

Bab X

EWS SIPANTARA: Implementasi Prediksi Iklim Menggunakan Kecerdasan Buatan

Muhammad Agung Sunusi, Aris Pramudia, Adi Ripaldi, Darmawan Lahru Riatma, Erni Susanti, Suciantini, Yudi Riadi Fanggidae, Ferrari Pinem, Kharmila Sari Hariyanti, Rahmawati, Asmarhansyah, Yuliastuti Purwaningsih, Aneng Hermami, Antoni Setiawan, Muhamad Roy Setiawan Tambunan, Desy Rakhma Caesaran Utomo, Hendry Puguh Suseptyo, Slamet Riyadi, Andi Abdurahim, Ella Windy Rahmatika, Aidil Azhar

A. Urgensi Sistem Peringatan Dini dan Pengaturan Jadwal Tanam Hortikultura

Salah satu program dari Kementerian Pertanian adalah pemenuhan kebutuhan pangan bagi 267 juta jiwa penduduk Indonesia. Pemenuhan kebutuhan pangan tersebut meliputi pangan strategis nasional di antaranya padi, jagung, kedelai, cabai, bawang merah, bawang putih, daging sapi, daging ayam, gula, telur, minyak goreng. Berdasarkan Kepmentan Nomor 104 Tahun 2020 bahwa komoditas Binaan Direktorat Jenderal Hortikultura terdiri 569 jenis yang terdiri dari 82 jenis sayuran, 66 jenis tanaman obat, 60 jenis buah, dan 361 jenis tanaman hias. Di antara kelompok sayuran terdapat aneka cabai dan bawang

M. A. Sunusi, A. Pramudia, A. Ripaldi, D. L. Riatma, E. Susanti, dkk.
Kementerian Pertanian, *e-mail:* mohagungsunusi@pertanian.go.id

© 2024 Editor & Penulis

Sunusi, M. A., Pramudia, A., Ripaldi, A., Riatma, D. L., Susanti, E., dkk. (2024). EWS SIPANTARA: Implementasi prediksi iklim menggunakan kecerdasan buatan. Dalam D. E. Nuryantoro & I. Fathrio (Ed.), *Prediksi iklim untuk ketahanan pangan* (291–320). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.1244.c1394.
E-ISBN: 978-602-6303-49-3.

merah, merupakan komoditas strategis yang selama ini memberikan sumbangsih signifikan terhadap inflasi-deflasi bahan pangan.

BPS (2018) menyatakan bahwa bawang merah merupakan salah satu komoditas yang potensial meningkatkan garis kemiskinan dengan indeks 1,32 di perkotaan dan 1,51 di perdesaan. Dengan demikian, memiliki pengaruh yang cukup besar dalam perekonomian Indonesia. Komoditas bawang merah, karenanya, jika tidak dikelola dengan baik akan mampu memengaruhi inflasi sebagai akibat tidak stabilnya pasokan bulanan yang berimbang kepada fluktuasi harga di tingkat konsumen. Fluktuasi harga yang cukup tinggi tersebut tentunya berpengaruh negatif terhadap sisi permintaan dan harga pada saat terjadi kelangkaan produksi. Lebih lanjut, hal ini akan memperbesar tingkat kemiskinan. Sebaliknya jika dikelola dengan baik, pengusahaan bawang merah merupakan peluang dalam usaha meningkatkan kesejahteraan petani dikarenakan keuntungan dari usaha tani bawang merah cukup tinggi, walaupun dengan tingkat risiko yang tinggi. Bawang merah pun mampu menggerakkan industri serta peningkatan status kesehatan masyarakat, mengingat bawang merah memiliki kandungan gizi yang baik. Namun, usaha tani bawang merah termasuk usaha tani yang berisiko tinggi karena dengan biaya produksi tinggi belum tentu menghasilkan produksi yang tinggi pula.

Komoditas lainnya yang menjadi prioritas utama di Direktorat Jenderal Hortikultura adalah komoditas aneka cabai. Pengembangan aneka cabai dilakukan melalui pendekatan terpadu beberapa komoditas terintegrasi antara kegiatan pusat, provinsi, dan kabupaten dalam pengembangan kawasan berbasis kampung hortikultura. Komoditas cabai dan bawang merah merupakan komoditas hortikultura strategis yang memberi sumbangan signifikan terhadap inflasi-deflasi bahan pangan.

Salah satu penyebab terjadinya inflasi dan terjadinya penurunan produksi pada bulan-bulan tertentu untuk komoditas cabai dan bawang merah adalah lemahnya langkah mitigasi pada saat menghadapi akhir musim (*off season*). Berdasarkan angka tetap tahun 2015–2019 terlihat bahwa terdapat bulan waspada pada komoditas cabai besar dan cabai

rawit khususnya pada Desember–Februari. Meskipun produksi cabai besar pada tahun 2019 sebesar 1,20 juta ton, naik rata-rata 0,1% per tahun sejak 2017. Begitupun halnya dengan produksi cabai rawit tahun 2019 sebesar 1,37 juta ton, naik rata-rata 9,3% per tahun sejak tahun 2017. Permasalahan utama aneka cabai adalah tidak bisa disimpan dalam waktu yang lama sehingga pengaturan pola tanam sangat perlu dilakukan untuk menjaga pasokan utamanya pada musim hujan.

Angka tetap tahun 2014–2019 menggambarkan bahwa terdapat bulan waspada pada komoditas bawang merah pada Februari sampai April. Produksi bawang merah tahun 2019 sebesar 1,57 juta ton, naik rata-rata 5,3% per tahun sejak tahun 2014. Bawang merah memiliki keunggulan, yakni dapat disimpan selama 2–3 bulan sehingga surplus produksi dapat disimpan (stok) untuk menyuplai kebutuhan pada saat terjadi defisit. Berdasarkan data tersebut di atas diduga bulan waspada terjadi karena adanya kondisi *off season*/musim kemarau pada saat tanam dan pada saat panen terjadi musim hujan. Hal ini tentunya berdampak pada produksi dan produktivitas aneka cabai dan bawang merah yang mengalami penurunan pada bulan-bulan tertentu, yaitu Februari–April. Oleh karena itu, diperlukan langkah mitigasi yang tepat pada saat menghadapi bulan-bulan waspada tersebut. Langkah mitigasi ini dapat dilakukan 2–3 bulan sebelum dilakukan pertanaman.

Berkaitan dengan hal tersebut, dibutuhkan suatu informasi yang cepat dan akurat terkait aspek dampak perubahan iklim (DPI) dan organisme pengganggu tumbuhan (OPT) di kawasan penyangga nasional serta pengaturan jadwal tanam komoditas strategis nasional terutama dalam menghadapi *off season* kurang optimal. Kondisi real di lapangan menunjukkan bahwa kelompok tani sangat membutuhkan informasi tersebut untuk mengambil langkah pengamanan produksi akibat DPI (banjir dan kekeringan) dan informasi serangan OPT. Pengembangan Early Warning System (EWS) Perlindungan Hortikultura dapat menjadi solusi dan referensi pengamanan produksi di lapangan.

Direktorat Jenderal Hortikultura melalui Direktorat Perlindungan Hortikultura berkepentingan dalam menyajikan informasi terkait data berikut.

- 1) Data iklim: curah hujan bulanan, suhu udara rata-rata, kelembaban udara, intensitas cahaya matahari.
- 2) Data DPI: data banjir dan kekeringan, baik data waktu nyata (*real time*) maupun prediksinya.
- 3) Data OPT Dominan: data yang tersaji dengan baik tentunya akan menjadi modal yang sangat baik bagi *stakeholder* untuk mengambil langkah mitigasi yang tepat.

Data ini terhimpun dengan baik dalam aplikasi Early Warning System (EWS) Perlindungan Hortikultura dan Pengelolaan Tanam Komoditas Strategis (SIPANTARA). Berkaitan dengan hal tersebut maka pengembangan EWS SIPANTARA sangat penting karena menyajikan data yang sah dan *up to date* terkait peringatan dini DPI (banjir dan kekeringan) dan peluang sebaran OPT dominan di sentra penyangga hortikultura serta pengaturan jadwal tanam komoditas strategis hortikultura.

B. Pengelolaan Data Iklim dan Aksesibilitasnya untuk Sektor Pertanian

Posisi geografis Indonesia yang strategis, terletak di daerah tropis, di antara Benua Asia dan Benua Australia, di antara Samudra Pasifik dan Samudra Hindia, dilalui garis khatulistiwa, terdiri dari pulau dan kepulauan yang membujur dari barat ke timur, serta dikelilingi oleh luasnya lautan, menyebabkan wilayah Indonesia memiliki tingkat keragaman iklim dan cuaca yang tinggi. Keragaman iklim juga Indonesia dipengaruhi oleh aktivitas fenomena global terkait iklim, seperti Indian Ocean Dipole (IOD), El Niño Southern Oscillation (ENSO), El Niño, La Niña; fenomena regional seperti sirkulasi angin monsun Asia-Australia, daerah pertemuan angin antartropis, dan kondisi suhu permukaan laut sekitar wilayah Indonesia (Prasetyaningtyas, 2021).

