

## KOMPARASI DAN IMPLEMENTASI KEBIJAKAN DIGITALISASI PERTANIAN: PELUANG DAN TANTANGAN

Miftahul Azis<sup>1</sup>, Esty Asriyana Suryana<sup>1</sup>

<sup>1)</sup> Pusat Sosial Ekonomi dan Kebijakan Pertanian, Jalan Tentara Pelajar No. 3b Cimanggu,  
Jawa Barat Bogor  
Email: endangsari@staff.uma.ac.id

### RINGKASAN

Kemajuan teknologi digital yang pesat telah membawa peluang dan tantangan signifikan bagi digitalisasi sektor pertanian. Penelitian ini memiliki tujuan yang komprehensif, yaitu: 1) mengidentifikasi berbagai kebijakan pemerintah yang mendukung implementasi digitalisasi pertanian, 2) melakukan analisis mendalam terhadap besarnya peluang yang ditawarkan oleh digitalisasi pertanian dengan mempertimbangkan potensi serta hambatan yang ada, dan 3) memberikan rekomendasi kebijakan untuk perkembangan digitalisasi pertanian. Melalui analisis menyeluruh terhadap beragam kebijakan dan inisiatif yang telah ada, tinjauan ini berhasil mengidentifikasi strategi-strategi yang sukses dalam mendorong digitalisasi pertanian. Kolaborasi antara lembaga pemerintah, perusahaan teknologi, dan organisasi pertanian dipandang sebagai kunci dalam memfasilitasi pengembangan serta implementasi solusi-solusi inovatif yang disesuaikan dengan kebutuhan sektor pertanian. Secara keseluruhan, digitalisasi pertanian memberikan peluang besar untuk mengubah sektor pertanian dan mengatasi tantangan terkait dengan ketahanan pangan, keberlanjutan, serta mata pencaharian petani. Namun, diperlukan pertimbangan yang cermat terhadap kebijakan dan penerapannya agar hasil yang efektif dapat dicapai.

**Kata kunci:** Digitalisasi, kebijakan, pertanian, presisi, teknologi

### ***COMPARISON AND POLICY IMPLEMENTATION OF AGRICULTURAL DIGITALIZATION: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES***

#### ***ABSTRACT***

*The rapid advancement of digital technology brought significant opportunities and challenges to the digitalization of the agricultural sector. This study had comprehensive goals, namely: 1) identifying various government policies that supported the implementation of agricultural digitalization, 2) conducting an in-depth analysis of the magnitude of opportunities offered by agricultural digitalization, considering the potential and existing obstacles, and 3) providing policy recommendations for the development of agricultural digitalization.*

*Through a thorough analysis of various policies and initiatives that were in place, this review successfully identified strategies that were successful in promoting agricultural digitalization. Collaborations between government agencies, technology companies, and agricultural organizations were considered key in facilitating the development and implementation of innovative solutions tailored to the needs of the agricultural sector. Overall, agricultural digitalization offered significant opportunities to transform the agricultural sector and address challenges related to food security, sustainability, and farmers' livelihoods. However, careful consideration of policies and their effective implementation was necessary to achieve meaningful results.*

**Keywords:** *Agriculture, digitalization, policy, precision, technology*

## **PERNYATAAN KUNCI**

Digitalisasi pertanian adalah perubahan mendalam yang mengubah lanskap pertanian modern. Hal ini merupakan revolusi yang terus berkembang dengan dampak signifikan terhadap seluruh rantai produksi dan konsumsi pangan. Salah satu manfaat utama digitalisasi pertanian adalah kemampuan untuk mengumpulkan, menganalisis, dan memahami data pertanian dengan lebih baik, termasuk informasi tentang cuaca, kondisi tanah, dan hasil pertanian. Dengan akses yang lebih baik ke data ini, petani dapat membuat keputusan yang lebih cerdas dalam mengelola pertanian mereka.

Selain itu, pemanfaatan *Internet of Things* (IoT) dalam pertanian melalui sensor, perangkat terhubung, dan teknologi terkait memungkinkan pemantauan *real-time* terhadap pertumbuhan tanaman, kesehatan hewan, dan faktor lingkungan lainnya. Hal ini membantu pengelolaan sumber daya, seperti efisiensi penggunaan air dan pupuk yang pada akhirnya berdampak positif pada

keberlanjutan pertanian dan pelestarian lingkungan.

Pentingnya digitalisasi juga tercermin dalam pemantauan kualitas dan keamanan pangan. Dengan bantuan teknologi digital, rantai pasokan pangan dapat dilacak dan dikelola dari petani hingga konsumen, memastikan bahwa makanan yang disajikan adalah makanan yang berkualitas dan aman dikonsumsi. Semua ini tidak hanya meningkatkan efisiensi produksi, tetapi juga memberikan kontribusi signifikan terhadap kesejahteraan petani dan ketahanan pangan global. Digitalisasi pertanian adalah tonggak penting dalam membentuk masa depan pertanian yang berkelanjutan dan responsif terhadap kebutuhan global

## **REKOMENDASI KEBIJAKAN**

Guna mempercepat digitalisasi pertanian di Indonesia untuk mencapai tujuan peningkatan produktivitas, efisiensi, dan keberlanjutan sektor pertanian, serta meningkatkan kesejahteraan petani, sejumlah rekomendasi kebijakan yang komprehensif dapat dipertimbangkan, antara lain:

1. Pemerintah perlu berinvestasi dalam membangun infrastruktur digital yang kuat dan terjangkau di seluruh wilayah Indonesia. Mencakup listrik, akses internet, jaringan telekomunikasi yang luas, dan pengelolaan informasi dan teknologi yang memadai.
2. Pendidikan dan pelatihan di bidang digitalisasi pertanian perlu ditingkatkan. Melibatkan pelatihan petani dan staf teknis dalam penggunaan teknologi digital, analitik data, kecerdasan buatan, dan manajemen informasi pertanian.
3. Mendorong adopsi teknologi digital di sektor pertanian dapat dilakukan dengan mengurangi hambatan dan meningkatkan aksesibilitas. Hal ini dapat dicapai melalui insentif fiskal, subsidi, dan pembiayaan yang khusus untuk teknologi pertanian digital.
4. Kemitraan antara sektor publik dan swasta dalam digitalisasi pertanian. Kolaborasi dengan perusahaan teknologi, lembaga riset, dan organisasi pertanian dapat membantu mengembangkan solusi inovatif, pendanaan, dan memfasilitasi transfer teknologi.
5. Membangun sistem pengumpulan data pertanian yang komprehensif dan memperkuat analitik data dalam sektor pertanian. Data yang terkumpul digunakan untuk memberikan wawasan berharga tentang kondisi pertanian, permintaan pasar, tren iklim, dsb.
6. Pemerintah perlu mengesahkan kebijakan dan regulasi yang tepat untuk melindungi keamanan data dan privasi dalam digitalisasi pertanian.

