

CONTROLLED ENVIRONMENT AGRICULTURE SEBAGAI PENDUKUNG KETAHANAN PANGAN DI NEGARA LAHAN TERBATAS

Lukas Sangka Pamungkas^{1*}, Anton Wachidin Widjaja²

¹Jurusan Manajemen Teknologi, Universitas Presiden Bekasi
Email: lukas@president.ac.id

²Jurusan Manajemen Teknologi, Universitas Presiden Bekasi
Email: wachidin.anton@president.ac.id

*Penulis Korespondensi

Masuk : 20-08-2024, revisi: 30-10-2024, diterima untuk diterbitkan : 31-10-2024

ABSTRAK

Dalam menghadapi urbanisasi yang cepat, pertumbuhan populasi, dan perubahan iklim, negara-negara dengan lahan pertanian terbatas semakin ditantang untuk memastikan ketahanan pangan bagi penduduknya. Pertanian dengan Lingkungan Terkendali (*Controlled Environment Agriculture*) muncul sebagai solusi transformatif, menawarkan pendekatan yang berkelanjutan dan efisien untuk produksi pangan. Dengan memanfaatkan teknologi canggih seperti hidroponik, aeroponik, dan pertanian vertikal, CEA mengoptimalkan lingkungan pertumbuhan tanaman, memungkinkan produksi tanaman berkualitas tinggi sepanjang tahun, terlepas dari kondisi iklim eksternal. Penelitian ini mengeksplorasi potensi CEA dalam mendukung ketahanan pangan di negara-negara yang kekurangan lahan. Selain itu, penelitian ini menekankan pentingnya transformasi digital dalam pengembangan CEA. Inovasi teknologi digital, seperti alat-alat pertanian presisi, analitik data, dan otomatisasi, tidak hanya meningkatkan hasil panen tetapi juga efisiensi sumber daya dan keberlanjutan. Transformasi digital memungkinkan integrasi sistem cerdas yang dapat mengawasi dan mengoptimalkan proses produksi secara real-time, memanfaatkan Internet of Things (IoT), kecerdasan buatan (AI), dan kembar digital (*digital twin*) untuk menciptakan lingkungan pertanian yang lebih responsif dan adaptif. Penelitian ini juga membahas manfaat sosial-ekonomi dari CEA, seperti mengurangi ketergantungan pada impor pangan. Dengan menyajikan studi kasus dari Singapura yang telah mengadopsi CEA, penelitian ini menyoroti praktik terbaik dan strategi untuk mengatasi tantangan tersebut. Kesimpulannya, CEA dengan dukungan transformasi digital merupakan komponen penting dalam masa depan pertanian, terutama di wilayah di mana pertanian tradisional sulit dilakukan karena keterbatasan lahan. Melalui investasi strategis dalam CEA dan digitalisasi, negara-negara dapat memperkuat ketahanan pangannya, berkontribusi pada tujuan keberlanjutan global, dan membangun ketahanan terhadap gangguan di rantai pasokan pangan di masa depan.

Kata Kunci: Digital Transformation; Disruptive Era; AMTC; Accelerator; Startup

ABSTRACT

With increasing population density, rate of urbanization, and climate change, countries with a small and shrinking base of arable land are under pressure to feed their populations. Controlled Environment Agriculture (CEA) is presented as effective method that can revolutionize the principles of farming. CEA use of hydroponics, aeroponics, vertical farming and other high-tech methods that help create a suitable climate that will allow the cultivation of crops all year round irrespective of the climate. This research finding out CEA can help in achieving food security within lack of land nations. Moreover, this paper focuses on the necessity to advance CEA as subject through the practice of digital transformation. Tools like precision farming, data analytics for crop production, and robots for planting and harvesting improve not only the yields but also optimize the use of the resources. Digital transformation can help introduce smart systems that will support production and control processes in near real-time with the help of IoT, AI, and digital twinning to develop more sensitive agricultural environments. This paper also covers other socio-economic effects of CEA including reduction in the importation of food. The research uses case studies in Singapore which for the most part has implemented CEA. In conclusion, CEA is part of agriculture development, especially in the areas where conventional agriculture cannot be effective because of the lack of land. CEA and investment in digitalization remain vital in increasing countries food security and ensure meet international sustainable goals in case of future shocks in the food chain.

Keywords: Digital Transformation; Disruptive Era; AMTC; Accelerator; Startup

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Singapura, sebuah negara dengan luas lahan yang terbatas, menghadapi tantangan besar dalam memenuhi kebutuhan produksi pangan domestik dan mencapai swasembada. Sebagai negara dengan kepadatan penduduk yang tinggi dan sumber daya alam yang langka, Singapura bergelut dengan masalah mendesak dalam memastikan ketahanan pangan bagi penduduknya. Untuk mengatasi masalah ini, kolaborasi antara pemerintah Singapura, *Siemens Advanced Manufacturing Transformation Centre*, dan *startup Artisan Green* telah melahirkan inovasi agri-teknologi yang dapat membantu mengatasi keterbatasan ini. Penelitian ini mengeksplorasi manfaat dari akselerator yang memfasilitasi transformasi digital, serta tantangan dan langkah-langkah transisi dari praktik pertanian tradisional ke era digital dalam konteks kelangkaan lahan. Inovasi ini menawarkan solusi konkret untuk meningkatkan keberlanjutan pangan di negara yang terbatas sumber dayanya seperti Singapura.