Indonesia juga merupakan negara pertanian di mana pertanian memegang peranan penting dari keseluruhan perekonomian nasional. Hal ini dapat ditunjukkan dari banyaknya penduduk atau tenaga kerja yang hidup atau bekerja pada sektor pertanian dan produk nasional yang berasal dari pertanian (Mubyarto, 1983). Perubahan iklim sebagai dampak dari pemanasan global akan berdampak bagi Indonesia termasuk sektor pertanian. Sektor pertanian sangat rentan terhadap perubahan iklim karena berpengaruh terhadap pola tanam, waktu tanam, produksi, dan kualitas hasil (Nurdin & Si, 2011). Namun, adanya perubahan iklim tidak menyurutkan langkah Kementerian Pertanian untuk mendorong pertumbuhan dan produksi sektor pertanian.

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) sebagai institusi resmi pemerintah sesuai dengan Undang-Undang Nomor 31 Tahun 2009 tentang Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika wajib memberikan pelayanan informasi terkait meteorologi, klimatologi, dan geofisika, baik dalam pelayanan informasi rutin maupun peringatan dini. Salah satu informasi rutin yang disediakan oleh BMKG adalah penyediaan informasi musim, yaitu prakiraan curah hujan bulanan dan musim hujan maupun musim kemarau. Kemudian jenis peringatan dini yang disediakan salah satunya adalah peringatan dini iklim, meliputi peringatan dini El Niño, La Niña, peringatan dini kekeringan meteorologis, dan peringatan dini curah hujan tinggi.

Di sisi lain, jumlah penduduk Indonesia diperkirakan mencapai sekitar 275,77 juta jiwa (BPS, 2022). Setiap hari, masyarakat Indonesia membutuhkan pasokan pangan, termasuk sayur dan buah. Menindaklanjuti arahan dari Menteri Pertanian, para petani dan petugas lapangan terus diberikan pendampingan mengenai informasi iklim yang relevan untuk mendukung praktik budi daya hortikultura. Pendampingan ini perlu dilaksanakan secara berkelanjutan. Direktorat Jenderal Hortikultura melakukan bimbingan teknis dengan tema *Penerapan Informasi Iklim untuk Mendorong Budi Daya Hortikultura dengan Cara Implementasi Manajemen Iklim dalam Mendukung dalam Suksesnya Budi Daya Pertanian*. Informasi iklim merupakan hal yang

sangat penting dalam rangka peningkatan produksi dan nilai tambah produk hortikultura.

Oleh karena itu, diperlukan kombinasi dan integrasi sains, teknologi, serta ilmu leluhur untuk mencegah distorsi dalam produksi pangan sehingga produksi pangan tidak terhambat. Prediksi terhadap iklim makro maupun mikro serta penentuan jadwal tanam yang tepat untuk menentukan langkah adaptasi dan mitigasi yang lebih dini dalam penanganan dampak perubahan iklim menjadi hal yang konkret terhadap upaya real menjaga produksi hortikultura. Selain itu dibutuhkan juga langkah-langkah konkret dalam menangani dampak perubahan iklim di Indonesia. Selanjutnya dibutuhkan strategi dalam menyikapi perubahan iklim dengan cara antisipasi, adaptasi, dan mitigasi. Pemanfaatan informasi iklim menjadi hal yang penting dilakukan sebagai langkah adaptasi dengan menerapkan perencanaan budi daya tanaman dan penentuan jadwal tanam. Dengan langkah tersebut akan terbentuk kewaspadaan terhadap iklim ekstrem yang berdampak pada kebanjiran dan kekeringan.

Dengan pemanfaatan informasi iklim dan peringatan dini iklim yang dioptimalkan dengan baik, diharapkan bisa ditindaklanjuti dengan penggunaan teknologi tepat guna dalam meningkatkan produksi dan produktivitas hortikultura misalnya varietas tahan cekaman kering/basah, irigasi, dan naungan. Adaptasi lingkungan yang ideal di dataran medium membutuhkan teknologi untuk memanipulasi iklim mikro (suhu, kelembapan, radiasi, dan air tanah) sehingga menyediakan lingkungan yang ideal bagi pertumbuhan tanaman hortikultura. Adaptasi perubahan iklim dapat dilakukan dengan beberapa cara, seperti mengurangi suhu dan radiasi matahari serta meningkatkan kelembapan dan kadar air tanah dengan menggunakan teknologi naungan, irigasi mikro berupa kabut (*fog/mist irrigation*), dan mulsa. Selain itu, pertanian membutuhkan teknologi *smart farming* untuk membantu kegiatan budi daya dan mengurangi biaya produksi. Penerapan menggunakan teknologi otomasi digital (*internet of things/ IoT*) dan kecerdasan buatan (*artificial intelligence/AI*) misalnya sensor fisik dan iklim mikro untuk mengukur kondisi fisik dan lingkungan tanaman.

Dampak perubahan iklim dan kondisi iklim ekstrem yang sudah tidak terelakkan lagi maka didorong untuk segera mengimplementasikan pemanfaatan informasi iklim dalam suatu sistem peringatan dini khusus pada pada sub sektor hortikultura, melalui pemanfaatan data iklim dari BMKG, data OPT, data hortikultura yang dibuat dalam suatu sistem integrasi dan implementasi dengan didukung kecerdasan buatan. Dengan adanya sistem peringatan dini dan sistem informasi kalender tanam sektor hortikultura maka sistem secara keseluruhan tersebut akan membantu dalam pelaksanaan kegiatan budi daya hortikultura.

Keragaman pola curah hujan di Indonesia juga penting untuk diketahui informasinya. Dengan mengetahui keragaman tersebut maka jenis adaptasi dan waktu pelaksanaan adaptasi termasuk kalender tanamnya dapat disesuaikan dengan keragaman setempat. Sebagai contoh daerah yang memiliki pola curah hujan monsunal artinya daerah tersebut memiliki satu kali periode basah dan satu kali periode kering, dengan perbedaan jumlah hujan yang jelas antara periode musim hujan (basah) dan periode musim kemarau (kering) maka akan lebih jelas lagi jadwal kalender tanamnya. Melihat pola curah hujan yang berbeda-beda pada tiap daerah, perlu dilakukan penyesuaian potensi dan pola tanam pada daerah masing-masing, agar proses tanam, gangguan OPT, waktu pemupukan dan target produksi bisa lebih optimal. Bagaimanapun kondisi iklimnya, produksi tetap jalan, risiko bisa dikurangi, dan produktivitas hortikultura menjadi optimal. Dengan demikian, diharapkan cadangan pangan dan ketahanan pangan Indonesia bisa terjaga.

C. Perancangan Model Pemanfaatan Data Iklim untuk Sistem Peringatan Dini dan Jadwal Tanam Hortikultura

Sistem peringatan dini (*early warning system*) adalah serangkaian sistem yang berfungsi untuk memberitahukan akan terjadinya kejadian alam. Sistem peringatan dini ini akan memberitahukan terkait bencana yang akan terjadi atau kejadian alam lainnya. Untuk

kebutuhan perlindungan hortikultura, sistem peringatan dini juga terkait dengan peringatan terhadap peluang atau potensi terjadinya banjir, kekeringan, atau munculnya OPT tertentu terhadap komoditas tanaman hortikultura. Sistem peringatan dini merupakan suatu sistem informasi yang dilengkapi dengan penunjang keputusan berdasarkan model hubungan antarparameter. Aldrian (2016) menyatakan bahwa sebuah sistem peringatan dini merupakan strategi yang diperlukan untuk menghadapi dampak iklim ekstrem. Strategi tersebut dikembangkan dari manajemen pengelolaan data, analisis data hingga cara diseminasi yang tepat (Aldrian, 2016). Di dalam EWS SIPANTARA model-model yang sudah dan akan dikembangkan adalah model hubungan antara parameter curah hujan atau parameter iklim lainnya dengan luasan tanaman hortikultura yang terkena banjir, kekeringan, atau OPT. Beberapa model yang sudah pernah disusun, di antaranya model hubungan antara parameter iklim dengan luas serangan OPT bawang merah, model hubungan antara curah hujan dengan luas tanam dan pola tanam (Pramudia et al., 2024), serta model hubungan luas tanam dengan luas panen.