## PENDAHULUAN

Petani adalah aktor penting dalam sub-sistem budidaya (*on farm*) sistem agribisnis. Menurut BPS (2018), jumlah rumah tangga usaha pertanian mencapai 27,68 juta rumah tangga petani yang terbagi dalam beberapa subsektor mulai dari padi, palawija, hortikultura, perkebunan, kehutanan, peternakan sampai budidaya perikanan. Namun, capaian kinerja sektor pertanian masih belum cukup memenuhi harapan mengingat perkembangan permintaan pasar domestik dan global cenderung dinamis dengan terus menuntut peningkatan dari aspek kuantitas dan kualitas. Sangat penting mempersiapkan petani sebagai penghasil dari produk pertanian menghadapi era perdagangan modern dengan memperhatikan kualitas produk dan kepuasan konsumen secara optimal. Kesiapan menghadapi globalisasi menuntut petani untuk mandiri dalam daya saing. Hal ini terkait dengan kemampuan petani menjalankan usahatani guna menjamin kualitas produk dan keberlanjutan.

Menurut Malta (2016), berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor penting untuk meningkatkan kemandirian petani dalam pengambilan keputusan untuk keberhasilan usahatani adalah keaktifan mencari informasi yang berhubungan

dengan usahatani dan interaksi dengan penyuluh. Fatmasari *et al.* (2015) menyatakan bahwa kemandirian petani secara dominan dipengaruhi oleh perilaku petani itu sendiri.

Digitalisasi mengacu pada penggunaan berbagai teknologi dengan memanfaatkan data yang diperoleh secara digital pada setiap proses kegiatan produksi secara efektif dan efisien. Jika dikaitkan dengan pertanian, maka digitalisasi pertanian dapat diartikan sebagai suatu perubahan cara yang dilakukan dengan penggunaan teknologi digital pada proses produksi dan bahkan pada lingkup kesatuan dari suatu sistem pertanian, misalnya mulai dari produksi, pengolahan hingga pemasaran. Ketersediaan infrastruktur internet yang handal dan terjangkau adalah prinsip kunci dalam memajukan ekonomi saat ini. Pemerintah memiliki peran penting dalam mengadopsi teknologi serta mengawasi penggunaan internet untuk mengurangi penyalahgunaan. Teknologi digital seperti *Internet of Things* (IoT), *big data*, otomatisasi, dan komponen lainnya sangat tergantung pada perkembangan infrastruktur internet yang kuat (Ilyas, 2022). Teknologi seluler digunakan dengan tujuan memberikan akses yang lebih mudah ke informasi mengenai komoditas pertanian, termasuk data pasar, kondisi gudang, prakiraan musim panen, dan sarana untuk mengorganisir kelompok tani (Sukur dan Soesanto, 2014).

Tulisan ini adalah hasil revidu literatur dan hasil penelitian dengan tujuan menja-

wab pertanyaan tentang arah dan dinamika perkembangan digitalisasi pertanian. Secara spesifik mengidentifikasi berbagai kebijakan pemerintah yang mendukung digitalisasi pertanian, menganalisis peluang, dan hambatan terkait dengan penerapan digitalisasi pertanian, serta menyediakan rekomendasi sebagai panduan bagi *stakeholder*, terutama dalam pengembangan digitalisasi pertanian.

## SITUASI TERKINI

### Konsep Dasar Digitalisasi Pertanian

Digitalisasi adalah sebuah konsep yang merujuk pada penggunaan berbagai teknologi dan data digital guna meningkatkan efektivitas dan efisiensi dalam berbagai kegiatan. Untuk memahami asal-usul digitalisasi, dapat dilihat dari revolusi digital yang dimulai pada tahun 1980. Pada masa itu, revolusi digital mengubah paradigma teknologi dari yang semula mekanik dan elektronik analog menjadi teknologi digital. Revolusi ini telah membentuk landasan bagi digitalisasi di berbagai sektor, termasuk pertanian.

Digitalisasi dalam konteks pertanian, mengacu pada transformasi dalam berbagai aspek kegiatan pertanian, mulai dari pengolahan hingga pemasaran produk pertanian. Transformasi ini mencakup konsep-konsep yang sesuai dengan era industri 4.0 dan memanfaatkan teknologi terkini. Digitalisasi dalam pertanian bertujuan untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi dalam semua aktivitas pertanian. Di sektor pertanian, muncul berbagai konsep yang menggam-

barkan beragam bentuk digitalisasi dalam sistem produksi pertanian, rantai nilai, dan sistem pangan yang lebih luas, antara lain:

1. Pertanian pintar atau *smart farming*

Konsep *smart farming* menekankan pemanfaatan teknologi informasi dan komunikasi dalam manajemen pertanian berbasis siber dan fisik. Dalam perkembangannya, IoT dan *Cloud Computing* membuka peluang untuk memanfaatkan robot dan kecerdasan buatan dalam pertanian (Verdouw *et al.*, 2017). *Smart farming* berpotensi memberikan dampak ekonomi, sosial, dan lingkungan yang signifikan pada sektor pertanian. Namun, ada juga aspek etika yang muncul seiring dengan pertumbuhan korporatisasi dan industrialisasi dalam sektor pertanian (Blok dan Gremmen, 2018). *Smart farming* memungkinkan pemantauan lahan pertanian, suhu, dan kelembapan tanah dari jarak jauh.

Pemanfaatan data yang dihasilkan *smart farming* membuka peluang untuk meningkatkan produktivitas, keberlanjutan, dan perawatan tanaman. Konsep *smart farming* juga digunakan untuk meningkatkan ketepatan dalam aplikasi pemupukan, pestisida, dan herbisida. Sebagai contoh, *Microsoft Cortana Intelligence Suite* digunakan untuk menentukan tanggal tanam yang optimal di berbagai negara, seperti

India dan Kolombia (López dan Corrales, 2018). *Drone* juga digunakan untuk mengidentifikasi gulma, sementara robot membantu petani dalam proses pemerah susu sapi dan pengendalian gulma (Firnawati *et al.*, 2021; Lottes *et al.*, 2017).

2. Pertanian presisi

Pertanian presisi adalah sebuah konsep yang mendekati pertanian sistemik dengan tujuan mengurangi input, meningkatkan efisiensi, dan mencapai keberlanjutan usahatani. Konsep ini memberikan peluang meregenerasi lingkungan alam, mengelola usahatani dengan menggunakan teknologi digital, dan secara signifikan meningkatkan efisiensi (Eastwood *et al.*, 2017).

Pertanian presisi ketika digabungkan dengan penggunaan varietas tanaman atau ternak yang produktif serta didukung oleh sistem pendukung keputusan untuk membantu dalam pengambilan keputusan, dapat membawa dampak yang positif dalam penggunaan input pertanian. Dengan memanfaatkan teknologi ini, pertanian presisi dapat menghasilkan lebih banyak dengan menggunakan input yang lebih sedikit (Rose dan Chilvers, 2018). Konsep pertanian presisi bukan hanya menciptakan peluang untuk pertanian yang lebih efisien, tetapi juga mendukung upaya menjaga lingkungan alam

yang berkelanjutan dalam sektor pertanian (Mucharam *et al.*, 2022). Dengan memadukan teknologi digital, varietas yang lebih produktif, dan pendekatan sistemik, pertanian presisi menjadi salah satu inovasi kunci dalam mewujudkan pertanian yang ramah lingkungan dan produktif.

