al*, 2017). Penggunaan air hujan merupakan salah satu pilihan yang dapat membantu mengurangi dan memitigasi dampak kekurangan air. *Rain water harvesting* secara umum terbagi menjadi dua jenis yakni, Limpasan permukaan dan sistem atap (Hafizi, Yusop, dan Syafiuddin, 2018).

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa dengan meningkatkan kadar air dan evapotranspirasi, metode infiltrasi yang digunakan bersama dengan *rain water harvesting* juga dapat berkontribusi terhadap perubahan iklim mikro perkotaan. Teknologi *rain water harvesting* yang berbiaya rendah dan sangat terdesentralisasi memungkinkan masyarakat untuk mengelola sumber daya air mereka sendiri. Karena dimensi sistem *rain water harvesting* mempengaruhi biaya konstruksi dan integrasi lanskap, hal ini sering kali menjadi batasan proyek. Iklim di wilayah pengumpulan merupakan batasan lain bagi *rain water harvesting*. Keadaan iklim yang terlalu kering mengakibatkan terbatasnya hujan yang dapat ditampung dalam satu lokasi (Terêncio, *et al*, 2017).

Limbah Air AC sebagai Pupuk

Pemanfaatan air AC dan air hujan sebagai air siram tanaman merupakan salah satu bentuk pengelolaan limbah cair. Ada dua indikator yang memungkinkan penggunaan AC sebagai air siram tanaman yaitu volume dan kualitas. Berdasarkan penelitian Bambang, *et al* (2016) Tiswan dan Ramlan (2017) menyimpulkan bahwa besarnya volume buangan air AC 1 PK berkisar antara 0,800,39 liter/30 menit pada suhu 18°C-26°C, sedangkan volume buangan air AC 2 PK sebesar 2,10 - 1,99 liter/30 menit pada suhu 18°C-26°C. Hal ini berarti volume buangan air AC tersebut sebanding dengan spesifikasi AC. Hanya saja, potensi volume limbah air AC yang banyak ini tidak dimanfaatkan karena sebagian besar pipa pembuangan AC disalurkan langsung ke tanah.

Pertimbangan kedua saat menggunakan air limbah AC adalah kandungan bahan kimia bawaan. Pada dasarnya air AC diperoleh melalui sistem refrigerasi kompresi uap. Proses refrigerasi menghasilkan limbah cair pada tahap kondensor. Air yang dihasilkan memiliki kandungan NH_4^+ yang tinggi sehingga membutuhkan filter (Al-Rosyid, *et al*, 2022). Kandungan nitrogen yang dihasilkan melalui air AC adalah sebesar 3,77 mg/L (Minarni, Jati, dan Desmaiani, 2023). Pada dasarnya, kandungan NH_4^+ berperan dalam pertumbuhan vegetatif tanaman (Damayanti, *et al*, 2018). Menurut Nurhasana, *et al* (2019) dalam penelitian air limbah AC berbasis IoT untuk tanaman hias menyimpulkan bahwa pemanfaatan air limbah AC mampu menstabilkan nilai kelembaban basah < 50%, lembab 25%-49%, dan kering 0-24%. Kelembaban berperan penting dalam mendukung proses fotosintesis pada tanaman. Selain itu, limbah air AC yang terpapar sinar UV mampu mengurangi kandungan bakteri dan mikroorganisme sehingga aman digunakan untuk makhluk hidup dan lingkungan. Hal ini didukung dengan hasil pemeriksaan kualitas air limbah AC berdasarkan Permenkes RI 32/2017 tentang Standar Mutu Kesehatan Air Keperluan Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum secara fisik dan mikrobiologi pada AC 1 PK diperlihatkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Kualitas Air Buangan *Air Conditioner* (AC) secara fisik dan Mikrobiologi

No	Parameter	Hasil	NAB	Ket.	
1.	Fisik	Bau	Tidak berbau	-	MS
		Rasa	Tidak berasa	-	MS
		Warna	< 0,2	50 TCU	MS
		Kekeruhan	0,21	25 TCU	MS
		TDS	16	1000 mg/L	MS
2.	Mikrobiologi	<i>Coliform</i>	0	50 CFU/ 100 ml	MS

(Sumber: Al-Rosyid *et al.*, 2022)

Tanaman untuk Urban Farming

Bayam merah adalah jenis tanaman yang masih jarang ditemui dalam sistem *urban farming* di Indonesia. Bayam hijau lebih umum dan sering dikonsumsi oleh penduduk Indonesia dibandingkan dengan bayam merah. Meskipun demikian, bayam merah memiliki beberapa manfaat dan keunggulan yang membuatnya cocok untuk diadopsi dalam sistem *urban farming*.

Dari segi karakteristik, tumbuhan bayam merah memiliki daun berbentuk oval dengan ujung yang bisa sedikit runcing atau tumpul. Daunnya memiliki warna mencolok yang bervariasi dari merah tua hingga merah muda tergantung pada varietasnya. Tinggi tanaman bayam merah berkisar antara 1,0 hingga 2,0 meter (Wolozik dan Agnieszka, 2019). Tanaman ini juga menghasilkan bunga dalam bentuk tandan dan berkembang biak melalui pembentukan biji berukuran kecil.