1. Model Peringatan Dini Banjir dan Kekeringan

Beberapa saintis sudah melakukan penelitian yang tujuannya untuk memodelkan sistem peringatan dini banjir berbasis naik turunnya ketinggian air (Natividad & Mendez, 2020; Nduru et al., 2022; Sarmidi & Rahmat, 2019). Natividad dan Mendez (2020) dengan menggunakan situs web dan/atau layanan pesan singkat untuk memberikan informasi terkait deteksi tinggi air dan potensi banjir, baik kepada individu maupun lembaga. Komunikasi bersifat interaktif sehingga dengan kata kunci SMS, masyarakat dapat mengetahui informasi kondisi air dan banjir. Sistem peringatan dini banjir yang dibangun oleh Nduru et al. (2022) berbasis *internet of things* (IoT). Menggunakan aplikasi yang dapat dimonitor dari jarak jauh, dapat diketahui tinggi dan debit air yang dapat diinformasikan ke masyarakat. Sebelumnya, Sarmidi dan Rahmat (2019) telah melakukan hal yang sama, yaitu meneliti ketinggian air dengan menggunakan sensor ultrasonik dengan menggunakan mikrokontroler Arduino Uno. Sistem peringatan dini banjir

hortikultura bertujuan juga untuk memberi informasi mengenai kemungkinan banjir, tetapi kaitannya lebih pada kemungkinan banjir di lingkungan tanaman.

Deteksi dini untuk banjir biasanya dianalisis dengan menggunakan model matematika tertentu yang bermaksud untuk mendeteksi tren dan pola potensi banjir. Harapan dikembangkannya model ini adalah untuk memberi tahu petani tindakan yang harus dilakukan untuk mengantisipasi kemungkinan terjadinya banjir yang dapat mengurangi produksi mereka. Beberapa aksi dapat dilakukan petani untuk melindungi kerusakan tanaman dari banjir, seperti memperbaiki drainase di areal pertanaman, memperbaiki saluran, dan lain-lain. Namun, pertimbangan kondisi lokal, seperti topografi, jenis tanah dan sebagainya dapat memengaruhi luasan tanaman yang terkena banjir di suatu wilayah tertentu.

Sistem peringatan dini kekeringan sudah pernah dikemukakan beberapa saintis (Kemper, 2022; Sutanto et al., 2020; Laksono & Surgiyatna, 2020). Untuk menyusun peringatan dini kekeringan, Kemper (2022) membentuk *database* dengan menggunakan data iklim, pengindraan jauh (*remote sensing*), dan data sosial ekonomi. Sutanto et al. (2020) menyatakan bahwa penerapan metode pembelajaran mesin (*machine learning*) dapat digunakan untuk mempelajari prediksi dampak kekeringan sebagai bagian dari sistem peringatan dini kekeringan. Menurut mereka, sistem peringatan dini yang ada cenderung lebih fokus pada ancaman kekeringan daripada dampaknya. Sementara itu, Laksono dan Surgiyatna (2020) merancang sistem peringatan dini kekeringan berbasis *internet of things* (IoT) dengan memanfaatkan sistem pengukur curah hujan sebagai alat deteksi dini kekeringan. Potensi kekeringan pada pertanian diwujudkan dalam bentuk notifikasi dari alat ukur. Sistem peringatan yang menyampaikan informasi potensi kekeringan akan bermanfaat untuk memprakirakan dampak kekeringan di sekitar lingkungan pertanaman.

Informasi potensi kekeringan akan bermanfaat untuk meningkatkan kewaspadaan petani dan mempersiapkan petani menyiapkan langkah aksi yang harus diambil sehingga risiko kekeringan yang

berpengaruh terhadap produktivitas tanaman dapat diantisipasi atau diminimalisasi. Selain disampaikan ke petani, potensi kekeringan ini sebaiknya dapat tersampaikan ke pihak pemerintah dan juga pengelola sumber daya air sehingga pengaturan irigasi yang efisien dapat dilakukan.

Untuk melihat respons tanaman terhadap kekeringan perlu dibuat model hubungan antara tanaman dengan unsur-unsur iklim yang memberikan efek cukup besar terhadap kemungkinan terjadinya kekeringan di sekitar lokasi pertanaman. Dengan model tersebut diharapkan dapat memprakirakan dampak kekeringan di antaranya terhadap produksi tanaman. Model disusun dengan melihat korelasi antara unsur-unsur iklim terutama curah hujan dalam kaitan ketersediaan air untuk tanaman. Kekeringan tanaman biasanya terjadi karena curah hujan rendah dan ketersediaan air dalam tanah (kelengasan/kelembapan dalam tanah juga rendah) sehingga kebutuhan air tanaman tidak tercukupi, yang pada akhirnya mengganggu pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Cabai merupakan tanaman yang cukup banyak membutuhkan air sehingga irigasi sangat perlu diperhatikan, supaya produksi tidak menurun. Di samping itu, pada kondisi air kurang tersedia bagi tanaman menyebabkan tanaman kesulitan dalam menyerap hara/nutrisi yang dibutuhkan tanaman. Hubungan antara curah hujan dan kekeringan dapat berbeda-beda pada wilayah yang berbeda karena karakteristik iklim yang berbeda. Demikian pula dengan suhu udara, pada wilayah yang suhunya lebih tinggi, kemungkinan terjadi kekeringan pada tanaman bisa lebih cepat karena penguapan air dan tanah lebih cepat daripada tingkat penyediaan air untuk tanaman, di samping fungsi akar tanaman yang mungkin terganggu karena air sulit untuk diserap.

2. Model Peringatan Dini OPT

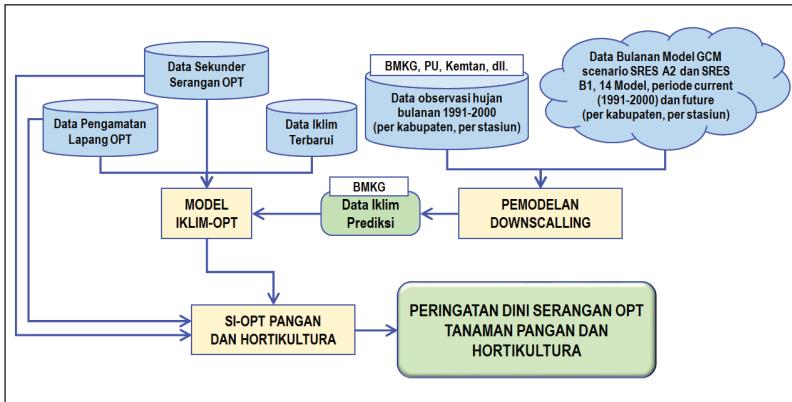
Kementerian Pertanian melalui Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian pernah mengembangkan Sistem Informasi OPT Hortikultura. Meledaknya serangan hama penyakit tanaman merupakan kejadian yang mengganggu produksi tanaman. Pada tanaman horti-

kultura khususnya bawang merah serangan hama penyakit tanaman bervariasi menurut waktu, jenis, dan luasannya (Pramudia et al., 2024). Meledaknya serangan hama penyakit tanaman, menunjukkan ada hubungan kuat dengan variabilitas iklim dan perubahan iklim yang terjadi. Ulat bawang merupakan hama utama yang menyerang tanaman bawang merah di Kabupaten Brebes. Berdasarkan data pengamatan tahun 1993–2010. Serangan ulat bawang pada musim kemarau lebih tinggi dibandingkan musim hujan (Susanti, 2018).

Upaya yang dapat dilakukan untuk menekan kehilangan hasil akibat serangan hama penyakit, di antaranya pemantauan terhadap dinamika serangan hama penyakit tanaman, identifikasi faktor-faktor iklim yang berpengaruh terhadap perkembangan dan distribusi serangan hama penyakit tanaman, penelitian membuat model hubungan serangan hama penyakit tanaman dengan parameter iklim, membangun sistem peringatan dini, adanya kelembagaan yang tepat dan akurat, serta penerapan sistem budi daya tanaman yang sehat dan diintegrasikan dalam teknologi pengelolaan hama dan penyakit tanaman secara terpadu. Model peramalan penyakit berdasarkan data cuaca dapat membantu mendeteksi faktor meteorologi (dan periode waktu) yang secara signifikan berkorelasi dengan penyakit. Model empiris, seperti model regresi dengan variabel iklim sebagai prediktor dan parameter epidemik sebagai variabel respons dapat digunakan untuk memprediksi keberhasilan organisme di berbagai kondisi yang diteliti (Garrett et al., 2006; Jeger & Pautasso, 2008). Hubungan antara iklim/dampak perubahan iklim dengan ledakan jenis hama penyakit tanaman banyak yang belum terjawab (Sigvald, 2012) sehingga ini merupakan tantangan yang harus segera dijawab agar dapat membangun model peringatan dini serangan hama penyakit tanaman dengan indikator parameter iklim.

