

Integrasi Big Data Dan Sistem Informasi Geospasial Untuk Meningkatkan Ketahanan Pangan Di Indonesia

Farid Ade Setiawan^{1)*}, Faqih Septiya Rezkiadi²⁾, Richo Hardiansyah³⁾, Selvi Sekira⁴⁾, Mohammad Rezza Fahlevvi⁵⁾, Ari Apriyansa⁶⁾

^{1,2,3,4,5,6)}Institut Pemerintahan Dalam Negeri, Sumedang, Jawa Barat

Received: 28 June 2025

Accepted: 7 July 2025

Published: 14 July 2025



[*faridade86@gmail.com](mailto:faridade86@gmail.com)

Kata Kunci: Ketahanan Pangan, Geospasial, Big Data

DSI: Jurnal Data Science Indonesia is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0).

Abstrak : Ketahanan pangan merupakan salah satu isu strategis nasional karena menyangkut keberlanjutan pembangunan, stabilitas sosial, dan kedaulatan negara. Kompleksitas permasalahan ketahanan pangan yang mencakup aspek produksi, distribusi, konsumsi, hingga kerentanan akibat perubahan iklim dan geografi menuntut adanya pendekatan multidisipliner dan pemanfaatan teknologi mutakhir. Pendekatan ini diperlukan untuk membangun sistem perencanaan dan tata kelola pangan yang adaptif, berbasis data, serta mampu merespons dinamika secara cepat dan tepat. Artikel ini membahas integrasi Big Data dan Sistem Informasi Geospasial (SIG) sebagai strategi untuk memperkuat sistem informasi dan pengambilan keputusan dalam kebijakan ketahanan pangan di Indonesia. Big Data menawarkan kemampuan analisis data dalam jumlah besar dan real-time, sementara SIG memungkinkan pemetaan spasial terhadap aspek-aspek penting ketahanan pangan seperti lahan pertanian, distribusi logistik, hingga kerawanan pangan. Melalui studi literatur dan analisis kebijakan, artikel ini menemukan bahwa integrasi dua teknologi ini mampu meningkatkan akurasi prediksi produksi pangan, identifikasi wilayah rawan pangan, serta optimalisasi distribusi. Namun, implementasi teknologi ini masih menghadapi tantangan berupa keterbatasan infrastruktur data, kualitas data yang bervariasi, serta kurangnya koordinasi antar lembaga. Diperlukan tata kelola data nasional yang kuat, pelatihan SDM berbasis data science dan geospasial, serta payung regulasi terpadu untuk menjamin interoperabilitas dan keamanan data. Artikel ini merekomendasikan pengembangan rancangan sistem Sistem Informasi Geospasial (SIG) berbasis Big Data yang mampu melakukan prediksi atau peramalan kondisi ketahanan pangan di Indonesia secara spasial-temporal. Usulan sistem ini diharapkan dapat diimplementasikan untuk membantu analisis yang komprehensif bagi para pemangku kepentingan, khususnya pemerintah, dalam merumuskan kebijakan yang tepat, adaptif, dan responsif terhadap dinamika serta tantangan ketahanan pangan nasional.

PENDAHULUAN

Ketahanan pangan merupakan isu strategis global yang semakin mendesak seiring meningkatnya populasi, konflik geopolitik, degradasi lingkungan, serta dampak perubahan iklim. Data dari The State of Food Security and Nutrition in the World menunjukkan bahwa pada tahun 2023 sekitar 735 juta orang di dunia mengalami kelaparan, dan lebih dari 2,3 miliar lainnya menghadapi kerawanan pangan dalam berbagai tingkat[1]. Kondisi ini menuntut negara-negara, khususnya yang sedang berkembang, untuk

menerapkan pendekatan yang lebih adaptif dan berbasis teknologi dalam memastikan ketersediaan, akses, dan stabilitas pangan nasional.

Perkembangan teknologi informasi, khususnya Big Data, telah menjadi instrumen penting dalam mendukung sistem pangan yang tangguh dan efisien. Big Data, dengan karakteristiknya yang mencakup volume besar, kecepatan tinggi, dan variasi data kompleks, mampu menyediakan informasi *real-time* yang relevan dalam pengambilan keputusan kebijakan pangan. Menurut [2], penerapan Big Data dalam sektor pertanian terbukti dapat meningkatkan produktivitas, efisiensi input, serta transparansi rantai pasok. Teknologi ini juga memungkinkan analisis prediktif terhadap potensi gagal panen, fluktuasi harga, hingga distribusi pangan yang tidak merata.

Di Indonesia, isu ketahanan pangan memiliki dimensi yang kompleks. Dengan jumlah penduduk yang mencapai 281,6 juta jiwa pada pertengahan tahun 2024 [3], permintaan terhadap bahan pangan terus meningkat. Pertumbuhan penduduk yang disertai dengan urbanisasi mengubah pola konsumsi dan distribusi pangan nasional. Sementara itu, tantangan produksi seperti keterbatasan lahan, perubahan iklim, dan ketergantungan pada impor untuk komoditas tertentu memperlemah kedaulatan pangan Indonesia. Oleh karena itu, diperlukan strategi pengelolaan pangan yang didasarkan pada informasi yang cepat, akurat, dan terintegrasi. Prevalensi ketidakcukupan konsumsi pangan (PoU) di Indonesia pada tahun 2023 tercatat sebesar 8,53% dari total penduduk, jauh di atas target RPJMN 2020–2024 sebesar 5% [4]. Ketimpangan geografis semakin memperparah situasi. Misalnya, Kabupaten Deiyai di Papua Tengah mencatat angka kerawanan pangan hingga 57,91%, sementara Kabupaten Sumbawa Barat hanya 0,87%. Disparitas ini mencerminkan lemahnya sistem pemantauan dan respon cepat terhadap kondisi lapangan, terutama di wilayah tertinggal, terdepan, dan terluar (3T).

Dalam konteks tata kelola data spasial, Indonesia telah memiliki landasan hukum melalui Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2011 tentang Informasi Geospasial serta Peraturan Presiden Nomor 9 Tahun 2016 tentang Kebijakan Satu Peta. Badan Informasi Geospasial (BIG) bertugas menyusun standar dan platform integrasi data spasial untuk seluruh instansi pemerintah. Sistem ini membuka peluang besar untuk mengintegrasikan data pertanian dan ketahanan pangan dengan pemetaan spasial yang lebih detail dan akurat. Peluncuran Portal One Map Indonesia, sebuah platform digital yang dikembangkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG), bertujuan untuk menyatukan berbagai peta tematik dari kementerian/lembaga ke dalam satu referensi geospasial nasional. Meskipun telah menjadi langkah awal integrasi data spasial lintas sektor, platform ini belum sepenuhnya dioptimalkan untuk mendukung sistem ketahanan pangan, terutama dalam aspek pemetaan produksi, distribusi, dan kerentanan pangan di tingkat daerah. Oleh BIG pada awal 2024 telah menjadi tonggak penting dalam keterbukaan dan integrasi data geospasial. Peta tematik yang tersedia, termasuk peta lahan pertanian dan batas wilayah administrasi, dapat mendukung perencanaan produksi dan distribusi pangan secara lintas sektor. Namun, sejauh ini, pemanfaatan sistem ini dalam sektor pangan masih terbatas dan belum sepenuhnya terintegrasi dengan sistem big data yang ada di kementerian terkait seperti Kementerian Pertanian, BPS, dan Bapanas.