Diameter bijinya berkisar antara 0,9 hingga 1,7 mm dengan massa sekitar 0,6-1,0 gram. Bayam merah memerlukan sekitar 6-8 jam paparan sinar matahari setiap harinya untuk pertumbuhan yang optimal. Gambaran visual dari tanaman bayam merah dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Tumbuhan Bayam Merah (Sumber: Detik.com)

Sejarah pertumbuhan dan penggunaan bayam merah di Indonesia sering digunakan sebagai salah satu bahan masakan lokal daerah yang populer seperti "sayur asem," "nasi liwet," dan "sayur godog." Selain itu, bayam merah juga dimanfaatkan untuk hidangan lain seperti tumis, nasi dan mie goreng, sayur, dll.

Dengan kandungan berbagai zat seperti zat besi dan vitamin seperti vitamin B yang bermanfaat bagi tubuh, bayam merah juga digunakan sebagai alternatif pengobatan. Studi aktivitas farmakologi menunjukkan bahwa bayam merah mempunyai sifat antihiperlipidemia, antiinflamasi, antiobesitas, diuretik, antitukak lambung, antioksidan, antidiabetes, antibakteri dan uji toksisitas yang berguna pada bidang pengobatan (Rahmawati dan Retnaningrum, 2021). Hal ini ditunjukkan pada hasil penelitian menggunakan tikus yang diberikan bayam merah secara oral untuk masing-masing uji dan didapatkan pengaruh bayam merah terhadap masing-masing sifat antihiperlipidemia, antiinflamasi, antiobesitas, diuretik, antitukak lambung, antioksidan, antidiabetes, antibakteri dan toksisitas. Sehingga, bayam merah juga dapat digunakan sebagai alternatif pengobatan (fitoterapi) maupun sebagai komplemen imunitas tubuh.

Kandungan Gizi Bayam Merah

Bayam merah memiliki kandungan gizi yang tinggi dibandingkan tumbuhantumbuhan lainnya. Nilai dari kandungan protein dengan keseimbangan asam amino pada bayam bernilai 75-79 dibandingkan dengan susu sapi yang bernilai 73-77 dari skala 1-100 (Ratusz dan Wirkowska, 2006). Dari bijinya saja mengandung 65% protein yang dapat ditemukan di dalam embrio dan

hanya 35% pada perisperm, serta komposisi asam amino yang seimbang (Wolozik dan Agnieszka, 2019). Meskipun tinggi protein, bayam merah aman dikonsumsi oleh semua golongan termasuk pengidap penyakit celiac (autoimun) yang intoleran terhadap gluten. Hal ini didukung dengan bayam merah yang hanya mengandung kurang dari 20 ppm protein gluten dalam 100 gram bahan kering, yang merupakan batas keamanan untuk penyakit celiac (Barca, dkk, 2010). Protein bayam merah mengandung lisin, triptofan, dan asam amino sulfur dalam jumlah yang relatif lebih besar dibandingkan dengan tanaman lain yang mengandung lisin (kedelai).

Bayam merah tidak hanya mengandung protein dan asam amino, tetapi juga memiliki karbohidrat dalam bentuk pati yang memiliki sifat-sifat khusus, seperti viskositas yang tinggi dan gelatinisasi pada suhu yang lebih tinggi. Kandungan serat pada bayam merah yang berkisar berkisar antara 2,2% hingga 8,1% semakin mengokohkannya sebagai alternatif pangan yang bergizi dan sehat. Keberadaan serat ini akan membantu katabolisme kolesterol di tubuh manusia. Bayam merah juga kaya akan mangan (425,2 mg/100 g), nikel, kromium, seng, tembaga (1,25 mg/100 g), dan selenium yang baik untuk pengobatan radang faringitis, maag, dan pendarahan (Wolozik dan Agnieszka, 2019). Dengan mengkonsumsi bayam merah juga dapat mengurangi risiko kanker prostat, hipertensi, penyakit jantung koroner, dan anemia, osteoporosis serta menjaga sistem kekebalan tubuh. Terdapat juga 3,20% hingga 5,80% kandungan squalene ($C_{30}H_{50}$) pada bayam merah yang umumnya ditemui pada minyak hati ikan hiu. Squalene ini sangat bermanfaat untuk terapi melawan kanker, dan risiko kanker usus, payudara, kulit menurun, pertumbuhan tumor, serta antioksidan.

Potensi Bayam Merah pada Urban Farming

Manfaat dan kandungan gizi yang tinggi yang dimiliki oleh bayam merah membuatnya menjadi pilihan yang sangat mendukung untuk ditanam dalam sistem *urban farming*. Bayam merah hanya membutuhkan sedikit wadah dan ruang untuk tumbuh, seperti pot tanaman. Ini sejalan dengan konsep *urban farming* yang melibatkan penanaman, perawatan, dan panen berbagai jenis tumbuhan atau peternakan hewan di dalam lingkungan perkotaan yang pada umumnya memiliki ruang terbatas.

Wadah atau pot bayam merah dapat ditempatkan dengan fleksibel di berbagai lokasi, termasuk balkon, halaman belakang, atau bahkan di dekat jendela. Pertumbuhannya memerlukan sedikit ruang dan dapat diatur secara berjejer atau di antara tumbuhan lain dalam sistem kebun vertikal. Metode alternatif lainnya mencakup penggunaan rak atau struktur vertikal seperti tembok untuk mengoptimalkan ruang dan praktek rotasi teratur agar tumbuhan mendapatkan sinar matahari secara merata. Selain manfaat praktisnya, daun bayam merah yang berwarna merah juga memberikan sentuhan estetika yang menarik pada lingkungan *urban farming*. Contoh penanaman bayam merah di pot dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Penanaman Bayam Merah di Pot (Sumber: Hai Bunda.com)

Bayam merah memiliki pertumbuhan yang cepat, dengan periode pertumbuhan sekitar 4-6 minggu (Wolozik dan Agnieszka, 2019). Dalam satu tahun, pemanenan bayam merah dapat berlangsung sekitar 12 kali dalam periode tersebut. Kemampuan bayam merah untuk memberikan panen berulang dan beruntun dalam waktu tertentu sangat menguntungkan. Proses pemanenan juga relatif sederhana, hanya memerlukan gunting, pisau, atau tangan untuk memotong daun-daun bayam merah yang dimulai dari bagian luar tanaman.

