

17. PENEROKAAN TAHAP PENGGUNAAN TEKNOLOGI PINTAR DI SEPANJANG RANTAIAN PENGELUARAN KOMODITI NANAS DI MALAYSIA

Nik Rahimah Nik Omar¹, Dr. Aimi Athirah Ahmad¹, Dr. Siti Noor Aliah Baharom², Adli Fikri Ahmad Sayuti² dan Bashah Ahmad¹

¹Pusat Penyelidikan Sosioekonomi, Risikan Pasaran dan Agribisnes

²Pusat Penyelidikan Kejuruteraan

17.1. PENDAHULUAN

Sektor pertanian memainkan peranan penting dalam menjamin sekuriti makanan, memperkukuh ekonomi luar bandar dan menyumbang kepada pertumbuhan ekonomi negara. Dalam era Revolusi Industri 4.0, transformasi pertanian ke arah pertanian pintar menjadi keperluan bagi peningkatan produktiviti, efisiensi penggunaan sumber serta kelestarian alam sekitar terutamanya di negara membangun seperti Malaysia. Penggunaan teknologi digital seperti *Internet of Things* (IoT), penderia pintar, sistem maklumat geografi (GIS), automasi dan kecerdasan buatan (AI) dalam pengurusan sumber dan proses pertanian secara lebih efisien (Wolfert et al., 2017; Kamilaris et al., 2017). Teknologi ini membolehkan pemantauan secara lebih efisien, pengumpulan dan analisis data serta sokongan kepada keputusan berasaskan data untuk mengoptimumkan hasil tanaman dan penggunaan input. Di Malaysia, tanaman nanas (*Ananas comosus*) merupakan antara komoditi penting yang menyumbang kepada pendapatan sektor agromakanan negara. Malaysia kini tersenarai sebagai salah satu pengeksport utama nanas terutamanya ke negara seperti Singapura, Jepun dan negara-negara Timur Tengah (Lembaga Perindustrian Nanas Malaysia [LPNM], 2022). Namun, tahap penggunaan teknologi pertanian pintar dalam kalangan pengusaha nanas masih belum mencapai tahap optimum. Penggunaan teknologi ini bukan sahaja bertujuan meningkatkan hasil dan kualiti pengeluaran, malah juga memperkukuh ketahanan terhadap perubahan iklim, mengurangkan penggunaan input pertanian secara berlebihan serta mengoptimumkan penggunaan sumber seperti air dan baja (Zhang et al., 2019). Menyedari pentingnya integrasi teknologi dalam rantai nilai nanas, kajian ini dijalankan bagi mengukur tahap penggunaan teknologi pertanian pintar dalam kalangan pemain industri nanas di Malaysia.

Pengukuran tahap penggunaan ini amat penting untuk mengenal pasti jurang teknologi, cabaran adopsi serta faktor pendorong atau penghalang kepada inovasi dalam kalangan pengusaha. Tambahan pula, pemetaan tahap penggunaan teknologi akan membantu pembuat dasar dan agensi sokongan seperti LPNM, Kementerian Pertanian dan Keterjaminan Makanan (KPKM) serta pihak industri dalam merangka strategi intervensi yang lebih berfokus dan berimpak tinggi. Kajian ini juga bertepatan dengan inisiatif Malaysia di bawah kerangka Dasar Agromakanan Negara 2.0 (DAN 2.0) yang menekankan transformasi digital dalam sektor pertanian.

17.2. LATAR BELAKANG

Meskipun teknologi pintar telah dikenal pasti sebagai pemangkin utama transformasi pertanian, tahap penggunaannya dalam kalangan pengusaha nanas di Malaysia masih tidak diketahui secara menyeluruh. Ramai pekebun kecil dan sederhana masih mengamalkan kaedah tradisional seperti penanaman manual, pemantauan visual tanaman dan penggunaan sistem pengairan konvensional yang kurang efisien dari segi kos dan hasil (Shamsudin et al., 2020). Kajian oleh Abdullah et al. (2022) mendapati bahawa walaupun terdapat kesedaran terhadap manfaat teknologi seperti sistem irigasi pintar, penderia kelembapan tanah dan penggunaan dron untuk pemetaan ladang, kadar penerimaan teknologi dalam kalangan pengusaha nanas kekal terhad. Beberapa cabaran utama yang menghalang penerapan teknologi ini termasuk kekangan kewangan untuk melabur dalam teknologi baharu, kekurangan kemahiran teknikal dalam kalangan pengusaha serta infrastruktur sokongan yang masih lemah, terutamanya dari segi capaian internet di kawasan luar bandar. Selain itu, polisi kerajaan berkaitan pertanian pintar dilihat tidak sepenuhnya diterjemahkan ke peringkat akar umbi, menyebabkan keberkesanan intervensi menjadi terhad (Ali et al., 2023). Kurangnya data empirik mengenai keberkesanan dan kesesuaian teknologi pintar khusus untuk tanaman nanas turut menyukarkan penerapan teknologi secara meluas.

Dalam konteks global, teknologi pertanian pintar seperti *Internet of Things* (IoT), dron, sistem maklumat geografi (GIS) dan automasi telah terbukti meningkatkan hasil, mengurangkan kos buruh serta mengoptimumkan penggunaan sumber (Wolfert et al., 2017; Klerkx et al., 2019). Di negara-negara pengeluar utama seperti Costa Rica dan Filipina, teknologi pemetaan dan pengurusan ladang pintar telah memperlihatkan peningkatan kecekapan dan konsistensi hasil nanas (FAO, 2022). Namun di Malaysia, kajian menunjukkan bahawa adaptasi teknologi dalam sektor nanas masih berada pada peringkat permulaan, terutama dalam kalangan pekebun kecil (Shamsudin et al., 2020; Abdullah et al., 2022). Faktor seperti umur, tahap pendidikan, pengalaman dalam bidang pertanian serta sokongan dasar kerajaan dikenal pasti sebagai pemacu utama adaptasi teknologi (Ali et al., 2023). Sebaliknya, faktor penghalang seperti kos pelaksanaan, risiko kerugian dan kekurangan latihan serta pendedahan menjadi penghalang kepada penggunaan teknologi secara meluas. Tambahan pula, masih terdapat jurang dalam kajian yang secara spesifik menilai tahap penggunaan teknologi pintar sepanjang keseluruhan rantai nilai nanas — dari ladang hingga ke pasaran. Ini menunjukkan keperluan mendesak untuk satu kajian komprehensif yang bukan sahaja mengukur tahap penggunaan, tetapi juga mengenal pasti faktor dalaman dan luaran yang mempengaruhi adaptasi teknologi dalam konteks tempatan.

Sehubungan itu, kajian ini bertujuan untuk menilai tahap penggunaan teknologi pertanian pintar dalam kalangan pengusaha nanas di Malaysia serta meneliti faktor-faktor yang mendorong atau menghalang adoptasi teknologi tersebut. Dapatan kajian ini dijangka dapat menyumbang kepada penambahbaikan strategi pembangunan industri nanas, memperkukuh dasar transformasi digital sektor agro dan menyokong kelestarian sistem pertanian negara secara keseluruhan.

