

Teknologi pertanian masa depan dan peranannya dalam menunjang ketahanan pangan

Rustam Efendi¹, Diang Sagita²

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Tenggara, Indonesia
Jl. Kapten Piere Tendean No. 109 A, Baruga, Kendari 93563

²Pusat Riset Teknologi Tepat Guna, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Indonesia
Jl. KS. Tubun No. 5, Cigadung, Subang 41213

Email: ¹rustamefendi032@gmail.com, ²diang.sagita@gmail.com

ABSTRAK

Berbagai permasalahan global di masa mendatang sangat erat kaitannya dengan pertanian, lingkungan, masyarakat dan sumber daya seiring meningkatnya populasi manusia di dunia dan perubahan iklim. Isu-isu tentang pertanian atau pangan meliputi berkurangnya jumlah para petani akibat penuaan dan meningkatnya populasi perkotaan serta hilangnya lahan pertanian karena urbanisasi, penggurunan, akumulasi garam di permukaan tanah, dan kontaminasi tanah dengan zat beracun. Teknologi pertanian di masa mendatang harus dapat membantu meningkatkan pangan secara simultan. Beberapa teknologi dan inovasi yang diprediksi dapat menjadi solusi antara lain pertanian di perkotaan (*urban farming*), pertanian secara vertical (vertikultur) serta *plant factory* (perusahaan tanaman terintegrasi), serta alat mesin yang didukung dengan teknologi mutakhir (*artificial intelligent*), *internet of things* (IoT) dan pertanian presisi agar dapat menurunkan kebutuhan terhadap sumber daya manusia yang saat ini minat anak muda pada bidang pertanian semakin menurun. Ulasan pada karya tulis ini bertujuan untuk memberikan informasi terkait peranan teknologi pertanian di masa yang akan datang berdasarkan teknologi yang saat ini sedang dikembangkan serta memberi gambaran mengenai aplikasinya di masa yang akan datang khususnya ketahanan pangan. Teknologi tersebut yang harapannya dapat menunjang kebutuhan pekerjaan-pekerjaan di bidang pertanian yang semakin kompleks dengan memanfaatkan sumberdaya se-efisien mungkin dan hasil produksi yang maksimal sehingga dapat menjaga stabilitas ketahanan pangan di masa yang akan datang.

Kata kunci: kecerdasan buatan, ketahanan pangan, IoT, *plant factory*, teknologi pertanian, *urban farming*.

ABSTRACT

Various global problems in the future are closely related to agriculture, environment, society and resources as the world's human population increases and climate change. Issues concerning agriculture or food include decreasing numbers of farmers due to aging and increasing urban population as well as loss of agricultural land due to urbanization, desertification, accumulation of salt in the soil surface, and contamination of soil with toxic substances. Agricultural technology in the future should be able to help increase food simultaneously. Several technologies and innovations that are predicted to be solutions include urban farming (urban farming), vertical agriculture (verticulture) and plant factories (integrated plant companies), as well as machine supported by advanced technology (artificial intelligent), internet of things (IoT) and precision agriculture in order to reduce the need for human resources, which is currently decreasing young people's interest in agriculture. This review aims to provide information regarding the role of agricultural technology in the future based on the technology currently being developed and to provide an overview of its application in the future, especially for food security. This technology is expected to support the

increasingly complex needs of jobs in the agricultural sector by utilizing resources as efficiently as possible and with maximum production results so as to maintain food supply stability in the future.

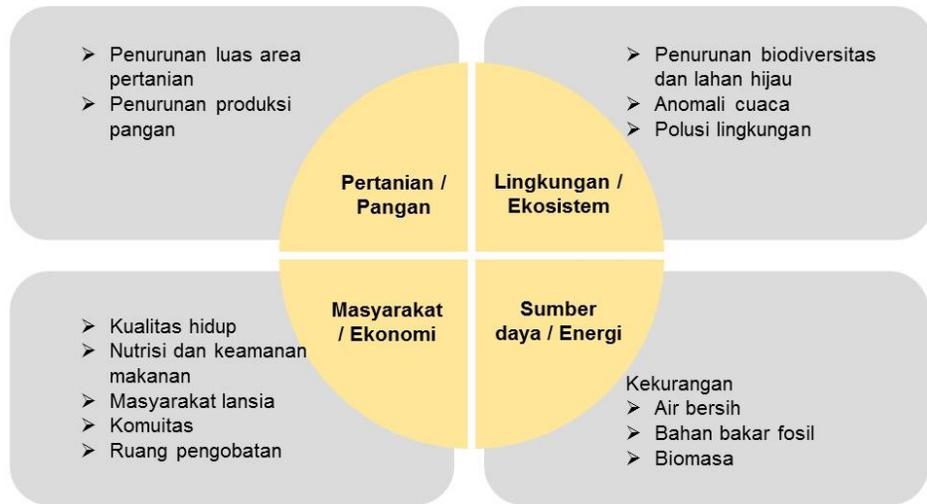
Keywords: *artificial intelligent, food security, IoT, plant factory, agricultural technology, urban farming.*

