

CHAPTER 15

TRANSFORMASI PERTANIAN DENGAN KECERDASAN ARTIFISIAL

Didi Widjanarko¹, Bayu Dwi Apri Nugroho², & Harry Kusuma Aliwarga³

¹PT Mitra Sejahtera Membangun Bangsa

²Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, UGM

³PT Mitra Sejahtera Membangun Bangsa dan UMG Idealab

ABSTRAK

Sebagai negara berkembang dengan revolusi industri 4.0, pertanian menjadi sektor terpenting di Indonesia. Teknologi di hulu atau proses budi daya akan menjadi titik paling kritis di sektor pertanian. Masyarakat diharapkan lebih kreatif dan efisien dalam kegiatan bertani ketika populasi manusia terus meningkat dan lahan pertanian semakin berkurang serta perlu mencari solusi penggunaan lahan sempit untuk menghasilkan produksi yang optimal. Namun, ada beberapa kendala dalam proses budi daya yang dialami oleh petani, seperti cuaca yang tidak menentu, kemarau berkepanjangan yang menyebabkan kekurangan ketersediaan air hingga curah hujan terlalu tinggi yang dapat mengakibatkan banjir. Kadang petani sendiri tidak tahu harus melakukan apa atau justru salah dalam mengambil tindakan karena kurangnya informasi dan kesesuaian data yang dapat membantu mereka. Dengan bantuan kecerdasan artifisial, kini petani dapat menganalisis berbagai hal secara langsung, seperti kondisi cuaca, penggunaan air, kondisi tanah, gejala hama, dan penyakit, yang dikumpulkan dari pertanian mereka untuk menginformasikan keputusan mereka dengan lebih baik. Kendala lain yang ditemukan dalam proses budi daya adalah organisme pengganggu tanaman (OPT). Tanpa pemahaman mengenai apa yang menyerang, pengelolaan OPT menjadi tidak efektif. MSMB dengan RiTx Bertani hadir mengembangkan alat pemantauan lahan sensor cuaca dan tanah serta aplikasi Android. RiTx Bertani menyediakan informasi hasil pemantauan kondisi lahan dan rekomendasi dalam proses Bertani, seperti peringatan dini kemunculan hama penyakit dan saran tindakan ketika terjadi perubahan kondisi cuaca. Selain itu, aplikasi tersebut juga mengembangkan teknologi pengenalan gambar

¹ **Didi Widjanarko**, CTO PT Mitra Sejahtera Membangun Bangsa. Jl. Plumbon No. 329, Modalan, Banguntapan, Kecamatan Banguntapan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta 55198. Alamat posel: didiwidjanarko@msmbindonesia.com

² **Bayu Dwi Apri Nugroho**, *Co-founder* dan dosen di Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada. Alamat posel: bayu.tep@ugm.ac.id

³ **Harry Kusuma Aliwarga**, *Founder* PT Mitra Sejahtera Membangun Bangsa dan UMG Idealab. Alamat posel: kiwi.aliwarga@umgroups.com

D. Widjanarko, B. D. A. Nugroho, and H. K. Aliwarga
PT Mitra Sejahtera Membangun Bangsa, e-mail: didiwidjanarko@msmbindonesia.com

@2023 Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (KORIKA) & Penerbit BRIN
D. Widjanarko, B. D. A. Nugroho, and H. K. Aliwarga, "Transformasi pertanian dengan kecerdasan artifisial," in *Prosiding Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in Artificial Intelligence*, B. R. Trilaksono, H. Riza, A. Jarin, N. D. S. Darmayanti, and S. Liawatimena, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, Februari 2023, ch. 15, pp. 165-178, doi: 10.55981/brin.668.c551

ISBN: 978-623-8052-49-3, E-ISBN: 978-623-8052-50-9

menggunakan kecerdasan artifisial untuk mempermudah petani mengidentifikasi masalah OPT di lahan berdasarkan gejala yang muncul. Para petani mengambil foto dari tanaman yang terserang hama dan mendapatkan informasi tentang hama serta cara mengatasi hama yang menyerang. Penggunaan aplikasi ini diharapkan dapat menghindari kegagalan panen dan produktivitas hasil stabil atau dapat ditingkatkan sehingga dapat membantu petani di masa depan dan kesejahteraan petani dapat diberikan.