17.3. METODOLOGI

Kajian ini menggunakan pendekatan kajian lapangan yang merangkumi pengumpulan data primer dan sekunder, dengan tumpuan terhadap petani nanas di seluruh Malaysia serta penanda aras amalan teknologi pintar di dua negara pengeluar nanas terpilih iaitu Filipina dan Indonesia. Pengumpulan data primer dilaksanakan melalui survei bersemuka menggunakan borang

soal selidik terhadap 200 orang petani nanas yang dipilih secara berstrata melibatkan semua negeri termasuk Sabah dan Sarawak. Pemilihan responden mengambil kira variasi dari segi saiz ladang, pengalaman bertani, jenis varieti yang ditanam serta tahap penggunaan teknologi dalam amalan pertanian harian mereka. Borang soal selidik dibina bagi mendapatkan maklumat mengenai tahap penggunaan teknologi pintar seperti sistem pengairan automatik, aplikasi penderia tanah, penggunaan dron serta pengurusan ladang berasaskan data. Bagi penanda aras antarabangsa, kajian ini turut melibatkan lawatan kerja dan wawancara kepada agensi berkaitan serta pengusaha industri nanas di Filipina dan Indonesia, memfokuskan kepada tahap kemajuan, strategi pelaksanaan dan kesan penggunaan teknologi pintar di kedua-dua negara. Lawatan ini bertujuan untuk mengenal pasti praktik terbaik serta cabaran yang boleh dijadikan rujukan dalam konteks tempatan.

Data sekunder diperoleh daripada pelbagai sumber termasuk laporan kerajaan, statistik pertanian, dokumen polisi dan kajian terdahulu berkaitan penggunaan teknologi pintar dalam sektor pertanian. Data ini digunakan bagi menyokong analisis terhadap data primer. Dari segi analisis data, pendekatan deskriptif kuantitatif digunakan bagi menilai corak penggunaan teknologi dan persepsi petani, manakala analisis perbandingan untuk penandaarasan (*benchmarking*) dijalankan untuk menilai perbezaan dan kesesuaian teknologi yang diguna pakai di Malaysia berbanding dengan Filipina dan Indonesia. Pendekatan ini dijangka memberikan gambaran yang komprehensif terhadap tahap semasa penggunaan teknologi pintar dalam industri nanas serta potensi untuk penambahbaikan berasaskan bukti antarabangsa.

Data yang dikumpul dalam kajian ini dianalisis menggunakan gabungan kaedah analisis deskriptif dan *Fuzzy Logic* bagi memberikan gambaran menyeluruh terhadap tahap penggunaan teknologi pintar dalam kalangan petani nanas. Analisis deskriptif digunakan untuk mentafsir data kuantitatif seperti kekerapan, peratusan, min dan sisihan piawai yang berkaitan dengan latar belakang petani, jenis teknologi yang digunakan, tahap penerimaan teknologi, serta cabaran yang dihadapi. Analisis ini dijalankan menggunakan perisian SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) bagi memudahkan pengurusan data dan menghasilkan output statistik yang sistematik. Pemodelan *fuzzy* ini dilaksanakan menggunakan perisian MATLAB, yang menyediakan platform pemprosesan matematik dan simulasi canggih untuk menyusun aturan-aturan *Fuzzy Logic* serta mentafsir hasil dalam bentuk yang lebih fleksibel. Gabungan dua kaedah analisis ini membolehkan kajian menghasilkan dapatan yang lebih tepat dan bernuansa, merangkumi aspek kuantitatif dan kualitatif dalam memahami tahap penerapan teknologi pintar dalam industri nanas Malaysia.

17.4. DAPATAN KAJIAN

17.4.1. Menanda aras

17.4.1.1. Indonesia

Di Indonesia, tahap penggunaan teknologi pintar dalam industri nanas masih berada pada tahap rendah. Kebanyakan ladang nanas di negara ini masih menggunakan kaedah manual dalam aktiviti seperti penyediaan tanah, penanaman, pembajaan, kawalan rumpai serta pengurusan perosak dan penyakit. Walaupun terdapat beberapa ladang yang mula menggunakan benih tisu kultur untuk meningkatkan produktiviti tanaman, kos yang tinggi dan kekangan fasiliti menjadi cabaran utama bagi penerapan teknologi ini secara lebih meluas. Selain itu, pemantauan kesihatan tanaman serta serangan penyakit kebanyakannya masih bergantung kepada pemerhatian manual oleh petani dan pekerja ladang. Penggunaan sistem pemantauan pintar seperti sensor atau

teknologi berasaskan *Internet of Things* (IoT) masih sangat terhad. Walaupun terdapat usaha ke arah mekanisasi dalam proses tertentu seperti proses lepas tuai dan pembungkusan, namun secara keseluruhan, rantai pengeluaran nanas di Indonesia masih bergantung kepada tenaga kerja manual dan tidak sepenuhnya memanfaatkan teknologi pintar. Untuk meningkatkan daya saing industri nanas di Indonesia, adalah penting untuk memperkenalkan lebih banyak sistem automasi dan pemantauan berasaskan IoT bagi meningkatkan kecekapan operasi. Selain itu, sokongan daripada pihak kerajaan serta penyelidikan dalam bidang pertanian digital boleh membantu mempercepat adaptasi teknologi di kalangan petani dan syarikat perladangan nanas (Sudaryanto et al., 2022).

17.4.1.2. Filipina

Di Filipina, industri nanas menunjukkan tahap mekanisasi yang lebih tinggi berbanding dengan Indonesia, namun penggunaan teknologi pintar masih terhad kepada aspek tertentu dalam rantai pengeluaran. Syarikat perladangan utama seperti Dole Plantation dan Del Monte Plantation telah mengamalkan sistem semimekanisasi dalam aktiviti seperti pembajaan dan kawalan perosak. Namun, pemantauan pertumbuhan tanaman serta pengurusan penyakit masih dilakukan secara manual oleh pekerja ladang tanpa penggunaan teknologi pintar secara meluas. Dalam aspek pemprosesan dan penggredan hasil, sesetengah ladang di Filipina telah menggunakan sistem automasi untuk mengenal pasti gred nanas dan membuang bendasing secara lebih cekap. Walau bagaimanapun, di peringkat penanaman dan pemantauan pertumbuhan tanaman, teknologi seperti sensor tanah, dron pemantauan, dan sistem IoT masih belum diterapkan secara meluas. Bagi mempertingkatkan kecekapan industri nanas di Filipina, cadangan utama adalah memperluaskan penggunaan teknologi pintar dalam pemantauan tanaman dan kawalan penyakit. Penggunaan sistem berasaskan data seperti analisis imej satelit, penerima jarak jauh (*remote sensing*), dan teknologi dron dapat membantu petani dalam mengesan perubahan kesihatan tanaman dengan lebih cepat, tepat, dan proaktif (Laborte et al., 2020; IRRRI, 2021). Di samping itu, kolaborasi antara sektor swasta, institusi penyelidikan dan agensi kerajaan amat penting untuk mempercepatkan proses pemindahan teknologi kepada petani kecil dan pengusaha ladang berskala besar (Philippine Council for Agriculture, Aquatic and Natural Resources Research and Development – PCAARRD, 2022).