1. PENDAHULUAN

Saat ini, dunia sedang menghadapi masalah yang saling terkait mengenai pertanian, lingkungan, masyarakat dan sumber daya seiring meningkatnya populasi manusia di dunia dan perubahan iklim. Empat isu global ini dijelaskan secara umum sebagaimana Gambar 1 oleh [Kozai, et al. \[1\]](#). Penyediaan makanan bagi penduduk dunia akan menjadi perhatian paling utama bagi setiap negara karena pertumbuhan populasi manusia dunia yang terus meningkat secara eksponensial [\[2\]](#). Pada dasarnya isu ini saling berkaitan satu sama lain (pertanian, lingkungan, masyarakat dan sumber daya) dan harus diselesaikan secara bersamaan berdasar pada konsep dan metodologi secara umum [\[3\]](#). Dengan kata lain, harus ditemukan konsep dan metode yang secara efektif dapat menghasilkan makanan berkualitas tinggi, dalam rangka meningkatkan kesejahteraan sosial dan kualitas hidup dengan konsumsi sumber daya dan emisi polutan lingkungan yang minimum. Isu-isu tentang pertanian atau pangan meliputi berkurangnya jumlah para petani akibat penuaan dan meningkatnya populasi perkotaan serta hilangnya lahan pertanian karena urbanisasi, penggurunan, akumulasi garam di permukaan tanah, dan kontaminasi tanah dengan zat beracun [\[1\]](#). Di negara-negara maju maupun berkembang seperti Indonesia, minat generasi muda terhadap pertanian terus menurun karena pendapatan petani yang rendah dibandingkan dengan pekerjaan kantor, sulitnya pekerjaan sebagai petani, dan perubahan sikap budaya. Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) pada tahun 2015 dalam *The 2015 Revision of World Population Prospects* melaporkan populasi dunia diperkirakan akan mencapai 8,5 miliar pada tahun 2030, kemudian akan meningkat menjadi 9,7 miliar pada tahun 2050, dan melampaui 11 miliar pada tahun 2100 [\[4\]](#). Ekonomi global juga akan tumbuh dan warga dunia akan memiliki lebih banyak uang jika dibandingkan dengan sekarang. Artinya kemampuan untuk membeli pangan juga akan semakin meningkat. [Alexandratos and Bruinsma \[5\]](#) menyatakan bahwa pada tahun 2050, setiap individu akan mengkonsumsi sekitar 14 persen lebih banyak kalori. Hal ini akan meningkatkan permintaan pangan secara drastis. [Alexandratos and Bruinsma \[5\]](#) memperkirakan sekitar 60% lebih banyak pangan akan diproduksi pada tahun 2050.

Permasalahan-permasalahan tersebut akan memicu manusia untuk mencari solusi dan mulai merencanakan berbagai alternatif solusi untuk menjaga keberlangsungan hidup di planet ini. Dengan demikian, inovasi-inovasi di bidang pertanian terus dikembangkan agar dapat menjadi bagian dari solusi bagi permasalahan tersebut.

Teknologi pertanian di masa mendatang harus dapat membantu meningkatkan pangan secara simultan. Beberapa teknologi dan inovasi yang diprediksi dapat menjadi solusi antara lain *urban farming* (pertanian di perkotaan), vertikultur (pertanian secara vertical) serta *plant factory* (perusahaan tanaman terintegrasi). Teknologi pertanian juga harus memiliki kapasitas yang tinggi dan sangat presisi agar dapat menurunkan kebutuhan terhadap sumber daya manusia yang saat ini minat anak muda pada bidang pertanian semakin menurun. Teknologi penunjang produksi pertanian diprediksi akan menggunakan berbagai teknologi yang lebih canggih mulai dari alat mesin berbasis *artificial intelligence*, robot pertanian, serta sistem yang berbasis *internet of thing* (IoT). Tujuan kajian ini adalah untuk memberikan informasi terkait peranan teknologi pertanian di masa yang akan datang berdasarkan teknologi yang saat ini sedang dikembangkan serta memberi gambaran mengenai aplikasinya di masa yang akan datang khususnya ketahanan pangan.



Gambar 1. Empat isu global yang saling terkait (diadopsi dari Kozai [1])

2. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kajian literatur. Literatur dan informasi yang berhubungan dengan teknologi pertanian yang terbaru dikumpulkan, kemudian dilakukan analisis secara deskriptif dan dirangkum menjadi sebuah informasi yang komprehensif. Pencarian proses literatur dilakukan menggunakan database publikasi dan situs web organisasi. Literatur yang dijadikan referensi antara lain artikel jurnal yang diterbitkan dalam 10-20 tahun terakhir. Database publikasi digunakan untuk menyusun artikel, termasuk database multidisiplin dimana sumber bibliografi multidisiplin antara lain Scopus, Web of Science, Directory of Open Access Journals (DOAJ), dan database nasional yaitu Garba Rujukan Digital (GARUDA).

3. PEMBAHASAN

3.1 Alat dan mesin pertanian berbasis Artificial Intelligence

Alat dan mesin berbasis *Artificial Intelligence* (AI) atau lebih dikenal dengan sebutan robot sudah cukup lama dikembangkan khususnya di negara-negara maju dan akan terus menerus berkembang di masa yang akan datang mengingat perkembangan teknologi saat ini sangat. AI dan teknologi robot akan menjadi alat utama untuk mengatasi situasi sulit di masa mendatang tidak terkecuali pada bidang pertanian. Robot pertanian (RP) dapat menjadi teknologi tolok ukur untuk menjaga keberlangsungan hidup masyarakat ketika sistemnya dirancang dengan baik untuk dapat mengatasi permasalahan di bidang pertanian yang tidak terduga. RP dapat bekerja sepanjang hari; dapat diprogram untuk tugas yang berbeda; efisiensinya dapat ditingkatkan dengan algoritma yang dioptimalkan; dan efisien secara ekonomi dalam jangka panjang. Dalam kasus robot traktor, RP dapat memiliki banyak aplikasi, dan beberapa RP dapat berkolaborasi untuk melakukan satu atau beberapa tugas dalam satu atau lebih bidang [2].