Selain pertumbuhan cepat, bayam merah juga memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi dan kondisi kekeringan (Kauffman dan Weber, 1990). Ini memungkinkan daun bayam merah untuk segera dipanen dan digunakan sesuai kebutuhan, yang sesuai dengan situasi perkotaan yang sering mengharapkan hasil panen yang cepat dan segar. Dengan demikian, bayam merah adalah pilihan yang ideal *untuk urban farming* di mana waktu dan ruang terbatas sering menjadi faktor yang harus dipertimbangkan.

Bayam merah tergolong dalam jenis tumbuhan C4 tipe NAD-ME (*nicotinamide adenine dinucleotide-dependent malic enzim*) pada tanaman tipe fotosintesis. Jenis tumbuhan ini memungkinkan adaptasi dari iklim dataran tinggi ke iklim tropis. Selain itu, bayam memiliki penggunaan air yang efisien di mana hanya membutuhkan 60% air untuk produksi biomassa dibandingkan tumbuhan fotosintesis (C3) lainnya (Wolozik dan Agnieszka, 2019). Fleksibilitas bayam merah juga dapat ditanam pada media tanam yang diperkaya dengan kompos atau limbah organik. Periode pemupukan dapat dilakukan di awal penanaman dan selanjutnya mengikuti perkembangan pertumbuhan. Bayam merah juga relatif tahan terhadap hama yang berefek pada pengurangan dalam penggunaan pestisida. Hal ini secara tidak langsung, menunjukkan bayam merah ikut berperan terhadap isu keberlanjutan lingkungan seperti mengurangi limbah/jejak karbon, menghemat dan efisiensi air serta ruangan, dan yang terutama sebagai penghasil pangan yang bergizi dan alternatif pengobatan yang dekat secara jarak dan transportasi di lingkungan perkotaan. Dengan segala fleksibilitas dan manfaat yang ditawarkannya, bayam merah menjadi salah satu pilihan yang sangat menarik untuk dipertimbangkan dalam usaha pertanian perkotaan yang berkelanjutan.

Tantangan dan Solusi Penanaman Bayam Merah

Tantangan akan selalu ada dalam setiap kegiatan tak terkecuali dalam penanaman bayam merah pada *urban farming*. Keterbatasan ruangan merupakan tantangan utama dalam *urban farming*. Terlebih lagi *urban farming* dilakukan di lingkungan perkotaan yang padat dan penuh penduduk. Hal ini dapat diatasi dengan konsep kebun vertikal maupun penggunaan wadah/pot sebagai tempat penanaman bayam merah yang fleksibel. Namun, perlu diperhatikan untuk sirkulasi udara dan sinar matahari pada lokasi untuk mendukung pertumbuhan bayam

merah yang optimal. Sistem rotasi teratur dapat diterapkan untuk mendukung hal tersebut agar mendapatkan sinar matahari yang merata. Tantangan lainnya yang sering ditemui dalam pertanian adalah hama. Contoh hama dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Hama Tanaman Bayam Merah (Sumber: Wikipedia.com)

Hama yang mungkin muncul dalam penanaman bayam merah, seperti ulat bulu dan kutu daun, dapat diatasi dengan berbagai cara. Salah satu solusi adalah menggunakan jaring penutup tumbuhan untuk melindungi tanaman dari serangan hama. Selain itu, larutan sabun cair atau minyak neem dapat digunakan untuk mengusir hama-hama ini. Ketika berhadapan dengan penyakit tumbuhan, seperti jamur, menjaga sirkulasi udara yang baik di lokasi penanaman dapat membantu mengurangi risiko infeksi jamur.

Kondisi pasokan air terbatas yang sering terjadi di lingkungan perkotaan juga bisa menjadi tantangan dalam penanaman bayam merah. Namun, bayam merah memiliki keunggulan karena membutuhkan hanya sekitar 60% dari kebutuhan air yang biasanya dibutuhkan oleh tanaman lain. Untuk mengatasi masalah pasokan air terbatas, Anda dapat mengimplementasikan sistem irigasi yang efisien, seperti irigasi tetes atau irigasi berwaktu. Sistem irigasi berwaktu merancang pemberian air kepada tanaman bayam merah secara terjadwal dan otomatis. Ini dilakukan dengan menghubungkan perangkat seperti *timer* atau *controller* yang mengontrol sistem pengiriman air, pipa, selang, dan sprinkler atau *drip emitters* yang menyebarkan air ke tanaman. Ini akan lebih efisien dan efektif memenuhi kebutuhan air tanaman bayam merah tanpa pemborosan. Dengan menggabungkan teknologi ini, tantangan dalam pengelolaan hama, penyakit, dan pasokan air akan teratasi sambil memastikan pertumbuhan yang sehat dan hasil yang baik dalam budidaya bayam merah.