Kata Kunci: kecerdasan artifisial, transformasi, pertanian,

A. PENDAHULUAN

Pertanian adalah sektor penting untuk Indonesia karena selain memberikan pekerjaan bagi bagian besar populasi Indonesia, sektor ini juga menyediakan pangan dan menjadi komoditas ekspor. Tanaman hortikultura merupakan salah satu komoditas yang dikonsumsi dalam jumlah besar oleh masyarakat Indonesia dan memiliki nilai ekonomis yang cukup besar. Teknologi di hulu atau proses budi daya akan menjadi titik paling kritis di sektor pertanian. Masyarakat perlu lebih kreatif dan efisien dalam kegiatan bertani ketika populasi manusia terus meningkat dan lahan pertanian semakin berkurang ketika perlu mencari solusi penggunaan lahan sempit untuk menghasilkan produksi yang optimal. Namun, ada beberapa kendala dalam proses budi daya yang dialami oleh petani, seperti cuaca yang tidak menentu, kemarau berkepanjangan yang menyebabkan kekurangan ketersediaan air hingga curah hujan terlalu tinggi yang dapat mengakibatkan banjir. Kadang petani sendiri tidak tahu harus melakukan apa atau justru salah dalam mengambil tindakan. Salah satu kendala utama yang dihadapi petani hortikultura adalah serangan organisme pengganggu tanaman (OPT). Perubahan iklim yang nyata juga memperparah sebaran dan serangan OPT pada tanaman hortikultura. Langkah pertama penanganan serangan OPT adalah mengidentifikasi dengan tepat penyebab gejala pada tanaman yang berhubungan dengan cara hidup dan pengelolaan penyebab gejala serangan. Tanpa pemahaman ini, pengelolaan OPT yang tidak tepat dapat menyebabkan boros biaya, tenaga, dan tentunya merusak alam karena preferensi dalam menggunakan bahan kimia yang tidak terukur. Sejak dicanangkan oleh Kementerian Komunikasi dan Informasi Republik Indonesia, pekerjaan berkaitan dengan industri 4.0 banyak ditemui di Indonesia. Penggunaan *internet of things* (IoT) telah merambat ke dalam berbagai bidang termasuk pertanian, seperti untuk mencatat variabel cuaca di lahan atau untuk diseminasi informasi kepada petani. RiTx Bertani menyediakan informasi hasil pemantauan kondisi lahan serta rekomendasi dalam proses Bertani,

seperti peringatan dini kemunculan hama penyakit dan saran tindakan ketika terjadi perubahan kondisi cuaca. Selain itu, aplikasi tersebut juga mengembangkan algoritma *image recognition* untuk mengidentifikasi gejala hama dan penyakit, sekaligus memberikan rekomendasi pencegahan dan penanganannya.

B. METODE PENELITIAN

1. Pengumpulan Basis Data (*Database*) untuk Peringatan Dini Hama dan Penyakit

Organisme pengganggu tanaman (OPT) merupakan salah satu faktor pembatas dalam produksi tanaman hortikultura. Dewasa ini, perubahan iklim juga memengaruhi keparahan OPT dengan membantu persebaran ke wilayah baru dan mempercepat perkembangan OPT sehingga memperparah serangan dan meningkatkan kehilangan hasil. Untuk mengelola kerusakan yang disebabkan oleh OPT, pengelolaannya memerlukan pendekatan yang menyeluruh dan tertuang dalam pengelolaan hama terpadu (PHT) [1]. Langkah awal dari PHT adalah dengan pemantauan populasi OPT dan mampu untuk mengidentifikasi OPT dengan tepat (Thorburn, 2015). Akan tetapi, pemantauan di lapangan membutuhkan waktu dan tenaga yang tidak sedikit, terutama untuk lahan yang luas. Selain itu, mengidentifikasi penyebab gejala serangan memerlukan keahlian dan pengalaman yang terkadang tidak dimiliki semua orang [3]. Peningkatan kebutuhan pangan dan mulai merambahnya *home gardening* semakin menunjukkan pentingnya kemampuan mengidentifikasi OPT secara tepat dan cepat. Untuk itu diperlukan teknologi peringatan dini yang dapat membantu petani dalam proses mitigasi serangan hama dan penyakit.

Adapun basis data yang didapatkan dari berbagai macam sumber literasi jurnal dan akan disusun adalah (a) nama tanaman, (b) nama hama dan penyakit, (c) kelembapan udara; (d) umur tanaman; (e) suhu udara, (f) titik serangan, (g) pencegahan, (h) pengendalian, serta (i) notifikasi.