17.4.1.3. Perbandingan penggunaan teknologi antara Malaysia, Filipina dan Indonesia

Berdasarkan *Jadual 17.1*, terdapat perbezaan yang ketara dalam tahap penggunaan teknologi dalam penanaman nanas antara Malaysia, Filipina dan Indonesia. Malaysia secara umum menunjukkan tahap penggunaan teknologi yang lebih tinggi dan menyeluruh merangkumi hampir semua aktiviti ladang. Dalam aspek penyediaan tanah, ketiga-tiga negara menggunakan kaedah semimekanisasi melalui penggunaan traktor. Namun, dalam penyediaan benih, Indonesia lebih menonjol dengan penggunaan teknologi tisu kultur, berbanding dengan Malaysia dan Filipina yang masih menggunakan kaedah manual.

Dalam aktiviti penanaman, Malaysia telah mula menggunakan kaedah semimekanisasi, manakala Filipina dan Indonesia masih bergantung kepada kaedah manual. Begitu juga dengan pengairan, ketiga-tiga negara masih menggunakan kaedah manual tanpa penerapan sistem automasi atau pengairan pintar, menunjukkan terdapat ruang besar untuk peningkatan teknologi dalam aspek ini. Perbezaan yang paling ketara dapat dilihat dalam pengurusan ladang seperti pembajaan, kawalan rumpai, penyakit dan perosak. Malaysia menggunakan teknologi pertanian pintar seperti dron untuk pemantauan dan *boom sprayer* untuk kawalan. Sebaliknya, Filipina dan Indonesia hanya menggunakan kaedah semimekanisasi seperti pam penyembur atau *boom*

sprayer untuk kawalan, tetapi pemantauan masih dilakukan secara manual.

Akhir sekali, dalam aktiviti penuaian, Malaysia menggunakan teknologi semimekanisasi dengan gabungan mesin penuai dan penyampai (*harvester + conveyer*), manakala Filipina dan Indonesia masih bergantung kepada penuaian secara manual. Ini menunjukkan bahawa Malaysia berada di hadapan dari segi penggunaan teknologi untuk meningkatkan kecekapan, mengurangkan kebergantungan kepada buruh serta mempercepatkan proses kerja ladang. Filipina dan Indonesia pula menunjukkan pendekatan teknologi yang lebih asas dan tradisional walaupun Indonesia memperlihatkan sedikit kelebihan dalam teknologi pembenihan. Secara keseluruhan, Malaysia lebih terkehadapan dalam integrasi mekanisasi dan teknologi pintar dalam sektor penanaman nanas.

Jadual 17.1. Perbandingan tahap penggunaan teknologi di antara Malaysia, Filipina dan Indonesia

Bil.	Parameter	Malaysia	Filipina	Indonesia
1.	Penyediaan tanah/kawasan tanaman	Semimekanisasi (traktor)	Semimekanisasi (traktor)	Semimekanisasi (traktor)
2.	Penyediaan benih/sulur	Manual	Manual	Manual (tisu kultur)
3.	Penanaman	Semimekanisasi	Manual	Manual
4.	Pengairan	Manual	Manual	Manual
5.	Pembajaan	Pengawalan	Semimekanisasi (<i>boom sprayer</i>)	Semimekanisasi (pam penyembur)
		Pemantauan	Pertanian pintar (<i>drone</i>)	Manual
6.	Pengurusan rumpai	Pengawalan	Semimekanisasi (<i>boom sprayer</i>)	Semimekanisasi (pam racun)
		Pemantauan	Pertanian pintar (<i>drone</i>)	Manual
7.	Pengurusan penyakit	Pengawalan	Semimekanisasi (<i>boom sprayer</i>)	Semimekanisasi (pam racun)
		Pemantauan	Pertanian pintar (<i>drone</i>)	Manual
8.	Pengurusan perosak	Pengawalan	Semimekanisasi (<i>boom sprayer</i>)	Semimekanisasi (pam racun)
		Pemantauan	Pertanian pintar (<i>drone</i>)	Manual
9.	Penuaian	Semimekanisasi (<i>harvester + conveyer</i>)	Manual	Manual

17.4.2. Tahap penggunaan teknologi petani di Malaysia

17.4.2.1. Profil petani

Hasil dapatan survei petani nanas menunjukkan bahawa majoriti responden adalah lelaki (92.2%), manakala wanita hanya mewakili 7.8% (*Jadual 17.2*). Dari segi taburan negeri, Johor mencatatkan jumlah petani nanas tertinggi (34.3%), diikuti oleh beberapa negeri lain seperti Kedah, Kelantan, Pahang dan Sarawak yang masing-masing mencatatkan 9.8%. Negeri-negeri

lain seperti Selangor, Terengganu, Negeri Sembilan dan Perak menunjukkan jumlah petani yang lebih kecil iaitu sekitar 4.9% bagi setiap negeri. Dari segi latar belakang kaum, Melayu merupakan kumpulan terbesar dalam industri ini dengan 80.9%, diikuti oleh kaum Cina (13.2%), India (2.5%) dan lain-lain (3.4%). Dalam aspek pendidikan, sebahagian besar petani nanas mempunyai tahap pendidikan peringkat menengah (36.3%) atau STPM/diploma/sijil (36.8%). Walaupun terdapat 18.6% yang memiliki ijazah atau lebih tinggi, golongan yang hanya berpendidikan sehingga peringkat sekolah rendah masih wujud pada kadar 5.9%.

Dalam kategori pekerjaan, majoriti responden (72.5%) merupakan petani nanas sepenuh masa, manakala sebahagian kecil menjalankan perniagaan (4.9%) atau bekerja dalam sektor kerajaan (2.9%) dan sektor swasta (15.7%). Ini menunjukkan bahawa industri nanas di Malaysia masih dikuasai oleh petani kecil dan sederhana. Dari aspek bilangan isi rumah, kebanyakan responden tinggal dalam keluarga bersaiz 3 – 6 orang (48.5% dan 31.9% masing-masing), manakala hanya sebilangan kecil tinggal bersendirian atau dalam isi rumah yang lebih besar. Pengalaman dalam penanaman nanas juga menunjukkan variasi yang ketara. Lebih separuh daripada petani (59.3%) mempunyai pengalaman kurang daripada lima tahun, manakala 21.6% telah berkecimpung dalam industri ini selama 5 – 10 tahun. Hanya sebilangan kecil (10.4%) yang mempunyai pengalaman lebih daripada 15 tahun. Ini menunjukkan bahawa kebanyakan petani masih baharu dalam industri nanas dan mungkin memerlukan lebih banyak sokongan, termasuk latihan dan akses kepada teknologi moden untuk meningkatkan produktiviti dan daya saing mereka.