### 3. *Decision agriculture*

*Decision agriculture* adalah sebuah pendekatan teknik dalam pertanian yang bertujuan mengoptimalkan penggunaan sumber daya pertanian. Pendekatan ini dikenal dengan prinsip penggunaan input hanya dalam jumlah yang memadai. Hal ini mencakup penerapan nutrisi, benih, air, dan sumber daya pertanian lainnya dalam jumlah yang cukup dan dibutuhkan (Leonard *et al.*, 2017). Pendekatan *decision agriculture* berdampak positif dalam upaya mencapai efisiensi dalam pertanian. Dengan menggunakan input yang sesuai dengan kebutuhan, petani dapat meningkatkan hasil tanaman. Ini tidak hanya menguntungkan petani dengan mengurangi biaya produksi, tetapi juga memiliki implikasi positif terhadap lingkungan dan keberlanjutan pertanian. Dengan mengaplikasikan prinsip *decision agriculture*, pertanian menjadi lebih cerdas dan berkelanjutan, sesuai dengan tujuan mewujudkan pertanian yang efisien dan ramah ling-

kungan. Dalam hal ini, pengambilan keputusan berperan penting dalam mencapai tujuan tersebut dengan mengarahkan penggunaan input pertanian secara tepat sesuai kebutuhan.

### 4. Pertanian digital

Pertanian digital memiliki beragam definisi, mewakili evolusi signifikan dalam sektor pertanian. Secara luas, pertanian digital dapat dijelaskan sebagai penerapan sistem *big data* dan teknologi presisi di bidang pertanian, menggabungkan berbagai praktik yang secara bersama-sama mencerminkan transformasi sistem pertanian pangan (Sjaf *et al.*, 2021; Rotz *et al.*, 2019).

Definisi lain tentang pertanian digital merujuk pada berbagai teknologi digital yang diterapkan sepanjang rantai nilai pertanian, baik hulu (budidaya) maupun hilir (pemasaran). Hal ini guna meningkatkan produktivitas, efisiensi biaya, akses ke pasar, dan nilai tambah. Teknologi digital ini mencakup penggunaan IoT yang terintegrasi dengan perangkat seperti *smartphone* atau komputer (Keogh dan Henry, 2016).

Dalam konteks pertanian, teknologi digital digunakan untuk membantu para pelaku sektor pertanian dalam pengambilan keputusan dan optimalisasi pemanfaatan sumber daya (Bank Dunia, 2020). Dengan demikian, pertanian digital mewakili perubahan

signifikan dalam cara pertanian dikelola, dengan potensi untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas secara keseluruhan.

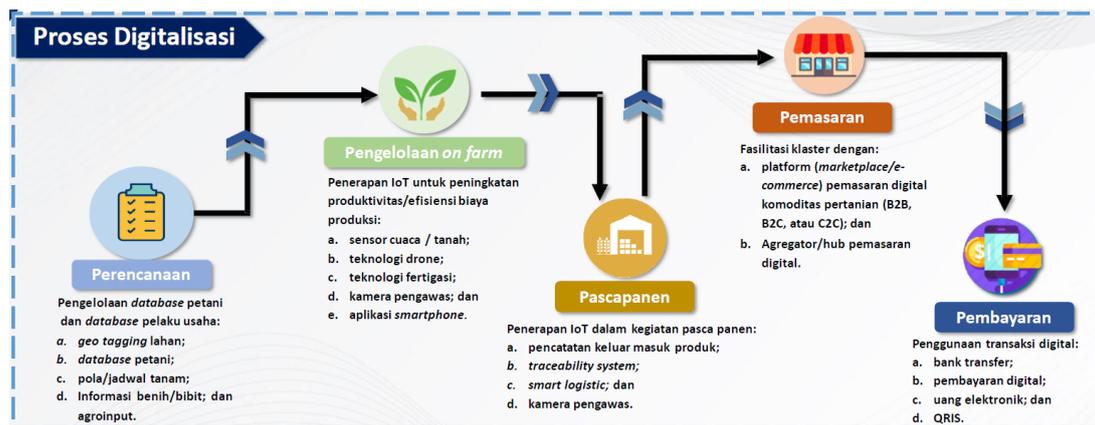
#### 5. Pertanian 4.0 (*agriculture 4.0*)

Pertanian 4.0 atau *Agriculture Numérique* dalam bahasa Perancis adalah gejala yang semakin menguat di berbagai negara. Ini ditunjukkan oleh dukungan dari kebijakan pemerintah dan sektor swasta yang menunjukkan adanya momentum di balik pertanian 4.0. Sebagai contoh, Inggris berinvestasi sebesar £90 juta untuk menciptakan "Revolusi Teknis" dengan tujuan mengubah produksi pangan ke arah keberlanjutan. Yunani juga telah menunjukkan komitmen dalam mengadopsi digitalisasi pertanian dengan menggabungkan *big data* dan IoT.

Penggunaan teknologi pintar diproyeksikan akan tumbuh secara eksponensial dalam 10 tahun ke depan. Prediksi serupa tentang revolusi teknologi pertanian juga muncul di berbagai belahan dunia, seperti Jepang, Asia lainnya, Irlandia, dan Australia. Teknologi informasi dan komunikasi berkontribusi penting dalam memahami kompleksitas pertanian dan mengurangi ketidakpastian. Inovasi ini dikenal sebagai 'Revolusi Pertanian Keempat' atau 'Pertanian 4.0' (Rose dan Chilvers 2018).

Urgensi digitalisasi dalam pertanian dapat dipandang dari dua sisi. Dari sisi hulu, digitalisasi bertujuan untuk meningkatkan produksi, produktivitas, dan kualitas tanaman menggunakan teknologi seperti fertisasi, pemantauan unsur hara tanah, rekomendasi prakiraan cuaca, dan manajemen debit air. Digitalisasi juga berkontribusi pada efisiensi biaya produksi melalui otomatisasi pengairan dan pemupukan. Dari sisi hilir, digitalisasi membantu mengurangi kesenjangan harga antara produsen dan harga ritel, mengatasi informasi asimetris dalam akses harga di berbagai pasar bagi petani, serta meningkatkan ketelusuran produk untuk pasar ekspor dan domestik.

Digitalisasi pertanian membawa sejumlah manfaat, seperti kemudahan dalam proses pertanian dan pemasaran produk. Namun, terdapat juga dampak negatif, seperti pengikisan budaya gotong royong dan potensi gangguan akibat otomatisasi pertanian. Di Indonesia, potensi digitalisasi pertanian sangat besar. Tantangannya adalah cara memaksimalkan manfaatnya sambil meminimalkan dampak negatifnya. Sehingga, era digital harus dimanfaatkan sebaik mungkin untuk mencapai pertanian yang lebih efisien dan berkelanjutan. Proses digitalisasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Sumber : Firdaus (2021)

Gambar 1. Model bisnis pertanian digital

### Kebijakan Digitalisasi Pertanian di Indonesia

Pemerintah telah aktif mendorong inisiatif digitalisasi di berbagai sektor ekonomi, termasuk pertanian. Dalam rangka mencapai tujuan ini, sejumlah program, kebijakan, rencana aksi, dan visi telah diterapkan sejak tahun 2013. Salah satunya adalah mendukung revolusi pertanian digital melalui Gerakan Nasional 1000 *Startup Digital* dan *Creating Indonesia 4.0*. Kedua inisiatif ini dikoordinasikan oleh organisasi antar kementerian yang bertujuan memudahkan pendatang baru dalam sektor pangan, pertanian, dan sektor lainnya untuk menerapkan konsep *Fourth Industrial Revolution*.