2. Pemasangan Alat *Monitoring*

Penelitian melakukan pemasangan alat *monitoring* berupa *RiTx soil and weather sensor* untuk mendapatkan data kondisi lahan pertanian. Alat tersebut akan mengumpulkan data kondisi cuaca, seperti curah hujan, suhu udara, kelembapan udara, tekanan atmosfer, kecepatan angin, dan arah mata angin, serta kondisi tanah, seperti kelembapan tanah, suhu tanah, nilai *electrical conductivity* (EC) tanah, dan pH tanah.



Gambar 1. *RiTx Soil and Weather Sensor*

3. Pendeteksian Hama dan Penyakit dengan Kecerdasan Buatan

Pertanian adalah satu sektor yang diharapkan terpengaruh oleh adanya teknologi Internet of Things dan kecerdasan buatan. Dalam beberapa tahun terakhir, beberapa penelitian telah membuat sistem *image recognition* untuk serangga pada padi [4], pada tomat [5], singkong, dan pisang [6]. Selain itu, teknologi ini telah dikembangkan di berbagai negara, seperti yang dilaporkan oleh Cheng dkk. [7] di Tiongkok dan Bhadane dkk. [8]. Akan tetapi, banyak penelitian dalam bidang menggunakan foto yang berasal dari foto di laboratorium yang kurang menggambarkan keadaan nyata di lahan karena jenis foto yang dikirimkan memiliki spesifikasi beragam, latar belakang yang bermacam, dan sudut yang sangat bervariasi [9]. Selain itu, data pembangunan model menggunakan *deep learning* memerlukan banyak data yang sangat beragam. Secara umum, data berkualitas dalam jumlah banyak sulit untuk didapatkan, terlebih untuk tanaman khas Indonesia, sehingga sistem ini memiliki tantangan untuk mengumpulkan data tersebut.

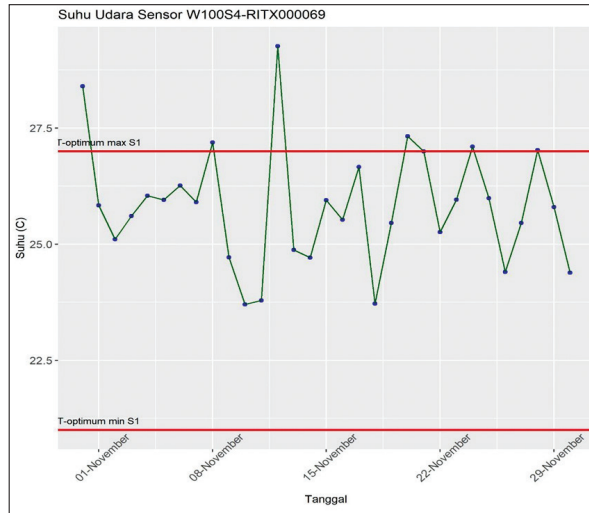
Banyak arsitektur *deep learning* yang telah digunakan untuk membangun algoritma *image recognition*. Beberapa arsitektur yang telah digunakan adalah *convolutional neural networks* [10], *support vector machine*, dan *artificial neural networks* [11]. Setiap arsitektur memiliki kemampuan yang berbeda sehingga dalam penentuan arsitektur yang tepat untuk *dataset* memang diperlukan proses. Oleh karena itu, melalui penelitian ini akan diuji arsitektur yang paling tepat untuk *dataset* yang diambil dari lapangan.

Dalam pembuatan alat atau aplikasi untuk mendeteksi hama dan penyakit menggunakan foto atau gambar, tahapan yang diperlukan adalah (a) pengumpulan data foto, (b) pengidentifikasian gejala, (c) pelabelan (*tagging*) data, (d) pembuatan model algoritma, dan (e) pengetesan dan pengintegrasian dengan aplikasi seluler (*mobile application*) RiTx Bertani.

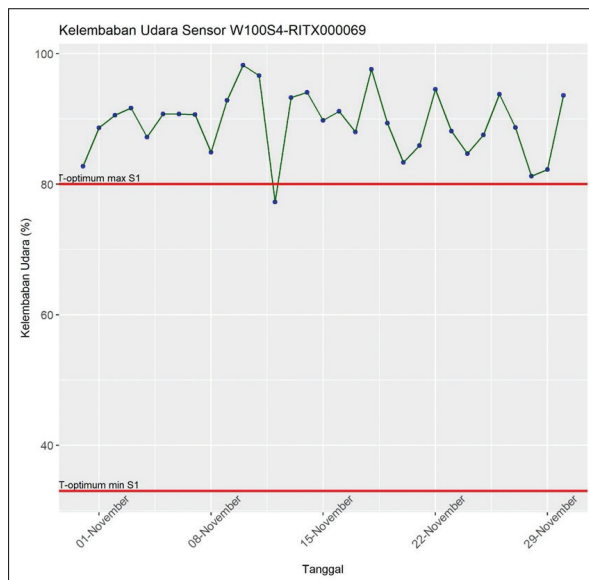
C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Peringatan Dini Hama dan Penyakit