Peringatan dini serangan organisme pengganggu tumbuhan perlu dikembangkan untuk menekan kehilangan hasil panen tanaman akibat serangan OPT di wilayah-wilayah endemik, memberikan informasi kemungkinan daerah yang terkena atau terdampak, melakukan tindakan preventif atau pencegahan dan meminimalisasi penggunaan

pestisida. Gambar 10.1 menyajikan konsep peringatan dini serangan OPT kaitannya dengan indikator iklim yang pernah dan masih memungkinkan dikembangkan di Indonesia.



Sumber: Susanti et al. (2018)

Gambar 10.1 Diagram Alir Peringatan Dini Luas Serangan Hama Penyakit Tanaman

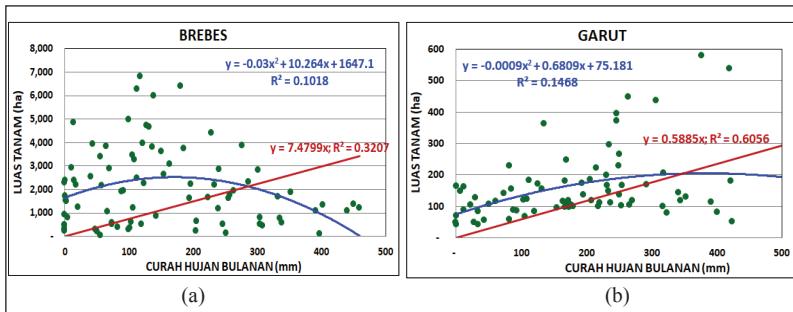
3. Model untuk Estimasi Jadwal Tanam dan Jadwal Panen

Berbagai faktor berperan dan menjadi pertimbangan dalam menentukan jadwal tanam tanaman hortikultura, di antaranya pola curah hujan. Pola curah hujan merupakan fluktuasi dari intensitas curah hujan sebagai fungsi waktu. Banyak komoditas baru ditanam dengan aman jika intensitas curah hujan pada awal tanam mencapai nilai tertentu. Dengan demikian, hubungan antara fluktuasi curah hujan dengan perkembangan luas tambah tanam tanaman hortikultura dapat membantu dalam penentuan jadwal dan pola tanam hortikultura berdasarkan kondisi prediksi curah hujan.

a. Hubungan Curah Hujan dengan Luas Tambah Tanam Bawang Merah

Gambar 10.2 menyajikan sebaran titik hubungan antara curah hujan (sumbu X) dengan luas tambah tanam (sumbu Y) di kecamatan-kecamatan sentra bawang merah di Kabupaten Brebes dan Kabupaten Garut. Kabupaten Brebes merupakan sentra bawang merah yang terletak pada dataran rendah atau pesisir, di mana penanaman bawang merah umumnya dilakukan pada lahan sawah irrigasi, sedangkan Kabupaten Garut merupakan sentra bawang merah yang terletak di dataran tinggi, di mana penanaman bawang merah umumnya dilakukan pada lahan tada hujan atau lahan kering. Terlihat bahwa baik di Kabupaten Brebes maupun di Kabupaten Garut memiliki hubungan positif antara curah hujan bulanan dengan luas tambah tanam. Artinya, secara matematika, peningkatan curah hujan berkorelasi dengan peningkatan luas tanam. Namun, jika memperhatikan lebih cermat sebaran titik-titik data bahwa secara kasat mata terlihat ada pola kuadratik negatif pada kedua grafik tersebut. Hanya saja nilai signifikansi persamaan kuadratik lebih rendah dibandingkan persamaan linear. Ke depan perlu mencari kembali teknik pemodelan yang lebih tepat antara kedua parameter tersebut.

Jika kita memperhatikan persamaan kuadrat dari sebaran titik-titik di kedua kabupaten, terlihat bahwa di Kabupaten Brebes, peningkatan curah hujan berkonotasi dengan peningkatan luas tanam rata-rata hingga pada intensitas curah hujan sebesar 171 mm/bulan, sedangkan di Kabupaten Garut, peningkatan curah hujan berkonotasi dengan peningkatan luas tanam rata-rata hingga pada intensitas curah hujan sebesar 378 mm/bulan. Setelah itu peningkatan curah hujan berkonotasi dengan penurunan luas tanam rata-rata. Secara detail dapat dilihat dalam Gambar 10.2.



Keterangan: X = sumbu horisontal, curah hujan bulanan (mm/bulan);

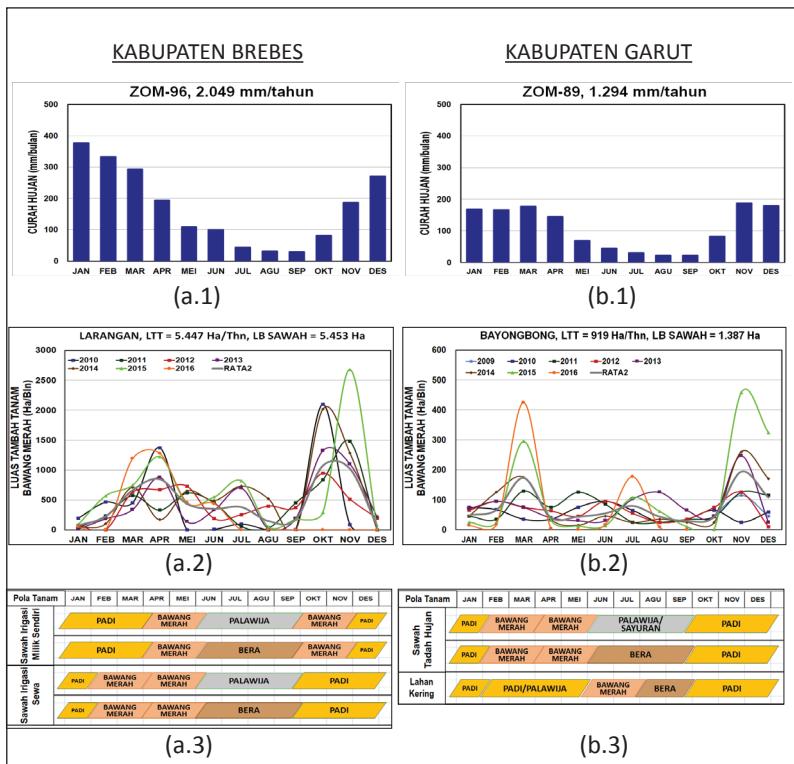
Y = sumbu vertikal, luas tambah tanam (Ha/bulan).

Sumber: Pramudia dan Hilman (2017)

Gambar 10.2 Hubungan Antara Curah Hujan dengan Luas Tambah Tanam Bawang Merah di Kabupaten Brebes (a) dan Kabupaten Garut (b)

b. Pola Curah Hujan, Puncak Tanam, dan Karakteristik Pola Tanam Bawang Merah

Rata-rata curah hujan di sentra bawang merah di Kabupaten Brebes sekitar 2.000 mm/tahun, sedangkan di Kabupaten Garut sekitar 1.250 mm/tahun (Gambar 10.3a.1 dan Gambar 10.3b.1). Data histori luas tambah tanam menggambarkan bahwa puncak tanam bawang merah di Kabupaten Brebes antara Oktober-November-Desember dan April-Mei-Juni. Di Kabupaten Garut puncak tanam bawang merah antara November-Desember-Januari di lahan sawah tada hujan, serta pada Juni di lahan kering (Gambar 10.3a.2 dan Gambar 10.3b.2).



Gambar 10.3 Kondisi Pola Curah Hujan, Perkembangan Luas Tambah Tanam, dan Pola Tanam Bawang Merah di Kabupaten Brebes (a) dan Kabupaten Garut (b)

Pramudia dan Puspitasari (2017) mengemukakan bahwa terdapat enam karakter pola tanam di sentra produksi bawang merah. Di sentra bawang merah Kabupaten Brebes terdapat dua pola pertanaman bawang merah, satu dengan lainnya dibedakan antara petani dengan kepemilikan lahan sendiri dan petani yang menyewa lahan. Pada kedua pola tersebut, bawang merah ditanam di lahan sawah irigasi dengan sistem surjan. Pada petani dengan kepemilikan sendiri menerapkan budi daya bawang merah sebagai tanaman pertama setelah memasuki musim hujan. Setelah panen bawang merah, dilanjutkan

dengan budi daya padi sebagai tanaman kedua. Setelah panen padi, dilanjutkan kembali dengan bawang merah sebagai tanaman ketiga. Tanaman keempat disesuaikan dengan kondisi curah hujan dan ketersediaan air. Jika curah hujan tinggi atau ketersediaan air cukup, petani menerapkan palawija atau sayuran tertentu. Jika curah hujan rendah atau ketersediaan air kurang, petani tidak menerapkan bera. Pada petani yang menyewa lahan umumnya selama setengah tahun, memasuki musim hujan, petani menerapkan budi daya padi sebagai tanaman pertama. Setelah panen padi, dilanjutkan dengan budi daya bawang merah dua kali sebagai tanaman kedua dan ketiga. Tanaman keempat disesuaikan dengan kondisi curah hujan dan ketersediaan air. Jika curah hujan tinggi atau ketersediaan air cukup, petani menerapkan palawija atau sayuran tertentu. Jika curah hujan rendah atau ketersediaan air kurang, petani menerapkan bera (Gambar 10.3.a.3).