Pemerintah juga telah mengeluarkan berbagai kebijakan yang mendukung digitalisasi, seperti Permentan No. 259 Tahun 2020 tentang Renstra Kementan 2020-2024, Permentan No. 16 Tahun 2013 tentang Pedoman Sistem Manajemen Informasi Penyuluhan Pertanian di Kementerian Pertanian, dan UU No. 11 Tahun 2020

tentang Cipta Kerja (Omnibus Law Cipta Kerja). Peraturan dan kebijakan ini mencakup berbagai aspek, termasuk pengembangan sumber daya manusia pertanian dan perdagangan nasional berbasis elektronik.

Sebuah laporan proyeksi menunjukkan bahwa digitalisasi berpotensi memberikan dampak ekonomi signifikan dengan perdagangan digital Indonesia diperkirakan mencapai nilai ekonomi lebih dari USD 160,8 miliar pada tahun 2030. Di sektor pertanian, penelitian tentang pertanian digital semakin berkembang dan jumlah perusahaan rintisan digital di sektor pangan dan pertanian di Indonesia terus bertumbuh.

Pandemi COVID-19 juga memengaruhi sektor *startup* di Indonesia, dengan lebih dari 1.160 *startup* di bawah Gerakan Nasional 1000 *Startup Digital*, termasuk yang berfokus pada agropangan. Pemerintah telah mendorong UKM untuk terhubung dengan platform digital guna bertahan dalam kondisi pandemi. Meskipun jumlah *startup* mengalami penurunan, Indonesia tetap menjadi

salah satu pusat *startup* dunia yang menjanjikan. Beberapa perusahaan di Indo-

nesia juga telah mulai menerapkan teknologi digital dalam sektor pertanian (Tabel 1).

Tabel 1. Perusahaan rintisan di Indonesia yang menggunakan teknologi digital pertanian

| Tujuan Teknologi Digital                | Jenis Teknologi Digital                               | Contoh Perusahaan   |
|---|---|---|
| Fintech (pinjaman <i>peer-to-peer</i> ) | Mobile apps, smartphone, IoT, dan blockchain          | Eragano, TaniFund, InFishta, dan Crowde                           |
| Penasehat petani                        | AI, IoT, smartphone, dan mobile apps                  | Karsa, NuraFarm, dan eFishery                                     |
| <i>E-commerce</i>                       | Smartphone, mobile apps, cloud computing, dan website | Aruna, Shopify, dan Warung Pangan                                 |
| <i>Digital marketplace</i>              | AI, smartphone, mobile apps, dan d website            | Tokopedia, Agromaret, Pasar Tani, Eden Farm, Chilibeli, 8Villages |
| Proses mekanisasi                       | IoT, digital software, drone, smartphone, dan GIS     | Jala, AgroDrone, Biops Agrotekno Indonesia                        |
| Pemasaran alat digital                  | IoT, digital software, website, dan smartphone        | Tunas Farm, Jala, Biops Agrotekno Indonesia                       |
| <i>Traceability</i>                     | Big data, AI, blockchain, dan mobile apps             | Hara, Koltiva, MSMB   |
| Layanan pengiriman pangan               | AI, IoT, smartphone, dan mobile apps                  | Grab, Gojek, dan Shopee   |

Sumber : Mangurai *et al.* (2021)

## ANALISIS DAN ALTERNATIF

### SOLUSI

#### Dinamika Digitalisasi Pertanian

Sektor pertanian telah mengalami transformasi signifikan berkat temuan teknologi terbaru yang meningkatkan produktivitas dan profitabilitas. Transformasi ini dimulai dengan mekanisasi pertanian, lanjut dengan revolusi hijau yang melibatkan modifikasi genetik, dan mengarah ke konsep *smart farming*. Perubahan ini terlihat dalam sistem perairan pertanian yang telah berubah dari tradisional menjadi modern berkat peran teknologi. Modal dasar penghubung digitalisasi pertanian yang sering dilupakan adalah

infrastruktur listrik. Peran energi listrik dalam pertanian modern menuju pertanian digital ditandai dengan peningkatan kemampuan petani dalam mengontrol sumber daya pertanian sehingga proses budidaya lebih efisien, mengurangi beban fisik dan mempercepat proses produksi (Patricia, 2020).

Pemerintah telah mendukung implementasi pertanian modern melalui mekanisasi pertanian dengan menyediakan alat mesin pertanian kepada kelompok tani dan gabungan kelompok tani. Hasilnya, terjadi peningkatan produktivitas padi dari 6,7 ton/ha menjadi 8,05 ton/ha jika dibandingkan dengan pertanian konvensional. Manfaat

lainnya, yaitu pengurangan biaya usahatani sekitar 20-25% dan peningkatan keuntungan hingga 50% (Nugroho *et al.*, 2019).

Peningkatan produktivitas dan efisiensi adalah bukti bahwa teknologi memberikan dampak positif pada sektor pertanian. Prinsip-prinsip pertanian modern saat ini didasarkan pada sistem berbasis data yang diproses secara cermat untuk pengambilan keputusan yang tepat, strategis, dan operasional (Saiz-Rubio dan Rovira-M, 2020). Generasi muda juga semakin tertarik dengan konsep *smart farming* karena kesesuaian dengan teknologi informasi. *Smart farming* berpotensi meningkatkan produktivitas pertanian hingga 70% menjelang tahun 2050. Hal tersebut sebuah perkembangan yang sangat positif mengingat dunia dihadapkan pada tuntutan peningkatan produksi pangan global sebesar 60% akibat pertumbuhan populasi (Myklevy *et al.*, 2016).

Tahapan selanjutnya dalam proses digitalisasi pertanian adalah melibatkan robotika dan kecerdasan buatan. Kilmanun dan Astuti (2019) menjelaskan bahwa *digital farming* mencakup beberapa subsistem agribisnis. Subsistem budidaya mencirikan pertanian presisi yang dimulai dengan produksi benih unggul berbasis bioinformatika, pengendalian hama terpadu dengan kecerdasan buatan, pemupukan presisi, penggunaan traktor pintar, dan penyemaian benih dengan robot. Subsistem *off farm*

mencakup sistem logistik pertanian berbasis informasi digital.

Kementerian Pertanian telah berhasil mengimplementasikan beberapa program, seperti *smart green house*, *smart irrigation*, dan *system automatic tractor*. Dalam era teknologi saat ini, kolaborasi antara generasi milenium dan petani tradisional menjadi kunci untuk membantu meningkatkan sektor pertanian di Indonesia (Kaswanto *et al.*, 2021). Hal ini berpotensi mengurangi pandangan negatif masyarakat terhadap petani tradisional seiring dengan pesatnya perkembangan modernisasi. Era digitalisasi membuka peluang bagi kreativitas, di mana ide-ide dapat diwujudkan dengan bantuan berbagai alat yang tersedia saat ini, tanpa hambatan batas geografis.