Langkah pertama dan utama dalam proses transformasi digital adalah menciptakan kapabilitas dinamis. Pembaruan strategis ini dilakukan untuk membantu perusahaan beradaptasi dengan lanskap digital yang terus berkembang dengan terus memperbarui praktik manajemen pengetahuan mereka dan mengadopsi teknologi baru seperti teknologi seluler, kecerdasan buatan, komputasi awan, blockchain, dan Internet of Things (Merzlikina & Kozhanova, 2020). Selain itu, organisasi harus fokus pada penerapan teknologi digital inovatif dan secara bersamaan mengubah kapabilitas, struktur, proses, dan model bisnis mereka (Guarda et al., 2021). Ini memungkinkan mereka tidak hanya mengadopsi teknologi baru tetapi juga memodifikasi proses internal mereka untuk sepenuhnya memanfaatkan transformasi digital.

Piramida transformasi digital

Dalam konteks korporasi, transformasi digital harus mencakup tiga tingkat utama, yaitu strategi, eksekusi, dan teknologi. Program yang sukses setidaknya melibatkan dua dari tingkat yang disebutkan, tetapi idealnya akan mencakup program di ketiga tingkat tersebut dalam urutan temporal yang bertahap. Sebagai contoh, ada penciptaan Model Bisnis Digital yang jika tidak didukung oleh strategi *Go-to-Market* yang baru, tetap berada dalam ranah teori. Sebaliknya, transformasi digital yang sejati adalah mengimplementasikan solusi digital seperti ERP atau CRM namun tidak melakukan transfer Model Operasi (Turchi, 2018).

Perlu pendekatan yang komprehensif untuk mencakup lapisan strategi, implementasi, dan teknologi yang terintegrasi dengan mulus. Kerangka kerja ini terdiri dari model bisnis/strategi tercermin dalam proses *Go-to-Market*, model operasi diterapkan di bawah operasi, teknologi digunakan dalam *Go-to-Market* dan operasi. Elemen-elemen ini harus terhubung untuk memastikan bahwa inisiatif transformasi digital dapat bekerja, dan menciptakan pendekatan bisnis baru di dalam organisasi dan di pasar (Turchi, 2018).

Strategi (Model Bisnis) adalah kunci yang menekankan penilaian yang didorong oleh teknologi seperti perusahaan platform, layanan berbasis data. Eksekusi dalam pandangan ini berkaitan dengan proses menerjemahkan Model Operasi Korporat, Model Operasi, dan strategi *Go-to-Market* menjadi aktifitas operasional yang mendukung rencana strategis. Transformasi bisnis bukan hanya tentang mengadopsi aplikasi atau teknologi tertentu, tetapi transformasi bisnis tidak bisa dilakukan tanpa menggunakan aplikasi dan teknologi yang mempengaruhi semua lapisan dalam piramida transformasi bisnis. Transformasi Digital adalah proses yang berkelanjutan, sehingga ketergantungan pada manajemen perubahan yang kuat juga merupakan proses yang berkelanjutan. (Turchi, 2018).

Peran akselerator

Transformasi digital dalam bisnis adalah proses yang kompleks yang sering kali membutuhkan bantuan dari institusi eksternal karena keterbatasan sumber daya dan kapasitas yang dimiliki oleh bisnis, terutama pada tahap awal operasional mereka. Bisnis sering kesulitan untuk menerapkan inisiatif transformasi digital mereka sendiri, sehingga mereka perlu mencari bantuan dari entitas seperti akselerator untuk mengelola kompleksitas adopsi teknologi canggih. Akselerator memainkan peran penting dalam transformasi digital bisnis karena mereka dapat menyediakan sumber daya, pengetahuan, dan jaringan yang tidak dapat diperoleh oleh perusahaan secara mandiri. Akselerator menjembatani bisnis dengan kemajuan Industri 4.0, membantu mereka memanfaatkan modal sosial dan manusia untuk meningkatkan transformasi digital mereka (Drori & Wright, 2018).

Tahapan transformasi digital

Ada empat tahapan berbeda dalam transformasi digital. Tahap pertama adalah *digitally enabled*. Pada tahap ini, teknologi merupakan bagian dari cara berkomunikasi dan menyampaikan produk atau layanan kepada pelanggan. Di sisi lain, tahap ini berkaitan dengan peningkatan saluran komunikasi dan teknik pemasaran digital. Dalam hal ini, teknologi menjadi faktor utama dalam membuat produk dikenal atau mendistribusikannya, namun tidak banyak terlibat dalam desain produk. Sebagai contoh, sebuah perusahaan yang telah membuat situs web untuk menyoroti produknya atau bisnis yang telah menguasai cara menggabungkan pemasaran digital dengan strategi korporatnya. Dalam hal ini, ini adalah cara paling jelas dalam menggunakan teknologi dalam model bisnis. Tidak ada perbedaan dalam proses penciptaan proposisi nilai, hanya pada bagaimana hal itu disampaikan atau dikomunikasikan (Cuofano, 2023).