Jadual 17.2. Profil petani nanas

Parameter		n	%
Jantina	Lelaki	188	92.2
	Perempuan	16	7.8
Negeri	Johor	70	34.3
	Kedah	20	9.8
	Kelantan	20	9.8
	Pahang	20	9.8
	Sarawak	15	7.4
	Negeri Sembilan	10	4.9
	Perak	10	4.9
	Selangor	10	4.9
	Terengganu	10	4.9
	Sabah	7	3.4
	Melaka	5	2.5
	Pulau Pinang	5	2.5
	Perlis	2	1.0
Bangsa	Melayu	165	80.9
	Cina	27	13.2
	India	5	2.5
	Lain-lain	7	3.4

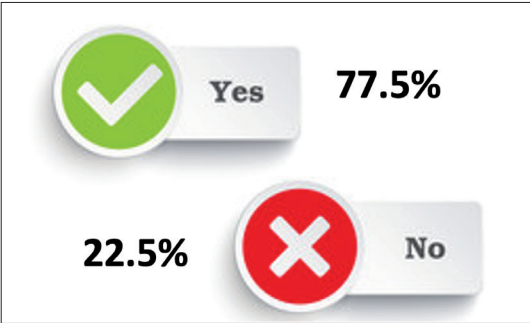
(Samb.)

Jadual 17.2. (Samb.)

Parameter		n	%
Pendidikan	Sekolah rendah	12	5.9
	Sekolah menengah	74	36.3
	STPM/diploma/sijil	75	36.8
	Ijazah ke atas	38	18.6
	Lain-lain	2	1.0
Pekerjaan	Petani nanas	148	72.5
	Berniaga	10	4.9
	Sektor kerajaan	6	2.9
	Sektor swasta	32	15.7
	Lain-lain	8	3.9
Bilangan isi rumah	< 2 orang	22	10.8
	2 – 4 orang	99	48.5
	4 – 6 orang	65	31.9
	6 – 8 orang	14	6.9
	> 8 orang	4	2.0
Pengalaman	< 5 tahun	121	59.3
	5 – 10 tahun	44	21.6
	10 – 15 tahun	14	6.9
	15 – 20 tahun	9	4.4
	> 20 tahun	8	3.9

17.4.2.2. Tahap kesedaran petani terhadap pertanian pintar

Kajian ini menunjukkan bahawa tahap kesedaran dalam kalangan petani terhadap pertanian pintar adalah tinggi dengan 77.5% responden menyatakan bahawa mereka mengetahui tentang konsep ini (*Rajah 17.1*). Namun, masih terdapat 22.5% petani yang belum mempunyai pendedahan atau pemahaman yang mencukupi tentang teknologi pertanian pintar. Ini menunjukkan bahawa walaupun konsep ini semakin diterima, masih ada keperluan untuk lebih banyak usaha dalam penyebaran maklumat dan latihan bagi memastikan semua petani mendapat manfaat daripada teknologi ini.



Rajah 17.1. Pengetahuan petani terhadap pertanian pintar

Dari segi pandangan petani terhadap pertanian pintar, sebanyak 28.8% responden percaya bahawa teknologi ini dapat memudahkan kerja dan aktiviti pertanian (*Rajah 17.2*). Ini menunjukkan bahawa petani melihat manfaat utama pertanian pintar dalam mengurangkan beban kerja manual, meningkatkan kecekapan operasi ladang serta mengoptimalkan penggunaan sumber seperti tenaga buruh dan masa. Sebagai contoh, penggunaan sensor tanah, sistem pengairan automatik dan dron dalam pemantauan tanaman dapat membantu mengurangkan tenaga kerja yang diperlukan dan meningkatkan ketepatan dalam aktiviti pertanian. Selain itu, 24.9% petani berpendapat bahawa pertanian pintar lebih sesuai untuk penanaman berskala besar. Ini mencerminkan cabaran yang dihadapi oleh petani kecil-kecilan dalam mengadaptasi teknologi ini, sama ada disebabkan oleh kos pelaburan yang tinggi, kekurangan kemahiran teknikal atau infrastruktur yang tidak mencukupi. Petani berskala besar lebih cenderung melihat teknologi ini sebagai satu keperluan kerana ia membolehkan mereka menguruskan ladang dengan lebih efisien dan mengurangkan pembaziran sumber.

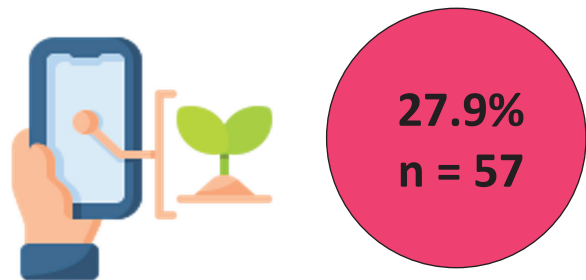
Dari sudut peningkatan hasil pertanian, 18.5% petani mengakui bahawa pertanian pintar boleh membantu meningkatkan pengeluaran hasil. Teknologi seperti sistem pemantauan cuaca, penggunaan dron untuk pemetaan ladang, dan aplikasi kecerdasan buatan (AI) dalam pengurusan tanaman dapat membantu meningkatkan produktiviti dengan mengurangkan risiko kerosakan tanaman akibat faktor persekitaran yang tidak menentu. Namun, angka ini masih menunjukkan bahawa sebilangan besar petani mungkin belum melihat secara langsung kesan pertanian pintar terhadap hasil tanaman mereka. Manakala, hanya 12.8% petani berpendapat bahawa pertanian pintar boleh meningkatkan kualiti produk. Ini menunjukkan bahawa masih terdapat kekurangan kesedaran mengenai bagaimana teknologi seperti kawalan persekitaran berasaskan IoT, pemantauan kesihatan tanaman, dan pengurusan nutrien secara tepat dapat membantu menghasilkan tanaman yang lebih berkualiti. Teknologi ini bukan sahaja dapat memastikan hasil yang lebih baik tetapi juga meningkatkan daya saing produk tempatan di pasaran. Di samping itu, 15% petani melihat bahawa teknologi pertanian pintar boleh menyumbang kepada pendapatan sampingan. Ini mungkin merujuk kepada potensi pendapatan tambahan daripada penggunaan teknologi dalam pemasaran digital, jualan terus kepada pengguna melalui platform e-dagang atau penyewaan peralatan pintar kepada petani lain. Walau bagaimanapun, angka ini menunjukkan bahawa kebanyakan petani masih belum menyedari sepenuhnya peluang ekonomi yang boleh diwujudkan melalui pertanian pintar.