Perkembangan pertanian digital atau dianggap sebagai *The fourth agricultural revolution*, menunjukkan narasi yang menekankan peningkatan efisiensi dan produktivitas dalam sektor pertanian. Teknologi digital dan penggunaan *big data* memberikan manfaat bagi produksi pangan serta ekosistem pertanian (Weersink *et al.*, 2018; Rose dan Chilvers, 2018) dan menawarkan fondasi pertanian berkelanjutan (Saiz-Rubio dan Rovira-M, 2020; Garske *et al.*, 2021). Perkembangan dan kemajuan *big data* meningkatkan akurasi teknologi presisi, memungkinkan penerapannya yang lebih luas, dan meningkatkan efisiensi (Weersink *et al.*, 2018), yang akan membawa prospek

untuk meningkatkan produktivitas dan profitabilitas di seluruh rantai nilai pertanian. Namun, pendekatan *agri-tech food* ini juga mendapat kritik karena dianggap terlalu dibesar-besarkan oleh beberapa pihak (Bank Dunia, 2020; Fairbairn dan Guthman, 2020; Lajoie-O'Malley *et al.*, 2020). Dalam kenyataannya, bukti bahwa pertanian digital

dapat memenuhi semua harapan ini terbatas pada beberapa perusahaan inovatif (Zambon *et al.*, 2019), sementara *big data* masih belum memberikan jaminan yang cukup (Huberty, 2015; Basso dan Antle, 2020; Clapp dan Ruder, 2020). Beberapa perusahaan digitalisasi pertanian di beberapa negara terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perusahaan di bidang digitalisasi pertanian di beberapa negara di dunia

| Negara          | Program     | Keterangan  |
|-----------------|-------------|---|
| Malaysia        | Agrobank    | Bank ini menyediakan solusi digital untuk petani seperti aplikasi untuk mengelola rekening dan memantau harga pasar, serta sistem manajemen risiko untuk mengurangi risiko kredit. Agrobank juga menyediakan layanan konsultasi dan pelatihan untuk petani.   |
| Thailand        | Local Alike | Perusahaan ini menyediakan layanan pemasaran digital untuk petani dan pengusaha lokal lainnya. Perusahaan ini mengembangkan aplikasi yang memungkinkan petani untuk mempromosikan produk mereka dan menjual langsung ke konsumen.   |
| Filipina        | Cropital    | Perusahaan ini merupakan platform crowdfunding untuk petani. Petani dapat mengajukan proyek pertanian dan meminta dukungan investor. Investor akan mendapatkan bagian dari hasil panen dan petani mendapat akses ke modal yang dibutuhkan.  |
| Vietnam         | FarmLink    | Perusahaan ini menyediakan solusi digital untuk sektor pertanian termasuk analisis data dan manajemen risiko. Selain itu juga mengembangkan aplikasi untuk memantau dan mengelola produksi pertanian secara <i>real-time</i> . FarmLink juga menyediakan layanan konsultasi dan pelatihan untuk petani. |
| India           | CropIn      | Perusahaan ini mengembangkan aplikasi <i>mobile</i> dan platform web yang memungkinkan petani memantau dan mengelola produksi pertaniannya. CropIn menggunakan teknologi analisis data dan <i>machine learning</i> untuk membantu petani meningkatkan produktivitas dan kualitas produksi.              |
| Amerika Serikat | FarmLogs    | Perusahaan ini mengembangkan aplikasi yang memungkinkan petani untuk memantau, mengelola produksi, pemantauan cuaca, dan kondisi tanah. FarmLogs juga menggunakan teknologi analisis data untuk membantu petani mengambil keputusan dalam manajemen pertanian.  |
| Jepang          | Spread      | Perusahaan ini mengembangkan sistem pertanian berbasis robot dan IoT untuk tanam dan panen secara otomatis, memanfaatkan sensor dan analisis  |

| Negara        | Program   | Keterangan   |
|---------------|---|--|
|               |   | data untuk mengelola kondisi tanaman dan lingkungan pertanian, serta memiliki sistem pengolahan makanan terintegrasi.  |
| Belanda       | Grodan  | Perusahaan ini mengembangkan sistem pertanian berbasis tanaman hidroponik dalam ruangan, mengoptimalkan penggunaan air dan nutrisi untuk meningkatkan produktivitas dan kualitas. Terdapat juga analisis data guna membantu petani mengambil keputusan manajemen pertanian.  |
| Kenya         | FarmDrive   | Perusahaan ini menyediakan platform fintech menggunakan teknologi analisis data untuk mengevaluasi risiko kredit dan memberikan akses modal bagi petani. FarmDrive juga menyediakan layanan konsultasi dan dukungan teknis untuk petani.   |
| Israel        | Taraniss,<br>Prospera,<br>Netafim,<br>CropX                   | Beberapa perusahaan ini menggunakan teknologi pemantauan visual dan kecerdasan buatan guna meningkatkan produktivitas dan efisiensi tana-man. Perusahaan ini memanfaatkan citra satelit, sensor, dan data cuaca untuk memberikan analisis, termasuk pemantauan hama, kelembaban tanah, kebutuhan air dan nutrisi, serta sistem irigasi tetes.  |
| Korea Selatan | N.thing,<br>Farm8, Hari,<br>Holdings,<br>SK Telecom<br>Agtech | Perusahaan pertanian digital ini menggunakan IoT dan kecerdasan buatan yang menyediakan sistem pertanian vertikal menggunakan sensor, kontrol iklim, dan teknologi otomatisasi untuk mengoptimalkan produksi. Selain itu, juga digunakan analitik data berbasis <i>cloud</i> untuk mengelola kondisi pertumbuhan tanaman. Harim Holdings juga mengembangkan IoT untuk monitoring pertumbuhan dan kesehatan hewan ternak. |

Sumber: Laugerette dan Stöckel (2016), Schrijver (2016), Wilde (2016), Klerkx dan Rose (2020), Mukherjee *et al.* (2021)

Teknologi digital pertanian membawa perubahan positif dalam menghadirkan peluang untuk mempersingkat rantai pasok. Hal ini memungkinkan petani untuk mengurangi ketergantungan pada tengkulak dan memiliki akses informasi harga pasar yang akurat dan transparan. Digitalisasi pertanian dapat diterapkan secara terintegrasi dari hulu (*on-farm*) hingga hilir (*off-farm*). Dalam ekosistem pertanian digital, berbagai pemangku kepentingan seperti petani, pembantu, lembaga keuangan, agregator,

dan perantara berkolaborasi. Lembaga penunjang pertanian serta Kementerian Pertanian, lembaga, dan perguruan tinggi juga berperan dalam memberikan saran tentang cara budidaya yang cocok dan peluang pembiayaan yang terjangkau.