Data sekunder berupa nama tanaman, nama hama dan penyakit, kelembapan udara, umur tanaman, suhu udara, titik serangan, pencegahan, dan pengendalian didapatkan dari literasi jurnal, baik dalam maupun luar negeri. Data tersebut digunakan sebagai *knowledge-based* dalam pembuatan deteksi peringatan dini hama dan penyakit untuk kemudian dicocokkan dengan data aktual RiTx *soil and weather sensor*.



Gambar 2. Suhu Udara RiTx Soil and Weather Sensor ID RITX000069



Gambar 3. Kelembaban Udara RiTx Soil and Weather Sensor ID RITX000069

RiTx *soil and weather sensor* yang dipasang di lahan akan memonitor kondisi di atas permukaan tanah, seperti curah hujan, suhu udara, kelembapan udara, tekanan atmosfer, kecepatan angin, arah mata angin, serta kondisi tanah (kelembapan, suhu, nilai *electrical conductivity* (EC), dan pH). Data diambil setiap interval sepuluh menit dan kemudian diolah menggunakan aplikasi R Studio. Parameter yang digunakan dalam pendeteksian kemungkinan serangan hama dan penyakit, yaitu kelembapan dan suhu udara. Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan grafik suhu dan kelembapan udara selama bulan November.

Hasil bacaan sensor cuaca RITX000069 menunjukkan bahwa suhu udara tertinggi 38,33°C, suhu udara terendah 19,44°C, serta rata-rata suhu udara 28,10°C. Rata-rata persebaran suhu berada di dalam batas atas dan batas bawah suhu optimum, yaitu 21°C–27°C. Suhu rata-rata harian pada bulan November sudah sesuai untuk pertanian.

Hasil bacaan sensor cuaca RITX000069 menunjukkan bahwa kelembapan udara berkisar antara 35–99% dengan rata-rata 89,27% dan rata-rata di atas batas atas optimum, yaitu 80%. Wilayah yang dipasang RiTx *soil and weather sensor* ID RITX000069 memiliki kelembapan terlalu tinggi dan disarankan mengolah lahan menggunakan jarak tanam yang lebar pada musim tanam selanjutnya.

Faktor iklim, terutama suhu, secara langsung memengaruhi kelangsungan hidup, perkembangan, reproduksi, dan pergerakan individu serangga yang memengaruhi potensi distribusi dan kelimpahan populasi [12]. Gavin Ash memiliki konsep segitiga penyakit untuk menjelaskan faktor yang memengaruhi penyakit tanaman, di antaranya inang—patogen—lingkungan. Ia mempertegas bahwa, dari segi lingkungan, temperatur memiliki pengaruh terpenting terhadap perkembangan hama dan transmisi virus tanaman yang dapat disebabkan oleh keberadaan *mobile vector* yang mana sangat dipengaruhi oleh temperatur [13].

Penyakit pada tanaman yang disebabkan oleh cendawan dan bakteri membutuhkan kondisi temperatur dan kelembapan tertentu untuk hidup dan berkembang pada inang. Gavin juga menjelaskan kondisi temperatur optimum patogen penyakit umumnya sama dengan kondisi temperatur optimum tanaman inang, tetapi dalam beberapa kasus patogen penyakit tumbuh lebih cepat dibanding tanaman inang [13].

Kelembapan udara sangat memengaruhi pertumbuhan dan perkembangbiakan patogen penyakit tanaman, terutama jamur yang berkembang biak melalui spora. Segers dkk. melaporkan bahwa jamur memiliki kemampuan jamur untuk mengatasi perubahan kelembapan sama pentingnya dengan kemampuan tumbuh pada media rendah air [14]. Berdasarkan laporan tersebut, dapat disimpulkan bahwa kelembapan sangat penting bagi keberlangsungan jamur

Suhu dan kelembapan udara sebagai parameter utama dari iklim memiliki pengaruh secara langsung maupun tidak langsung terhadap pertumbuhan organisme pengganggu tanaman (OPT). Pada serangga, suhu dan kelembapan udara secara langsung berperan dalam metabolisme tubuh serta perkembangan dan pertumbuhan serangga. Sementara itu, suhu dan kelembapan udara dapat mendukung kualitas dan ketersediaan pangan bagi serangga secara tidak langsung [15].