Kabupaten Garut, penanaman bawang dilakukan pada lahan tada hujan atau lahan kering. Pola tanam bawang pada lahan sawah tada hujan umumnya berada pada ketinggian antara 400–800 meter di atas permukaan laut, pada lahan sendiri atau sewa dengan periode sewa setengah tahun. Sumber air yang digunakan adalah air irrigasi sederhana yang sumber utamanya adalah dari curah hujan. Sistem pengaturan tata air pada budi daya bawang menggunakan guludan dan parit drainase. Memasuki musim hujan, petani menerapkan budi daya padi sebagai tanaman pertama. Setelah panen padi, dilanjutkan dengan budi daya bawang merah dua kali sebagai tanaman kedua dan ketiga menggunakan varietas yang cocok untuk kondisi di dataran tinggi. Tanaman keempat disesuaikan dengan kondisi curah hujan dan ketersediaan air. Jika curah hujan tinggi atau ketersediaan air cukup, petani menerapkan sayuran berumur pendek. Jika curah hujan rendah atau ketersediaan air kurang, petani menerapkan bera. Pola tanam bawang pada lahan kering umumnya berada pada ketinggian antara 800–1200 meter di atas permukaan laut, pada lahan sendiri atau sewa selama setahun yang sebelumnya dimanfaatkan untuk budi daya padi. Sumber air yang digunakan adalah curah hujan. Memasuki musim hujan, petani menerapkan budi daya padi sebanyak dua kali sebagai

tanaman pertama dan tanaman kedua. Setelah panen padi kedua, dilanjutkan dengan budi daya bawang merah sebagai tanaman ketiga. Sistem pengaturan tata air pada budi daya bawang menggunakan guludan dan parit drainase. Pemilihan bawang merah sebagai tanaman ketiga, karena memiliki nilai ekonomis yang lebih tinggi dibandingkan tanaman sayuran lainnya. Menggunakan varietas bawang merah yang cocok untuk kondisasi di dataran tinggi (Gambar 10.3b.3).

c. Hubungan Jadwal Tanam dengan Jadwal Panen pada Tanaman Bawang Merah

Pramudia dan Hilman (2017) memperlihatkan adanya perbedaan panjang musim tanam bawang merah antara sentra bawang merah di pesisir (Brebes) dan di dataran tinggi (Garut) sebagaimana hasil analisis yang disajikan pada Tabel 10.1. Tabel 10.1 memperlihatkan nilai korelasi antara luas tanam dengan luas panen bawang merah pada bulan yang sama, dan pada bulan-bulan dengan jeda-1, -2, dan -3 bulan. Terlihat bahwa nilai korelasi tertinggi di Brebes terdapat pada lag-2, sedangkan di Garut pada lag-3. Hal ini menunjukkan bahwa umur bawang merah di Kabupaten Brebes umumnya adalah dua bulan, sedangkan umur bawang merah di Garut umumnya adalah tiga bulan. Pernyataan ini menguatkan bahwa umur bawang merah di dataran tinggi, seperti di Garut, cenderung lebih lama dibandingkan yang ditanam di dataran rendah, seperti di Brebes.

Tabel 10.1 Nilai Koefisien Korelasi antara Luas Tanam dan Luas Panen Bawang Merah untuk Bulan yang Sama, Jeda -1, -2, dan -3 Bulan

Parameter	Garut	Brebes
Luas Tanam-Panen lag-0	0,2469	-0,168
Luas Tanam-Panen lag-1	0,2301	0,252
Luas Tanam-Panen lag-2	0,4415	0,643
Luas Tanam-Panen lag-3	0,7317	0,108
Jumlah data (N)	226	216

Sumber: Pramudia dan Hilman (2017)

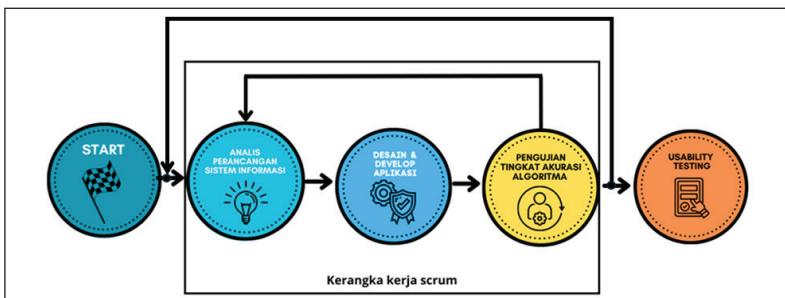
- d. Penyusunan Sistem Peringatan Dini dan Jadwal Tanam Hortikultura berbasis Spasial

1) Pengembangan Aplikasi EWS SIPANTARA

Aplikasi EWS SIPANTARA dikembangkan menggunakan kerangka kerja *agile scrum*, sebagai bagian dari metode *agile software development*, yaitu proses pengembangan yang dilakukan bertahap bagian demi bagian (*incremental*), secara cepat, serta melibatkan berbagai pemangku kepentingan secara langsung (Summerville, 2011). Terdapat tiga tahapan dalam proses pengembangan, yaitu

- 1) analisis perancangan sistem informasi,
- 2) desain dan pengembangan aplikasi, dan
- 3) pengujian tingkat akurasi algoritma.

Semuanya melibatkan multidisiplin anggota Tim Pengembang EWS SIPANTARA, di antaranya analis data Badan Meteorologi dan Geofisika; periset Ilmu Tanah, Agroklimatologi, dan Hidrologi Badan Inovasi dan Riset Nasional; analisis geospasial Badan Informasi Geospasial; fungsional Pengamat OPT Kementerian Pertanian; periset Terapan dari Sekolah Vokasi UNS; serta kepakaran anggota tim lainnya. Tahap pengembangan aplikasi dilengkapi uji coba dan verifikasi penggunaan aplikasi di lapang. Secara sederhana proses pengembangan EWS SIPANTARA disajikan pada Gambar 10.4.



Sumber: Lawong dan Akanfe (2024)

Gambar 10.4 Tahapan Riset dan Pengembangan EWS SIPANTARA

Berikut adalah penjelasan dari Gambar 10.4.

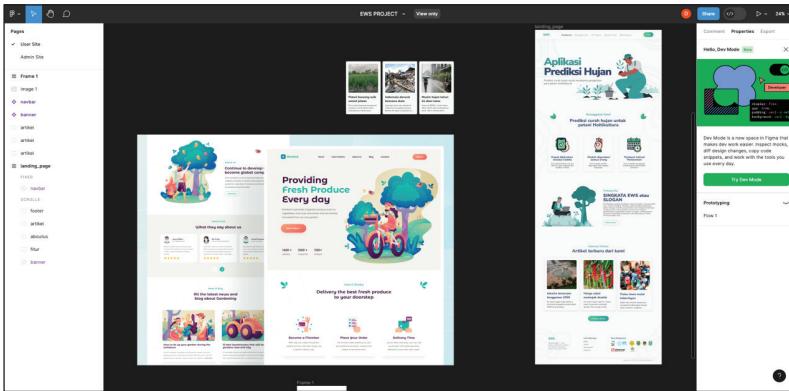
1) Analisis perancangan sistem

Tahapan awal dari perancangan dan pengembangan perangkat lunak adalah analisis kebutuhan. Analisis kebutuhan atau penentuan persyaratan sangat diperlukan (Chastine, 2019) untuk menghindari kesalahan dalam pembangunan perangkat lunak (Davis, 1993; Leffingwell, 1997; Siahaan, 2012; Siahaan & Umami, 2012; Rosiyadi, 2013; Hofmann, 2001). Spesifikasi kebutuhan sebagai bagian dari kebutuhan teknik terutama berurusan dengan bagaimana mengekspresikan kebutuhan secara spesifik, terukur, dapat direalisasikan, dapat dicapai, dan terikat waktu. Ada beberapa teknik dalam elisitasi kebutuhan untuk meningkatkan pemahaman pengetahuan domain, seperti wawancara pengguna, kuesioner, analisis dokumen, dan curah pendapat (*brainstorming*). Dalam pengembangan EWS SIPANTARA, beberapa kebutuhan yang diperlukan dalam sistem, antara lain bahwa sistem diarahkan untuk memanfaatkan informasi prediksi curah hujan dari lembaga berwenang, mampu menyajikan informasi tentang peringatan dini banjir, kekeringan, dan OPT pada tanaman bawang merah dan aneka cabai, dan mampu menyajikan jadwal tanam optimum atau *minimum risk* bagi tanaman bawang merah dan aneka cabai, serta mampu menyajikan informasi secara tabular maupun spasial. Dengan demikian, akan diperlukan model-model hubungan antara parameter curah hujan dengan kejadian dampak perubahan iklim dan OPT yang dipelajari berdasarkan luas kerusakannya, serta model hubungan antara curah hujan dengan jadwal tanam optimum yang dipelajari berdasarkan luas tambah tanam komoditas tersebut.