Integrasi antara Big Data dan Sistem Informasi Geospasial (SIG) memungkinkan pendekatan yang lebih komprehensif dalam pengelolaan pangan. Dengan SIG, data spasial seperti lokasi lahan pertanian, curah hujan, atau aksesibilitas infrastruktur dapat dipetakan, sementara Big Data memungkinkan pemrosesan data yang kompleks seperti prediksi cuaca, tren konsumsi, dan volatilitas harga. Menurut [2], sinergi antara keduanya mendukung kebijakan yang berbasis bukti (*evidence-based policy*) dalam skala yang luas dan *real-time*. Ketua Umum ISI periode 2024–2027, Muchammad Masykur mengungkapkan keakuratan informasi geospasial menjadi kunci dalam optimalisasi sumber daya alam, pembangunan infrastruktur, serta perencanaan distribusi logistik, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap pertumbuhan ekonomi dan ketahanan pangan nasional.

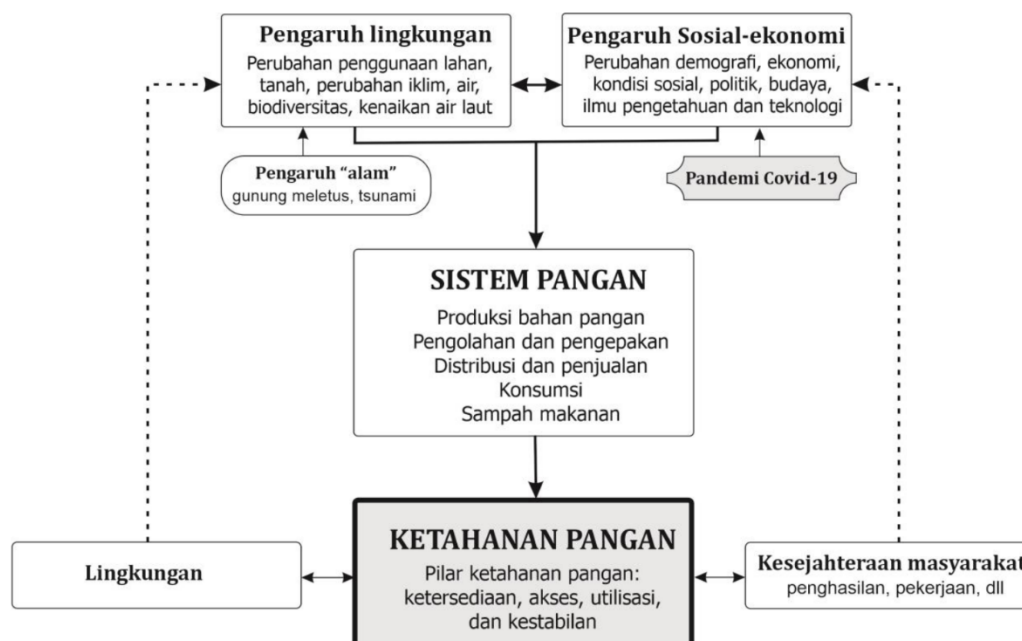
Namun demikian, infrastruktur data di sektor pangan Indonesia masih menghadapi tantangan serius. Data produksi pertanian, seperti yang dilaporkan oleh [3] pada 2024, menunjukkan luas panen padi mencapai 10,05 juta hektar dengan produksi sebesar 52,66 juta ton GKG. Data ini masih berbasis laporan manual dan belum terintegrasi dengan data spasial maupun data cuaca harian, sehingga sulit untuk melakukan analisis spasial mikro atau prediksi otomatis berbasis *machine learning*. Tantangan utama lainnya adalah lemahnya tata kelola data antar lembaga. Fragmentasi data antara BPS, Kementerian Pertanian, dan

Bapanas menimbulkan redundansi dan inkonsistensi data. Belum adanya standar metadata, sistem interoperabilitas, dan jaminan keamanan data menyebabkan potensi Big Data dan SIG belum optimal dimanfaatkan. Literasi digital dan kapasitas sumber daya manusia dalam mengelola dan menganalisis data juga menjadi hambatan tersendiri dalam mengimplementasikan kebijakan pangan berbasis data.

Merujuk pada arah kebijakan dalam Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN) 2025–2045 dan Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2020–2024, transformasi digital di sektor pangan menjadi prioritas strategis. Oleh karena itu, kajian ini bertujuan untuk menganalisis potensi dan tantangan integrasi Big Data dan Sistem Informasi Geospasial (SIG) dalam memperkuat ketahanan pangan nasional, serta merumuskan rekomendasi kebijakan dan desain tata kelola data yang adaptif, terintegrasi, dan berkelanjutan. Analisis dilakukan melalui pendekatan studi literatur dengan metode *Systematic Literature Review* (SLR), yang memungkinkan penelusuran, sintesis, dan evaluasi berbagai temuan ilmiah secara sistematis untuk mendukung validitas rekomendasi kebijakan yang diusulkan.

TINJAUAN LITERATUR

Konsep ketahanan pangan secara resmi didefinisikan oleh FAO [1] sebagai kondisi di mana seluruh individu, setiap saat, memiliki akses fisik, sosial, dan ekonomi terhadap pangan yang cukup, aman, dan bergizi untuk memenuhi kebutuhan gizi dan preferensi pangan mereka guna hidup aktif dan sehat. Ketahanan pangan memiliki empat pilar utama: ketersediaan (*availability*), akses (*access*), pemanfaatan (*utilization*), dan stabilitas (*stability*) [2]. Di Indonesia, prinsip ketahanan pangan diatur dalam Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2012 tentang Pangan, yang menekankan pentingnya kemandirian, keterjangkauan, dan keberlanjutan dalam sistem pangan nasional [3].



Gambar 1 Interaksi sistem pangan dalam ketahanan pangan[4]

Namun, tantangan ketahanan pangan di Indonesia tidak hanya terkait dengan produksi pangan semata, tetapi juga menyangkut distribusi geografis, ketersediaan data spasial, dan ketepatan waktu intervensi kebijakan. Ketahanan pangan tidak dapat dilepaskan dari aspek tata kelola, yang mencakup sistem pemantauan, peringatan dini, dan koordinasi lintas sektor berbasis data [5]. Oleh karena itu, integrasi teknologi informasi modern seperti Big Data dan Sistem Informasi Geospasial sangat relevan untuk menjawab tantangan tersebut.

Big Data merujuk pada kumpulan data berukuran sangat besar dan kompleks yang tidak dapat diolah oleh perangkat lunak tradisional. Karakteristik Big Data dirumuskan dalam konsep "5V": *volume, velocity, variety, veracity, dan value* [6]. Dalam sektor pertanian dan ketahanan pangan, Big Data mencakup data dari berbagai sumber: satelit, sensor cuaca, transaksi pasar, hasil panen, konsumsi masyarakat, hingga media sosial [7]. Data ini digunakan untuk menghasilkan prediksi panen, model cuaca mikro, serta analisis rantai pasok secara *real-time*. [8] menegaskan bahwa penggunaan Big Data dapat mengubah sistem pertanian menjadi lebih presisi dan efisien, memungkinkan pengambilan keputusan yang cepat berbasis data. Di Indonesia, penerapan Big Data masih dalam tahap awal dan banyak bergantung pada kolaborasi antara lembaga pemerintah, BUMN, dan startup pertanian digital. Tantangan utama yang muncul adalah keterbatasan infrastruktur data, disparitas kemampuan SDM, serta kurangnya integrasi antar sistem informasi sektoral.