Tahap kedua adalah *digitally enhanced*. Teknologi menjadi dasar dari model bisnis perusahaan dan membentuk produk atau layanan yang membuatnya lebih bernilai bagi pelanggan. Pendapat pelanggan di platform *online* digunakan sebagai masukan dalam desain produk. Teknologi meningkatkan proposisi nilai dan dengan demikian menjadi komponen utama dari model bisnis perusahaan. Dalam contoh ini, teknologi mempengaruhi metode penciptaan dan pengiriman produk kepada pelanggan. Sebagai contoh sebuah perusahaan yang telah membuat *e-commerce* dan mendistribusikan produknya, dan pada saat yang sama perusahaan belajar bagaimana mengintegrasikan umpan balik pelanggan dari *platform online* ke dalam desain produk. Sederhananya, dalam situasi ini, teknologi memainkan peran besar dalam meningkatkan nilai produk bagi calon pelanggan, dan menawarkan produk berdasarkan preferensi/pengalaman pelanggan. (Cuofano, 2023).

Model bisnis teknologi terdiri dari empat komponen utama, model nilai (proposisi nilai, misi, visi), model teknologi (manajemen R&D), model distribusi (struktur organisasi penjualan dan pemasaran), dan model keuangan (pemodelan pendapatan, struktur biaya, profitabilitas) yang harus dipertimbangkan. Bersama-sama, elemen-elemen ini dapat digunakan sebagai dasar untuk pengembangan model bisnis teknologi yang kuat (Cuofano, 2023).

Tahap ketiga adalah *platform based*. Model bisnis *platform* bekerja dengan menciptakan nilai yang memfasilitasi komunikasi di antara berbagai peran agar dapat menggunakan efek jaringan. Ini berarti membangun *platform* teknologi dan bisnis yang akan membuat orang berinteraksi satu sama lain. Model bisnis *platform* biasanya memiliki dua sisi, keseimbangan antara permintaan dan penawaran yang ada dalam sistem inilah yang menjadi alasan berfungsinya sistem ini. Maknanya, perusahaan tersebut telah beralih dari sekedar menjual produk/layanannya menjadi membangun platform teknis dan bisnis yang menghubungkan interaksi antara dua platform

(*platform/marketplace* dua sisi/*peer-to-peer*) atau lebih dari dua pihak (*platform/marketplace* multi-sisi) (Cuofano, 2023).

Tahap keempat adalah jejaring bisnis dan interaksi (*Business Ecosystem*). Pada tahap ini, teknologi sangat penting bagi model penciptaan nilai. Fokusnya adalah pada desain tata kelola, yang berarti bahwa platform teknologi dirancang agar sesuai dengan desain tata kelola. Namun, keberhasilan komunitas pengembang dan pengusaha hanya mungkin terjadi jika mereka mengadopsi *platform* bisnis. Kombinasi teknologi dan distribusi pada tingkat ini adalah kunci penting (Cuofano, 2023).

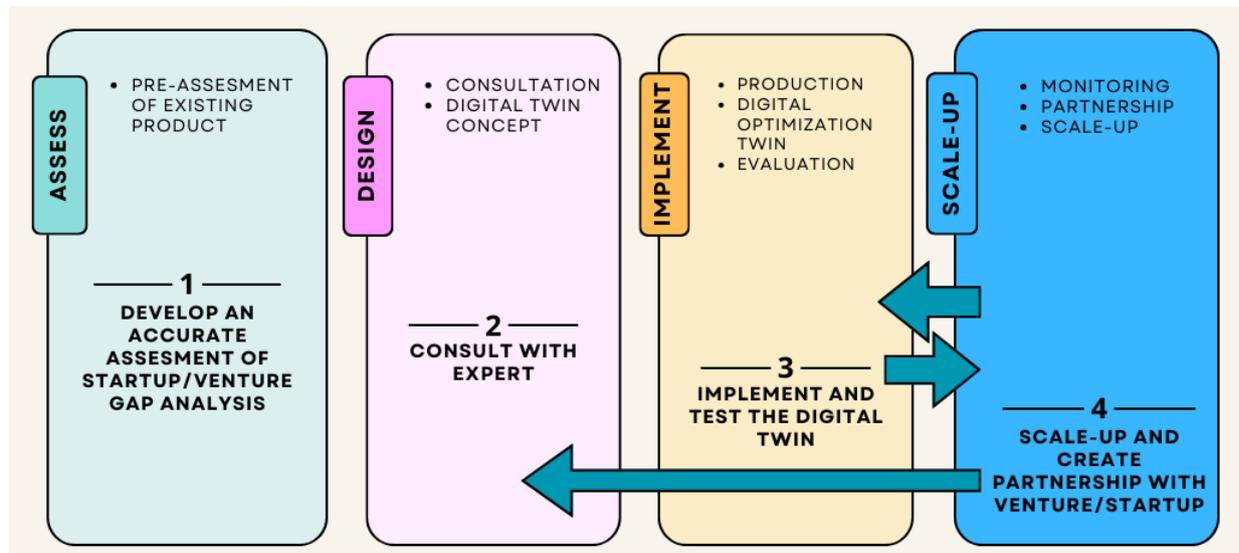
Rumusan Masalah

1. Bagaimana inovasi digital dalam pertanian dapat memberikan solusi terhadap tantangan keterbatasan lahan di Singapura yang mempengaruhi keberlanjutan pangan?
2. Bagaimana platform pertanian *virtual* yang dikembangkan melalui kolaborasi antara *Siemens AMTC* dan *Artisan Green* dapat mengatasi keterbatasan lahan dan meningkatkan efisiensi produksi pangan di Singapura?
3. Apa saja manfaat spesifik yang diperoleh akselerator untuk mendukung transformasi digital dalam sektor pertanian, dan bagaimana proses transisi dari pertanian tradisional menuju era digital dapat dioptimalkan?
4. Apa saja tantangan utama yang dihadapi dalam penerapan model Pertanian Lingkungan Terkendali di Singapura, dan bagaimana langkah-langkah yang diambil dapat mengatasi tantangan tersebut?