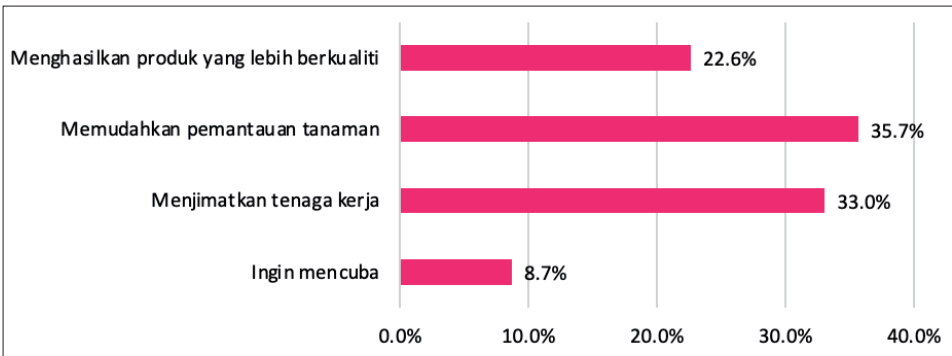
Rajah 17.2. Pandangan petani terhadap pertanian pintar

17.4.2.3. Status penggunaan teknologi pertanian pintar

Kajian ini menunjukkan bahawa hanya 27.9% daripada responden telah menggunakan teknologi pertanian pintar, manakala majoriti petani masih belum mengadaptasi teknologi ini dalam operasi mereka (*Rajah 17.3*). Antara sebab utama penggunaan teknologi pertanian pintar ialah kemudahannya dalam pemantauan tanaman (35.7%) dan penjimatan tenaga kerja (33%) (*Rajah 17.4*). Ini menunjukkan bahawa petani yang telah menggunakan teknologi ini menyedari manfaatnya dalam meningkatkan kecekapan kerja dan mengurangkan kebergantungan terhadap tenaga buruh. Selain itu, 22.6% daripada responden menyatakan bahawa mereka menggunakannya kerana ia dapat menghasilkan produk yang lebih berkualiti, manakala sebilangan kecil (8.7%) hanya ingin mencuba teknologi baharu tanpa jaminan keberkesannya.



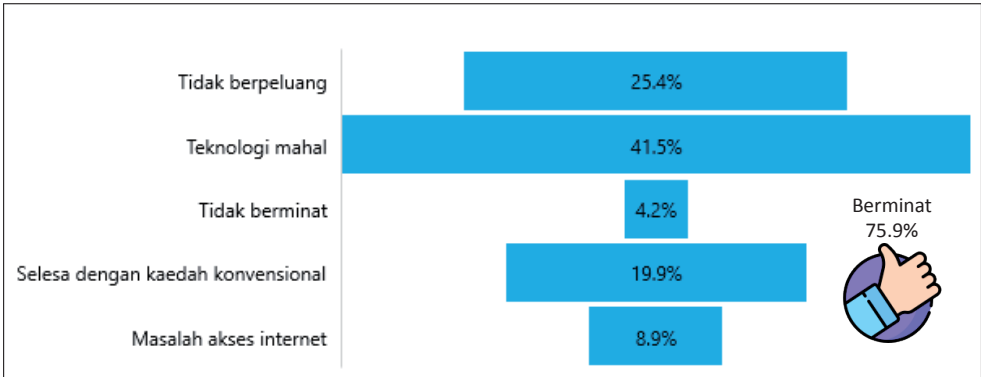
Rajah 17.3. Bilangan petani yang menggunakan teknologi pintar



Rajah 17.4. Sebab menggunakan teknologi pintar

Walaupun terdapat manfaat yang jelas, namun masih ramai petani yang belum menggunakan teknologi pertanian pintar. Halangan terbesar yang dikenal pasti adalah kos teknologi yang tinggi (41.5%) (*Rajah 17.5*). Ini mencerminkan cabaran utama yang dihadapi oleh petani dalam mengakses teknologi moden, yang sering memerlukan pelaburan awal yang besar. Selain itu, 25.4% responden menyatakan bahawa mereka tidak berpeluang untuk menggunakannya, menunjukkan kemungkinan kekurangan pendedahan atau akses kepada program sokongan yang sesuai. Faktor lain yang menghalang penggunaan teknologi ini termasuk keselesaan dengan kaedah konvensional (19.9%) yang mana sesetengah petani lebih selesa dengan teknik pertanian tradisional yang telah lama diamalkan. Masalah akses internet juga menjadi salah satu cabaran bagi 8.9% responden, mencerminkan keperluan infrastruktur digital yang lebih baik di kawasan pertanian. Walaupun kadar penggunaan teknologi masih rendah, terdapat potensi yang besar untuk peningkatan kerana 75.9% daripada responden menunjukkan

minat terhadap teknologi pertanian pintar. Ini memberikan isyarat positif bahawa dengan sokongan yang betul seperti subsidi, latihan dan peningkatan akses kepada teknologi, lebih ramai petani dapat beralih kepada sistem pertanian pintar yang lebih efisien dan berdaya saing.



Rajah 17.5. Sebab tidak menggunakan teknologi pertanian pintar

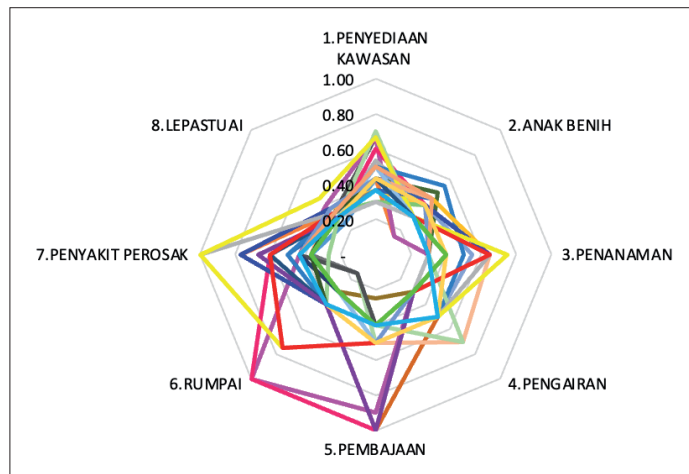
17.4.2.4. Tahap penggunaan teknologi pertanian pintar

Rajah 17.6 menunjukkan skor penggunaan teknologi dalam kalangan petani merujuk kepada lapan parameter utama aktiviti penanaman iaitu penyediaan kawasan, penyediaan anak benih, penanaman, pengairan, pembajaan, kawalan rumpai, kawalan penyakit perosak dan pengurusan lepas tuai. Setiap aktiviti penanaman ini memberi nilai variasi yang ketara dalam penggunaan teknologi. Nilai skor yang menghampiri 1.0 menunjukkan penggunaan teknologi pertanian pintar dalam parameter tersebut adalah pada tahap yang tinggi manakala nilai skor yang menghampir 0 adalah sebaliknya. Secara umumnya, penggunaan teknologi yang tinggi dalam kalangan petani nanas di Malaysia adalah dalam aspek pembajaan, pengurusan rumpai dan pengurusan penyakit dan perosak. Ini dapat dilihat melalui beberapa garis graf yang mencapai skor hampir kepada 1.0 dalam komponen tersebut. Sebaliknya, penggunaan teknologi adalah rendah dalam aspek penyediaan anak benih dan lepas tuai, petani hanya mencapai skor sekitar 0.2 – 0.4. Parameter penyediaan kawasan dan penanaman pula menerangkan penggunaan teknologi pada tahap yang sederhana dengan menghampiri nilai skor 0.7.