Sistem Informasi Geospasial (SIG) adalah sistem berbasis komputer yang digunakan untuk menangkap, menyimpan, memeriksa, dan menampilkan data yang berhubungan dengan posisi geografis di permukaan bumi [9]. Dalam konteks ketahanan pangan, SIG sangat berguna untuk memetakan lahan pertanian, daerah rawan pangan, distribusi logistik, serta perubahan penggunaan lahan secara spasial dan temporal [10]. SIG menjadi tulang punggung dalam kebijakan "Satu Peta" (*One Map Policy*) di Indonesia, yang diperkuat melalui Peraturan Presiden No. 9 Tahun 2016 [11].

Penerapan SIG dalam kebijakan pangan memungkinkan analisis spasial multi-level, dari tingkat nasional hingga lokal. Melalui integrasi data spasial dan statistik, perencanaan intervensi dapat dilakukan secara lebih akurat dan efisien. Selain itu, SIG juga berfungsi dalam sistem peringatan dini terhadap ancaman banjir, kekeringan, atau kegagalan panen di wilayah tertentu [12].

Integrasi Big Data dan SIG menciptakan ekosistem informasi yang cerdas (*smart data ecosystem*) untuk mendukung pengambilan keputusan dalam ketahanan pangan. Big Data menyediakan kedalaman analisis dan kecepatan pemrosesan, sementara SIG menyediakan konteks spasial dan visualisasi lokasi. Menurut [13], integrasi ini menghasilkan "*geospatial big data analytics*", yang mampu mengidentifikasi pola spasial-temporal kerawanan pangan, memprediksi perubahan lingkungan, dan mendukung perencanaan distribusi pangan secara efisien.

Dalam praktiknya, integrasi ini telah digunakan di beberapa negara untuk mendukung ketahanan pangan berkelanjutan, seperti India, Tiongkok, dan Ethiopia [14]. Di Indonesia, inisiatif serupa mulai dikembangkan oleh LAPAN, BIG, dan Kementerian Pertanian, namun masih belum sepenuhnya terintegrasi secara lintas sektor. Fragmentasi data dan minimnya interoperabilitas antar platform menjadi hambatan utama dalam optimalisasi teknologi ini di tingkat nasional.

Tata kelola data dalam konteks ketahanan pangan mencakup prinsip transparansi, aksesibilitas, interoperabilitas, keamanan, dan akuntabilitas. [15] menekankan pentingnya *data governance* dalam transformasi digital sektor publik, termasuk sektor pangan. Dalam konteks Indonesia, prinsip ini mulai diterapkan melalui Sistem Statistik Nasional, Portal Satu Data Indonesia, dan implementasi *One Data Policy* melalui Peraturan Presiden No. 39 Tahun 2019 [16].

Namun demikian, pengelolaan data pangan nasional saat ini masih tersekat dalam silo institusional. BPS, Kementerian Pertanian, dan Bapanas memiliki sistem masing-masing dengan metadata yang berbeda. Kurangnya koordinasi dan keseragaman format menyebabkan rendahnya integrasi data. Untuk itu, pengembangan sistem pangan cerdas berbasis Big Data–SIG perlu didukung oleh kerangka tata kelola data nasional yang kuat, mencakup peran kelembagaan, standar teknis, regulasi, serta SDM yang kompeten di bidang *data science* dan geospasial.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) dengan pendekatan kualitatif deskriptif. Metode SLR dipilih untuk memperoleh pemahaman yang mendalam dan sistematis mengenai integrasi Big Data dan Sistem Informasi Geospasial (SIG) dalam mendukung ketahanan pangan nasional. SLR memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis literatur yang relevan secara metodologis, sehingga menghasilkan landasan ilmiah yang kuat bagi perumusan kebijakan dan

desain sistem informasi pangan berbasis teknologi. Kajian dilakukan terhadap literatur ilmiah, regulasi kebijakan, dan laporan resmi yang terkait dengan tema penelitian.

Proses *Systematic Literature Review* (SLR) dalam penelitian ini mengikuti beberapa tahapan kunci untuk memastikan tinjauan yang komprehensif dan objektif, berdasarkan kerangka kerja yang umumnya diadaptasi dari literatur mengenai SLR dalam penelitian ilmiah, seperti panduan oleh [1] atau [2]:

1. Perencanaan dan Perumusan Pertanyaan Penelitian Tahap awal ini berfokus pada perumusan pertanyaan penelitian yang spesifik dan terukur. Pertanyaan-pertanyaan ini akan memandu seluruh proses pencarian dan analisis literatur, memastikan relevansinya dengan integrasi Big Data dan SIG dalam konteks ketahanan pangan.
2. Penentuan Kriteria Inklusi dan Eksklusi Kriteria yang jelas untuk memasukkan (inklusi) dan mengeluarkan (eksklusi) literatur ditentukan. Ini bisa mencakup jenis publikasi (misalnya, jurnal ilmiah, laporan resmi), tahun publikasi, bahasa, dan relevansi langsung dengan topik penelitian.
3. Strategi Pencarian Literatur Strategi pencarian dirancang menggunakan kombinasi kata kunci (*keywords*) relevan dan operator Boolean (AND, OR, NOT). Pencarian dilakukan di berbagai basis data ilmiah (seperti Scopus, Web of Science, Google Scholar), repositori lembaga pemerintah, dan situs web organisasi terkait untuk mengidentifikasi literatur yang paling relevan.
4. Skrining dan Seleksi Literatur Literatur yang ditemukan kemudian disaring secara bertahap. Skrining awal dilakukan berdasarkan judul dan abstrak untuk menghilangkan duplikasi dan artikel yang tidak relevan. Setelah itu, artikel yang lolos skrining awal dibaca secara lengkap untuk evaluasi lebih lanjut berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan.
5. Ekstraksi Data Data relevan dari literatur yang terpilih diekstraksi secara sistematis. Informasi yang diekstraksi dapat meliputi metodologi yang digunakan, temuan utama, tantangan, peluang, serta studi kasus yang berkaitan dengan implementasi Big Data dan SIG dalam ketahanan pangan.
6. Analisis dan Sintesis Data Data yang telah diekstraksi dianalisis secara kualitatif deskriptif. Analisis ini melibatkan identifikasi tema, pola, dan tren yang muncul dari literatur. Sintesis dilakukan untuk mengintegrasikan temuan dari berbagai sumber, menghasilkan pemahaman mendalam tentang hubungan Big Data, SIG, dan ketahanan pangan.
7. Pelaporan Hasil Tahap akhir adalah penyusunan laporan hasil SLR. Laporan ini menyajikan temuan secara sistematis, mendiskusikan implikasinya, dan merumuskan kesimpulan serta rekomendasi untuk kebijakan atau desain sistem informasi pangan berbasis teknologi.

Data sekunder dalam penelitian ini diperoleh dari:

1. Jurnal ilmiah nasional dan internasional yang relevan dengan topik Big Data, SIG, ketahanan pangan, dan tata kelola data publik, antara lain dari ScienceDirect, Scopus, Google Scholar, dan DOAJ.
2. Dokumen kebijakan dan regulasi, seperti Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2012 tentang Pangan [3], Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2011 tentang Informasi Geospasial [4], Perpres No. 9 Tahun 2016 tentang Kebijakan Satu Peta [5], dan Perpres No. 39 Tahun 2019 tentang Satu Data Indonesia [6].
3. Laporan resmi dari lembaga nasional dan internasional, seperti FAO, BPS, Badan Pangan Nasional (Bapanas), Kementerian Pertanian, Badan Informasi Geospasial (BIG), dan OECD.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui studi dokumen dan literatur digital yang dikumpulkan selama kurun waktu penelitian bulan Juni 2025. Kriteria inklusi data meliputi dokumen yang dipublikasikan dalam lima tahun terakhir (2019–2024), relevan dengan tema integrasi data dan ketahanan pangan, serta dapat diakses secara terbuka atau melalui perpustakaan akademik.