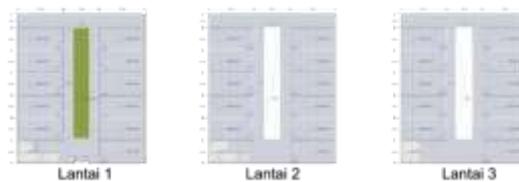
METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah *life cycle assessment* (LCA) untuk mengevaluasi kelestarian lingkungan dari berbagai kemungkinan sinergis, digunakan penilaian siklus hidup. Hasil tanaman tahunan dari sistem *smart urban farming* teoritis berfungsi sebagai unit fungsional untuk evaluasi lingkungan (Martin, Weidner, & Gullström, 2022). Studi kasus ini berfokus pada LCA pengurangan sumber daya yang melihat penggunaan mineral, energi, dan air di dalam suatu *smart urban farming* (Hallikainen, 2019). Melalui metode ini, dampak lingkungan smart urban farming dapat dibandingkan dengan urban farming biasa. Adapun pada penelitian ini, terdapat asumsi dan limitasi sebagai berikut:

- Perbandingan antara kedua jenis farming dilakukan dengan ukuran plot lahan yang sama dan bangunan yang sama;

- Masa perbandingan dilakukan selama setahun;
- Lokasi geografis yang digunakan ialah Kota Semarang;
- Data Curah Hujan yang digunakan didasarkan pada data BMKG tahun 2020;
- Data Penyinaran Matahari yang digunakan didasarkan pada data BPS Kota Semarang tahun 2020; dan
- AC yang digunakan diasumsikan dinyalakan selama 12 jam.

Bangunan yang digunakan sebagai studi kasus *smart urban farming* merupakan bangunan kos-kosan yang memiliki 3 lantai dan berada di Jalan Kimar III nomor 35. Gambar denah bangunan yang dijadikan studi kasus terlihat pada **Gambar 5** dan hasil render bangunan dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 5. Denah Bangunan *Smart urban farming*



Gambar 6. *Render* Perpipaian AC Bangunan *Smart urban farming*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Iklim Semarang

Kota Semarang secara umum terbagi menjadi dua musim yakni musim penghujan dan musim kemarau. Unsur-unsur cuaca yang dimiliki oleh suatu kota meliputi suhu, curah hujan, serta pencahayaan matahari (Utami & Windraswara, 2019). Adapun pada tahun 2020, data yang diperoleh mengenai cuaca Kota Semarang dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Klimatologi Kota Semarang Tahun 2020

Bulan	Jumlah Curah Hujan	Penyinaran Matahari (%)
Januari	301,30	65,67
Februari	393,20	61,74
Maret	231,80	72,66
April	291,60	74,84
Mei	267,40	86,25

Prosiding Seminar Nasional Mahasiswa
Lomba Karya Tulis Ilmiah Polbangtan Bogor 2023

Bulan	Jumlah Curah Hujan	Penyinaran Matahari (%)
Juni	22,10	100
Juli	71,80	100
Agustus	56,40	100
September	90,80	100
Oktober	160,80	85,52
November	240,40	77,01
Desember	380,10	50,50

Sumber: BMKG, 2020 dan BPS, 2020

Setiap panel surya yang ada dapat menghasilkan energi 1075 Kilowatt jam setiap meter persegi per tahunnya (Olczak, 2022) atau sebesar 90 kWh tiap bulannya. Namun, hal ini bergantung pada efisiensi sinar matahari sehingga dapat ditentukan energi yang dihasilkan melalui panel surya setiap bulannya. Energi yang dihasilkan dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Energi Panel Surya Tahun 2020

Bulan	Penyinaran Matahari (%)	Luasan Panel Surya (m ²)	Energi yang dihasilkan per bulan (kWh)
Januari	65,67	122	7210,20
Februari	61,74	122	6779,17
Maret	72,66	122	7978,21
April	74,84	122	8217,10
Mei	86,25	122	9470,25
Juni	100	122	10980,00
Juli	100	122	10980,00
Agustus	100	122	10980,00
September	100	122	10980,00
Oktober	85,52	122	9389,79
November	77,01	122	8455,58
Desember	50,50	122	5544,90

Keberadaan hujan yang ada di Kota Semarang dapat dimanfaatkan melalui *rain water harvesting* yang bersifat berkelanjutan. Tampungan yang langsung menerima hujan tanpa hambatan alias tidak melalui *runoff*, dinilai lebih jernih dibandingkan tampungan yang menggunakan *runoff* (Teston, *et al*, 2022). Pada studi kasus ini, luas tampungan *rain water harvesting* yang ada pada atap sebesar 80 m² dengan menggunakan data curah hujan BMKG Kota Semarang pada tahun 2022. Tampungan air *rain water harvesting* dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Rain Water Harvesting Tahun 2020

Bulan	Curah Hujan (ml)	Luas Rain Harvesting (m ²)	Air Tampung (L)
Januari	301,30	80	2410,4
Februari	393,20	80	3145,6
Maret	231,80	80	1854,4
April	291,60	80	2332,8
Mei	267,40	80	2139,2
Juni	22,10	80	176,8
Juli	71,80	80	574,4
Agustus	56,40	80	451,2
September	90,80	80	726,4
Oktober	160,80	80	1286,4
November	240,40	80	1923,2
Desember	380,10	80	3040,8

Limbah Air AC

Limbah yang dihasilkan oleh AC bergantung pada jenis AC yang digunakan. Selain jenis AC, besaran PK yang dimiliki oleh AC akan mempengaruhi jumlah limbah air AC yang dihasilkan. Jumlah limbah air AC ini dirumuskan di dalam **Tabel 5**.