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan tiga metode utama, yaitu komparatif, kajian literatur, dan observasi lapangan. Metode komparatif digunakan untuk membandingkan efektivitas platform pertanian virtual yang dikembangkan oleh *Siemens Advance Manufacturing Transformation Centre* (AMTC) dan *Artisan Green* dengan metode pertanian tradisional. Perbandingan ini akan mengevaluasi dampak kedua pendekatan tersebut terhadap efisiensi penggunaan lahan, produktivitas hasil pertanian, dan keberlanjutan pangan, guna menilai sejauh mana inovasi digital mampu mengatasi keterbatasan lahan di Singapura. Selanjutnya, kajian literatur dilakukan melalui peninjauan berbagai sumber literatur, termasuk artikel ilmiah, laporan industri, dan publikasi pemerintah yang relevan.

Tujuan kajian ini adalah untuk memahami konteks yang lebih luas dari masalah yang diteliti, mengidentifikasi tren global dalam adopsi teknologi pertanian digital, serta menyusun kerangka teoretis untuk analisis data. Selain itu, penelitian ini juga melibatkan observasi lapangan di fasilitas pertanian yang menerapkan model Pertanian Lingkungan Terkendali serta platform yang dikembangkan oleh *Siemens AMTC* dan *Artisan Green*. Observasi ini bertujuan untuk mengumpulkan data empiris mengenai penerapan teknologi tersebut, tantangan yang dihadapi, serta dampaknya terhadap penggunaan lahan dan hasil produksi. Dengan menggabungkan ketiga metode ini, penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran yang komprehensif mengenai potensi dan tantangan implementasi teknologi digital dalam mengatasi keterbatasan lahan dan meningkatkan keberlanjutan pangan di Singapura.



Gambar 1. Kerangka Berfikir
Sumber Gambar: Peneliti

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Controlled Environment Agriculture

Controlled Environment Agriculture (CEA) mengacu pada budidaya tanaman di dalam ruangan dengan menerapkan teknologi rekayasa, ilmu tanaman, serta teknologi komputer untuk mengendalikan lingkungan guna mendukung pertumbuhan, kualitas, dan produktivitas tanaman. Melalui pengelolaan suhu, cahaya, karbon dioksida, dan media tumbuh di zona akar, CEA memungkinkan penanaman tanaman yang sehat dan dapat dipanen sepanjang tahun, termasuk untuk tanaman hias dan tanaman bernilai tinggi. Penggunaan rak untuk produksi tanaman secara vertikal atau horizontal akan menghemat ruang serta menghasilkan panen yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem pertanian konvensional. Kesadaran konsumen untuk mengonsumsi makanan sehat dan lokal, perubahan iklim, kemajuan dalam genetika tanaman, juga telah membuat penanaman tanaman di dalam ruangan menjadi lebih diminati.

Pertanian Lingkungan Terkendali dapat diakui sebagai model inovatif untuk pertanian modern, yang memberikan peluang untuk mengatasi masalah metode budidaya tradisional. Ini adalah bidang interdisipliner yang berfokus pada penggunaan prinsip-prinsip rekayasa dan penelitian ilmiah untuk mengembangkan metode superior dalam menanam tanaman yang ramah lingkungan, sangat efisien, dan dapat diskalakan lebih besar. Dalam konteks bisnis, *Artisan Green* salah satu startup yang menggunakan metode CEA bertujuan menemukan teknik yang dapat meningkatkan produksi berkali-kali lipat dengan menggunakan input dan sumber daya minimal dalam prosesnya. Contoh bagus dari konsep yang muncul ini adalah pertanian vertikal, praktik yang melibatkan penanaman tanaman di struktur tertutup yang dapat memberikan kontrol yang memadai atas iklim. Dibandingkan dengan pertanian di luar ruangan, sistem ini memungkinkan lebih banyak kontrol atas kondisi yang memungkinkan pengendalian dan peningkatan kondisi iklim termasuk suhu, kelembaban, cahaya, dan pasokan nutrisi.

Potensi CEA

Pertanian dengan Lingkungan Terkendali (*Controlled Environment Agriculture*) menawarkan berbagai manfaat yang membuatnya menjadi pilihan menarik untuk produksi pangan, terutama dalam menghadapi perubahan iklim dan keterbatasan lahan. Salah satu keunggulan utamanya adalah kemampuan untuk memproduksi tanaman sepanjang tahun, terlepas dari kondisi iklim

eksternal. Hal ini memungkinkan produsen untuk menyediakan pasokan hasil panen segar secara terus-menerus sepanjang tahun, memenuhi permintaan terhadap makanan bergizi. Fasilitas dengan lingkungan terkendali dapat ditempatkan di daerah perkotaan dan pinggiran kota, memanfaatkan ruang terbatas yang mungkin tidak cocok untuk pertanian tradisional di luar ruangan. Ini memungkinkan produksi pangan terjadi lebih dekat dengan pusat populasi, mengurangi biaya transportasi dan dampak lingkungan yang terkait dengan pengiriman jarak jauh (Niu & Masabni, 2018).