Data yang telah dikumpulkan dianalisis menggunakan teknik analisis isi (*content analysis*) dan sintesis naratif (*narrative synthesis*). Analisis isi dilakukan untuk mengidentifikasi tema-tema utama, seperti konsep ketahanan pangan, peran Big Data, fungsi SIG, serta bentuk integrasi kedua teknologi tersebut dalam praktik kebijakan. Selanjutnya, sintesis naratif digunakan untuk merangkai temuan dari berbagai sumber menjadi suatu pemahaman utuh dan koheren mengenai hubungan antara teknologi informasi dan penguatan sistem pangan nasional.

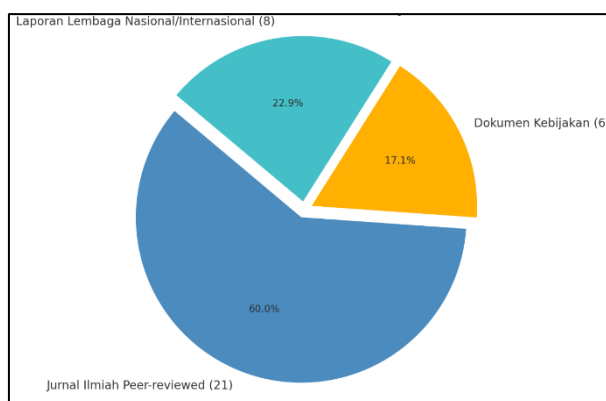
Penelitian ini juga menggunakan pendekatan komparatif terbatas, dengan membandingkan praktik integrasi Big Data–SIG di Indonesia dengan beberapa negara lain yang telah menerapkan sistem serupa, seperti India dan Tiongkok. Hal ini dilakukan untuk memperoleh gambaran kontekstual dan rekomendasi yang lebih aplikatif bagi penguatan kebijakan pangan nasional berbasis data.

Untuk menjamin validitas data, peneliti melakukan triangulasi sumber, yaitu dengan membandingkan informasi dari jurnal akademik, laporan kebijakan, dan sumber data resmi. Selain itu, peneliti memastikan bahwa literatur yang digunakan berasal dari publikasi bereputasi dan telah melalui proses *peer-review*. Keterbatasan utama dalam penelitian ini adalah tidak dilakukannya pengumpulan data lapangan atau wawancara, sehingga hasil analisis lebih bersifat konseptual dan teoritis. Namun demikian, temuan ini tetap relevan untuk dijadikan dasar dalam pengembangan kerangka kebijakan dan penguatan sistem informasi ketahanan pangan berbasis teknologi.

HASIL PENELITIAN

Penelitian ini menghasilkan temuan dari proses kajian pustaka sistematis (*Systematic Literature Review*) terhadap 35 dokumen yang lolos seleksi berdasarkan kriteria inklusi. Dokumen yang dianalisis terdiri dari jurnal ilmiah, regulasi nasional, serta laporan lembaga internasional yang relevan dengan integrasi Big Data, Sistem Informasi Geospasial (SIG), dan ketahanan pangan. Hasil dan pembahasan disusun berdasarkan empat tahapan utama dalam metode SLR berikut:

Proses awal menghasilkan 112 dokumen dari basis data ilmiah dan portal resmi lembaga. Setelah dilakukan seleksi dengan kriteria inklusi (tahun 2019–2024, relevansi topik, akses terbuka, *peer-reviewed*), diperoleh 35 dokumen akhir untuk dianalisis.



Gambar 2. Sebaran Dokumen Dalam Kajian SLR

Tabel 1. Sebaran dokumen berdasarkan jenisnya

<i>Jenis Dokumen</i>	<i>Jumlah</i>	<i>Persentase</i>
<i>Jurnal ilmiah peer-reviewed</i>	21	60%
<i>Dokumen kebijakan (UU, Perpres, Permentan)</i>	6	17%
<i>Laporan lembaga nasional/internasional</i>	8	23%
Total	35	100%

Analisis isi (*content analysis*) menghasilkan 5 tema sentral:

- Urgensi Penguatan Sistem Informasi Pangan Nasional Literatur menunjukkan data pangan Indonesia masih tersebar dan tidak *real-time*. Temuan penting: menurut [1], Kabupaten Asmat dan Lanny Jaya di Papua memiliki indeks kerentanan pangan > 0,75 (sangat rawan); merekomendasikan transformasi digital sebagai solusi penyatuan data pangan nasional.
- Potensi Big Data untuk Ketahanan Pangan Big Data mampu mengolah data pertanian, pasar, dan iklim untuk prediksi krisis pangan: menurut [3], Big Data di Eropa digunakan untuk memprediksi hasil panen berbasis data NDVI (vegetasi) dari satelit; di Indonesia, startup seperti HARA dan eFishery mulai mengadopsi sistem analitik berbasis IoT dan *cloud*.

- c. Peran SIG dalam Perencanaan dan Zonasi Pangan SIG membantu pemetaan spasial pangan (lahan, akses, irigasi): menurut [4], SIG digunakan untuk pemetaan desa rawan pangan di NTB; laporan [5] menyebutkan pengembangan Portal One Map Indonesia mencakup 85 layer data spasial tematik.
- d. Integrasi Big Data dan SIG dalam Sistem Pangan Cerdas Gabungan SIG dan Big Data mendukung *spatial-predictive modeling*. menurut [6], sistem FSEWS mengintegrasikan data harga, curah hujan, dan panen di dasbor interaktif; [7] merancang arsitektur sistem pangan terintegrasi berbasis *cloud* dan *analytics engine*.
- e. Tantangan Tata Kelola dan Infrastruktur: menurut[8], fragmentasi data antar lembaga membuat sistem sulit terhubung; Kendala utama: kurangnya interoperabilitas sistem, infrastruktur sensor di daerah 3T, dan rendahnya kompetensi digital aparat daerah.

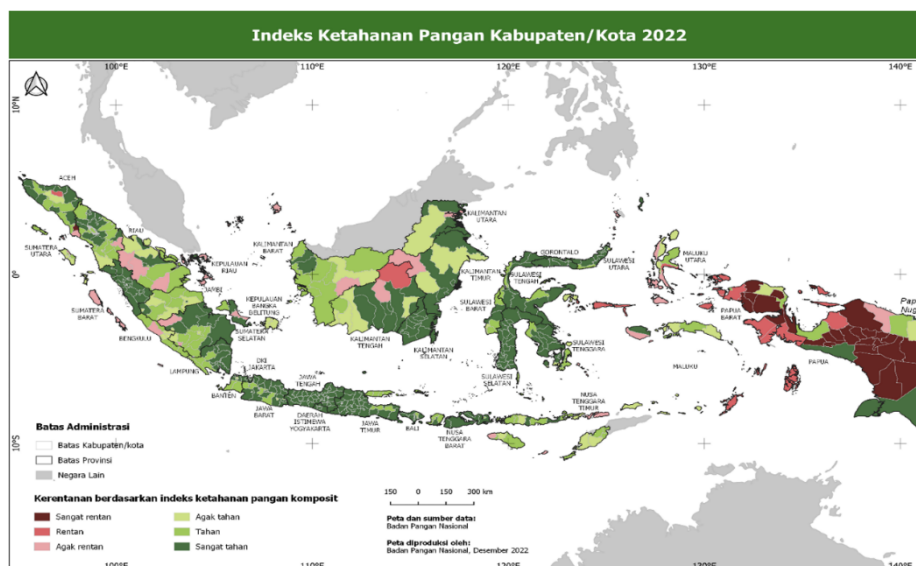
Tabel 2. Sintesis Naratif Temuan

<i>Negara</i>	<i>Teknologi Digunakan</i>	<i>Sistem Nasional</i>	<i>Keterangan</i>
<i>India</i>	Big Data, AI, IoT	<i>AgriStack</i>	Pusat data pertanian digital nasional berbasis cloud
<i>Tiongkok</i>	Satellite imagery + ML	<i>China Agricultural Data Center</i>	Sistem analitik prediktif untuk panen dan logistik
<i>Indonesia</i>	FSEWS (pilot), One Map, eHortikultura	Belum terpadu	Masih terbatas pilot dan belum interoperabel nasional