Bagi aktiviti pembajaan, dron digunakan untuk penyemburan baja cecair ke atas tanaman nanas secara lebih sekata dan seragam. Teknologi ini membolehkan pembajaan dilakukan dengan kelajuan yang lebih tinggi berbanding dengan kaedah manual dan mampu meliputi kawasan ladang yang luas dalam masa singkat. Selain itu, penggunaan dron membolehkan kadar aplikasi baja dikawal dengan lebih tepat berdasarkan keperluan tanaman melalui pemetaan menggunakan teknologi yang disediakan oleh sesetengah dron moden. Dalam kawalan rumpai, dron juga digunakan untuk penyemburan racun rumpai di kawasan yang dikenal pasti mengalami pertumbuhan rumpai yang tinggi. Melalui teknik pemetaan berasaskan pengimejan udara, dron dapat mengenal pasti lokasi tumpuan rumpai dan membolehkan penyemburan dijalankan secara tertumpu (*targeted spraying*). Ini bukan sahaja menjimatkan kos bahan kimia, tetapi juga mengurangkan impak negatif terhadap alam sekitar berbanding dengan kaedah semburan menyeluruh. Ini melambangkan elemen utama dalam pertanian pintar iaitu penggunaan sumber secara optimum dan meminimumkan pembaziran.

Hal ini adalah sama dalam aktiviti kawalan penyakit dan perosak. Dron digunakan untuk melakukan pemantauan visual terhadap tanaman bagi mengesan tanda-tanda awal jangkitan penyakit atau serangan serangga perosak. Sesetengah dron dilengkapi kamera beresolusi tinggi

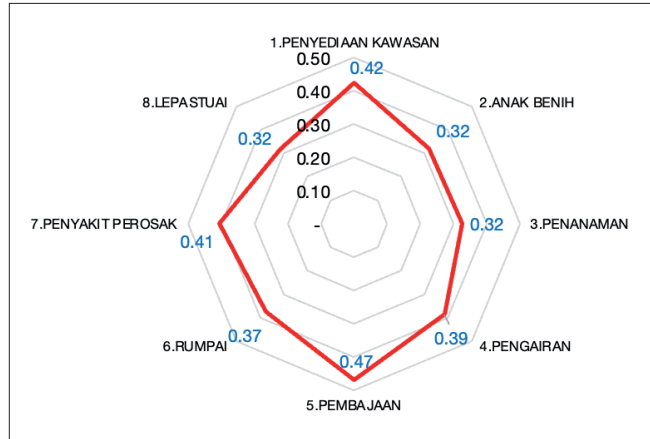
dan sensor yang boleh mengenal pasti pokok yang mengalami tanda-tanda awal serangan. Dengan maklumat ini, petani boleh menjalankan semburan racun serangga atau racun kulat hanya di kawasan yang terjejas, sekali gus mengurangkan kos operasi dan penggunaan bahan kimia.



Rajah 17.6. Penggunaan teknologi pertanian pintar mengikut parameter

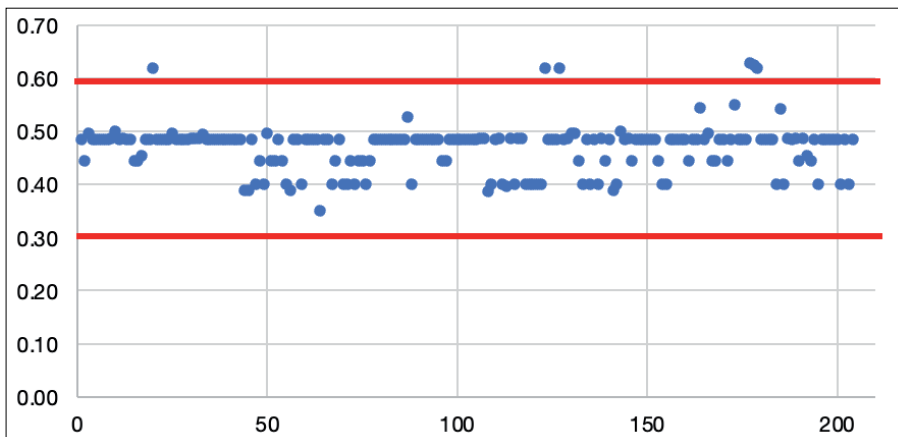
Berdasarkan carta radar yang ditunjukkan dalam *Rajah 17.7*, purata penggunaan teknologi pertanian pintar mengikut parameter dalam penanaman nanas berada dalam julat sederhana iaitu antara 0.3 – 0.6. Parameter pembajaan mencatatkan purata penggunaan tertinggi iaitu 0.47, diikuti dengan penyediaan kawasan pada 0.42 dan kawalan penyakit dan perosak pada 0.41. Ini menunjukkan bahawa dalam aktiviti pembajaan, penyediaan kawasan dan kawalan penyakit perosak, teknologi pintar telah digunakan secara lebih meluas, mungkin kerana adanya teknologi seperti penggunaan dron untuk pembajaan, pemetaan kawasan melalui imejan udara dan sistem amaran awal bagi mengesan serangan penyakit dan perosak. Selain itu, pengairan mencatatkan purata penggunaan sebanyak 0.39, manakala pengurusan rumpai sebanyak 0.37, yang juga tergolong dalam kategori sederhana. Ini membayangkan bahawa petani telah mula mengaplikasikan teknologi pintar dalam pengurusan pengairan seperti sistem pengairan automatik dan kawalan rumpai menggunakan teknik semburan dron yang lebih cekap. Walau bagaimanapun, parameter anak benih, penanaman dan lepas tuai masing-masing mencatatkan nilai purata 0.32 yang juga berada dalam julat sederhana tetapi pada tahap yang lebih rendah berbanding dengan parameter lain. Ini menunjukkan bahawa penggunaan teknologi pintar dalam aktiviti-aktiviti tersebut masih kurang, berkemungkinan disebabkan oleh kekangan kos, pengetahuan teknikal atau ketersediaan teknologi yang sesuai untuk aktiviti-aktiviti tersebut.

Secara keseluruhannya, tiada parameter yang menunjukkan penggunaan teknologi pada tahap tinggi (melebihi 0.6), manakala semua parameter mencatatkan penggunaan sederhana. Ini memberikan indikasi bahawa meskipun petani nanas di Malaysia telah mula mengadaptasi teknologi pertanian pintar, tahap penggunaan keseluruhan masih sederhana dan memerlukan usaha berterusan dari segi pendidikan teknologi, sokongan infrastruktur dan insentif kerajaan bagi memperluaskan penggunaan teknologi pertanian pintar secara lebih menyeluruh pada masa hadapan.