Selain manfaat lingkungan dari menanam makanan di dalam ruangan, terdapat banyak keuntungan dari pertanian dalam ruangan dibandingkan dengan metode pertanian konvensional. Sistem pertanian terpusat dan vertikal yang diterapkan di *Artisan Green* memastikan bahwa lahan digunakan dengan potensi maksimal, sehingga meningkatkan produktivitas pertanian dan sekaligus mengurangi penggunaan pestisida dan herbisida. Alat ini meningkatkan kualitas dan produktivitas tanaman dengan mengelola sistem hidroponik. Ini juga akan meningkatkan upaya pertanian lokal karena kualitas dan produktivitas tanaman meningkat melalui penggunaan air dan energi yang efektif (Sánchez et al., 2021).

Tantangan

Aktivitas CEA melibatkan biaya tetap yang signifikan, yang diperlukan untuk membangun dan melengkapi ruang di mana pekerjaan akan dilakukan, membeli dan memasang pencahayaan yang diperlukan, menggunakan sensor dan otomatisasi secara intensif, serta mempekerjakan tenaga ahli yang terlatih. Ini dapat menjadi hambatan, terutama bagi petani kecil atau mereka yang berada di negara berkembang. CEA dapat mengonsumsi energi dalam jumlah besar, terutama untuk pencahayaan dan pengendalian iklim. Beberapa penulis telah menekankan bahwa ketergantungan pada sumber energi fosil dapat menetralkan manfaat CEA. Masalah ini dapat diatasi dengan beralih ke sumber energi terbarukan (Engler & Krarti, 2021).

Sistem CEA sangat rumit, dan pengembangannya bergantung pada pengetahuan dalam ilmu tanaman, rekayasa, dan statistik. Sering kali, sulit untuk menemukan atau berhasil menarik kandidat yang sesuai. Dalam lingkungan yang terkendali, gangguan teknis atau wabah hama/penyakit dapat berdampak parah pada hasil panen, bahkan mungkin lebih buruk dibandingkan dengan pertanian di lahan terbuka. Cara konsumen memandang makanan yang diproduksi oleh CEA dan kualitasnya juga bisa menjadi masalah. Beberapa konsumen mungkin menganggapnya kurang alami dibandingkan dengan buah dan sayuran yang dibudidayakan secara konvensional. CEA sangat bergantung pada teknologi tertentu, seperti input nutrisi, substrat, dan sumber energi. Masalah yang terkait dengan hubungan rantai pasokan atau ketersediaan sumber daya ini dapat mempengaruhi produksi. Meskipun CEA memiliki banyak keuntungan, beberapa tantangan juga harus dipertimbangkan dalam mengadopsi teknologi ini (Dohlman et al., 2024).

Kolaborasi

Dunia bisnis yang dinamis menghadirkan tantangan bagi perusahaan untuk beroperasi di lanskap digital yang semakin berkembang. Tidak diragukan lagi, penggunaan dan dampak teknologi digital akan menentukan keberlangsungan dan keberlanjutan perusahaan kewirausahaan. Ini menunjukkan bahwa, karena semakin berkurangnya stabilitas dan prediktabilitas lingkungan bisnis, beberapa usaha perlu siap untuk menyesuaikan model bisnis inti mereka melalui strategi transformasi bisnis digital (Antonizzi & Smuts, 2020).

Kemunculan era digital telah membawa era ekonomi baru yang ditandai dengan kehadiran teknologi informasi yang merata dan globalisasi pasar. Perusahaan harus memahami bahwa teknologi ekonomi digital lebih dari sekadar otomatisasi proses, tetapi merupakan cara baru dalam melakukan bisnis (Alexandrova et al., 2019).

Teknik pertanian konvensional berada di bawah tekanan dari faktor-faktor seperti pertumbuhan populasi dan meningkatnya permintaan akan makanan segar dan sehat, perubahan iklim, serta fluktuasi dan kelangkaan lahan pertanian. Akibatnya, Singapura telah meluncurkan strategi agresif untuk meningkatkan kapasitas sektor ini guna memenuhi setidaknya 30 persen dari kebutuhan nutrisi negara secara organik pada tahun 2030. Tujuan ini juga merupakan bagian dari Rencana Hijau Singapura 2030, yang bertujuan untuk mengembangkan ketahanan sistem pangan. Hibah S\$30 juta yang disebut “30 by 30 Express” menunjukkan komitmen pemerintah terhadap produksi pangan lokal, sehingga menciptakan kondisi yang menguntungkan bagi bisnis seperti *Artisan Green*.