Sintesis naratif dari hasil kajian literatur menunjukkan adanya perbedaan tingkat kemajuan integrasi teknologi pangan antara Indonesia dan negara-negara lain seperti India dan Tiongkok. India telah mengembangkan sistem nasional bernama *AgriStack*, yaitu platform data pertanian berbasis *cloud* yang mengintegrasikan Big Data, kecerdasan buatan (AI), dan *Internet of Things* (IoT) untuk mendukung kebijakan pertanian secara *real-time*. Tiongkok melalui *China Agricultural Data Center* memanfaatkan citra satelit dan *machine learning* (ML) untuk membangun sistem prediksi hasil panen dan logistik pangan secara nasional. Sebaliknya, Indonesia masih dalam tahap awal, dengan sistem seperti *Food Security Early Warning System* (FSEWS) dan Portal One Map yang masih bersifat *pilot project* dan belum saling terintegrasi antar sektor. Hal ini mencerminkan bahwa Indonesia perlu segera membangun arsitektur data pangan nasional yang terpadu dan adaptif agar mampu menjawab tantangan ketahanan pangan yang kompleks dan dinamis.

Hasil kajian menunjukkan bahwa integrasi Big Data dan Sistem Informasi Geospasial (SIG) memiliki potensi besar dalam memperkuat sistem ketahanan pangan nasional. Big Data dapat menyediakan analisis prediktif terhadap dinamika pangan melalui pemrosesan data cuaca, citra satelit, hasil panen, harga pasar, hingga konsumsi rumah tangga secara *real-time* [3]. Di sisi lain, SIG mampu memberikan konteks spasial yang memperkaya pemahaman terhadap penyebaran produksi, kerawanan pangan, dan distribusi logistik [4]. Implementasi awal dari sistem berbasis integrasi ini dapat dilihat pada program *Food Security Early Warning System* (FSEWS) yang dikembangkan Kementerian Pertanian bersama Bappenas dan LAPAN sejak 2022, meskipun cakupannya masih terbatas pada komoditas utama dan wilayah tertentu[6].

Tabel 1. Indeks Ketahanan Pangan kabupaten dan Kota 2022



Sumber : Badan Pangan Nasional 2022

Menurut laporan [9], hasil perhitungan IKP 2022 memberikan gambaran peringkat pencapaian ketahanan pangan suatu wilayah. Sebanyak 70 kabupaten atau 16,83 persen dari 416 kabupaten memiliki skor IKP yang rendah. Kabupaten Prioritas 1 (sangat rentan) tersebar di Provinsi Papua (19 kabupaten) dan Papua Barat (6 kabupaten). Sedangkan pada wilayah kota ada 4 kota (4 persen) yang memiliki skor IKP rendah, yaitu Kota Subulussalam, Kota Gunung Sitoli, Kota Pagar Alam, dan Kota Tual.

Ditemukan pula bahwa sistem data pangan di Indonesia masih tersebar dan belum terstandarisasi. Perbedaan antara data produksi padi versi BPS dan Kementerian Pertanian dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan adanya disparitas yang signifikan, mencapai selisih 10–15% dari total produksi nasional [10], [11]. Hal ini mencerminkan lemahnya koordinasi dan kesenjangan metodologi antar lembaga. Selain itu, infrastruktur pendukung seperti jaringan internet dan sensor lahan di wilayah 3T masih belum memadai untuk menunjang sistem Big Data secara optimal [2]. Rendahnya literasi digital di kalangan petani dan penyuluh juga memperkuat temuan bahwa sistem informasi pangan belum sepenuhnya memberdayakan pelaku di lapangan [7]. Dengan demikian, meskipun secara teknis integrasi Big Data–SIG sangat potensial, pemanfaatannya masih memerlukan perbaikan dari sisi kelembagaan, SDM, dan regulasi data nasional.

Ketahanan pangan di Indonesia dihadapkan pada tantangan multidimensi, mulai dari perubahan iklim, degradasi lahan, konversi lahan pertanian, hingga ketimpangan distribusi logistik antarwilayah. Kondisi geografis Indonesia yang terdiri dari 17.000 lebih pulau menjadikan sistem informasi pangan yang akurat dan terintegrasi sebagai kebutuhan mendesak dalam pengambilan keputusan yang cepat dan berbasis bukti [12]. Sayangnya, hingga saat ini sistem pelaporan pangan nasional masih bersifat sektoral, bersifat reaktif, dan belum mampu merepresentasikan kondisi di lapangan secara *real-time* [1].

Berdasarkan data Indeks Ketahanan Pangan (IKP) oleh [1], wilayah Indonesia bagian timur seperti Nusa Tenggara Timur, Maluku, dan Papua memiliki skor kerentanan pangan yang lebih tinggi dibandingkan wilayah barat. Hal ini diperkuat laporan [13], yang menempatkan Indonesia pada peringkat ke-63 dari 113 negara dengan skor rendah pada indikator akses dan kualitas pangan. Kondisi tersebut mengindikasikan lemahnya sistem deteksi dini serta ketidaksiapan kelembagaan dalam merespons fluktuasi ketersediaan dan distribusi pangan. Oleh karena itu, diperlukan reformasi sistem informasi pangan dengan pendekatan digital dan spasial yang mampu memetakan serta menghubungkan data produksi, distribusi, dan konsumsi pangan secara terintegrasi.

Big Data memiliki karakteristik volume besar, kecepatan tinggi, dan keragaman data (3V: *volume, velocity, variety*) yang memungkinkan analisis cepat terhadap kompleksitas sistem pangan. Dalam konteks pertanian dan pangan, Big Data dapat mengolah informasi dari sensor lahan, data cuaca, citra satelit, serta sistem distribusi dan transaksi pasar secara *real-time* [14]. Pemrosesan data ini dapat menghasilkan *insight*

untuk meramalkan produksi, mendeteksi potensi gagal panen, dan mengidentifikasi kebutuhan intervensi di wilayah tertentu.

Penelitian [3] menemukan bahwa penerapan Big Data dalam *smart farming* dapat meningkatkan efisiensi penggunaan input produksi hingga 25% dan mengurangi risiko gagal panen melalui prediksi berbasis iklim dan data historis. Di Indonesia, startup seperti eFishery dan TaniHub telah memanfaatkan analitik data untuk mengoptimalkan rantai pasok dan distribusi produk pertanian. Namun, skalabilitas sistem ini masih terbatas pada kawasan tertentu dan belum diintegrasikan dalam sistem ketahanan pangan nasional. Permasalahan utama adalah kurangnya standarisasi data dan keterbatasan konektivitas antarlembaga [2].