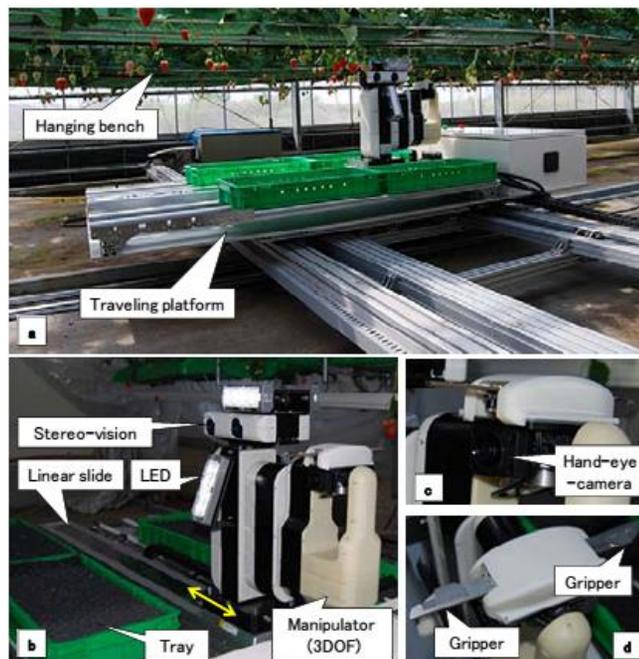
Alat dan mesin berbasis AI dan robotik yang baik dan presisi akan dapat membantu meningkatkan produktivitas pertanian. Mesin dan robot memiliki kelebihan yaitu tidak mengenal lelah, teliti (*precision*) dengan pekerjaannya, dan kapasitas kerja yang lebih tinggi jika dibandingkan manusia. Kesadaran akan pentingnya hal ini telah muncul sejak dulu sehingga mekanisasi pertanian yang berbasis otomasi hingga AI telah dikembangkan dan diterapkan dengan baik di banyak negara-negara maju.

Robot pertanian akan memainkan peran penting yang tidak dapat disangkal dalam pertanian berkelanjutan di masa depan [2]. Robot pertanian beroperasi dengan benda-benda biologis yang tumbuh (selalu berubah) dalam lingkungan alam (lingkungan heterogen), maka robot pertanian menghadapi kondisi kerja yang sangat bervariasi di Lingkup yang besar (lapangan / kebun) dan lingkup kecil (kanopi, batang / cabang, daun, buah / produk) dan berurusan dengan tugas yang sangat kompleks dan tak terduga.

Di luar negeri sudah banyak penelitian yang membahas tentang robotika dalam bidang pertanian yang sangat menjanjikan. Kurita, et al. [6] memperkenalkan teknologi untuk pembongkaran otomatis oleh pemanen gabungan pengumpanan kepala robot yang menggunakan pemrosesan gambar. Kontroler fuzzy di ruang tumbuh jamur dimodelkan oleh Ardabili, et al. [7]. Thanpattranon, et al. [8] mengembangkan algoritme kontrol untuk sistem navigasi traktor-trailer sensor tunggal untuk bepergian antar plot untuk berbagai tugas di lapangan

Robot untuk pemanenan juga sudah banyak dikembangkan dan layak untuk disebutkan seperti robot pemanen mentimun [9], platform robot untuk ladang bit gula [10], robot pemanen asparagus [11], robot pemanen gabungan untuk kacang [12], mesin grading mobile untuk buah jeruk [13], sistem robot untuk pertanian sawah [14], pemanen lada [15], dan pemanen robot multi-lengan [16], robot untuk memanen stroberi [17], dan robot pemanen apel [18]. Selain itu, ada juga robot stasioner yang digunakan untuk mencukur bulu domba [19], dan robot yang dapat dipakai tersedia untuk pekerjaan pertanian [20]. Pettersson, et al. [21] merancang *end-effector* dengan target yang sama untuk menangani berbagai tanaman berukuran kecil. Sebuah gripper pneumatik dilengkapi dengan sensor tekanan untuk menangkap terong dan apel dilaporkan oleh Blanes, et al. [22], serta robot pertanian pengusir hama pemakan biji padi [23].

Dengan semakin matangnya teknologi-teknologi yang telah disebutkan sebelumnya, maka di masa mendatang dunia semakin siap untuk beradaptasi khususnya di saat situasi iklim yang semakin tidak terkendali dan tidak dapat diprediksi, kekurangan tenaga kerja di bidang pertanian dan semakin banyaknya penduduk di semua negara.



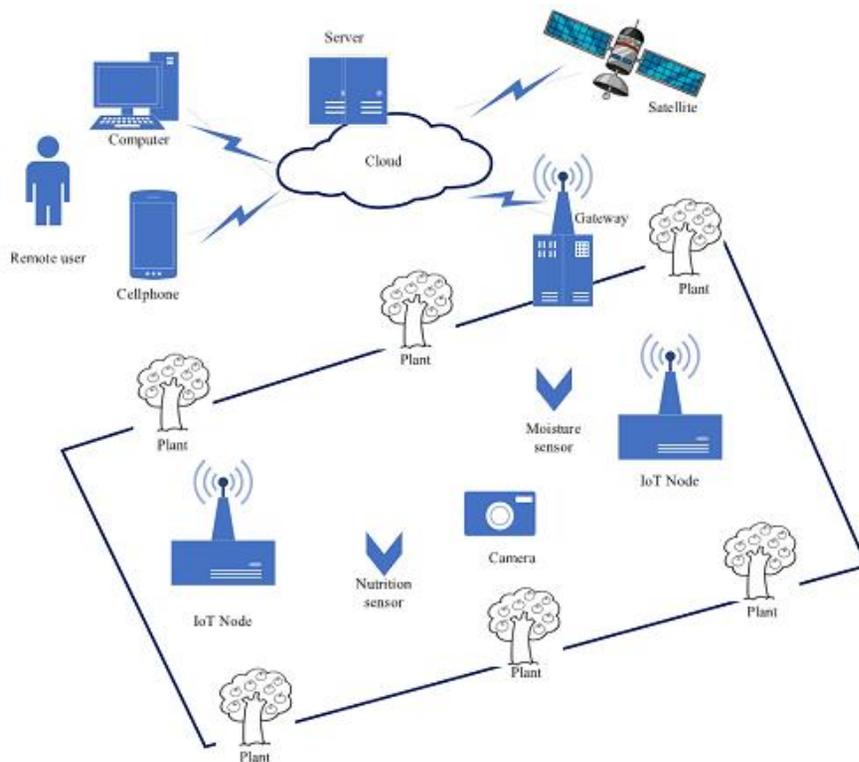
Gambar 3. Contoh pengembangan robot pemetik buah stroberi [17]