2) Desain dan pengembangan aplikasi

Tahapan kedua setelah analisis perancangan sistem adalah desain dan pengembangan aplikasi. Desain aplikasi ditujukan untuk membantu dan mempermudah pembuatan maket (*mockup*) aplikasi sebelum dimulai proses pengembangan oleh *programmer*. Dalam pengembangan EWS SIPANTARA desain aplikasi menggunakan *tools* Figma. Pada tahapan ini dimungkinkan adanya coba-coba (*trial and error*)

sehingga dimungkinkan terjadi beberapa kali revisi penggerjaan desain. Tahapan pengembangan dari sisi *programmer* dilakukan setelah hasil maket disajikan pada Gambar 10.5.



Keterangan: Tangkapan layar hasil desain *Tools Figma*

Sumber: Tim EWS SIPANTARA (2023)

Gambar 10.5 Hasil Desain Maket Menggunakan *Tools Figma*

Pengembangan aplikasi EWS SIPANTARA ini menggunakan arsitektur Progressive Web Apps (PWA). PWA sebenarnya hanyalah aplikasi berbasis web biasa, tetapi memanfaatkan fitur peramban yang modern agar tampil seolah-olah merupakan aplikasi asli. PWA digambarkan sebagai kumpulan dari teknologi, konsep desain, dan *web application programming interface* (Web API) yang bekerja secara bersama untuk memberikan sentuhan aplikasi pada sebuah *mobile web* (Rahul, 2016). Hal ini termasuk berbagai rekomendasi yang tidak spesifik pada desain aplikasi web untuk perangkat seluler, seperti preferensi HTTPS melalui HTTP dan desain yang responsif.

3) Pengujian tingkat akurasi algoritma

Pengujian tingkat akurasi algoritma menggunakan pengujian *white box testing*. Teknik pengujian *white box* adalah teknik perancangan uji kasus yang menggunakan struktur kontrol dan perancangan prosedural untuk mendapatkan *test case* (Pressman, 2010). Teknik

pengujian ini merupakan pengujian terhadap cara kerja perangkat lunak itu sendiri, yaitu *basis path* (prosedur programnya) atau proses *looping* (perulangannya) terhadap permasalahan yang cukup banyak (Khan, 2011), menggunakan proses *independent path*, menghitung *cyclomatic complexity* dan *graph matrices* (Syaikhuddin, 2018).

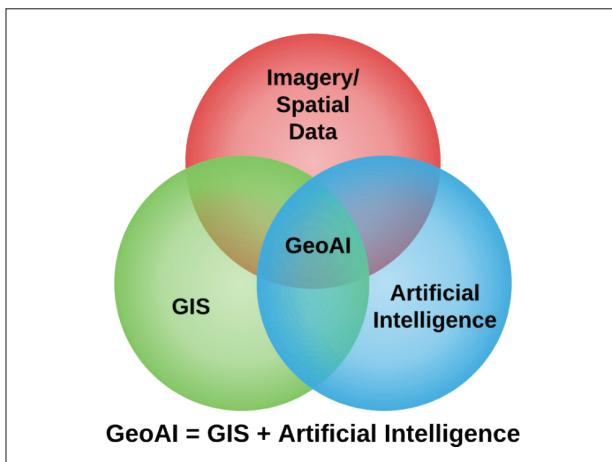
4) *Usability testing*

Usability berasal dari kata *usable* yang dalam pengertian secara umum berarti dapat digunakan dengan baik, dengan cara meminimalkan berbagai kegagalan dan kekurangan sehingga dapat meningkatkan kepuasan pengguna. McCall menyusun tiga bagian utama faktor kualitas, yaitu *product revision*, *product transition*, dan *product operation*, kemudian dibagi lagi menjadi 11 faktor kualitas perangkat lunak di mana faktor-faktor ini menjadi acuan dalam melihat kualitas sebuah produk perangkat lunak. Salah satu faktor yang termasuk di dalamnya, yaitu *usability*, ia mendefinisikan *usability* sebagai faktor di mana sebuah perangkat lunak harus dapat digunakan dengan mudah oleh penggunanya. Nielsen (McCall et al., 1977) mendefinisikan bahwa *usability* adalah suatu tolak ukur sebuah kualitas yang mengkaji serta mengukur seberapa mudah tampilan (*interface*) digunakan oleh pengguna.

2) Penerapan Geospatial Artificial Intelligence (GeoAI) dalam EWS SIPANTARA

Geospatial artificial intelligence (GeoAI) adalah teknologi yang menggabungkan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*, AI) dengan teknologi geospasial. GeoAI mengintegrasikan data geografis dan geospasial dengan metode AI untuk memahami, menganalisis, dan membuat keputusan berdasarkan informasi yang terkait dengan lokasi atau spasial (Döllner, 2020). Pengertian GeoAI mencakup berbagai teknologi AI, seperti *machine learning*, *deep learning*, *neural networks*, dan algoritma kecerdasan buatan lainnya, yang digunakan untuk memproses dan menganalisis data geospasial dalam skala besar dan kompleks (Moisa et al., 2022). GeoAI memungkinkan sistem kompu-

ter untuk mengenali pola dan relasi dalam data spasial, seperti citra satelit, peta, data sensor, dan data geografis lainnya (Song et al., 2023).

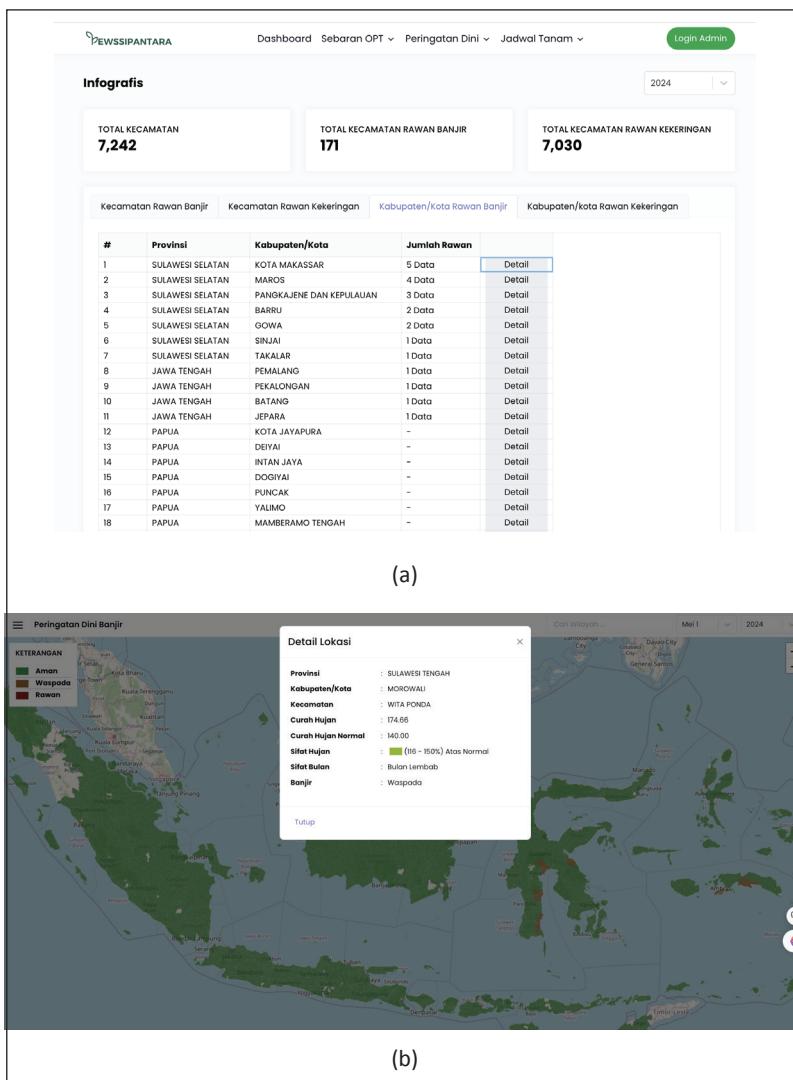


Sumber: Farda (2020)

Gambar 10.6 Geographical/Geospatial Artificial Intelligence (GeoAI)

Terdapat beberapa *artificial intelligence* dan turunannya yang digunakan pada EWS SIPANTARA, salah satunya adalah penerapan *geospatial artificial intelligence* (GeoAI) untuk prediksi curah hujan dalam bidang pertanian. Prediksi curah hujan digunakan untuk mitigasi banjir dan kekeringan pada lahan pertanian cabai dan bawang di seluruh Indonesia. *Machine learning* telah kita latih untuk memahami pola curah hujan selama sepuluh tahun terakhir hasil yang didapatkan adalah sistem dapat menghasilkan keluaran data prediksi kecamatan yang rawan banjir dan kekeringan di Indonesia.