Lingkungan yang sesuai tersebut dapat mendukung perkembangan OPT di lahan. Dampak ikutan yang terjadi adalah perubahan dalam frekuensi pengaplikasian pestisida. Dampak selanjutnya adalah munculnya resistensi hama dan penyakit [16]. Contoh kasus yang terjadi adalah pada tanaman kentang, jamur *Phytophthora infestans* mulai memunculkan resistensi pada kelembapan udara 62% dan temperatur optimum 28°C. Berdasarkan rincian pembahasan di atas, data aktual suhu dan kelembapan udara dapat dijadikan sebagai dasar notifikasi potensi kemunculan OPT.

Hasil bacaan RiTx *soil and weather sensor* pada Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan data rata-rata suhu udara dan kelembapan udara masing-masing adalah 28,10°C dan 89,27%. Berdasarkan data sensor, potensi kemunculan OPT pada tanaman jagung pada fase vegetatif adalah bulai, hawar daun, dan busuk pelepah, sedangkan pada fase generatif adalah busuk tongkol dan penggerek tongkol.



Gambar 4 Penyakit bulai menyerang tanaman jagung.

Penyakit bulai memiliki pertumbuhan yang optimal pada suhu 25–30°C dan kelembapan udara 80–100%. Kombinasi suhu dan kelembapan udara yang sesuai mendukung perkecambahan konidia jamur *Peronosclerospora maydis* penyebab bulai [17]. Sementara itu, penyakit busuk tongkol optimal berkembang pada suhu 15–35°C dan kelembapan udara 75–100%. Kondisi suhu dan kelembapan udara tersebut dapat mendukung perkembangan karpus jamur penyebab busuk tongkol, *Fusarium graminearum*, sehingga dapat memunculkan potensi serangan OPT pada tanaman jagung [18].



Gambar 5. Penyakit busuk tongkol menyerang tanaman jagung.

Pada tanaman padi, kondisi suhu dan kelembapan udara yang ditunjukkan oleh RiTx *soil and weather sensor* sesuai untuk pertumbuhan wereng batang coklat. Hama tersebut optimal tumbuh pada suhu 10–32°C dengan kelembapan udara 73–100%. Kondisi suhu dan kelembapan udara yang sesuai akan mendukung perkembangan dan tingkat kelangsungan hidup nimfa dari wereng batang coklat. Kondisi lingkungan yang kurang sesuai sendiri akan memperkecil potensi perkembangan nimfa menjadi wereng batang coklat dewasa [19].



Gambar 6. Hama wereng menyerang tanaman padi.

Pada tanaman cabai, perlu diwaspadai munculnya penyakit layu fusarium yang disebabkan oleh jamur *Fusarium oxysporum*. Perkembangan konidia jamur optimal pada suhu 25–30°C dengan kelembapan udara 80–100% yang mendukung persebaran konidia jamur penyebab layu fusarium ke tanaman yang lainnya [20].



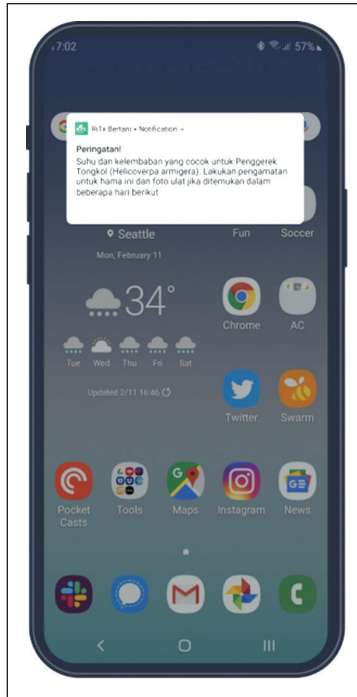
Gambar 7. Penyakit layu fusarium menyerang tanaman cabai.

Salah satu penyakit yang menjadi momok tanaman bawang merah adalah bercak ungu atau yang disebut trotol. Perkembangan fungi *Alternaria porri* optimal terjadi pada suhu 15–40°C dengan kelembapan di atas 90% [21]. Kondisi tersebut mendukung pertumbuhan konidia fungi *Alternaria porri* sehingga berpotensi memunculkan gejala penyakit pada tanaman bawang merah.