3.2 Pemanfaatan Internet of Thing (IoT) pada teknologi pertanian

Pemanfaatan Internet of Things (IoT) pada bidang pertanian telah membawa perubahan baru pada produksi pertanian. Tidak hanya meningkatkan hasil pertanian tetapi juga dapat secara efektif meningkatkan kualitas produk pertanian, mengurangi biaya tenaga kerja, meningkatkan pendapatan petani, dan benar-benar mewujudkan modernisasi dan kecerdasan pertanian [24]. Xu, et al. [24] juga menerangkan bahwa Internet of Things (IoT) di bidang pertanian mengacu pada jaringan di mana komponen fisik, seperti hewan dan tumbuhan, elemen lingkungan, alat produksi, dan berbagai “objek” virtual dalam sistem pertanian, terhubung dengan internet melalui jaringan informasi pertanian di bawah protokol tertentu untuk melakukan pertukaran informasi dan komunikasi. Hal ini bertujuan untuk mewujudkan sistem identifikasi cerdas, penentuan posisi, pelacakan, pemantauan, dan pengelolaan objek dan proses pertanian. Interaksi manusia dan mesin dalam kaitannya dengan IoT pertanian dapat membantu manusia mengenali, mengelola, dan mengendalikan berbagai elemen, proses, dan sistem pertanian dengan cara yang lebih halus, mudah dan dinamis.

Saat ini, penerapan IoT pada bidang pertanian sudah banyak dilakukan, baik dalam tatanan riset maupun komersialisasi / industrialisasi. Beberapa aplikasi diantaranya adalah untuk irigasi hemat air, pemantauan lingkungan pertumbuhan tanaman, pemantauan informasi kehidupan hewan dan tumbuhan, mesin pertanian cerdas, serta keamanan dan ketertelusuran kualitas produk pertanian. Konsep arsitektur IoT pada bidang pertanian sebagai contoh disajikan pada Gambar 4. Srbínovska, et al. [25] mengusulkan arsitektur jaringan sensor *wireless* untuk rumah tanaman. Dikombinasikan dengan panduan sistem pakar dan langkah-langkah yang tepat, seperti remote control irigasi tetes, sehingga efisiensi energi meningkat. Hou, et al. [26] merancang sistem irigasi cerdas jarak jauh untuk kebun. Sistem ini menggunakan kombinasi GPRS dan ZigBee.

Pada aplikasi monitoring, Xia *et al.* merancang sistem IoT untuk diagnosis dan pengelolaan kondisi bibit gandum [27]. Kumar and Hancke [28] mengembangkan sistem pemantauan kesehatan hewan berbasis ZigBee, yang dapat merasakan informasi penting, seperti mengunyah, suhu tubuh, detak jantung, dan informasi lingkungan pertumbuhan hewan yang dipantau dan menganalisis objek yang dipantau sesuai dengan indeks suhu dan kelembaban. Porto, et al. [29] merancang sistem ketertelusuran jeruk berdasarkan teknologi IoT. Sistem ini dapat mencegah dan mengendalikan penyebaran penyakit tanaman sehingga pertumbuhan jeruk dapat meningkat. Jiang and Sun [30] mendirikan platform keterlacakan keamanan produk pertanian yang lengkap, yang mewujudkan pengumpulan, pemrosesan, dan tampilan data produk pertanian secara otomatis; meningkatkan ketertelusuran produk pertanian; dan mengurangi biaya pelacakan dan pemantauan produk pertanian [30]. Rahayuningtyas, et al. [31] mengembangkan sistem deteksi dan pemantauan kualitas air pada akuaponik berbasis android. Perangkat tersebut dirancang dengan mengintegrasikan beberapa sensor yaitu sensor pH, sensor TDS, sensor suhu air, intensitas cahaya, dan sensor ultrasonic (ketinggian air), dimana semua parameter dapat diakset via platform Android. Lebih lanjut, Susanti, et al. [32] mengembangkan sistem yg sama dengan biaya yang rendah dimana analisis ekonomi menunjukkan bahwa kebutuhan untuk mengembangkan perangkat tersebut adalah 84 USD atau sekitar Rp 1,300,000.



Gambar 4. Konsep penerapan IoT untuk akuisisi dan monitoring data tanaman [24]

3.3 Pertanian presisi (*precision farming*) dan kendaraan otonom lahan pertanian (*autonomous vehicles*)

Pertanian presisi merupakan informasi dan teknologi pada sistem pengelolaan pertanian untuk mengidentifikasi, menganalisa, dan mengelola informasi keragaman spasial dan temporal di dalam lahan untuk mendapatkan keuntungan optimum, berkelanjutan, dan menjaga lingkungan. Tujuan dari pertanian presisi adalah mencocokkan aplikasi sumber daya dan kegiatan budidaya pertanian dengan kondisi tanah dan keperluan tanaman berdasarkan karakteristik spesifik lokasi di dalam lahan. Pertanian presisi merupakan revolusi dalam pengelolaan sumber daya alam berbasis teknologi informasi. Sistem Informasi Manajemen (*management information system*) dalam pertanian presisi meliputi Sistem Informasi Geografis (*geographical information system*), Sistem Pendukung Keputusan (*decision support system*), dan data (*crop models & field history*). Pertanian presisi sebagai teknologi baru yang sudah demikian berkembang di luar Indonesia perlu segera dimulai penelitiannya di Indonesia untuk memungkinkan perlakuan yang lebih teliti terhadap setiap bagian lahan. Maksud tersebut dapat dicapai dengan pertanian presisi melalui kegiatan pembuatan peta hasil (*yield map*), peta tanah (*soil map*), peta pertumbuhan tanaman (*growth map*), peta informasi lahan (*field information map*), penentuan laju aplikasi (*variable rate application*), pembuatan *yield sensor*, pembuatan *variable rate applicator*, dan lain-lain. Penggabungan peta hasil, peta tanah, dan peta pertumbuhan tanaman menghasilkan peta informasi lahan (*field information map*) sebagai dasar perlakuan yang sesuai dengan kebutuhan spesifik lokasi yaitu dengan diperolehnya *variable rate application* [33].