Kemajuan digitalisasi dalam agroekosistem banyak disumbang oleh agregator yang menghubungkan konsumen dengan perusahaan yang menyediakan layanan atau produk melalui platform digital. Dalam konteks ini, pedagang memainkan peran

penting sebagai penjamin pembelian hasil panen pertanian. Dengan digitalisasi pertanian skala besar, produksi massal dapat terwujud, yang pada gilirannya meningkatkan nilai ekonomi. Manfaatnya juga merambah ke petani dengan kesejahteraan yang lebih baik. Berdasarkan penjelasan tersebut, digitalisasi pertanian secara global membuka peluang besar untuk meningkatkan efisiensi dan kesejahteraan dalam sektor pertanian. Namun di lain sisi, terdapat beberapa tantangan yang akan muncul dalam perkembangan industri digital pertanian. Salah satu tantangan mendasar adalah kurangnya prioritas adopsi teknologi digital di sektor pertanian oleh pemerintah. Dampaknya adalah dukungan terbatas dan tidak merata dari pemerintah terhadap program tersebut. Tantangan lainnya adalah tingkat literasi digital yang rendah di kalangan petani yang menyulitkan adaptasi terhadap teknologi baru. Namun, peningkatan jumlah pemuda di sektor pertanian menjadi harapan untuk meningkatkan liter-

asi digital. Langkah ini dapat diintegrasikan ke dalam program penyuluhan pertanian.

Peran penyuluhan pertanian oleh sektor swasta juga perlu ditingkatkan, mengingat penyuluh pertanian pemerintah seringkali kesulitan menjangkau petani (Bank Dunia, 2020). Adopsi teknologi digital di pertanian dapat ditingkatkan dengan meningkatkan investasi di sektor pertanian. Investasi ini dapat mendukung transfer teknologi dan pelatihan sumber daya manusia. Selain itu, peningkatan infrastruktur digital dapat dicapai dengan menjamin stabilitas dan prediktabilitas regulasi telekomunikasi. Pemerintah juga perlu memberikan insentif kepada sektor swasta untuk membangun infrastruktur digital di daerah terpencil, seperti subsidi atau keringanan pajak. Pemerintah dan sektor swasta perlu terus mendorong pemanfaatan teknologi digital di sektor pertanian. Tabel 3 berikut adalah beberapa aspek utama peluang dan tantangan yang perlu diperhatikan.

Tabel 3. Peluang dan tantangan digitalisasi pertanian di berbagai negara di dunia

| <b>Peluang</b>  |   |
|---|---|
| Efisiensi operasional dalam peningkatan produktivitas | Digitalisasi memungkinkan otomatisasi proses pertanian, seperti penyiraman, pemupukan, dan panen, yang dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitas.                    |
| Pemantauan dan pengelolaan tanaman yang akurat        | Penggunaan sensor dan teknologi pemantauan memungkinkan analisis yang lebih akurat untuk memantau tanaman secara <i>real-time</i> , mengoptimalkan pemupukan dan irigasi. |
| Pengembangan pertanian presisi                        | Membantu dalam pemetaan lahan dan pengelolaan pertanian presisi, memungkinkan penggunaan sumber daya secara efektif dan optimal.  |
| Pasar digital dan rantai pasokan yang efisien         | Petani dapat mengakses pasar global melalui platform <i>e-commerce</i> dan menjalin kemitraan dengan rantai pasokan yang efisien.   |

| <b>Peluang</b>  |   |
|---|---|
| Peningkatan kualitas dan kuantitas produksi           | Digitalisasi meningkatkan proses pemrosesan hasil pertanian, membantu meningkatkan kualitas, dan kuantitas produksi.  |
| Peningkatan akses ke informasi untuk pengembangan SDM | Aplikasi <i>mobile</i> memberikan akses ke informasi terkini tentang cuaca, harga pasar, dan praktik pertanian terbaik. Edukasi digital juga membantu petani meningkatkan keterampilan. |
| <b>Tantangan</b>                                      |   |
| Infrastruktur terbatas dan kesenjangan teknologi      | Beberapa wilayah masih memiliki kesenjangan teknologi dan keterbatasan akses terhadap internet dan perangkat, yang dapat menjadi hambatan dalam menerapkan teknologi digital.           |
| Kurangnya pemahaman pengetahuan teknologi             | Petani belum terbiasa dengan teknologi dan kurva pembelajaran dapat menjadi tantangan dalam adopsi teknologi digital.   |
| Biaya implementasi                                    | Implementasi teknologi digital memerlukan investasi awal yang mungkin sulit diakses oleh petani kecil atau di negara berkembang.  |
| Keamanan data dan privasi                             | Keamanan data menjadi isu penting karena melibatkan pengumpulan dan pertukaran jumlah data yang besar dan sensitif.   |
| Aspek regulasi  | Aspek ketidakpastian regulasi dan kurangnya standar dapat menjadi hambatan bagi adopsi teknologi pertanian.   |
| Perubahan budaya dan mentalitas                       | Masyarakat petani perlu mengubah paradigma mereka terkait cara bekerja dan mengelola pertanian, yang bisa menjadi tantangan.  |
| Rentan terhadap gangguan teknologi                    | Ketergantungan tinggi pada teknologi membuat pertanian lebih rentan terhadap gangguan teknologi, seperti serangan siber.  |

Sumber : Bank Dunia (2020), Beanstalk Agtech 2023

## **Belajar dari Keberhasilan Digitalisasi Pertanian di Beberapa Negara**

### *Israel*

Israel dihadapkan pada tantangan lahan pertanian yang kurang subur, cenderung tandus dan kurang air. Lebih dari setengah wilayah Israel adalah padang pasir, menyisakan hanya 20% wilayah yang dapat ditanami (Katzir, 2020). Namun, pertanian di Israel telah melewati tahapan-tahapan yang berbeda sepanjang sejarahnya. Mulai dari peningkatan produktivitas dalam pertanian tradisional, hingga pertanian khusus yang diarahkan pada pasar lokal dan ekspor. Perkembangan ini ditandai oleh adaptasi

sosial ekonomi dan teknologi yang cepat. Faktor pengetahuan, teknologi modern, dukungan pemerintah, layanan kredit, tenaga kerja terampil, pengalaman petani, dan pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan memainkan peran penting dalam pertanian Israel.

Meskipun hanya menyumbang sekitar 3% dari GNP, produksi pertanian di Israel memiliki dampak yang signifikan. Tenaga kerja pertanian hanya 3,7% dari populasi yang terlibat dalam pertanian, petani Israel memiliki tingkat profesionalisme tinggi dan mengadopsi teknologi canggih. Israel mampu menghasilkan produk pertanian

yang diekspor ke mancanegara, mencakup sekitar 3,6% dari PDB. Untuk mengatasi tantangan sumber daya alam yang terbatas, Israel berinovasi melalui penelitian dan kerangka kelembagaan. Penelitian ini telah menghasilkan tanaman baru, varietas benih, dan teknik pertanian yang lebih produktif. Sementara itu, kerangka kelembagaan yang melibatkan pemerintah, sektor swasta, dan petani perorangan telah memberikan layanan penyuluhan, kredit, serta dukungan untuk ekspor dan organisasi petani.

Israel memimpin inovasi dalam pertanian yang lebih efisien, tanaman yang lebih baik, pengemasan, dan penyimpanan makanan yang aman. Contohnya adalah teknologi irigasi tetes yang memaksimalkan penggunaan air dengan efisiensi hingga 95%, berbanding 30% pada irigasi konvensional. Sistem ini menggunakan teknologi SMS dan WiFi untuk mengatur penyiraman dan pemupukan tanaman secara cerdas.