Data hasil keluaran *machine learning* selanjutnya diintegrasikan dalam peta spasial *geographic information system*, pada aplikasi ini kami menggunakan pemetaan dari *platform open street map*, *api google*, dan *platform windy*. Hasilnya aplikasi dapat menampilkan informasi peta sesuai legenda warna yang sumber datanya adalah data curah hujan yang bersumber dari BMKG.



Keterangan: Tangkapan layar aplikasi EWS SIPANTARA (a) dalam bentuk tabular; (b) dalam bentuk spasial.

Sumber: Tim EWS SIPANTARA (2023)

Gambar 10.7 Penyajian Informasi Hasil Terapan Kecerdasan Buatan dalam EWS SIPANTARA

D. Aplikasi EWS SIPANTARA dan Pemanfaatannya untuk Sektor Hortikultura.

Sistem Peringatan Dini (*Early Warning System*) Perlindungan Hortikultura dan Pengelolaan Tanam Komoditas Strategis (EWS SIPANTARA) adalah suatu sistem informasi yang berfungsi untuk peringatan dini dampak perubahan iklim (banjir, kekeringan), potensi serangan OPT, serta alat bantu yang menginformasikan jadwal tanam bawang merah, cabai merah, dan cabai rawit, disajikan secara tabular maupun secara spasial dalam bantuk peta, mencakup wilayah sentra tanaman hortikultura dan wilayah potensial pengembangannya. Informasi yang disajikan di dalam alat bantu ini di antaranya data luas terkena banjir, kekeringan, dan OPT bawang merah, cabai merah dan cabai rawit, data potensi kerawanan banjir, kekeringan, dan OPT, informasi potensi jadwal tanam untuk ketiga komoditas tersebut, serta ditambah informasi berita aktual popular lainnya, sebagaimana disajikan pada Gambar 10.7 hingga Gambar 10.10. Keunggulan EWS SIPANTARA, di antaranya

- 1) memberikan informasi prediksi iklim yang akurat dan terkini: kekeringan dan kebanjiran 3–5 bulan ke depan berbasis geospasial di 514 kabupaten/kota dan 7.242 kecamatan;
- 2) memberikan informasi jadwal tanam potensial yang tepat, berbasis geospasial sampai ke level kecamatan khususnya untuk komoditas aneka cabai dan bawang merah; dan
- 3) memberikan informasi lima besar OPT dominan pada komoditas aneka cabai dan bawang merah untuk memandu langkah antisipasi dan mitigasi di lapangan sesegera mungkin.



Keterangan: Tangkapan layar aplikasi EWS SIPANTARA

Sumber: Tim EWS SIPANTARA (2023)

Gambar 10.8 Halaman Depan Situs Web EWS SIPANTARA

#	PROVINSI	Kabupaten/Kota	Kecamatan	Curah hujan optimal untuk cabai merah adalah 100-200mm/bulan	
				Cabai Besar	Cabai Rawit
1	SUMATERA BARAT	PADANG PARIAHAN	2 X 11 ANAM UNGKUANG		
2	SUMATERA BARAT	PADANG PARIAHAN	2 X 11 ANAM UNGKUANG		
3	SUMATERA BARAT	PADANG PARIAHAN	2 X 11 ANAM UNGKUANG		
4	BAU				
5	SULAWESI				
6	PAPUA				
7	PAPUA				
8	BAU				
9	PAPUA				
10	SULAWESI				
11	PAPUA Barat				
12	LAMPUNG	LAMPUNG UTARA	ABUNO BARAT		
13	LAMPUNG	LAMPUNG UTARA	ABUNO KUNANO		
14	LAMPUNG	LAMPUNG UTARA	ABUNO PEKURUN		
15	LAMPUNG	LAMPUNG UTARA	ABUNO SELATAN		

Halaman 1 dari 483 15 Data < Prev Next >

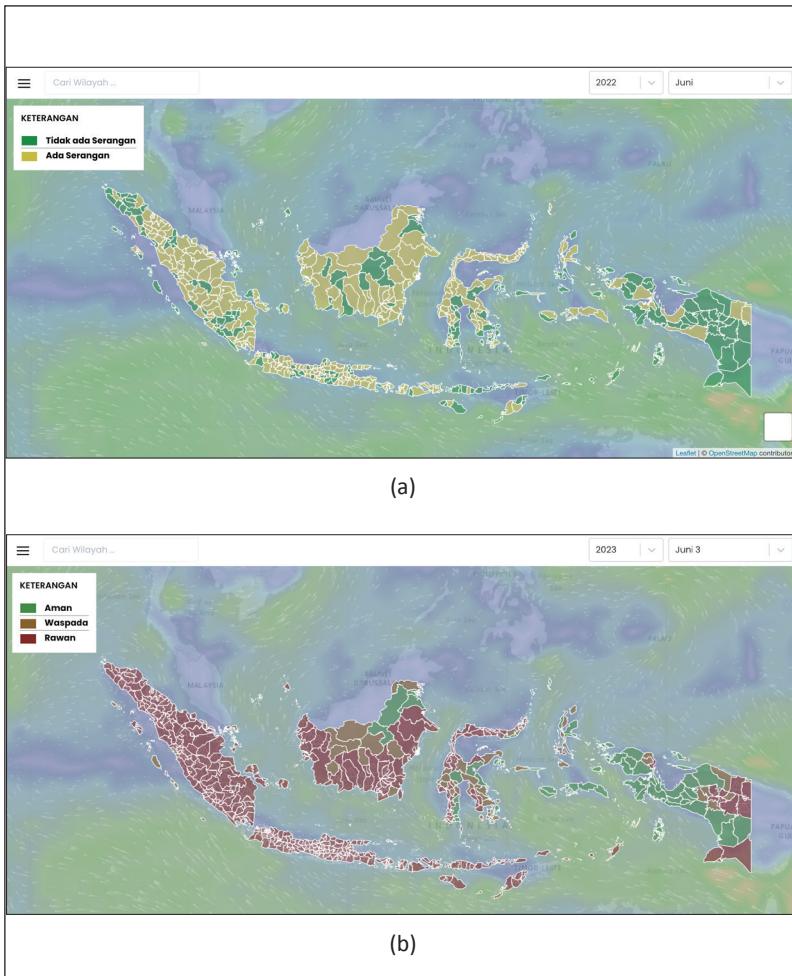
Main Menu
Direktorat Jenderal Hortikultura
BPS RI

© 2023 EWS. All rights reserved.

Keterangan: Tangkapan layar aplikasi EWS SIPANTARA

Sumber: Tim EWS SIPANTARA (2023)

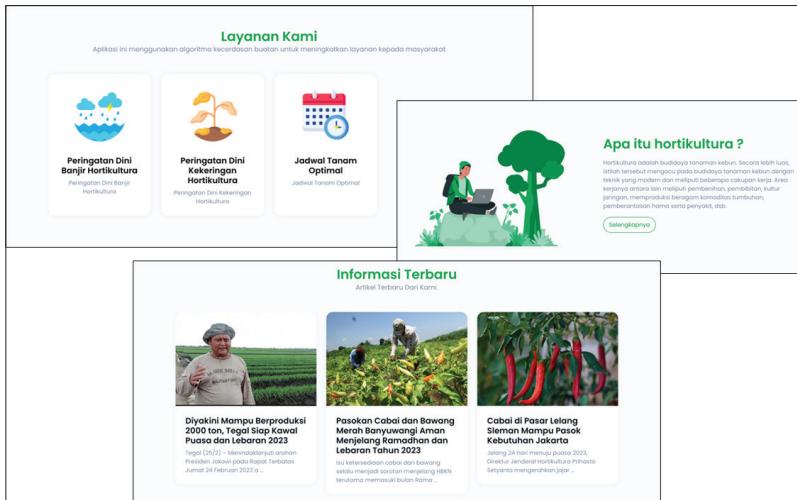
Gambar 10.9 Fitur Penyajian Informasi Potensi Jadwal Tanam Bawang Merah



Keterangan: Tangkapan layar aplikasi EWS SIPANTARA (a) dan potensi kekeringan; (b) level kabupaten di seluruh Indonesia.