Menurut De Baerdemaeker [34], prinsip dasar dari pertanian presisi bisa di lihat sebagai rangkuman kegiatan pertanian yang baik (*Good agricultural Practice*) yang memerlukan hal hal sebagai berikut :

- Informasi yang benar (informasi tentang keadaan tanah, tanaman yang ditanam sebelumnya dan perlakuannya)
- Observasi yang benar
- Analisis yang benar
- Gen dari tanaman yang baik
- Dosis bahan kimia yang diaplikasikan yang benar
- Tempat dan waktu yang tepat
- Kondisi yang tepat
- Peralatan yang tepat

Dalam pertanian presisi, dibutuhkan kendaraan pertanian otonom (*autonomous*). Kendaraan ini harus memenuhi syarat dari segi teknis, termasuk unit perangkat keras setiap kendaraan (pengembangan platform, jenis platform, sistem pengangkut, fungsi operasi, komunikasi, sensor [sensor posisi, sensor sikap, dan sensor keselamatan], dan unit kontrol), lingkungan fisik, dan algoritma control [2]. Konsep pertanian presisi berbasis mesin otonom dapat dilihat pada Gambar 5.

Ulasan yang menarik dan berharga telah disajikan di bidang kendaraan otonom pertanian oleh Li, et al. [35]. Li, et al. [35] secara singkat mengkarakterisasi sistem panduan otonom untuk kendaraan pertanian (AV) termasuk sensor navigasi (GPS, visi mesin, sensor deadreckoning, sensor berbasis laser, IMU, dan GDS), metode komputasi untuk fitur dan ekstraksi sekering, perencana navigasi untuk memasok algoritme kontrol dan pengontrol kemudi untuk mengontrol posisi dan orientasi. Beberapa penelitian terkait kendaraan otonom untuk pertanian yang telah dikembangkan antara lain traktor robot juga telah dirancang [36, 37], robot penanam benih padi secara nirkabel [38], dan model robot penanam kangkung [39]. Menurut Nanda, et al. [39], dengan memperhatikan beberapa aspek seperti perancangan, sistem pembuatan (kelistrikan dan komponen) dan pengujian (kelistrikan, vision dan penanaman), maka mobil robot penanaman kangkung dapat bekerja selama 4 jam dengan kinerja seluas 4,7 hektar.

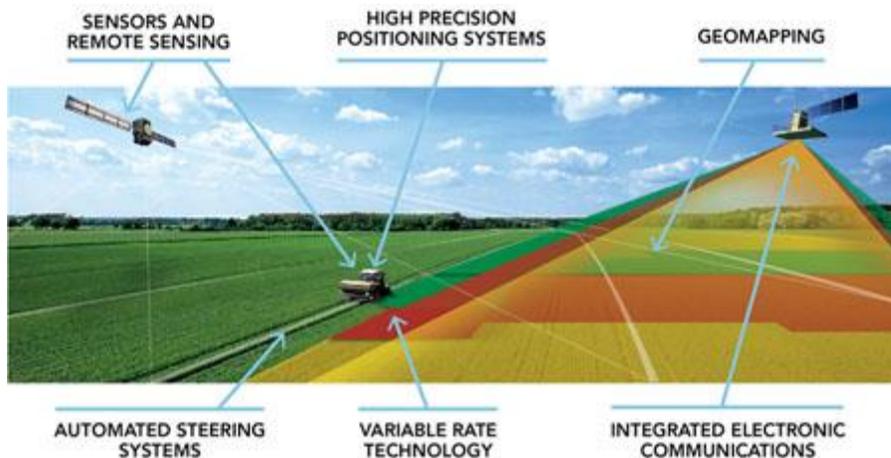
Teknologi Drone (pesawat udara yang tidak berawak) merupakan salah satu alat yang digunakan dalam penggunaan pertanian presisi. Drone dapat dikendalikan oleh user dari bawah dengan bantuan remote control. Drone dilengkapi dengan kamera udara dan juga Geographic positioning system dan juga perangkat lunak untuk pradesain pesawat terbang udara mosaik. Drone memastikan takaran kebutuhan pupuk, bibit yang optimal dengan memberikan informasi ad hoc ke ruang kendali.

Di negara berkembang seperti Indonesia, pertanian tradisional masih mendominasi di sektor pertanian dimana sistem takaran untuk pupuk maupun penggunaan bahan kimia lainnya dilakukan oleh petani sendiri. Selain itu, petani bisa mengidentifikasi masalah tanaman utama hanya jika mereka mengunjungi pertanian secara teratur. Keterlambatan diagnosis hama tanaman dan penyakit dan tanaman tindakan perlindungan dapat menyebabkan kerusakan tanaman dengan penurunan hasil dan profitabilitas. Dengan kendaraan udara (drone), real-time diagnosis sistem tanaman adalah mungkin. Kendaraan udara bisa melakukan geo-referenced pertanian dengan pengurangan yang signifikan pada waktu dan biaya tenaga kerja. Pemetaan 3D dan spektrum warna grafik dapat dikembangkan lebih dari survei oleh perangkat drone. Database ini akan berguna di garis pengukuran tingkat ozon stratosfir, pengukuran kualitas udara, pemantauan debit tanah, sistem peringatan dini gempa bumi dan gunung berapi, peringatan meteorologi dari tsunami awan, status gletser dan lapisan es tebal dan deformasi permukaan, survei lahan terbuka tambang dan lain-lain. Survei drone ponsel ini dapat dengan mudah dipindahkan ke daerah setiap kali timbul kebutuhan terlepas dari zona topografi.