Sistem Informasi Geospasial (SIG) memberikan keunggulan dalam penyajian data berbasis lokasi, memungkinkan analisis spasial untuk perencanaan pangan. SIG berfungsi dalam memetakan wilayah-wilayah produksi utama, daerah rawan pangan, jaringan irigasi, hingga rantai distribusi logistik pangan [15]. Dengan SIG, pemerintah dapat melakukan zoning pertanian, alokasi program bantuan, dan penanganan darurat secara lebih tepat sasaran. Badan Informasi Geospasial (BIG) telah mengembangkan Portal One Map Indonesia, sesuai amanat Peraturan Presiden No. 9 Tahun 2016, yang menyatukan peta tematik dari berbagai sektor. Dalam bidang pangan, data spasial ini dapat digunakan untuk memetakan cadangan pangan, distribusi pupuk, dan wilayah rentan gagal panen. Sayangnya, pemanfaatan SIG di tingkat daerah masih minim karena keterbatasan SDM teknis dan belum adanya kewajiban penggunaan data geospasial dalam perencanaan sektor pangan di daerah [4].

Kombinasi Big Data dan SIG memungkinkan pembangunan sistem informasi pangan cerdas (*smart food system*) yang mampu menampilkan dinamika spasial-temporal secara *real-time*. Integrasi ini penting untuk mendeteksi dan memitigasi kerawanan pangan, seperti dengan memadukan data hasil panen, curah hujan, dan harga pangan dalam satu dasbor spasial. Misalnya, integrasi data dari BMKG, BIG, dan Kementerian Pertanian dapat digunakan untuk membangun sistem prediksi hasil panen berbasis iklim dan lokasi. Salah satu model implementasi integrasi ini adalah *Food Security Early Warning System* (FSEWS) yang dikembangkan oleh Kementerian Pertanian sejak 2022. Sistem ini menyajikan dasbor pemantauan harga, ketersediaan, dan distribusi pangan berbasis spasial, namun masih terbatas pada komoditas utama seperti beras dan jagung serta belum terhubung dengan sistem data antar kementerian [6]. Selain itu, keterbatasan penggunaan *cloud computing* dan infrastruktur data menjadi penghambat skalabilitas sistem ke tingkat nasional [16].

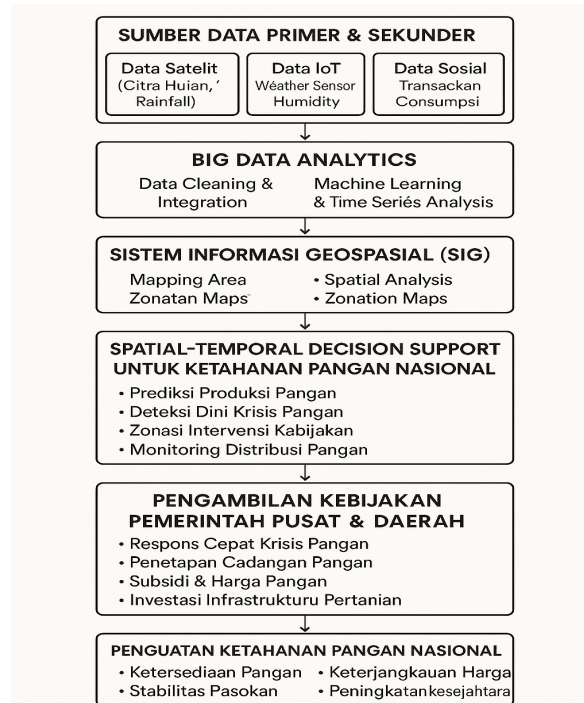
Meskipun potensinya besar, implementasi Big Data dan SIG menghadapi tantangan serius, terutama terkait fragmentasi kelembagaan dan data. Saat ini, data ketahanan pangan tersebar di berbagai instansi seperti BPS, Bapanas, Kementerian Pertanian, dan BIG, masing-masing dengan format dan metodologi pengumpulan yang berbeda. Perbedaan estimasi produksi padi antara BPS dan Kementan hingga 15% dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan belum adanya sistem data tunggal nasional [8].

Keterbatasan infrastruktur digital, khususnya di wilayah 3T (terdepan, terluar, tertinggal), menghambat pengumpulan data *real-time*. Laporan [2] menyebutkan bahwa lebih dari 40% wilayah pertanian di Indonesia belum memiliki jaringan internet stabil. Selain itu, rendahnya literasi digital di kalangan petani dan tenaga teknis daerah menyebabkan rendahnya pemanfaatan teknologi informasi secara optimal dalam pengelolaan pangan [7]. Oleh karena itu, diperlukan penguatan kapasitas SDM dan perluasan infrastruktur digital agar sistem integrasi ini dapat diimplementasikan secara inklusif.

Berdasarkan temuan tersebut, dibutuhkan pengembangan Platform Data Pangan Nasional yang menggabungkan analitik Big Data dengan peta SIG secara terintegrasi. Platform ini dapat menjadi dasar pengambilan keputusan berbasis lokasi dan waktu, serta mendukung sistem peringatan dini dan kebijakan intervensi yang adaptif. Platform serupa telah berhasil diterapkan di India melalui National Remote Sensing Centre (NRSC) dan di Tiongkok melalui China Agriculture Data Network [17]. Reformasi tata kelola data pangan nasional juga perlu dilakukan melalui regulasi yang mendukung integrasi data, seperti implementasi penuh dari [18]. Diperlukan pula penyusunan metadata nasional untuk sektor pangan serta penunjukan badan pengelola tunggal lintas sektor. Kolaborasi antar lembaga, akademisi, dan sektor swasta harus didorong untuk membangun ekosistem data pangan yang terbuka, terstandar, dan mudah diakses.

Pemerintah dapat menjadikan transformasi digital ketahanan pangan sebagai program prioritas nasional dalam RPJMN 2025–2029.

Keterkaitan antara Big Data dan SIG dalam meningkatkan ketahanan pangan di Indonesia



Gambar 4. Grafik keterkaitan integrasi big data & sig terhadap ketahanan pangan

Integrasi Big Data Analytics dan Sistem Informasi Geospasial (SIG) dalam konteks ketahanan pangan nasional memainkan peran strategis dalam menciptakan sistem pengambilan keputusan berbasis data yang adaptif dan presisi. Big Data Analytics menggabungkan berbagai jenis data dari beragam sumber, seperti citra satelit Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), sensor Internet of Things (IoT) yang mengukur kelembaban tanah dan curah hujan, hingga data sosial-ekonomi seperti harga pasar dan pola konsumsi masyarakat. Melalui pendekatan machine learning dan analisis deret waktu, data ini diolah untuk memprediksi produksi pangan, mendeteksi anomali iklim, serta memantau tren pasar pangan secara dinamis dan real-time.

Output dari proses analitik ini kemudian divisualisasikan menggunakan SIG, yang menyajikan informasi spasial dalam bentuk peta tematik, zonasi wilayah rawan pangan, distribusi logistik, dan wilayah intervensi kebijakan. Hasil integrasi ini membentuk suatu sistem pendukung keputusan spasial-temporal atau *Spatial-Temporal Decision Support System*, yang sangat krusial dalam perencanaan dan respon terhadap dinamika ketahanan pangan. Sistem ini memungkinkan prediksi potensi panen maupun risiko gagal panen, memberikan peringatan dini terhadap ancaman kerawanan pangan, membantu penentuan zonasi intervensi kebijakan, serta memfasilitasi pengawasan distribusi pangan antarwilayah.