Tabel 5. Limbah Air AC Berdasarkan Jenis AC

Spesifikasi AC	Volume Limbah Air (L)	Lama Penggunaan (Jam)
Sharp, 1 PK	6	12
Daikin, ¾ PK	10	12
Samsung, 1 PK	8,70	12
HP, 1 PK	2,6	12

Pada studi kasus ini, spesifikasi AC Daikin, ¾ PK yang diambil dengan alasan, volume air limbah yang tidak terlalu besar dan karena ¾ PK merupakan PK yang diperlukan untuk ruangan kecil seperti koskosan. Satu liter limbah air AC memiliki kandungan 3,77 mg Nitrogen di dalamnya (Minarni, Jati, dan Desmaiani, 2023). Jumlah AC yang ada pada bangunan studi kasus ini ialah sebanyak 33 AC. Dari sini, dapat dirumuskan jumlah liter limbah air AC sekaligus nitrogen yang dihasilkan dalam waktu sebulan di dalam **Tabel 6**.

Tabel 6. Limbah Air AC dan Nitrogen Per Bulan

Bulan	Volume Limbah Air 33 AC (L)	Nitrogen (gram)
Januari	10230	38,57
Februari	9570	36,08
Maret	10230	38,57

Bulan	Volume Limbah Air 33 AC (L)	Nitrogen (gram)
April	9900	37,32
Mei	10230	38,57
Juni	9900	37,32
Juli	10230	38,57
Agustus	10230	38,57
September	9900	37,32
Oktober	10230	38,57
November	9900	37,32
Desember	10230	38,57

Produksi *Urban Farming*

Tanaman bayam merah dapat dipanen sebanyak 12 kali dalam setahun (Wolozik dan Agnieszka, 2019) dengan satu bayam merah dapat memiliki berat rata-rata 200 gram (Khairad & Nur, 2022). Pada kasus tanaman hidroponik, 1 m² dapat digunakan untuk 16 lubang tanaman (Husna, 2022). Pada studi kasus 67,5 m² (setiap lantainya 22,5 m²) digunakan sebagai lahan hidroponik, maka bayam merah yang dapat dihasilkan ialah sebesar 1080 bayam merah dengan berat sebesar 216 kg setiap bulannya. Apabila dijual dengan harga Rp.12.000 tiap kilogramnya, maka setiap bulannya terdapat penghasilan bruto bayam merah sebesar Rp.2.592.000. **Kebutuhan Tanaman *Urban Farming***

Kebutuhan *urban farming* terbagi menjadi tiga yakni; air, pupuk, dan pencahayaan. Penentuan ketiga hal ini bergantung pada jenis tanaman yang digunakan dalam *urban farming*. Adapun tanaman yang digunakan pada pemodelan ini adalah bayam merah. Bayam merah merupakan salah satu tanaman yang jarang digunakan dalam *urban farming* ataupun *smart urban farming*. Bayam merah memerlukan cahaya sebanyak 6-8 jam sehari. Artinya dalam setahun diperlukan sebanyak 70.000 kJ tiap kilogram bayam merah (Dash, Dash, & Sethi, 2022), atau sebesar 19,4 kWh setiap kilogram per tahunnya. Apabila setiap tahun terdapat kapasitas produksi tanaman sebesar 216 kg, maka jumlah energi yang dibutuhkan setiap tahunnya sebesar 4200 kWh. Penggunaan air pada bayam merah 60% lebih sedikit dibandingkan dengan tanaman lain yang membutuhkan 37 liter setiap meternya dalam satu hari (Thakur, *et al*, 2022), maka kebutuhan air setiap harinya pada studi kasus ini sebesar 99 liter setiap harinya. Kebutuhan nitrogen pada bayam merah ialah sebesar 75 kg/ha per tahun (Rahmayadi dan Ariska, 2022) atau sebesar 7,5 gram/m². Pada kasus ini, dengan luas 67,5 m², maka kebutuhan nitrogen setiap bulan pada *urban farming* ini ialah sebesar 506,25 gram per tahun, ini berarti dalam setahun diperlukan 42,19 Nitrogen. Adapun penggunaan energi, air, dan pupuk selama 12 bulan dapat disimpulkan di dalam **Tabel 7**.

Tabel 7. Kebutuhan *Urban Farming*

Bulan	Energi (kWh)	Air (L)	Nitrogen (gram)
Januari	350	3069	42,19
Februari	350	2871	42,19

Bulan	Energi (kWh)	Air (L)	Nitrogen (gram)
Bulan	Energi (kWh)	Air (L)	Nitrogen (gram)
Maret	350	3069	42,19
April	350	2970	42,19
Mei	350	3069	42,19
Juni	350	2970	42,19
Juli	350	3069	42,19
Agustus	350	3069	42,19
September	350	2970	42,19
Oktober	350	3069	42,19
November	350	2970	42,19
Desember	350	3069	42,19

Integrasi *Smart Farming* ke dalam *Urban Farming*

Integrasi *smart farming* ke dalam *urban farming* yang mewujudkan *smart urban farming* memerlukan tiga komponen yakni air, pencahayaan/energi, dan pupuk. Pada komponen air yang ada digunakan rain water harvesting sehingga tidak mengandalkan air dari PDAM. Energi yang digunakan memanfaatkan panel surya sehingga tidak mengandalkan PLN. Pupuk digantikan dengan air AC yang merupakan limbah yang biasanya dibuang begitu saja. Integrasi panel surya yang ada dapat dirumuskan di dalam **Tabel 8**.