Drone dapat mencapai kondisi topografi yang sulit dibandingkan dengan kendaraan pertanian roda pada umumnya. Drone menjadi mesin tidak dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan dapat beroperasi di cuaca mendung dan bahkan pada hari-hari hujan. Kamera inframerah yang melekat drone dapat mengambil gambar multispektral dari langit yang sesuai, kemudian dapat diterjemahkan menggunakan perangkat lunak tertentu. Sensor yang melekat pada drone dapat memantau indeks vegetatif tanaman menggunakan sistem laser scanning. Dengan cara membandingkan dengan parameter standar, keputusan pertanian lebih cepat mengenai saat aplikasi pupuk, penyemprotan bahan kimia dan operasi penyiangan juga dapat dilakukan dengan cepat dan optimal.

Terlepas dari penggunaan dalam bidang tanaman, Drone juga dapat digunakan untuk berbagai operasi pertanian yaitu penyemprotan pestisida dan pupuk untuk pemantauan tanah dan kualitas air, pengawasan erosi dan jatuh tempo tahap tanaman. Hampir 25 tahun yang lalu di akhir 1980-an, Jepang adalah yang pertama untuk menerapkan teknologi pesawat tak berawak di segmen pertanian. Hari ini, pesawat tak berawak seperti quadcopters dan helikopter melaksanakan operasi pertanian di lebih dari 10% daerah padi di Jepang. Saat ini, raksasa manufaktur Jepang Fuji Heavy Industries dan Yamaha Perusahaan memproduksi dan menjual sepenuhnya hak otonom penyemprot. Yamaha Perusahaan mengkomersialkan *helikopter remote controlled* (UAV) yang dapat digunakan untuk menyemprot bahan kimia atau menyebar butiran. Dengan masukan penyemprotan udara, termasuk pupuk, fungisida dan pestisida, pengurangan yang signifikan pada biaya tenaga kerja dapat dicapai serta operasi pertanian dapat dilakukan dengan tepat waktu.

Drone untuk tujuan pertanian membutuhkan lebih sedikit bahan bakar dan biaya pemeliharaan dibandingkan dengan model utilitas militer atau logistik. Operasi perlindungan tanaman seperti penyemprotan melibatkan tenaga kerja manual dapat mengakibatkan alergi, iritasi mata, gangguan kulit dan penyakit seperti kanker dalam jangka panjang, yang dapat dihindari dengan udara penyemprotan dengan mesin.



Gambar 5. Konsep *Precision Farming* (sumber: dronesrate.com)

3.4 Pertanian *vertical* (*verticulture*) dan *plant factory*

Beberapa tahun kedepan dapat dipastikan bahwa perluasan lahan pertanian (ekstensifikasi pertanian) hampir tidak dapat dilakukan. Hal ini karena jumlah penduduk yang semakin padat sehingga kebutuhan lahan pemukiman akan semakin besar pula, selain itu alih fungsi lahan akibat kebutuhan manusia yang semakin beragam juga akan terus meningkat. Salah satu wujud perkembangan terbaru teknologi yang digunakan dalam pertanian adalah *vertical farming* dan *plant*

factory (Gambar 6). Kedua hal ini telah mulai dilakukan di negara-negara maju seperti Amerika Serikat, Kanada, Jepang, Korea dan China [40]. Ekstensifikasi pertanian tidak selamanya harus dilakukan secara horizontal, ekstensifikasi pertanian dapat juga dilakukan secara vertikal melalui *vertical farming*. Konsep ini sebenarnya sudah dikenal sejak dahulu, namun saat ini menjadi perhatian tersendiri di kalangan para akademisi untuk mengembangkan pertanian secara vertikal. Saat ini pertanian vertikal sudah mulai banyak dikembangkan. Mulai dari pertanian vertikal dengan menggunakan rak-rak maupun dalam bentuk bangunan bertingkat seperti *living walls*, *vertical garden* dan *sky farm* walaupun aplikasinya dalam bentuk ini masih terbatas karena masih banyak kendala. Contoh penerapan aplikasi pertanian vertikal dengan menggunakan rak dapat dilihat di Singapura. Rak-rak sayuran disusun dalam sebuah rangka aluminium, dan dapat berputar untuk menjaga sirkulasi cahaya matahari, aliran udara dan pengairan. Sistem distribusi air dibantu oleh gaya gravitasi dan membutuhkan sedikit konsumsi listrik. Energi yang diperlukan untuk daya satu sistem distribusi air adalah setara dengan energi yang dibutuhkan 60 watt bola lampu. Seluruh sistem hanya membutuhkan lahan seluas 60 m². Sebanyak 120 menara telah didirikan di Kranji, 14 km dari pusat bisnis Singapura. Di Indonesia dikenal juga istilah vertikultur yang berasal dari kata *vertical* dan *culture* yaitu pertanian yang dilakukan secara vertikal ataupun bertingkat baik *indoor* maupun *outdoor* [41]. Sementara itu, *plant factory* mengacu pada sistem produksi tanaman dalam ruangan multi-layer dengan lampu buatan, di mana kondisi pertumbuhan dikontrol dengan tepat. Ini merupakan kemajuan yang lebih tinggi dari vertikultur dimana pada *plant factory*, selain tanaman disusun secara vertikal, kondisi di ruang tanaman pun dikontrol dengan sebaik dan sepresisi mungkin.

Menurut Van Delden, et al. [42] dalam artikelnya yang berjudul "*Current status and future challenges in implementing and upscaling vertical farming systems*" menerangkan bahwa pertanian vertikal dapat menghasilkan makanan dengan cara yang tahan terhadap iklim, berpotensi tidak mengeluarkan pestisida dan pupuk, dan dengan penggunaan lahan dan air yang lebih rendah daripada pertanian konvensional. Vertikultur dapat memenuhi permintaan konsumen sehari-hari akan produk segar yang bergizi, membentuk bagian dari sistem pangan yang tangguh khususnya di dalam dan di sekitar daerah berpenduduk padat. Vertikultur saat ini memproduksi berbagai tanaman yang terbatas termasuk buah-buahan, sayuran dan rempah-rempah, tetapi keberhasilan penerapan pertanian vertikal sebagai bagian dari pertanian arus utama akan membutuhkan peningkatan profitabilitas, efisiensi energi, kebijakan publik dan penerimaan konsumen. Oleh karena itu, diperlukan sinergi antara Lembaga penelitian dan pengembangan, lembaga sosial-ekonomi dan pembuat kebijakan untuk memastikan keberhasilan pengimplementasian pertanian vertikal dalam mendukung sistem pangan masa depan.