Rajah 17.7. Purata penggunaan teknologi pertanian pintar mengikut parameter

Berdasarkan *Rajah 17.8*, taburan indeks *fuzzy logic* menunjukkan bahawa kebanyakan responden berada dalam kategori sederhana dengan nilai indeks berada dalam julat 0.3 – 0.6. Taburan ini memperlihatkan kecenderungan bahawa majoriti petani telah mengaplikasikan teknologi pertanian pintar, tetapi masih pada tahap yang tidak sepenuhnya optimum. Garis merah yang ditandakan pada graf menunjukkan had bagi kategori rendah dan tinggi yang mana hanya sebilangan kecil responden yang berada di bawah nilai 0.3, menunjukkan penggunaan teknologi yang rendah. Begitu juga, hanya segelintir yang melebihi 0.6, menandakan penggunaan teknologi yang tinggi masih belum meluas. Fenomena ini mungkin disebabkan oleh pelbagai faktor seperti kesedaran petani, kos teknologi dan keberkesanan dalam amalan pertanian mereka.

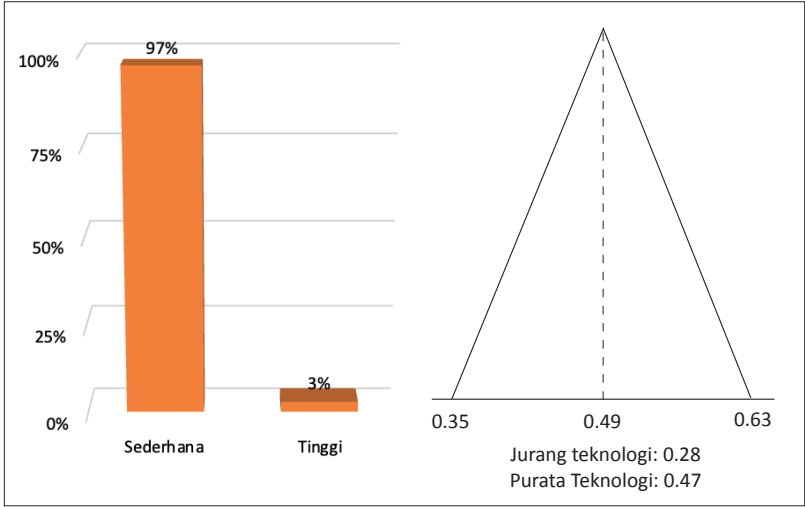


Rajah 17.8. Taburan indeks *fuzzy logic*

Skala: Rendah (<0.3), sederhana (0.3 – 0.6), tinggi (>0.6)

Hasil analisis indeks *fuzzy logic* sebanyak 97% petani berada dalam kategori sederhana, sementara hanya 3% yang mencapai tahap penggunaan tinggi (*Rajah 17.9*). Menariknya, tiada petani yang tergolong dalam kategori penggunaan rendah yang menandakan bahawa semua petani sekurang-kurangnya telah menggunakan teknologi dalam operasi pertanian mereka, walaupun pada tahap yang berbeza-beza. Purata penggunaan teknologi yang dicatatkan

adalah sekitar 0.47 yang menunjukkan bahawa secara keseluruhan, tahap penggunaan teknologi pertanian pintar dalam penanaman nanas masih dalam lingkungan sederhana. Walau bagaimanapun, jurang teknologi yang direkodkan adalah 0.28, yang mencerminkan wujudnya perbezaan yang tidak terlalu besar antara pengguna yang menggunakan teknologi pada tahap sederhana dan mereka yang telah maju ke tahap penggunaan tinggi. Dapatan ini memberikan gambaran bahawa terdapat potensi untuk meningkatkan penggunaan teknologi pertanian pintar dalam kalangan petani. Walaupun kebanyakan mereka telah menerima dan menggunakan teknologi pada tahap sederhana, langkah-langkah tambahan diperlukan untuk menggalakkan lebih ramai petani mencapai tahap penggunaan yang lebih tinggi. Faktor utama yang boleh mempengaruhi peningkatan ini termasuklah akses kepada teknologi yang lebih mampu milik, latihan dan bimbingan yang lebih intensif serta insentif dalam bentuk subsidi atau sokongan kewangan daripada kerajaan dan pihak berkaitan. Selain itu, pengenalan teknologi yang lebih mesra pengguna dan sesuai dengan keadaan tempatan juga boleh memainkan peranan penting dalam meningkatkan tahap penggunaan teknologi di sektor pertanian.



Rajah 17.9. Tahap penggunaan teknologi pertanian pintar

17.4.2.5. Perbandingan tahap penggunaan teknologi pertanian pintar dengan kos pengeluaran

Berdasarkan dapatan kajian mengenai perbandingan kos pengeluaran dengan tahap penggunaan teknologi pintar, didapati bahawa impak teknologi terhadap kos pengeluaran bergantung kepada skala ladang (*Jadual 17.3*). Bagi ladang kecil dengan keluasan 2 hektar yang menggunakan kaedah konvensional, kos pengeluaran adalah sebanyak RM1.02/kg. Namun, apabila teknologi pintar digunakan pada skala yang sama, kos pengeluaran meningkat kepada RM1.55/kg iaitu peningkatan sebanyak 52%. Ini menunjukkan bahawa penggunaan teknologi pintar di ladang kecil tidak memberikan kelebihan dari segi kos, malah boleh meningkatkan beban kewangan kepada petani. Faktor-faktor seperti pelaburan awal dalam peralatan teknologi, kos penyelenggaraan dan keperluan latihan tambahan mungkin menyumbang kepada peningkatan kos ini. Oleh itu, penggunaan teknologi pintar pada skala kecil kurang sesuai dan mungkin tidak berdaya maju secara ekonomi bagi petani kecil yang mempunyai modal terhad.

Sebaliknya, apabila teknologi pintar digunakan pada ladang berskala besar dengan keluasan 200 hektar, kos pengeluaran dapat dikurangkan secara signifikan kepada RM0.63/ kg iaitu penjimatan sebanyak 62%. Ini menunjukkan bahawa teknologi pintar lebih berkesan apabila digunakan dalam ladang yang luas yang mana skala ekonomi dapat dimanfaatkan sepenuhnya. Dalam konteks ini, automasi, pemantauan digital dan penggunaan data analitik dapat meningkatkan kecekapan operasi, mengurangkan pembaziran sumber dan seterusnya menurunkan kos pengeluaran. Keadaan ini mencerminkan kelebihan teknologi pintar dalam meningkatkan daya saing industri pertanian secara besar-besaran terutamanya bagi syarikat atau usahawan tani yang mengusahakan ladang dalam skala yang lebih luas.