Tabel 8. Penggunaan Energi *Smart Urban Farming*

Bulan	Energi Kebutuhan (kWh)	Energi yang dihasilkan (kWh)	Energi yang harus dipenuhi PLN (kWh)
Januari	350	7210,20	0
Februari	350	6779,17	0
Maret	350	7978,21	0
April	350	8217,10	0
Mei	350	9470,25	0
Juni	350	10980,00	0
Juli	350	10980,00	0
Agustus	350	10980,00	0
September	350	10980,00	0
Oktober	350	9389,79	0
November	350	8455,58	0

Bulan	Energi Kebutuhan (kWh)	Energi yang dihasilkan (kWh)	Energi yang harus dipenuhi PLN (kWh)
Desember	350	5544,90	0

Hasil integrasi panel surya menunjukkan bahwa dengan menggunakan panel surya, seluruh kebutuhan energi tanaman yang ada sudah terpenuhi dan tidak perlu mengandalkan listrik PLN. Pemanfaatan *rain water harvesting* dalam pemenuhan kebutuhan air *smart urban farming* dapat dilihat di dalam **Tabel 9**.

Tabel 9. Penggunaan Air *Smart Urban Farming*

Bulan	Air yang dibutuhkan (L)	Air Tampung (L)	Air yang harus dipenuhi PDAM (L)
Januari	3069	2410,40	658,60
Februari	2871	3145,60	0
Maret	3069	1854,40	1214,60
April	2970	2332,80	637,20
Mei	3069	2139,20	929,80
Juni	2970	176,80	2793,20
Juli	3069	574,40	2494,60
Agustus	3069	451,20	2617,80
September	2970	726,40	2243,60
Oktober	3069	1286,40	1782,60
November	2970	1923,20	1046,80
Desember	3069	3040,80	28,20

Integrasi *rain water harvesting* sebesar 80 m² menunjukkan bahwa hanya pada bulan Februari saja, air dapat sepenuhnya dipenuhi oleh *rain water harvesting*. Kebutuhan air PDAM terbesar terjadi pada bulan Juni yang diakibatkan curah hujan pada bulan ini merupakan yang terkecil dibandingkan dengan bulan lainnya. Pada studi kasus ini, pemenuhan air rata-rata oleh *rain water harvesting* dalam setahun sebesar 54,6%. Integrasi limbah air AC sebagai cara memberikan pupuk pada tanaman dapat dilihat di dalam **Tabel 10**.

Tabel 10. Penggunaan Nitrogen *Smart Urban Farming*

Bulan	Nitrogen yang dibutuhkan (gram)	Nitrogen dari air AC (gram)	Nitrogen yang dipenuhi melalui pupuk (gram)
Januari	42,19	38,57	3,62
Februari	42,19	36,08	6,11
Maret	42,19	38,57	3,62
April	42,19	37,32	4,87

Bulan	Nitrogen yang dibutuhkan (gram)	Nitrogen dari air AC (gram)	Nitrogen yang dipenuhi melalui pupuk (gram)
Mei	42,19	38,57	3,62
Juni	42,19	37,32	4,87
Juli	42,19	38,57	3,62
Agustus	42,19	38,57	3,62
September	42,19	37,32	4,87
Oktober	42,19	38,57	3,62
November	42,19	37,32	4,87
Desember	42,19	38,57	3,62

Penggunaan limbah air AC sebagai alternatif pupuk menunjukkan kurang signifikannya jumlah nitrogen yang ada di dalam air AC. Jumlah pupuk yang bisa digantikan dengan limbah air AC sebesar 89,94%, yang menunjukkan cukup signifikannya air AC sebagai alternatif pupuk. Pada kondisi ini, sisa kebutuhan pupuk dapat dibeli di pabrik ataupun menggunakan pupuk organik hasil kotoran binatang tertentu.

Life Cycle Urban Farming dan Smart Urban Farming

Terdapat perbedaan pada siklus hidup *urban farming* dengan *smart urban farming*. *Urban farming* memiliki siklus yang cenderung linear dengan siklus sirkular yang ada ialah oksigen yang dihasilkan untuk bangunan yang ada. Pola siklus hidup *smart urban farming* cenderung sirkular, pencahayaan yang digunakan diambil dari energi surya, air yang digunakan dari rainwater harvesting, dan pupuk menggunakan alternatif air AC yang ada pada kos-kosan. Pola sirkular ini menunjukkan dampak positif yang dimiliki oleh *smart urban farming* terhadap lingkungan sekitar. Walaupun demikian, *rain water harvesting* hanya bisa memenuhi 54,6% dari kebutuhan air sedangkan limbah AC bisa menggantikan 89,94% dari limbah pupuk yang sekarang ini sering digunakan. Pada kasus *rain water harvesting*, hal yang bisa dilakukan untuk meningkatkan jumlah tangkapan air ialah memperluas *rain water harvesting*. Pada kasus limbah AC, maka alternatif pupuk lainnya seperti hasil kotoran binatang atau semacamnya dapat dipertimbangkan untuk menjamin pola sirkular yang lebih baik pada *smart urban farming* yang direncanakan. Pola life cycle urban farming dapat dilihat pada **Gambar 6** dan pola life cycle *smart urban farming* dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 6. Siklus Hidup *Urban Farming*