Gambar 6. Tanaman dengan sistem vertikultur (*edengreen.com*) dan *plant factory* (*Taikisha Co., Ltd., Thailand*)

Dasar dari sistem vertikultur adalah sistem pertanian secara hidroponik. Di Indonesia hidroponik mulai diminati. Hal ini dapat dilihat dari pertumbuhan unit bisnis yang bergerak dalam bidang hidroponik, aeroponic maupun akuaponik yang semakin hari semakin meningkat baik dari segi kuantitas maupun kualitasnya.

Dengan perkembangan teknologi pertanian yang semakin maju ini, diharapkan dapat menjadi solusi untuk mengurangi dampak serius dari permasalahan global terkait di masa yang akan datang khususnya terkait krisis pangan akibat pertumbuhan penduduk yang semakin besar, permasalahan iklim yang tidak menentu dan kurang diminatinya pekerjaan di sektor pertanian.

3. KESIMPULAN

Peranan teknologi pertanian di masa mendatang akan semakin dibutuhkan mengingat saat ini jumlah para petani semakin berkurang akibat penuaan, kurang diminatinya pekerjaan di bidang pertanian, peningkatan jumlah penduduk dan kebutuhan pangan, sementara lahan pertanian semakin berkurang. Berbagai teknologi pertanian baik itu berupa alat, mesin, metode dan sistem terus dikembangkan oleh para peneliti di seluruh dunia dengan fitur yang semakin canggih untuk menunjang pertanian masa depan mulai dari berbasis sistem otomasi dan *Artificial Intelligence*, pemanfaatan IoT, pertanian presisi, pertanian sistem *verticulture* hingga *plant factory* yang harapannya dapat menunjang kebutuhan pekerjaan-pekerjaan di bidang pertanian yang semakin kompleks dengan memanfaatkan sumberdaya se-efisien mungkin dan hasil produksi yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Kozai, G. Niu, and M. Takagaki, *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production*. Academic Press, 2016.
- [2] A. Roshanianfard, N. Noguchi, H. Okamoto, and K. Ishii, "A review of autonomous agricultural vehicles (The experience of Hokkaido University)," *Journal of Terramechanics*, vol. 91, pp. 155-183, 2020.
- [3] T. Kozai, "Plant factory in Japan-current situation and perspectives," *Chron. Hortic*, vol. 53, no. 2, pp. 8-11, 2013.
- [4] M. A. Umar, "Bonus demografi sebagai peluang dan tantangan pengelolaan sumber daya alam di era otonomi daerah," *Genta Mulia: Jurnal Ilmiah Pendidikan*, vol. 8, no. 2, 2017.
- [5] N. Alexandratos and J. Bruinsma, "World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision," 2012.
- [6] H. Kurita, M. Iida, M. Suguri, and R. Masuda, "Application of image processing technology for unloading automation of robotic head-feeding combine harvester," *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, vol. 5, no. 4, pp. 146-151, 2012.
- [7] S. F. Ardabili, A. Mahmoudi, T. M. Gundoshmian, and A. Roshanianfard, "Modeling and comparison of fuzzy and on/off controller in a mushroom growing hall," *Measurement*, vol. 90, pp. 127-134, 2016.
- [8] P. Thanpattranon, T. Ahamed, and T. Takigawa, "Navigation of autonomous tractor for orchards and plantations using a laser range finder: Automatic control of trailer position with tractor," *Biosystems Engineering*, vol. 147, pp. 90-103, 2016.
- [9] E. J. Van Henten, D. A. Van't Slot, C. W. J. Hol, and L. G. Van Willigenburg, "Optimal manipulator design for a cucumber harvesting robot," *Computers and electronics in agriculture*, vol. 65, no. 2, pp. 247-257, 2009.
- [10] T. Bakker, K. van Asselt, J. Bontsema, J. Müller, and G. van Straten, "Autonomous navigation using a robot platform in a sugar beet field," *Biosystems Engineering*, vol. 109, no. 4, pp. 357-368, 2011.