Sumber: Tim EWS SIPANTARA (2023)

Gambar 10.10 Fitur Penyajian Informasi Spasial Serangan OPT



Keterangan: Tangkapan layar aplikasi EWS SIPANTARA

Sumber: Tim EWS SIPANTARA (2023)

Gambar 10.11 Beberapa Fitur Tambahan pada EWS SIPANTARA

E. Penutup

Penyusunan dan pengembangan EWS SIPANTARA sudah berjalan lebih dari dua tahun. Sejauh ini sudah tersusun modul untuk peringatan dini banjir dan kekeringan tanaman hortikultura, khususnya di sentra produksi tanaman hortikultura. Beberapa penunjang keputusan diterapkan dengan memanfaatkan hubungan antara parameter dari hasil-hasil riset yang sudah ada. Saat ini sedang dilakukan pengembangan dalam hal informasi potensi jadwal tanam bawang merah, cabai merah, dan cabai rawit, serta pembaruan hubungan antarparameter yang digunakan dalam pembuat keputusan untuk peringatan dini dan jadwal tanam. Ke depannya, diharapkan informasi yang disajikan di dalam sistem informasi ini dapat divalidasi di lapangan dan mendapat dukungan analisis ilmiah dan pendanaan yang memadai.

Referensi

- Aldrian, E. (2016). Sistem peringatan dini menghadapi iklim ekstrem. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 10(2), 79–90.
- BPS. (2018). *Statistik Indonesia 2018*. Badan Pusat Statistik.
- Davis, A. M. (1993). *Software requirements: objects, functions, and states*. Prentice-Hall, Inc.
- Döllner, J. (2020). Geospatial artificial intelligence: Potentials of machine learning for 3D point clouds and geospatial digital twins. *PFG – Journal of Photogrammetry Remote Sensing and Geoinformation Science*, 88(1), 15–24. <https://doi.org/10.1007/s41064-020-00102-3>
- Garrett, K. A., Dendy, S. P., Frank, E. E., Rouse, M. N., & Travers, S. E. (2006). Climate change effects on plant disease: genomes to ecosystems. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 44(1), 489–509.
- Hofmann, H. F., & Lehner, F. (2001). Requirements engineering as a success factor in software projects. *IEEE software*, 18(4), 58.
- Jeger, M. J., & Pautasso, M. (2008). Plant disease and global change: The importance of long-term data sets. *New Phytologist*, 177(1), 8–11.
- Kemper, H. (2022). Development of a drought early warning system based on the prediction of agricultural productivity: A data science approach. *GI_Forum*, 1, 58–76. https://doi.org/10.1553/giscience2022_01_s58
- Khan, M. E. (2010). Different forms of software testing techniques for finding errors. *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, 7(3), 24.
- Laksono, S. S., & Nurgiyatna, N. (2020). Sistem pengukur curah hujan sebagai deteksi dini kekeringan pada pertanian berbasis internet of things (IoT). *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, 20(2), 117–121.
- Leffingwell, D. (1997). Calculating the return on investment from more effective requirements management. *American Programmer*, 10(4), 13–16.
- McCall, J. A., Richards, P. K., & Walters, G. F. (1977). *Factors in software quality: Volume I. Concepts and definitions of software quality*. General Electric Company.
- Moisa, M. B., Gabissa, B. T., Hinkosa, L. B., Dejene, I. N., & Gemedo, D. O. (2022). Analysis of land surface temperature using Geospatial technologies in Gida Kiremu, Limu, and Amuru District, Western Ethiopia. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 6, 90–99. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2022.06.002>

- Mubyarto. (1983). *Politik pertanian dan pembangunan pedesaan*. Sinarharapan.
- Natividad, J. G., & Mendez, J. M. (2018). Flood monitoring and early warning system using ultrasonic sensor. Dalam *IOP conference series: Materials science and engineering* (Vol. 325, Article 012020). <https://doi.org/10.1088/1757-899x/325/1/012020>
- Nduru, S., Al Hafiz, A., & Pane, D. H. (2022). Implementasi metode fuzzy berbasis internet of things (IoT) untuk peringatan dini banjir. *Jurnal Sistem Komputer Triguna Dharma (JURSIK TGD)*, 1(1), 26–33.
- Nidhra, S., & Dondeti, J. (2012). Black box and white box testing techniques-a literature review. *International Journal of Embedded Systems and Applications (IJESA)*, 2(2), 29–50.
- Nurdin, S. P., & Si, M. (2011). Antisipasi perubahan iklim untuk keberlanjutan ketahanan pangan. *Jurnal Dialog Kebijakan Publik*, 4, 21–31.
- Pramudia, A., & Y. Hilman, Y. (2017). Hubungan keragaan luas tanam bawang merah dengan pola curah hujan di sentra produksi bawang merah. Dalam *Prosiding seminar nasional adaptasi dan mitigasi perubahan iklim* (717–730). Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber daya Lahan Pertanian.
- Pramudia, A., & Puspitasari. (2017). Karakteristik pola tanam di beberapa sentra produksi sebagai dasar penyusunan kalender tanam bawang merah. Dalam *Prosiding seminar nasional adaptasi dan mitigasi perubahan iklim* (211–220). Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Pramudia, A., Riatma, D. L., Sunusi, M. A., Ripaldi, A., Susanti, E., & Fanggidae, Y. R. (2024). Modeling of climate parameters with planting area and pest attacked area on shallots for the development of early warning systems and horticultural cropping schedules. Dalam *IOP conference series: Earth and environmental science* (Vol. 1314, Article 012023). IOP Publishing.
- Prasetyaningtyas, K. (2021, 30 Agustus). *Prakiraan musim hujan 2021/2022 di Indonesia*. BMKG. <https://www.bmkg.go.id/berita/?p=prakiraan-musim-hujan-tahun-2021-2022-di-indonesia&lang=ID&s=detil>
- Pressman, R. S. (2010). *Rekayasa perangkat lunak*. Andi.
- Raharjana, I. K., Siahaan, D., & Faticah, C. (2019, Juli). User story extraction from online news for software requirements elicitation: A conceptual model. Dalam *2019 16th international joint conference on computer science and software engineering (JCSSE)* (342–347). IEEE.

- Rosyadi, I. (2013). *Analisis dan perancangan sistem informasi persediaan barang dengan menggunakan metode FAST pada CV. Tri Jaya* [Doctoral dissertation]. Universitas Brawijaya.
- Sarmidi, & Rahmat, S. I. (2019). Sistem peringatan dini banjir menggunakan sensor ultrasonik berbasis Arduino Uno. *Jurnal Manajemen dan Teknik Informatika JUMANTAKA*, 03(1), 31–41. <http://jurnal.stmik-dci.ac.id/index.php/jumantaka/>
- Siahaan, D. (2012). *Analisis kebutuhan dalam rekayasa perangkat lunak*. Andi Offset .
- Siahaan, D., & Umami, I. (2012). Natural language processing for detecting forward reference in a document. *IPTEK The Journal for Technology and Science*, 23(4).
- Sigvald, R. (2012). Risk assessments for pests and diseases of field crops, especially forecasting and warning systems. *Reducing the Risks Associated with the Use of Plant Protection Products no 25. Sust. Agric*, 1500, 185–201.
- Sommerville, I. (2003). *Software engineering (rekayasa perangkat lunak)* (Jilid 2). Erlangga.
- Song, Y., Kalacska, M., Gašparović, M., Yao, J., & Najibi, N. (2023). Advances in geocomputation and geospatial artificial intelligence (GeoAI) for mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 120, 103300. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103300>
- Susanti, E., Surmaini, E., & Estiningtyas, W. (2018). Parameter iklim sebagai indikator peringatan dini serangan hama penyakit tanaman. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 12(1), 59–70.
- Sutanto, S. J., Van Der Weert, M., Blaauhut, V., & Van Lanen, H. A. J. (2020). Skill of large-scale seasonal drought impact forecasts. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(6), 1595–1608. <https://doi.org/10.5194/nhess-20-1595-2020>.
- Syaikhuddin, M. M., Anam, C., Rinaldi, A. R., & Conoras, M. E. B. (2018). Conventional software testing using white box method. *Kinetik: Game technology, information system, computer network, computing, electronics, and control*, 5(1), 65–72.
- Tim EWS SIPANTARA. (2023). *Peringatan dini dampak perubahan iklim hortikultura, aplikasi EWS beri peringatan dini mengenai perubahan iklim*. Ditjen Hortikultura. <https://ewssipantara.id/>