Artisan Green telah berhasil menerapkan Pertanian Lingkungan Terkendali (CEA) dan bekerja sama dengan *Siemens AMTC*. Mereka telah meningkatkan operasi hidroponik mereka dengan menghubungkan Sistem Manajemen Pertanian Terpadu melalui teknologi *Siemens*. Sistem ini mencerminkan beberapa prinsip CEA, seperti pengendalian lingkungan dan penggunaan sumber daya yang rasional. Hal ini memungkinkan teknologi dipindahkan secara efektif dari satu rak tanaman ke 100 rak tanaman dengan cara yang lebih efektif dan efisien, sehingga memungkinkan kondisi dan parameter tanaman disesuaikan dengan target yang ingin dicapai. Kemitraan ini mendorong revolusi pertanian di Singapura, sebuah negara yang kekurangan lahan untuk bertani. Tujuan kolaborasi ini adalah untuk mencapai tingkat berikutnya dalam hidroponik yang ramah lingkungan dan berteknologi tinggi dengan menggandakan tingkat produksi energi, hasil, dan daur ulang (Mok et al., 2020).

Dengan bermitra dengan *Siemens*, *Artisan Green* bertujuan untuk mempercepat pengembangan sistem pangan berkelanjutan di Singapura. Dengan memanfaatkan teknologi modern *Siemens* dan keahlian dalam otomatisasi dan digitalisasi, *Artisan Green* dapat menyelaraskan pertanian dalam ruangan mereka dengan sistem manajemen pertanian terpadu yang modern. Mereka sedang membangun *platform cloud* yang berfokus pada *database* ilmu tanaman yang dapat menguntungkan petani vertikal di seluruh dunia. Faktanya, ilmuwan/ahli tanaman sangat dibutuhkan namun biayanya mahal untuk mengembangkan industri ini, sehingga kunci keberhasilan terletak pada pemanfaatan pengetahuan ilmu tanaman secara efektif dalam mengincar skala yang lebih besar (Kaiser et al., 2024).

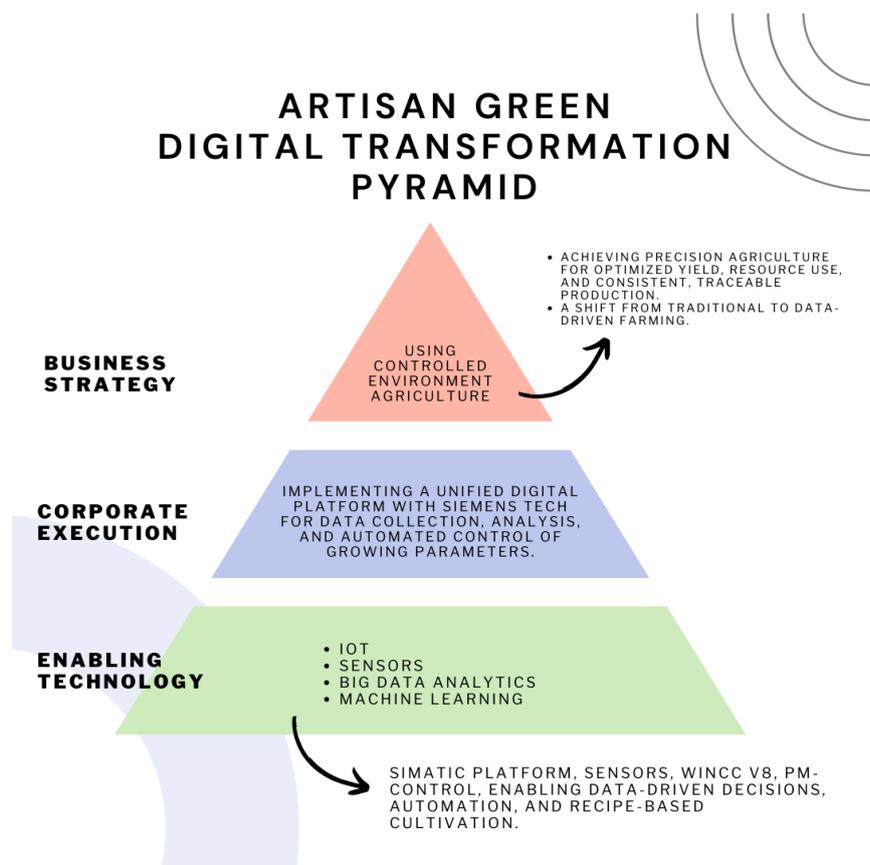
Proyek ini juga bekerja sama dengan *Siemens* dalam proyek *Precision Nutrient Injector*. Perangkat lunak manajemen energi *Siemens* ini telah membantu mengurangi konsumsi energi yang diproyeksikan hanya sebesar 15 kWh per kilogram produk, dengan proyeksi pengurangan konsumsi energi sebesar 50%, melebihi standar *Clean & Green* yang ditetapkan oleh *Singapore Food Agency*. Secara keseluruhan, tujuannya adalah untuk mencapai volume produksi yang lebih besar dengan biaya operasional yang lebih rendah, serta menetapkan tolok ukur baru untuk operasi hidroponik dan pertanian berteknologi tinggi yang tidak terpengaruh oleh faktor eksternal seperti cuaca buruk. Keandalan pasokan ini sangat penting bagi keamanan pangan Singapura, mengurangi ketergantungan pada impor, dan memperkuat kemampuan produksi pangan lokal (Asgarov et al., 2021).