- [11] F. Dong, W. Heinemann, and R. Kasper, "Development of a row guidance system for an autonomous robot for white asparagus harvesting," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 79, no. 2, pp. 216-225, 2011.
- [12] M. Saito, K. Tamaki, K. Nishiwaki, Y. Nagasaka, and K. Motobayashi, "Development of robot combine harvester for beans using CAN bus network," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 46, no. 18, pp. 148-153, 2013.
- [13] Y. Kohno *et al.*, "Development of a mobile grading machine for citrus fruit," *Engineering in agriculture, Environment and Food*, vol. 4, no. 1, pp. 7-11, 2011.
- [14] K. Tamaki, Y. Nagasaka, K. Nishiwaki, M. Saito, Y. Kikuchi, and K. Motobayashi, "A robot system for paddy field farming in Japan," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 46, no. 18, pp. 143-147, 2013.
- [15] D. Eizicovits, B. van Tuijl, S. Berman, and Y. Edan, "Integration of perception capabilities in gripper design using graspability maps," *Biosystems Engineering*, vol. 146, pp. 98-113, 2016.
- [16] B. Zion, M. Mann, D. Levin, A. Shilo, D. Rubinstein, and I. Shmulevich, "Harvest-order planning for a multiarm robotic harvester," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 103, pp. 75-81, 2014.
- [17] S. Hayashi *et al.*, "Evaluation of a strawberry-harvesting robot in a field test," *Biosystems engineering*, vol. 105, no. 2, pp. 160-171, 2010.
- [18] Z. De-An, L. Jidong, J. Wei, Z. Ying, and C. Yu, "Design and control of an apple harvesting robot," *Biosystems engineering*, vol. 110, no. 2, pp. 112-122, 2011.
- [19] H. G. Tanner, K. J. Kyriakopoulos, and N. I. Krikelis, "Advanced agricultural robots: kinematics and dynamics of multiple mobile manipulators handling non-rigid material," *Computers and electronics in agriculture*, vol. 31, no. 1, pp. 91-105, 2001.
- [20] S. Toyama and G. Yamamoto, "Development of Wearable-Agri-Robot~ mechanism for agricultural work~," 2009: IEEE, pp. 5801-5806.
- [21] A. Pettersson, T. Ohlsson, S. Davis, J. O. Gray, and T. J. Dodd, "A hygienically designed force gripper for flexible handling of variable and easily damaged natural food products," *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol. 12, no. 3, pp. 344-351, 2011.
- [22] C. Blanes, M. Mellado, and P. Beltrán, "Tactile sensing with accelerometers in prehensile grippers for robots," *Mechatronics*, vol. 33, pp. 1-12, 2016.
- [23] Syahminan, "Teknologi robot pertanian pengusir hama pemakan biji padi pada desa Kertosari dan deso Bangkalan kecamatan Purwosari kabupaten Pasuruan," *Jurnal SPIRIT*, vol. 11, no. 2, pp. 56-61, 2019.
- [24] J. Xu, B. Gu, and G. Tian, "Review of agricultural IoT technology," *Artificial Intelligence in Agriculture*, 2022.
- [25] M. Srbinovska, C. Gavrovski, V. Dimcev, A. Krkoleva, and V. Borozan, "Environmental parameters monitoring in precision agriculture using wireless sensor networks," *Journal of cleaner production*, vol. 88, pp. 297-307, 2015.
- [26] J. L. Hou, R. Hou, D. S. Gao, and H. R. Shu, "The design and implementation of orchard long-distance intelligent irrigation system based on Zigbee and GPRS," 2012, vol. 588: Trans Tech Publ, pp. 1593-1597.
- [27] Y. Xia, Z. Sun, K. Du, and X. Hu, "Design and realization of IOT-based diagnosis and management system for wheat production," *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, vol. 29, no. 5, pp. 117-124, 2013.
- [28] A. Kumar and G. P. Hancke, "A zigbee-based animal health monitoring system," *IEEE sensors Journal*, vol. 15, no. 1, pp. 610-617, 2014.

- [29] S. M. C. Porto, C. Arcidiacono, and G. Cascone, "Developing integrated computer-based information systems for certified plant traceability: Case study of Italian citrus-plant nursery chain," *Biosystems Engineering*, vol. 109, no. 2, pp. 120-129, 2011.
- [30] L. Jiang and K. Sun, "Research on Security Traceability Platform of Agricultural Products Based on Internet of Things," 2017: Atlantis Press, pp. 146-150.
- [31] A. Rahayuningtyas, D. Sagita, and N. D. Susanti, "Sistem deteksi dan pemantauan kualitas air pada akuaponik berbasis android," *Jurnal Riset Teknologi Industri*, vol. 15, no. 1, pp. 75-89, 2021.
- [32] N. D. Susanti, D. Sagita, I. F. Apriyanto, C. E. W. Anggara, D. A. Darmajana, and A. Rahayuningtyas, "Design and Implementation of Water Quality Monitoring System (Temperature, pH, TDS) in Aquaculture Using IoT at Low Cost," 2022: Atlantis Press, pp. 7-11.
- [33] S. Prabawa, B. Pramudya, I. W. Astika, R. P. A. Setiawan, and E. Rustiadi, "Sistem Informasi Geografis Dalam Pertanian Presisi Aplikasi Pada Kegiatan Pemupukan Di Perkebunan Tebu," 2009.
- [34] J. De Baerdemaeker, "Precision agriculture technology and robotics for good agricultural practices," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 46, no. 4, pp. 1-4, 2013.
- [35] M. Li, K. Imou, K. Wakabayashi, and S. Yokoyama, "Review of research on agricultural vehicle autonomous guidance," *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, vol. 2, no. 3, pp. 1-16, 2009.
- [36] N. Noguchi and O. C. Barawid Jr, "Robot farming system using multiple robot tractors in Japan agriculture," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 44, no. 1, pp. 633-637, 2011.
- [37] C. Zhang, L. Yang, and N. Noguchi, "Development of a robot tractor controlled by a human-driven tractor system," *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, vol. 8, no. 1, pp. 7-12, 2015.
- [38] S. S. Prayogo, Y. Permadi, and T. M. Kusuma, "Rancang Bangun Agrobot-li: Robot Edukasi Penanam Benih Tanaman Padi Dengan Kendali Jarak Jauh," *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Rekayasa*, vol. 25, no. 2, pp. 89-101, 2020.
- [39] R. A. Nanda, A. Arhami, and R. Kurniawan, "Perancangan Dan Pengujian Model Mobil Robot Penanam Bibit Kangkung," *Rona Teknik Pertanian*, vol. 13, no. 2, pp. 14-28, 2020.
- [40] A. Arnello and B. Soemardiono, "Paduan Zona Agro Edu Tourism (AET) dan Plant Factory with Artificial Lighting (PFAL) pada Vertical Urban Farming," *Jurnal Sains dan Seni ITS*, vol. 7, no. 1, pp. 5-9, 2018.
- [41] W. Rasapto, "Budidaya Sayuran dengan Vertikultur," *Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Jawa Tengah*, 2006.
- [42] S. H. Van Delden *et al.*, "Current status and future challenges in implementing and upscaling vertical farming systems," *Nature Food*, vol. 2, no. 12, pp. 944-956, 2021.

Style Citation :

R. Efendi and D. Sagita, "Teknologi pertanian masa depan dan peranannya dalam menunjang ketahanan pangan," *Sultra Journal of Mechanical Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 1-12, 2022.