Pemerintah pusat dan daerah memanfaatkan sistem ini sebagai landasan dalam pengambilan kebijakan yang cepat, tepat, dan terukur. Beberapa tindakan konkret yang dapat diambil meliputi penetapan cadangan pangan strategis, penyaluran subsidi harga untuk menjaga keterjangkauan pangan, intervensi distribusi logistik ke wilayah rawan, serta perencanaan pembangunan infrastruktur pertanian berbasis data spasial. Keseluruhan proses ini diarahkan untuk mencapai tujuan akhir berupa penguatan ketahanan pangan nasional, yang mencakup empat indikator utama: ketersediaan pangan yang memadai, stabilitas harga pangan, pemerataan distribusi pangan, dan peningkatan kesejahteraan petani.

Bukti empiris dari literatur menguatkan keterkaitan antara penggunaan sistem Big Data–SIG dan peningkatan performa ketahanan pangan. Menurut laporan Bapanas (2024), kabupaten yang memiliki peta

kerawanan pangan berbasis SIG cenderung lebih cepat mendapatkan bantuan pangan dibandingkan daerah yang masih bergantung pada laporan manual. Studi oleh Wulandari dan Haryanto (2022) menunjukkan bahwa penerapan SIG di Nusa Tenggara Barat berhasil mengidentifikasi desa-desa rawan pangan secara tepat, sehingga distribusi bantuan dapat dilakukan lebih efektif. Selain itu, laporan FAO (2023) menegaskan bahwa negara-negara yang telah mengintegrasikan Big Data dan SIG dalam sistem pangan nasionalnya mampu memangkas waktu respons terhadap krisis pangan hingga 40%, menunjukkan bahwa teknologi ini bukan hanya efisien secara operasional, tetapi juga vital dalam menjaga ketahanan pangan jangka panjang.

PEMBAHASAN

Rekomendasi ini berfokus pada kerangka kerja dan dukungan kelembagaan yang diperlukan untuk optimalisasi pemanfaatan Big Data dan SIG dalam ketahanan pangan.

Tabel 4. Tabel Rekomendasi Manajerial dan Kebijakan

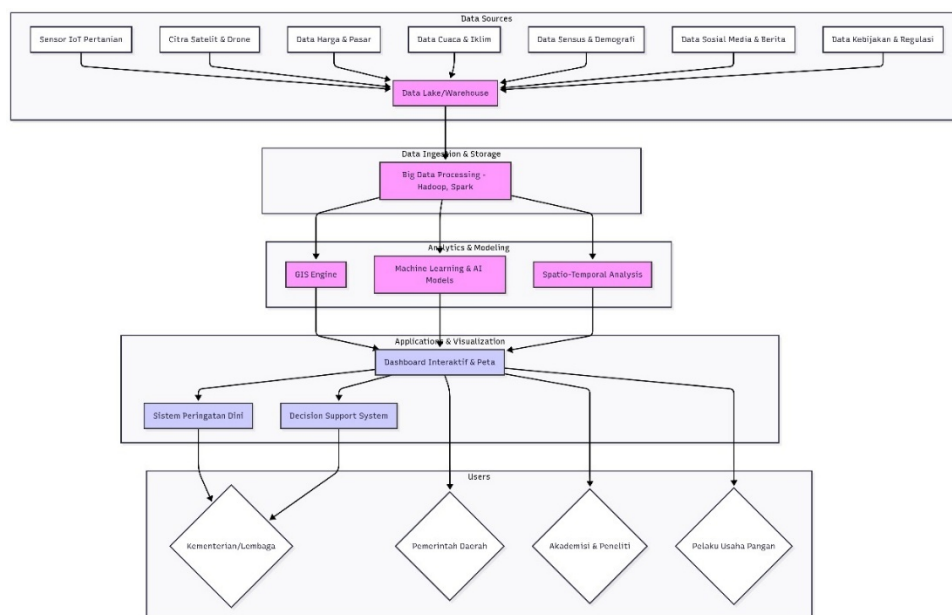
No.	Rekomendasi Manajerial & Kebijakan	Esensi Rekomendasi	Rujukan (Implisit dari Analisis SLR)
1.	Pembentukan Platform Nasional Data Pangan Terpadu	Membangun platform terpusat berbasis Big Data dan SIG yang dapat diakses lintas sektor (kementerian/lembaga, daerah, akademisi, pelaku usaha) sebagai sistem pengambilan keputusan utama untuk stabilitas dan ketahanan pangan.	Kebutuhan akan konsolidasi data dan informasi dari berbagai sumber untuk pengambilan keputusan yang holistik.
2.	Penetapan Kebijakan Data yang Jelas	Mengembangkan kebijakan teknis, hukum, dan keamanan data yang komprehensif untuk platform nasional guna memastikan integritas, interoperabilitas, dan keamanan data pangan.	Pentingnya tata kelola data yang kuat untuk kepercayaan dan efektivitas platform data.
3.	Sinkronisasi dan Harmonisasi Data Antarinstansi	Menerapkan prinsip Satu Data Indonesia dan metadata nasional sektor pangan untuk menyeragamkan format dan standar data, memfasilitasi pertukaran dan integrasi data antarlembaga.	Mengatasi fragmentasi data dan memastikan interoperabilitas antar sistem yang ada.
4.	Investasi Berkelanjutan dalam Infrastruktur Digital	Mengalokasikan anggaran dan sumber daya untuk peningkatan infrastruktur digital yang mendukung Big Data dan SIG, khususnya di daerah rentan pangan.	Fondasi teknologi yang kuat diperlukan untuk pemanfaatan Big Data dan SIG secara efektif.
5.	Peningkatan Literasi Teknologi dan Kapasitas SDM	Menyediakan pelatihan teknis dan program peningkatan kapasitas bagi SDM di pemerintah daerah dan pemangku kepentingan lainnya, khususnya di bidang analisis data dan SIG.	Ketersediaan SDM yang kompeten adalah kunci keberhasilan implementasi teknologi.
6.	Pemberdayaan Pemerintah Daerah dan Kolaborasi Multi-Pihak	Memberdayakan pemerintah daerah melalui penguatan sistem informasi lokal dan mendorong insentif untuk kolaborasi dengan sektor swasta dan perguruan tinggi dalam pengembangan sistem pangan cerdas.	Pendekatan bottom-up dan kemitraan untuk solusi yang relevan dengan konteks lokal.
7.	Pengarahannya Anggaran RPJMN 2025–2029	Mengalokasikan anggaran RPJMN 2025–2029 secara strategis untuk pengembangan sistem informasi pangan cerdas yang proaktif dalam prediksi dan mitigasi risiko, bukan hanya	Pergeseran paradigma dari respons krisis ke pencegahan dan perencanaan jangka

	reaktif terhadap krisis.	panjang.
--	--------------------------	----------

Rekomendasi ini menguraikan fitur dan fungsi yang esensial untuk sistem informasi pangan cerdas yang direkomendasikan. Pengembangan sistem informasi pangan cerdas harus didasarkan pada arsitektur modular dan terdistribusi. Sistem ini harus mampu melakukan: integrasi Data Heterogen: Menggabungkan data spasial dan non-spasial dari berbagai sumber; analisis Spasial Tingkat Lanjut: Menggunakan algoritma SIG untuk analisis pola tanam, identifikasi daerah rawan, dll; prediksi dan Pemodelan Prognostik: Memanfaatkan model prediktif (Machine Learning, Deep Learning) untuk prediksi gagal panen, fluktuasi harga, dll; visualisasi Interaktif: Menyediakan dasbor dan peta interaktif yang intuitif; sistem Peringatan Dini (*Early Warning System*): Mengembangkan mekanisme peringatan otomatis; dukungan Pengambilan Keputusan (*Decision Support System*): Menyediakan rekomendasi berbasis data untuk intervensi.