Gambar 7. Siklus Hidup *Smart urban farming*

SIMPULAN

Berdasarkan iklim Kota Semarang, penggunaan panel surya berpotensi menghasilkan 73 kWh/m² setiap bulannya dengan rata-rata curah hujan setiap bulannya sebesar 208 mm. Pada studi kasus kos-kosan di Jalan Kimar III nomor 35, *urban farming* dan *smart urban farming* memiliki perbedaan mendasar pada siklus hidupnya. Siklus hidup *urban farming* lebih linear dibandingkan dengan *smart urban farming* yang memiliki sifat sirkular. *Smart urban farming* pada kasus ini, dapat memenuhi 100% pencahayaan dengan menggunakan energi matahari, 54,6% dari air yang dibutuhkan dengan *rain water harvesting*, dan 89,94% pupuk dengan menggunakan limbah AC. Pada kasus ini sisa air yang dibutuhkan didapatkan dari PDAM, namun pada kasus perencanaan, *rain water harvesting* yang ada haruslah sudah diperhitungkan agar bisa memenuhi kebutuhan seluruh tanaman *smart urban farming*. Walaupun pada studi kasus ini, sisa pupuk yang dibutuhkan didapatkan dari pabrik, penggunaan alternatif pupuk selain limbah air AC ialah pupuk organik yang terbuat dari kotoran binatang. Pola sirkular yang dimiliki oleh *smart urban farming* pada studi kasus ini, menunjukkan dampak positif yang dimiliki oleh *smart urban farming* terhadap lingkungan sekitar, dengan berkurangnya penggunaan air, energi, dan pupuk dari sumber yang tidak ramah lingkungan.

SARAN

Penelitian selanjutnya bisa membahas lebih dalam mengenai perencanaan *smart urban farming* pada suatu bangunan. Selain itu, kebutuhan pupuk yang ada bisa diintegrasikan dengan pupuk organik sehingga bisa mencapai pola hidup *smart urban farming* yang sirkular. Penelitian selanjutnya juga bisa membahas mengenai *green wall*, *green balcony*, dan *green roof*, tidak hanya terbatas pada kasus tanaman hidroponik saja. Pemerintah perlu mendukung keberadaan *smart urban farming* pada bangunan *midrise* dan *high-rise* untuk mewujudkan *urban farming* di Kota Semarang yang menggunakan pola sirkular.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diungkapkan kepada UNIKA Soegijapranata yang membantu pendanaan dalam melakukan penelitian ini. Artikel ini didedikasikan kepada Ivonne Rubio Z.L. yang telah mencapai rahasia anonimitas.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Rosyid LM, Tiyas DDW, Rofiqoh ND, Abiyyi RN. 2022. Pemanfaatan Sistem Penyaringan Air Buangan Air Conditioning (AC) Sebagai Suplai Pengairan Pada Tanaman. *Jurnal Teknik Lingkungan*, Vol 28(2), EISSN: 27146715, 19-27.

- Andini M, Dewi OC, Marwati A. 2021. Urban Farming During the Pandemic and Its Effect on Everyday Life. *International Journal of Built Environmental and Scientific Research*, Vol 5(1), p-issn: 25811347, e-issn: 2580-2607, 51-62.
- Badan Pusat Statistik. 2023. Statistik Indonesia *Statistical Yearbook Of Indonesia 2023*. ISSN: 0126-2912, 83.
- Bafdal N, Ardiansah I. 2020. Smart Farming Berbasis Internet of Things Dalam Greenhouse. Unpad Press: Bandung, ISBN 978-602-439-797-5.
- Campisano A, Butler D, Ward S, Burns MJ, Friedler E, DeBusk K, FisherJeffes LN, Ghisi E, Rahman A, Furumai H, Han M. 2017. Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. *Water research*, 115, pp.195-209.
- Damayanti DPO, Handoyo T, Slameto. 2018. Pengaruh Ammonium (NH_4^+) dan Nitrat (NO_3^-) Terhadap Pertumbuhan dan Kandungan Minyak Atsiri Tanaman Kemangi (*Ocimum Basilicum*) Dengan Sistem Hidroponik. *Jurnal Agritrop* Vol 16(1), E-ISSN: 2502-0455, 163-175.
- Dash DP, Dash AK, Sethi N, 2022. Designing hydro-energy led economic growth for pollution abatement: evidence from BRICS. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(21), pp.31252-31269.
- De la Barca AMC., Rojas-Martínez ME., Islas-Rubio AR., Cabrera-Chávez F. Gluten-free breads and cookies of raw and popped amaranth flours with attractive technological and nutritional qualities. *Plant Foods Hum Nutr*. 2010. 65(3):241–246. Crossref PubMed.
- Dewi IZT, Ulinuha MF, Musofa WA, Rakhmadi FA. 2021. Smart Farming: Sistem Tanaman Hidroponik Terintegrasi IoT MQTT Panel Berbasis Android. *Jurnal Keteknik Pertanian dan Biosistem*, Vol. 9(1). DOI: <https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2021.009.01.08>, 71-78.
- Wimudi M, Fuadiyah S. 2021. Pengaruh Cahaya Matahari Terhadap Pertumbuhan Tanaman Kacang Hijau. *Prosiding SEMHAS BIO Universitas Negeri Padang*, Vol 1(72), <https://doi.org/10.24036/prosemnasbio/vol1/72>, 587-592.
- Gadeng AN, Risna N, Taher A. 2019. Manfaat Rumah Susun Sederhana Sewa (Rusunawa) Bagi Masyarakat yang Berpendapatan Menengah Ke Bawah di Gampong Keudah Kecamatan Kutaraja Kota Banda Aceh. *Jurnal Pendidikan Geosfer*, Vol 4(1): ISSN 2541-6936, 38-58.
- Hafizi Md Lani N, Yusop Z, Syafiuddin A. 2018. A review of rainwater harvesting in Malaysia: Prospects and challenges. *Water*, 10(4), p.506.
- Hallikainen, E. (2019). Life cycle assessment on vertical farming.
- Husna ZB. 2022. Optimalisasi Pemberdayaan Karang Taruna Dalam Pengembangan Budidaya Sayuran Melalui Metode Hidroponik. *Jurnal Bina Desa*, 4(1).
- Kauffman CS, Weber LE. Grain amaranth. In: Janick J., Jen S., eds. *Advances in New Crops: Proceedings of the First National Symposium NEW CROPS, Research, Development, Economics*. Portland, OR: Timber Press; 1990:127–139.
- Khairad F, Nur AJ. 2022. Inovasi Pemanfaatan Teknologi Hidroponik dalam Ruangan Rumah Tidak Terpakai sebagai Upaya Pemenuhan Gizi Keluarga. *Agrotekma: Jurnal Agroteknologi dan Ilmu Pertanian*, 6(2), pp.12-22.