Gambar 8. Penyakit bercak ungu menyerang tanaman bawang.

Data dari sensor yang terekam sesuai dengan *range* nilai kelembapan, suhu dan umur tanaman secara otomatis akan mengirimkan notifikasi di aplikasi RiTx Bertani seperti pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9. Notifikasi Potensi Serangan Hama Penyakit pada Aplikasi RiTx Bertani

2. Deteksi Hama dan Penyakit dengan Kecerdasan Buatan

a. Pengumpulan Data Foto

Pembuatan algoritma *image recognition* untuk hama dan penyakit pada tanaman membutuhkan variasi foto gejala, seperti sudut foto, bentuk gejala, atau warna gejala, yang akan membuat algoritma semakin kaya karena telah dilatih dengan sumber data yang bervariasi.

b. Pengidentifikasian Gejala

Foto yang ditemukan akan disortir berdasarkan kemiripan gejala, kemudian diidentifikasi penyebab gejalanya melalui perbandingan literatur atau mengajukan pertanyaan kepada ahli. Informasi yang tepat mengenai penyebab gejala akan membantu memastikan algoritma dapat bekerja dengan tepat.

c. Pelabelan Data

Setelah menentukan penyebab gejala pada tanaman, langkah berikutnya adalah memberi label (*tagging*) pada data yang merupakan tahapan penting karena data ini akan digunakan untuk melatih algoritma.

d. Pembuatan Algoritma

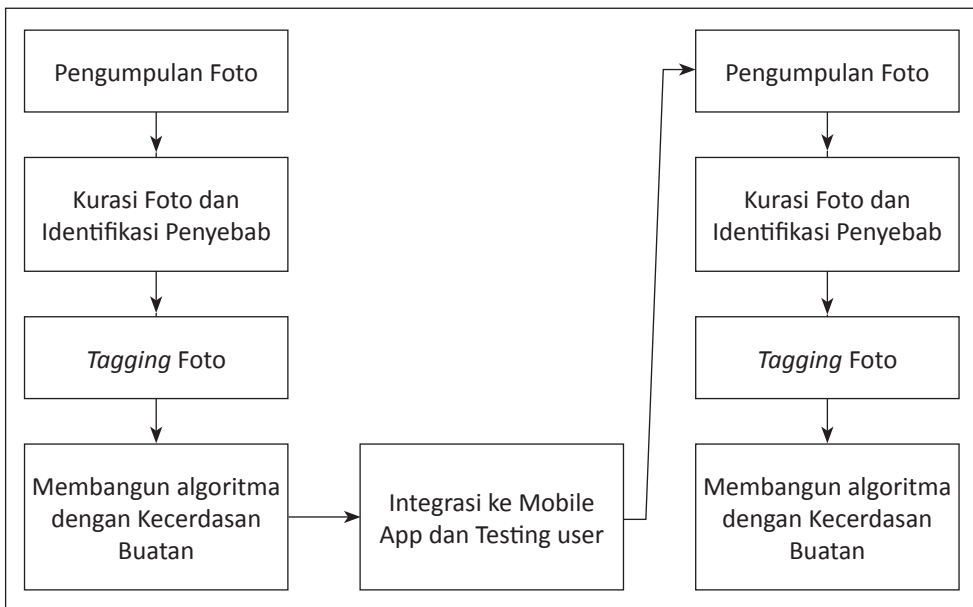
Data yang telah dikumpulkan akan dianalisis menggunakan kecerdasan buatan. Arsitektur yang digunakan untuk penelitian ini adalah Support Vector Machine (SVM).

e. Pengintegrasian Data dengan Aplikasi Seluler

Algoritma yang telah dihasilkan akan diujikan pada aplikasi seluler untuk mendapatkan balikan (*feedback*) selain mengujikan pada *data testing*.