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas, Gambar 1 di bawah ini mengilustrasikan arsitektur konseptual dari Platform Nasional Data Pangan Terpadu berbasis Big Data dan SIG.

Gambar 5. Arsitektur Konseptual Platform Data Pangan Nasional



Gambar diatas menunjukkan bagaimana data dari berbagai sumber (Sensor IoT, citra satelit, data pasar, cuaca, dll.) diserap ke dalam Data Lake/Warehouse. Data ini kemudian diproses menggunakan teknologi Big Data Processing sebelum dialirkan ke GIS Engine dan Machine Learning/AI Models untuk analisis mendalam. Hasil analisis kemudian divisualisasikan melalui Dasbor Interaktif dan Peta, yang menjadi dasar bagi Sistem Peringatan Dini dan Decision Support System. Seluruh output ini dapat diakses oleh berbagai pengguna.

Temuan dari kajian sistematis ini menegaskan bahwa integrasi Big Data dan SIG memiliki potensi besar untuk menjadi tulang punggung sistem informasi ketahanan pangan nasional. Namun, dari hasil analisis literatur juga terungkap bahwa Indonesia masih menghadapi tantangan serius dalam aspek tata kelola data. Fragmentasi sistem informasi antar lembaga menyebabkan kurangnya interoperabilitas. Hal ini berbeda dengan India yang telah membangun AgriStack, dan Tiongkok yang mengembangkan China Agricultural Data Center.

Oleh karena itu, reformasi tata kelola data pangan nasional menjadi keharusan utama. Langkah awal yang direkomendasikan adalah penyusunan regulasi tentang integrasi sistem informasi pangan, serta penunjukan lembaga pengelola data tunggal. Lebih lanjut, hasil kajian ini merekomendasikan pengembangan platform nasional SIG–Big Data terpadu yang mampu memberikan fungsi prediktif dan sistem peringatan dini.

Jika dirancang secara baik, platform ini tidak hanya akan meningkatkan efisiensi perencanaan pangan, tetapi juga menjadi alat kontrol dan akuntabilitas publik. Akhirnya, implementasi platform ini harus didukung oleh investasi infrastruktur digital, penguatan kapasitas SDM, serta pelibatan aktif semua pemangku kepentingan.

Lebih jauh, integrasi teknologi ini harus diikuti dengan investasi dalam penguatan SDM dan literasi digital. Program pelatihan teknis, pengembangan pusat data di tingkat kabupaten, serta pemanfaatan teknologi IoT dan *remote sensing* secara massal menjadi langkah krusial yang direkomendasikan oleh [16] untuk mewujudkan ketahanan pangan digital di negara-negara Asia Pasifik. Di Indonesia, kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, dan akademisi harus diperkuat untuk mewujudkan sistem pangan cerdas berbasis teknologi yang berkelanjutan dan berkeadilan.

KESIMPULAN

Integrasi Big Data dan Sistem Informasi Geospasial (SIG) terbukti memiliki potensi besar dalam memperkuat sistem ketahanan pangan nasional Indonesia. Teknologi ini mampu menghadirkan informasi spasial-temporal yang akurat dan real-time, sehingga dapat digunakan untuk memprediksi produksi, mendeteksi kerawanan pangan, serta merancang kebijakan distribusi pangan yang lebih tepat sasaran. Hasil kajian menunjukkan bahwa penggunaan teknologi ini mampu meningkatkan efisiensi, mempercepat respons kebijakan, serta memperkaya basis data perencanaan pangan nasional yang sebelumnya bersifat sektoral dan statis. Namun demikian, implementasi integrasi Big Data dan SIG masih menghadapi sejumlah kendala, terutama terkait fragmentasi kelembagaan, rendahnya infrastruktur digital di daerah 3T, serta keterbatasan kapasitas sumber daya manusia di bidang data dan teknologi. Sistem informasi ketahanan pangan yang ideal belum sepenuhnya terbangun karena lemahnya koordinasi lintas sektor dan belum adanya platform nasional terpadu yang menghubungkan seluruh data produksi, distribusi, dan konsumsi pangan. Oleh karena itu, untuk memaksimalkan manfaat dari integrasi teknologi ini, diperlukan upaya menyeluruh dalam perbaikan tata kelola data dan penguatan kelembagaan.

REFERENCES

- [1] Badan Pangan Nasional (Bapanas), *Laporan Indeks Ketahanan Pangan (IKP) Indonesia 2024*. Jakarta, 2024.
- [2] OECD, *OECD Digital Government Review of Indonesia: Towards a Digitally-Driven Public Sector*. Paris: OECD Publishing, 2020.
- [3] A. Kamilaris, A. Fonts, and F. X. Prenafeta-Boldú, "The rise of big data in agriculture," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 143, pp. 102-114, 2017.
- [4] D. Wulandari dan T. Haryanto, "Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis untuk Pemetaan Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan," *Jurnal Geografi*, vol. 19, no. 1, pp. 45-56, 2022.
- [5] Badan Informasi Geospasial (BIG), *Laporan Tahunan 2023: Akselerasi Kebijakan Satu Peta*. Cibinong, 2023.
- [6] Kementerian Pertanian (Kementan), *Laporan Implementasi Food Security Early Warning System (FSEWS) Tahap II*. Jakarta, 2023.
- [7] P. Setyono, "Peran SIG dalam Mitigasi Bencana dan Sistem Peringatan Dini Ketahanan Pangan," *Prosiding Seminar Nasional Geomatika*, pp. 112-120, 2021.
- [8] A. Siregar dan P. Simatupang, "Tata Kelola Ketahanan Pangan di Era Digital: Tantangan dan Peluang," *Jurnal Kebijakan Pangan*, vol. 5, no. 2, pp. 88-102, 2021.
- [9] Badan Pangan Nasional (Bapanas), *Peta Ketahanan dan Kerentanan Pangan (Food Security and Vulnerability Atlas - FSVA) Indonesia 2022*. Jakarta, 2022.
- [10] Badan Pusat Statistik (BPS), *Luas Panen dan Produksi Padi di Indonesia 2022*. Jakarta, 2022.
- [11] Kementerian Pertanian (Kementan), *Laporan Statistik Pertanian 2022*. Jakarta, 2022.
- [12] FAO, IFAD, UNICEF, WFP, and WHO, *The State of Food Security and Nutrition in the World 2023*. Rome: FAO, 2023.
- [13] Economist Impact, *Global Food Security Index 2023*. London, 2023.

- [14] S. Wolfert, L. Ge, C. Verdouw, and M. J. Bogaardt, "Big Data in Smart Farming – A review," *Agricultural Systems*, vol. 153, pp. 69–80, May 2017.
- [15] P. A. Burrough and R. A. McDonnell, *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press, 1998.
- [16] Asian Development Bank (ADB), *Digital Agriculture for Food Security in Asia and the Pacific*. Manila, 2021.
- [17] Y. Zhou, H. Li, and J. Chen, "Big data for food security: A review of applications in China, India, and Ethiopia," *Journal of Cleaner Production*, vol. 225, pp. 789-801, 2019.
- [18] Pemerintah Republik Indonesia, "Peraturan Presiden Nomor 39 Tahun 2019 tentang Satu Data Indonesia," 2019.