- Maharani ASA, Alexander HB. 2022. Kenapa Rumah Tapak Lebih Diminati Ketimbang Apartemen, *Koran Kompas*, 02 Maret 2022.
- Martin, M., Weidner, T., & Gullström, C. (2022). Estimating the potential of building integration and regional synergies to improve the environmental performance of urban vertical farming. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 849304.
- Minarni M, Jati DR, Desmaiani H. 2023. Perencanaan Pemanfaatan Air Buangan AC (Air Conditioner) Sebagai Air Bersih: Studi Kasus Gedung Perpustakaan Pusat Universitas Tanjungpura. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11(2), pp.304-313.
- Nurhasana, E. A., Hermansyah, H., Aylia, L., & Kasim, K. (2019). Pemanfaatan Air Buangan Ac Untuk Tanaman Hias Berbasis Internet Of Things. *Jurnal Teknologi Elektroika*, 16(1), 1-6.
- Olczak P. 2022. Energy Productivity of Microinverter Photovoltaic Microinstallation: Comparison of Simulation and Measured Results— Poland Case Study. *Energies*, 15(20), p.7582.
- Prihatin RB. 2015. Alih Fungsi Lahan di Perkotaan (Studi Kasus di Kota Bandung dan Yogyakarta). *Jurnal Aspirasi*, Vol 6(2):p-ISSN 2086-6305 e-ISSN 2614-5863.
- Putra RP., Dewi VAK, Afrianto WF. 2021. Serba-Serbi Pertanian Perkotaan. Penerbit Insan Cendekia Mandiri: Sumatera Barat.
- Rahmawati, W., & Retnaningrum, D. N. (2021). Pemberdayaan Kader Produk Kue Bayam Merah (Pkb) Sebagai Upaya Pencegahan Kehamilan Dengan Anemia Di Desa Sukomulyo Kecamatan Pujon. *LOGISTA-Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(2), 123-128.
- Rahmayadi Y, Ariska N. 2022. Pengaruh zpt sintetik terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman bayam (*Amaranthus*). *Comserva*, 1(9), pp.519-524.
- Ratusz K, Wirkowska W. Characterization of seeds and lipids of *Amaranthus*. *Oilseed Crops*. 2006;27:243–250.
- Sedana IDGP, Permini NLPE. 2023. Urban Farming dalam Meningkatkan Ketahanan Pangan Masyarakat Perkotaan. *Jurnal Relasi Publik*, Vol 1(3), e-ISSN 2986-3252; p-ISSN: 2986-4410, 171-178.
- Sulistiyowati D Ilhami WT. 2018. Buku Ajar Pertanian Perkotaan. Pusat Pendidikan Pertanian Badan Penyuluhan dan Pengembangan SDM Pertanian: Kementerian Pertanian, ISBN: 978-602-6367-34-1
- Susilawati. 2019. Dasar-Dasar Bertanam Secara Hidroponik. Penerbit Universitas Sriwijaya Press:Palembang.
- Thakur AK, Singh R, Gehlot A, Kaviti AK, Aseer R, Suraparaju SK, Natarajan SK, Sikarwar VS. 2022. Advancements in solar technologies for sustainable development of agricultural sector in India: a comprehensive review on challenges and opportunities. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(29), pp.43607-43634.
- Terêncio DP, Fernandes LS, Cortes RM, Pacheco FA. 2017. Improved framework model to allocate optimal rainwater harvesting sites in small watersheds for agro-forestry uses. *Journal of hydrology*, 550, pp.318330.

- Teston A, Piccinini Scolaro T, Kuntz Maykot J, Ghisi E. 2022. Comprehensive environmental assessment of rainwater harvesting systems: a literature review. *Water*, 14(17), p.2716.
- Tiswan, Ramlan D. 2017. Pemanfaatan Alir Buangan Air Conditioner (AC) Sbagai Air Bersih di Kampus 7 Poltekkes Kemenkes Semarang. *Jurnal Keslingmas*, Vol. 37, e-ISSN: 2655-8033, 405-534.
- Utami H T, Windraswara R. 2019. Korelasi meteorologi dan kualitas udara dengan pneumonia balita di Kota Semarang Tahun 2013-2018. *HIGEIA (Journal of Public Health Research and Development)*, 3(4), 588-600.
- Wolozik K, Agnieszka M. 2019. *Amaranthus Cruentus Taxonomy, Botanical Description, and Review of its Seed Chemical Composition*. Sage Journals. 14(5), <https://doi.org/10.1177/1934578X19844141>.