Israel juga mengembangkan pertanian presisi yang memanfaatkan citra satelit. Ini membantu menentukan lokasi tanaman membutuhkan banyak air atau menghadapi hama. Selain itu, pertanian presisi mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja yang mahal, sehingga pekerja dapat lebih fokus pada penyelesaian masalah. Dengan inovasi-inovasi ini, Israel terus memimpin dalam menciptakan pertanian yang efisien, berkelanjutan, dan adaptif.

### *Korea Selatan*

Korea Selatan telah mencapai keberhasilan dalam pengembangan sektor pertanian berkat komitmen dan konsistensi pemerintahnya. Kawasan pertanian utama terletak di pesisir barat dan selatan, dengan mayoritas menanam padi. Namun, diversifikasi pertanian telah meningkat, mencakup buah-buahan, sayur-sayuran, dan tanaman industri. Selain itu, upaya perikanan juga berperan penting dalam memenuhi kebutuhan protein hewani dalam negeri. Pemerintah telah mengambil berbagai langkah untuk memajukan pertanian, termasuk penentuan harga hasil pertanian, penyediaan bahan produksi, pemberian pinjaman, serta pembentukan badan pengembangan pertanian. Pelestarian dan pengembangan sumber daya air juga menjadi fokus untuk mendukung pertanian.

Sejarah pengembangan pertanian Korea Selatan telah melalui tahapan berbeda, dimulai dari mekanisasi, modernisasi, hingga era digitalisasi pertanian dengan program *smart farming* dan hilirisasi produk pertanian. Lahan pertanian mencakup Korea Selatan sekitar 22% dari total wilayah negara. Di era yang semakin digital, tantangan terbesar dalam mencapai pertanian dan sistem pangan yang berkelanjutan adalah perubahan iklim. Teknologi digital dapat memberikan solusi sementara juga menghadirkan tantangan baru dalam keseimbangan sistem pertanian dan pangan. Diperlukan studi lebih

lanjut terkait akuisisi data, alat bantu petani, pemodelan sistem kompleks, partisipasi aktif petani, dan masalah keamanan siber dalam rantai produksi pertanian. Pendekatan yang diadopsi dalam pengembangan teknologi pertanian digital harus mempertimbangkan keragaman model pertanian, dengan penawaran digital yang disesuaikan dengan masing-masing model dan kebutuhan.

### **Implikasi Kebijakan untuk Keberhasilan Digitalisasi Pertanian di Indonesia**

Melihat keberhasilan negara-negara lain dalam digitalisasi pertanian, terdapat beberapa rekomendasi untuk dapat diadopsi oleh Indonesia di antaranya adalah:

1. Menerapkan efisiensi pengelolaan air dengan teknologi irigasi canggih dan sistem manajemen air untuk mengatasi tantangan air, khususnya di daerah yang cenderung kering.
2. Mengembangkan program pendidikan tinggi khusus dalam bidang pertanian dan teknologi pertanian, sehingga memungkinkan terciptanya tenaga kerja yang berkualitas.
3. Mendorong kemitraan strategis antara pemerintah dan sektor swasta untuk mendukung riset, pengembangan, dan implementasi teknologi pertanian.
4. Penerapan pertanian vertikal yang efisien dalam penggunaan lahan dan sumber daya, khususnya di perkotaan.
5. Membangun infrastruktur telekomunikasi yang kuat dan menyeluruh untuk

mendukung konektivitas digital di seluruh wilayah pertanian.

6. Membangun klaster pertanian regional untuk memfasilitasi kolaborasi antara petani, perusahaan teknologi, dan lembaga riset.
7. Menyediakan insentif dan subsidi untuk petani yang mengadopsi teknologi pertanian, serta memberikan dukungan finansial untuk *start-up* pertanian dan inovasi.
8. Melibatkan petani dalam program pendidikan digital yang mencakup pelatihan terkait teknologi pertanian dan manajemen usaha.
9. Mendorong pengembangan *platform e-commerce* khusus pertanian untuk memudahkan penjualan dan distribusi produk pertanian.

Implementasi rekomendasi ini memerlukan kolaborasi lintas sektor dan komitmen jangka panjang dari pemerintah, sektor swasta, dan lembaga riset. Selain itu, adaptasi terhadap konteks dan tantangan di Indonesia juga perlu dipertimbangkan agar solusi yang diimplementasikan sesuai dengan kebutuhan lokal.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Basso, B., Antle, J. 2020. Digital agriculture to design sustainable agricultural systems. *Nat. Sustain.* 3, 254–256. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0510-0>.

- Bank Dunia. 2020. Data-driven digital agriculture: Knowledge and learning platform. Worldbank group. Agriculture and Food. <https://collaboration.worldbank.org/content/sites/collaboration-for-development/en/groups/digital-and-data-driven-agriculture-cop.html>.
- Beanstalk Agtech. 2023. Teknologi Pertanian Digital dalam Transformasi Sektor Pertanian dan Petani Kecil di Indonesia. Beanstalk Agtech, ICASEPS dan Universitas Brawijaya.
- Blok, V., Gremmen, B. 2018. Agricultural technologies as living machines: Toward a biomimetic conceptualization of smart farming technologies. *Ethics, Policy & Environment*, 21(2), 246-263. <https://doi.org/10.1080/21550085.2018.1509491>.
- Clapp, J., Ruder, S.L. 2020. Precision technologies for agriculture: Digital farming, gene-edited crops, and the politics of sustainability. *Glob. Environ. Polit.*, 20, 49–69. [https://doi.org/10.1162/glep\\_a\\_00566](https://doi.org/10.1162/glep_a_00566).
- Eastwood, C., Klerkx, L., Nettle, R. 2017. Dynamics and distribution of public and private research and extension roles for technological innovation and diffusion: Case studies of the implementation and adaptation of precision farming technologies. *Journal of Rural Studies*, 49, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2016.11.008>.
- Firdaus, M. 2021. Digitalisasi Pertanian: (Urgensi, Lesson Learned dan Skema Closed Loop). IPB University.
- Fairbairn, M., Guthman, J. 2020. Agri-food tech discovers silver linings in the pandemic. *Agric. Hum. Values*, 37(3), 587–588. <https://doi.org/10.1007/s10460-020-10052-6>.
- Fatmasari, N., Restuhadi F., Yulida. 2015. Faktor-faktor yang mempengaruhi perilaku petani dalam menerima operasi pangan Riau Makmur di Sembilan Kabupaten Provinsi Riau. *SEPA*, 12(1), 29–41. <https://doi.org/10.20961/sepa.v12i1.14196>.
- Firnawati, Kaswanto, R.L., Sjaf, S. 2021. Mapping the village forest of pattaneteang through drone participatory mapping. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 879(1), 012028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/879/1/012028>.
- Garske, B., Bau, A., Ekardt, F., 2021. Digitalization and AI in European agriculture: A strategy for achieving climate and biodiversity targets?. *Sustainability*, 13(9), 4652. <https://doi.org/10.3390/su13094652>.
- Ilyas. 2022. Optimalisasi peran petani milenial dan digitalisasi pertanian dalam pengembangan pertanian di