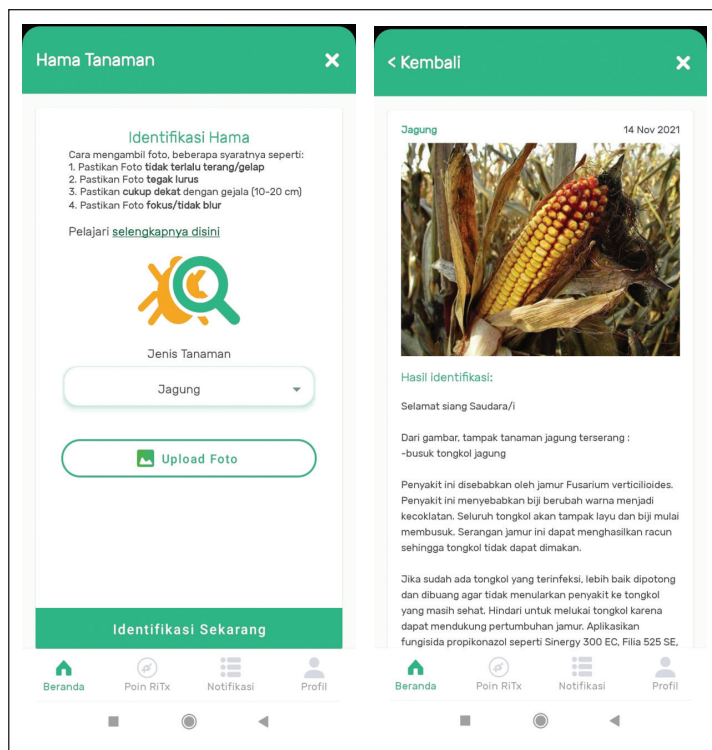
f. Evaluasi dan Pengembangan Lanjut Algoritma

Hasil penelitian akan dievaluasi mengenai jenis data yang masuk atau hal lain, seperti jenis foto yang masuk, dan akan dilakukan pencarian foto lanjutan atau perbaikan pada sistem algoritmanya.



Gambar 10. Alur Penelitian Deteksi Hama dan Penyakit

Setelah pengintegrasian dengan aplikasi RiTx Bertani, pengguna dapat menggunakan fitur identifikasi hama dan penyakit sesuai dengan jenis komoditasnya (Gambar 11). Salah satu fitur pengidentifikasian hama dan penyakit di aplikasi RiTx Bertani pada Gambar 11 menunjukkan halaman pengambilan data setelah identifikasi dan hasil rekomendasinya.



Gambar 11. Tangkapan Layar Penggunaan Aplikasi RiTx Bertani untuk Komoditas Jagung

D. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil memberi gambaran integrasi antara alat *monitoring* RiTx *soil and weather sensor* yang berfungsi mengumpulkan data *realtime* sesuai kondisi cuaca dan tanah di lapangan serta aplikasi RiTx Bertani yang dapat diakses oleh petani. Petani akan mendapatkan keuntungan berupa informasi lebih cepat mengenai kondisi lahan sehingga akan membantu penanganan yang lebih tepat. Pengembangan aplikasi untuk deteksi hama dan penyakit menggunakan kecerdasan buatan mempunyai tantangan yang cukup banyak, antara lain basis data foto yang variatif dan *knowledge base* dari agronomis dalam masih dalam pelabelan agar dapat memberikan identifikasi yang lebih akurat. Penggunaan aplikasi ini diharapkan dapat menghindari kegagalan panen serta menstabilkan atau meningkatkan produktivitas hasil yang dapat membantu petani di masa depan sehingga kesejahteraan petani dapat diberikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Mitra Sejahtera Membangun Bangsa atas dukungan pendanaan penelitian. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Putra Andika, Yovi Avianto, Lingga Rahmawati, Fitrianoor Setyaningsih, dan Rifqi Aziz Al Wakidi, serta semua pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. P. Resosudarmo, "Implementing a national environment policy: Understanding the 'succes' of the 1989-1999 integrated pest management programme in Indonesia," *Singapore Journal of Tropical Geography*, vol. 3, pp. 365–380, 2012, doi:10.1111/sjtg.12006
- [2] Thorburn (2015)
- [3] L. Deng, Y. Wang, Z. Han, R. Yu, "Research on insect pest image detection and recognition base on bio-inspired methods," *Biosystem Engineering*, vol. 169, pp. 139–148, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.02.008>
- [4] J. L. Miranda, B. D. Gerardo, B. T. Tanguilig III, "Pest detection and extraction using image processing techniques," *International Journal of Computer and Communication Engineering*, vol. 3, no. 3, pp. 189–192, 2014.
- [5] J. Liu dan X. Wang, "Tomato disease and pest detection based on improved Yolo V3 convolutional neural network," *Frontiers in Plant Science*, vol. 11, p. 898, 2020.
- [6] M. G. Selvaraj, A. Vergara, H. Ruiz, N. Safari, S. Elayabalan, W. Ocimati, dan G. Blomme, "AI-powered banana disease and pest detection," *Plant Methods*, vol. 15, p. 92, 2019.
- [7] X. Cheng, Y. Zhang, Y. Chen, Y. Wu, dan Y. Yue, "Pest identification via deep residual learning in complex background," *Computer and Electronics in Agriculture*, vol. 141, pp. 351–356, 2017.
- [8] G. Bhadane, S. Sharma, dan V. B. Nerkar, "Early pest identification in agriculture crops using image processign technique," *International Journal of Electrical Electronics and Computer Engineering*, vol. 2, pp. 72–82, 2013.
- [9] O. Lopez, M. M. Rach, H. Migallon, M. P. Malumbres, A. Bonastre, dan J. J. Serrano. 2012. *Sensors* 12: 15801-15819.
- [10] W. Ding dan G. Taylor, "Automatic moth detection from trap images for pest management," *Computer and Electronics in Agriculture*, vol. 123, pp. 17–28, 2016.
- [11] L. Liu, R. Wang, C. Xie, P. Yang, F. Wang, S. Sudirman, dan W. Liu, "PestNet: An end-to-end deep learning approach for large-scale multi-class pest detection and classification," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 45301–45312, 2019.
- [12] M. E. Cammell dan J. D. Knight, *Effects of Climatic Change on the Population Dynamics of Crop Pests*. Cambridge: Academic Press Limited, 1992.
- [13] G. Ash, *Pest and Disease Management*. Melbourne: Oxford University Press, 2002.
- [14] F. J. J. Segers, K. A. van Laarhoven. H. P. Huinink. O. C. G. Adan., H. A. B. Wosten, J. Dijksterhuis, "The indoor fungus *cladosporium halotolerans* survives humidity dynamics markedly better than *Aspergillus niger* and *Penicillium rubens* despite less growth at lowered steady-state water activity," *America Assosiation of Microbiology*, vol. 82, no. 17, pp. 5089–5098, 2016.