Gambar 2. Produk Kolaborasi *Siemens* dan *Artisan Green*
Sumber Gambar: Peneliti

Sistem manajemen pertanian terpadu untuk pertanian berkelanjutan

Inti dari kemitraan ini terletak pada pemanfaatan alat digital dan otomatisasi untuk mencapai tingkat presisi dalam praktik pertanian yang tidak dapat dicapai oleh metode tradisional. Hal ini sejalan dengan tren yang lebih luas dalam "pertanian cerdas" atau "Agriculture 4.0" yang menekankan pengambilan keputusan berbasis data dan integrasi teknologi seperti sensor, kecerdasan buatan, dan *Internet of Things* (IoT) untuk mengoptimalkan proses pertanian. Ada beberapa teknologi canggih dari Siemens yang diterapkan pada platform digital terpadu *Artisan Green*, misalnya, SIMATIC S7-1500 yang diterapkan untuk kontrol optimal dari proses dan parameter pertumbuhan, SIMATIC ET 200SP dengan modul Dali untuk penyesuaian intensitas pencahayaan yang mendetail, energy manager untuk transparansi dan optimasi konsumsi energi, serta WinCC V8 dan PM-Control untuk mengembangkan sistem manajemen pertanian secara keseluruhan termasuk sistem kontrol resep untuk memilih program budidaya yang tepat untuk masing-masing tanaman. Bersama-sama, alat-alat ini menyediakan modul komando dan kontrol yang memungkinkan *Artisan Green* untuk menyimpan dan menerapkan perpustakaan resep nutrisi dan profil pencahayaan secara digital, yang masing-masing dirancang khusus untuk mengoptimalkan hasil tanaman dan kesehatan pada setiap tahap siklus hidup tanaman.



Gambar 3. Piramida Transformasi Digital *Artisan Green*
Sumber Gambar: Peneliti

Jika dijelaskan secara ilustratif, data yang telah terkumpul akan dianalisis untuk membuat repositori digital berbagai protokol pertumbuhan setiap tanaman, yang nantinya akan dieksekusi secara otomatis oleh Sistem Manajemen Pertanian guna memungkinkan konsistensi dan melacak perkembangan setiap *batch* tanaman. Ini akan mengintegrasikan perencanaan dan penjadwalan tanaman untuk menyediakan makanan segar sesuai permintaan sembari memastikan pemanfaatan media tanam yang tersedia secara optimal. Hal tersebut juga meningkatkan efektivitas penggunaan input dan meminimalkan dampak dari penyakit, hama, dan kondisi cuaca yang tidak menguntungkan. Selain itu, sistem ini memungkinkan untuk menentukan waktu yang tepat untuk menjual produk dan secara bersamaan menanam benih atau membudidayakan tanaman melalui aspek-aspek yang terkait dengan kontinuitas dan produktivitas praktik pertanian (Kent Shannon et al., 2018).

Sebagai hasilnya, sistem ini dapat memprediksi dan memaksimalkan produksi tanpa terganggu oleh iklim dan hama, hingga pada akhirnya mengarah pada peningkatan hasil dan pengurangan limbah. Lebih jauh lagi, kolaborasi antara perusahaan dan akselerator transformasi digital sangat penting, karena memungkinkan perusahaan untuk meningkatkan posisi bisnis digital, sementara organisasi mitra dapat memperoleh manfaat dari transfer pengetahuan/informasi dari perusahaan-perusahaan tersebut. Integrasi teknologi digital dan upaya kolaboratif ini sangat penting untuk keberhasilan dan keberlanjutan operasi pertanian lingkungan terkendali (Smith & Stwalley, 2020).

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Indonesia, sebagai negara kepulauan terbesar di dunia dan produsen utama pertanian, memiliki peluang untuk mentransformasikan bisnis maritim dan pertaniannya melalui adopsi teknologi baru dan digitalisasi. Indonesia menghadapi tantangan signifikan dalam meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan di sektor pangan, yang sangat krusial mengingat pertumbuhan populasi yang cepat dan meningkatnya permintaan akan makanan segar dan sehat. Dengan memanfaatkan teknologi canggih seperti Internet of Things (IoT), kecerdasan buatan, dan *big data*, Indonesia dapat meningkatkan kinerja sektor pangan, mempromosikan keberlanjutan lingkungan, dan meningkatkan daya saing global. Teknologi ini tidak hanya dapat meningkatkan ekspor pertanian domestik tetapi juga berkontribusi pada pencapaian ketahanan pangan.

Penggunaan IoT dalam akuakultur adalah contoh inovasi teknologi yang berdampak signifikan. Contohnya, sistem e-Feeder dari *startup* e-Fishery telah mengotomatisasi proses pemberian pakan ikan dengan lebih efisien, mengontrol dan mencatat pemberian pakan sambil mengumpulkan data penting untuk meningkatkan efektivitas budidaya ikan. Sistem terintegrasi ini juga memantau parameter lingkungan dan perilaku ikan, memungkinkan petani untuk mendeteksi dan mengatasi masalah lebih awal. Kemampuan untuk mengelola data waktu nyata sangat penting, karena memungkinkan tindakan korektif dilakukan segera dan berkontribusi pada praktik akuakultur yang berkelanjutan.