- Indonesia. *Jurnal Ekonomi, Manajemen dan Akuntansi*, 24(2), 259-266. <https://doi.org/10.30872/jfor.v24i2.10364>.
- Huberty, M. 2015. Awaiting the second big data revolution: From digital noise to value creation. *J. Ind., Compét. Trade*, 15, 35–47. <https://doi.org/10.1007/s10842-014-0190-4>.
- Kaswanto, R.L., Aurora, R.M., Yusri, D., Sjaf, S. dan Barus, S. 2021. Kesesuaian lahan untuk komoditas unggulan pertanian di Kabupaten Labuhanbatu Utara. *Analisis Kebijakan Pertanian*, 19(2), 189-205. <http://dx.doi.org/10.21082/akp.v19n2>.
- Katzir, R. 2020. *Agricultural development in Israel*. Ministry of Agriculture and Rural Development. CentrF for International Agricultural Development Cooperation (CINADCO). <https://www.cityfarmer.org/Israelperurban.html>.
- Keogh, M., Henry, M. 2016. *The Implications of Digital Agriculture and Big Data for Australian Agriculture*. Sydney: Australian Farm Institute.
- Kilmanun, J.C., Astuti, D.W. 2020. Potensi dan kendala revolusi industri 4.0. di sektor pertanian. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pertanian Kesiapan Sumber Daya Pertanian dan Inovasi Spesifik Lokasi Memasuki Era Industri 4.0. Semarang: Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian.
- Klerkx, L., Rose, D. 2020. Dealing with the game-changing technologies of agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways?. *Global Food Security*, 24, 100347. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.10034>.
- Lajoie-O'Malley, A., Bronson, K., van der Burg, S., Klerkx, L. 2020. The future(s) of digital agriculture and sustainable food systems: An analysis of high-level policy documents. *Ecosyst. Serv.*, 45, 101183. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101183>.
- Laugerette, T., Stöckel, F. 2016. *From Agriculture to AgTech: Executive summary. An industry transformed beyond molecules and chemicals*. Monitor Deloitte.
- Leonard, B., Kinsella, A., O'Donoghue, C., Farrell, M., Mahon, M. 2017. Policy drivers of farm succession and inheritance. *Land Use Policy*, 61, 147-159. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.09.006>.
- López, I.D., Corrales, J.C. 2018. A smart farming approach in automatic detection of favorable conditions for planting and crop production in the upper basin of Cauca River. Dalam Angelov, P., Iglesias, J., Corrales, J. *Advances in Information and*

- Communication Technologies for Adapting Agriculture to Climate Change. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Edinburgh: Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-70187-5\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-319-70187-5_17).
- Lottes, P., Khanna, R., Pfeifer, J., Siegwart, R., Stachniss, C. 2017. UAV-based crop and weed classification for smart farming. *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 3024-3031. <https://doi.org/10.1109/ICRA.2017.7989347>.
- Malta. 2016. Faktor-faktor yang berhubungan dengan kemandirian petani dalam pengambilan keputusan untuk keberlanjutan usahatani (Kasus: petani di Desa Sukaharja-Kabupaten Bogor). *Sosiohumaniora*, 18(2), 118-124. <https://doi.org/10.24198/sosiohumaniora.v18i2.9945>.
- Mangurai, S.U.N.M., Solikhin A., Octaviani E.A., Anidah. 2021. *Progressing Indonesia's agriculture 4.0 through research and application towards ASEAN digitalization initiatives in the Covid-19 pandemic*. ASEAN-CRN.
- Mucharam, I., Rustiadi, E., Fauzi, A., Harianto. 2022. Signifikansi pengembangan indikator pertanian berkelanjutan untuk mengevaluasi kinerja pembangunan pertanian Indonesia. *Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan*, 9(2), 61-81. <https://doi.org/10.29244/jkebijakan.v9i2.28038>.
- Mukherjee, S., Baral, M.M., Chittipaka, V., Srivastava, S.C., Pal, S.K. 2021. Discussing the impact of industry 4.0 in agriculture supply Chain. Dalam Agrawal, R., Jain, J.K., Yadav, V.S., Manupati, V.K., Varela, L. *Recent Advances in Smart Manufacturing and Materials. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Singapore: Springer.
- Myklevy, M., Doherty, P., Makower, J. 2016. *The New Grand Strategy*. New York: St. Martin's Press.
- Nugroho, T., Abidin, Z., Marlina, L. 2019. Dampak fenomena el nino terhadap pendapatan usahatani dan pola tanam petani padi di Kecamatan Natar Kabupaten Lampung Selatan. *Jurnal Ilmu-Ilmu Agribisnis*, 7(1), 75-82. <https://doi.org/10.23960/jiia.v7i1.75-82>.
- Patricia, S. Listrik tingkatkan produktivitas pertanian. <https://www.kompas.id/baca/ekonomi/2020/09/04/listrik-tingkatkan-produktivitas-pertanian>.
- Rose, D.C., Chilvers, J. 2018. Agriculture 4.0: broadening responsible innovation in an era of smart farming. *Front. Sustain. Food Syst.* 2(87), *Front. Sustain. Food Syst.*, 2. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00087>.

- Rotz, S., Duncan, E., Small, M., Botschner, J., Dara, R., Mosby, I., Reed, M., Fraser, E.D. 2019. The politics of digital agricultural technologies: A preliminary review. *Social. Rural*, 59 (2), 203–229.  
<https://doi.org/10.1111/soru.12233>.
- Saiz-Rubio, V., Rovira-M'as, F. 2020. From smart farming towards agriculture 5.0: A review on crop data management. *Agronomy*, 10(2), 207.  
<https://doi.org/10.3390/agronomy10020207>.
- Schrijver, R. 2016. Precision agriculture and the future of farming in Europe. Europe: Scientific Foresight Uni (STOA).
- Sjaf, S., Kaswanto, R.L., Hidayat, N.K., Barlan, Z.A., Elson, L., Sampean, S., Gunadi, H. 2021. Measuring achievement of sustainable development goals in rural area: A case study of sukamantri village in Bogor District, West Java, Indonesia. *Sodality: Jurnal Sosiologi Pedesaan*, 9(2).  
<https://doi.org/10.22500/9202133896>.
- Sukur, M., Susanto. 2014. Model sistem inovasi pertanian berbasis IT dengan teknologi mobile. *Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK*, 19(2), 191-200.  
<https://doi.org/10.35315/dinamik.v19i2.4103>.
- Verdouw, C.N., Wolfert, J., Tekinerdogan, B. 2016. Internet of Things in agriculture. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 11, 035.  
<https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201611035>.
- Weersink, A., Fraser, E., Pannell, D., Duncan, E., Rotz, S. 2018. Opportunities and challenges for big data in agricultural and environmental analysis. *Annu. Rev. Resour. Econ.* 10, 19–37. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100516-053654>.
- Wilde, S. 2016. *The Future of Technology in Agriculture*. The Hague: STI Netherlands Study Centre for Technology Trends.
- Zambon, I., Cecchini, M., Egidi, G., Saporito, M.G., Colantoni, A. 2019. Revolution 4.0: Industry vs. agriculture in a future development for SMEs. *Processes*, 7(1), 36.  
<https://doi.org/10.3390/pr7010036>.