- [15] T. Jaworski dan J. Hilszczanski, "The effect of temperature and humidity changes on insects development and their impact on forest ecosystems in the context of expected climate change," *Forest Research Papers*, vol. 74, no. 4, pp. 345–355, 2013.
- [16] R. D. Magarey, T. B. Sutton, dan C. L. Thaye, "A simple generic infection model for foliar fungal plant pathogens," *Ecology and Epidemiology*, vol. 95, no. 1, pp. 92–100, 2005.
- [17] U. S. Rustiani, M. S. Sinaga, S. H. Hidayat, dan S. Wiyono, "Ecological characteristic of *Peronosclerospora maydis* in Java, Indonesia," *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*, vol. 19, no. 1, pp. 159–167, 2015.
- [18] R. Manstretta dan V. Rossi, "Effects of temperature and moisture on development of *Fusarium graminearum* perithecia in maize stalk residues," *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 82, no. 1, pp. 184–191, 2016.
- [19] M. Sriniva, N. R. Gopalavarma, R. S. Devi, dan R. Jagadeeshwar. "Effect of temperature on rice brown plant hopper (*Nilaparvata lugens* Stall)," *The Jpurnal of Reseach*, vol. 44, no. 1, pp. 114–117, 2016.
- [20] D. R. Cruz, L. F. S. Leandro, dan G. P. Munkvold, "Effect of temperature and pH on *Fusarium oxysporum* and soybean seedling disease," *Plant Disease*, vol. 103, no. 12, pp. 3234–3243, 2019.
- [21] M. A. Kareem, K. V. K. Murthy, H. A. Nadaf, dan M. A. Waseem, "Effect of temperature, relative humidity and light on lesion length due to *Alternaria porri* in onion," *Asian Journal of Environmental Science*, vol. 7, no. 1, pp. 47–49, 2012.
- [22] K. Lakshmi dan S. Gayathri, "Implementation of IoT with image processing in plant growth monitoring system," *Journal of Scientific & Innovative Research*, vol. 6, no. 2, pp. 80–83, 2017.
- [23] A. Tzounis, N. Katsoulas, T. Bartzanas, dan C. Kittas, "Internet of things in agriculture, recent advances and future challenges," *Biosystem Engineering*, vol. 164, pp. 31–48, 2017.
- [24] A. Ramcharan, K. Baranowski, P. McCloskey, B. Ahmed, J. Legg, dan D. P. Hughes, "Deep learning for image-based cassava disease detection," *Frontier in Plant Science*, vol. 8, p. 1852, 2017.