Selain itu, penerapan teknologi baru dalam pengendalian hama dan penyakit dapat menjadi pergeseran paradigma bagi kebijakan pertanian nasional dan ketahanan pangan. Dengan memanfaatkan teknologi ini, pemerintah dapat memantau dan meramalkan penyebaran hama dan penyakit dengan lebih efektif, mengurangi respons yang mahal dan tidak efektif. Pendekatan berbasis data ini juga dapat mempromosikan praktik pertanian yang lebih berkelanjutan dengan menghindari penggunaan pestisida. Secara keseluruhan, penerapan teknologi digital dalam sektor maritim dan pertanian di Indonesia memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, keberlanjutan lingkungan, dan ketahanan pangan. Melalui kolaborasi antara sektor publik dan swasta serta adopsi teknologi yang tepat, Indonesia dapat membangun sistem pertanian yang lebih kuat dan berkelanjutan, siap menghadapi tantangan di masa depan.

Ucapan Terima Kasih (*Acknowledgement*)

Ucapan terima kasih kepada KEMENDIKBUDRISTEK terkhususnya pengelola hibah dari platform BIMA 2024, dengan nomor kontrak induk 106/E5/PG.02.00.PL/2024, kontrak turunan 032/SP2H/RT-MONO/LL4/2024, 069/LRPM-PTM/VI/Presuniv/2024. Proposal tersebut berjudul “Peran Akselerator Dalam Transformasi Digital Startup Untuk Mendukung Visi Indonesia Digital 2045”.

REFERENSI

- Alexandrova, E., Poddubnaya, M., Shalenaya, K., & Savvidi, S. (2019). Opportunities of the Digital Economy for Achieving Competitive Advantage of Firms. *Proceedings of the 5th International Conference on Economics, Management, Law and Education (EMLE 2019)*. <https://doi.org/10.2991/aebmr.k.191225.013>
- Antonizzi, J., & Smuts, H. (2020). *The Characteristics of Digital Entrepreneurship and Digital Transformation: A Systematic Literature Review* (pp. 239–251). https://doi.org/10.1007/978-3-030-44999-5_20
- Asgarov, R., MacLaren, D., Hannan, M. A., & Khandelwal, P. (2021). *A Sustainable, Integrated Multi-Level Floating Farm Concept: Singapore Perspective*. <https://doi.org/10.20944/preprints202011.0181.v2>

- Cuofano, G. (2023). *The Four Stages of Digital Transformation*. <https://fourweekmba.com/stages-of-digital-transformation/>
- Dohlman, E. N., Maguire, K., Davis, W. V., Husby, M., Bovay, J., Weber, C. E., & Lee, Y. (2024). *Trends, insights, and future prospects for production in controlled environment agriculture and agrivoltaics systems*. <https://doi.org/10.32747/2024.8254671.ers>
- Drori, I., & Wright, M. (2018). Accelerators: characteristics, trends and the new entrepreneurial ecosystem. In *Accelerators*. Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781786434098.00005>
- Engler, N., & Krarti, M. (2021). Review of energy efficiency in controlled environment agriculture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 141, 110786. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110786>
- Guarda, T., Balseca, J., García, K., González, J., Yagual, F., & Castillo-Beltran, H. (2021). Digital Transformation Trends and Innovation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1099(1), 012062. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1099/1/012062>
- Kaiser, E., Kusuma, P., Violet-Chabrand, S., Folta, K., Liu, Y., Poorter, H., Woning, N., Shrestha, S., Ciarreta, A., van Brenk, J., Karpe, M., Ji, Y., David, S., Zepeda, C., Zhu, X.-G., Huntenburg, K., Verdonk, J. C., Woltering, E., Gauthier, P. P. G., ... Marcelis, L. F. M. (2024). Vertical farming goes dynamic: optimizing resource use efficiency, product quality, and energy costs. *Frontiers in Science*, 2. <https://doi.org/10.3389/fsci.2024.1411259>
- Kent Shannon, D., Clay, D. E., & Sudduth, K. A. (2018). *An Introduction to Precision Agriculture* (pp. 1–12). <https://doi.org/10.2134/precisionagbasics.2016.0084>
- Merzlikina, G. S., & Kozhanova, T. E. (2020). Strategic Change in the Enterprise: Foresight and Management. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 459(6), 062059. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/459/6/062059>
- Mok, W. K., Tan, Y. X., & Chen, W. N. (2020). Technology innovations for food security in Singapore: A case study of future food systems for an increasingly natural resource-scarce world. *Trends in Food Science & Technology*, 102, 155–168. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.06.013>
- Niu, G., & Masabni, J. (2018). Plant Production in Controlled Environments. *Horticulturae*, 4(4), 28. <https://doi.org/10.3390/horticulturae4040028>
- Sánchez, S. A., Morales, A. D., Castillas, J. C., Martínez, C. A., & Meza, A. Z. (2021). Proposal for an automated greenhouse to optimize the growth of hydroponic vegetables with high nutritional content in the context of smart cities. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1154(1), 012012. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1154/1/012012>
- Smith, R. J., & Stwalley, R. M. (2020). Using an Interdisciplinary Approach to Assess Controlled Environment Agriculture. *2020 ASABE Annual International Virtual Meeting, July 13-15, 2020*. <https://doi.org/10.13031/aim.202001232>
- Turchi, P. (2018). *The Digital Transformation Pyramid: A Business-driven Approach for Corporate Initiatives*. <https://www.thedigitaltransformationpeople.com/channels/the-case-for-digital-transformation/digital-transformation-pyramid-business-driven-approach-corporate-initiatives>