Jadual 17.3. Perbandingan kos pengeluaran dengan tahap penggunaan teknologi pertanian pintar

Konvensional (2 ha)	Teknologi pintar (2 ha)	Teknologi pintar (200 ha)
RM1.02/kg	RM1.55/kg	RM0.63/kg
 52%  62%		

17.5. RUMUSAN

Tahap penggunaan teknologi pertanian pintar dalam kalangan petani nanas di Malaysia berada pada tahap sederhana. Nilai skor penggunaan tertinggi direkodkan dalam aktiviti pembajaan, pengurusan rumpai dan kawalan penyakit serta perosak dengan penggunaan teknologi seperti dron untuk penyemburan baja, racun rumpai dan pemantauan kesihatan tanaman. Walau bagaimanapun, penggunaan teknologi adalah rendah dalam aktiviti penyediaan anak benih dan pengurusan lepas tuai. Taburan indeks *fuzzy logic* menunjukkan dalam julat sederhana antara 0.3 – 0.6, dengan purata penggunaan keseluruhan sekitar 0.47 dengan 97% petani berada dalam kategori sederhana dalam penggunaan teknologi, 3% dalam kategori tinggi dan tiada petani dalam kategori rendah. Dapatan ini menggambarkan penggunaan teknologi pertanian pintar masih belum di tahap optimum. Perbandingan kos pengeluaran menunjukkan bahawa penggunaan teknologi pintar meningkatkan kos bagi ladang kecil sebanyak 52%, manakala ia mengurangkan kos sehingga 62% bagi ladang berskala besar. Ini menunjukkan bahawa skala ekonomi memainkan peranan penting dalam menentukan keberkesanan penggunaan teknologi pintar. Secara keseluruhannya, penggunaan teknologi pintar dalam penanaman nanas memerlukan sokongan berterusan dalam bentuk latihan, insentif kewangan serta pembangunan infrastruktur untuk meningkatkan keberkesanan dan memperluaskan adaptasi teknologi di kalangan petani.

17.6. SARANAN

Berdasarkan dapatan kajian ini, beberapa saranan strategik dapat dikemukakan untuk memperkukuhkan penggunaan teknologi pertanian pintar dalam kalangan petani nanas di Malaysia antaranya:

- Petani perlu diberikan lebih banyak latihan praktikal berkaitan penggunaan teknologi pertanian pintar seperti dron, sistem pengairan automatik dan pemantauan berasaskan imejan udara. Program latihan ini perlu direka secara berfasa mengikut tahap kecekapan petani agar teknologi dapat dimanfaatkan secara optimum.
- Kerajaan dan agensi berkaitan disarankan menyediakan insentif dalam bentuk subsidi pembelian peralatan teknologi pintar, geran inovasi atau skim pembiayaan mudah. Ini penting untuk membantu petani terutamanya petani kecil menampung kos pelaburan awal yang tinggi.
- Penggunaan teknologi perlu disesuaikan dengan skala pengeluaran. Untuk ladang kecil, pendekatan berkongsi teknologi seperti penggunaan dron secara koperatif atau perkhidmatan sewaan boleh diperkenalkan bagi mengurangkan beban kos. Untuk ladang besar, pelaburan dalam sistem automasi penuh lebih berdaya saing dan harus digalakkan.
- Pihak penyelidik dan pengeluar teknologi perlu membangunkan inovasi yang lebih mesra pengguna, berpatutan dari segi kos dan sesuai dengan keperluan tempatan. Contohnya, dron bersaiz kecil atau sistem automasi modular yang boleh ditingkatkan mengikut kemampuan dan keperluan petani.
- Kempen kesedaran berasaskan bukti kajian perlu dilaksanakan untuk memaklumkan kepada petani tentang manfaat teknologi dari segi peningkatan produktiviti, pengurangan kos operasi dalam jangka panjang, dan kelestarian alam sekitar.
- Kerjasama antara agensi kerajaan, syarikat teknologi, institusi penyelidikan dan pertubuhan petani perlu diperkukuhkan untuk mempercepatkan pemindahan teknologi, sokongan teknikal serta membentuk ekosistem pertanian pintar yang lebih mampan.
- Kajian susulan perlu dijalankan secara berkala untuk menilai tahap penggunaan teknologi, mengesan cabaran baharu dan mengemas kini strategi sokongan agar selari dengan perkembangan teknologi dan keperluan industri.

17.7. RUJUKAN

- Abdullah, M. R., Saad, N., & Mahmud, A. (2022). Adoption of agricultural technology among pineapple smallholders in Johor, Malaysia. *Malaysian Journal of Society and Space*, 18(1), 112–124.
- Ali, S. M., Yusof, N. A., & Hamdan, H. (2023). Smart agriculture adoption among Malaysian farmers: Drivers and barriers. *Journal of Agribusiness and Rural Development*, 68(2), 101–115.
- Aubert, B. A., Schroeder, A., & Grimaudo, J. (2012). IT as enabler of sustainable farming: An empirical analysis of farmers' adoption decision of precision agriculture technology. *Decision Support Systems*, 54(1), 510–520.
- FAO. (2022). *Smart agriculture and digital innovation for sustainable food systems*. Rome: Food and Agriculture Organization.
- International Rice Research Institute (IRRI). (2021). *Remote sensing for precision agriculture in tropical crop systems*. IRRI Annual Technical Report.

- Kamilaris, A., Kartakoullis, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2017). A review on the practice of big data analysis in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143, 23–37.
- Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. (2019). A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 90–91, 100315.
- Laborte, A. G., Moya, P. F., & Sebastian, L. S. (2020). *Application of drones and satellite data for crop monitoring in Southeast Asia*. International Rice Research Institute.
- Lembaga Perindustrian Nanas Malaysia (LPNM). (2022). *Laporan Tahunan LPNM 2022*. Putrajaya: Kementerian Pertanian dan Keterjaminan Makanan.
- Ministry of Agriculture and Food Security (MOA). (2021). *Pelan Tindakan Transformasi Digital Sektor Agromakanan 2021–2025*.
- Philippine Council for Agriculture, Aquatic and Natural Resources Research and Development (PCAARRD). (2022). *Technology Transfer and Commercialization Initiatives in Philippine Agriculture*. Department of Science and Technology (DOST).
- Rose, D. C., Sutherland, W. J., Parker, C., Lobley, M., Winter, M., Morris, C., ... & Dicks, L. V. (2016). Decision support tools for agriculture: Towards effective design and delivery. *Agricultural Systems*, 149, 165–174.
- Shamsudin, M. N., Wahid, N. A., & Latif, I. A. (2020). Digitalisation in Malaysian agriculture: Challenges and prospects. *Journal of Agribusiness Marketing*, 11, 23–37.
- Sudaryanto, T., et al. (2022). *Promoting Smart Farming based-Digital Business Technology in the Context of Agricultural Transformation in Indonesia*. *FFTC Journal of Agricultural Policy*, 3, 69–79.
- Tey, Y. S., Brindal, M., & Ahmad, M. (2020). Adoption of smart farming technologies in horticulture: Challenges and opportunities for Malaysia. *Malaysian Journal of Science*, 39(2), 87–100.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big Data in Smart Farming—A review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80.
- Zhang, Y., Wang, L., & Duan, Y. (2019). Agricultural Technology Adoption: A Review. *Information Processing in Agriculture*, 6(1), 31–41.