

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam sebuah sistem berbasis teknologi informasi, terutama yang diterapkan dalam konteks pengelolaan rantai pasok di sektor agrikultur, peran landasan teori dan kajian penelitian terdahulu sangat penting untuk memperkuat desain dan implementasi sistem yang akan dikembangkan. Penelitian ini mengintegrasikan berbagai teknologi modern seperti Sistem Informasi Geografis (SIG), timbangan pintar, serta komunikasi data *real-time* dan arsitektur *backend* berbasis .NET, yang keseluruhannya memerlukan pemahaman mendalam terhadap literatur yang relevan.

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan salah satu elemen utama yang memungkinkan integrasi data spasial dalam sistem ini. Teknologi ini telah banyak digunakan dalam bidang pertanian dan logistik untuk keperluan pemetaan, analisis lokasi, hingga pelacakan distribusi hasil panen. Dalam konteks penelitian ini, SIG digunakan tidak hanya untuk memetakan lokasi panen dan jalur distribusi, tetapi juga untuk mendukung prinsip *precision farming* melalui pelacakan asal-usul tandan buah segar (TBS) secara spasial.

Selain itu, perkembangan visualisasi data spasial interaktif menjadi penting untuk memberikan pemahaman visual kepada pengguna akhir, terutama dalam pemantauan lokasi truk pengangkut dan status operasional lapangan. Teknologi seperti Leaflet atau Mapbox digunakan untuk membangun antarmuka pengguna yang mampu menampilkan peta, trajektori perjalanan truk, hingga status pengiriman secara *real-time*.

Untuk mendukung komunikasi dan integrasi antar sistem, diperlukan arsitektur *backend* yang tangguh dan *scalable*. Penggunaan *framework* ASP.NET Core dan *database* spasial seperti PostgreSQL dengan ekstensi PostGIS memberikan fleksibilitas dalam menyimpan dan mengelola data spasial dan non-spasial secara bersamaan. Kombinasi ini diperkuat dengan pendekatan *offline-first*

dan *real-time communication* melalui teknologi SignalR, yang menjawab tantangan konektivitas jaringan di area perkebunan yang minim sinyal.

Bab ini akan menguraikan teori-teori dasar terkait komponen sistem yang digunakan, serta meninjau beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan ruang lingkup penelitian. Tinjauan ini bertujuan untuk mengidentifikasi kesenjangan yang ada dan memberikan justifikasi atas pendekatan teknologi yang dipilih dalam pembangunan sistem aplikasi web berbasis SIG ini.

A. Sistem Informasi Geografis (SIG) dalam Perkebunan

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan teknologi yang dirancang untuk mengelola, memvisualisasikan, dan menganalisis data berbasis lokasi atau spasial secara digital. SIG adalah sistem berbasis komputer yang mampu mengintegrasikan data spasial (berbasis lokasi) dengan data atribut (informasi deskriptif), sehingga memungkinkan proses analisis, pemodelan, dan visualisasi informasi geografi secara menyeluruh [4]. Integrasi ini memungkinkan pengguna untuk mengidentifikasi pola, hubungan spasial, serta mendukung proses pengambilan keputusan dalam berbagai konteks, seperti perencanaan wilayah, manajemen sumber daya, pertanian, dan logistik.

Dalam konteks perkebunan, khususnya kelapa sawit, SIG memainkan peran penting dalam membantu pengelolaan kebun secara presisi. Teknologi ini memungkinkan pemetaan yang akurat terhadap elemen-elemen penting di dalam kebun, seperti lokasi pohon, blok, afdeling, jalur distribusi hasil panen, serta infrastruktur pendukung seperti jalan dan parit. Dengan menggunakan SIG, manajemen perkebunan dapat memperoleh informasi spasial dan deskriptif secara bersamaan, misalnya kondisi tanah, kelembapan, curah hujan, hingga status pemupukan dan serangan hama pada titik-titik tertentu di kebun.

Seiring dengan berkembangnya kebutuhan digitalisasi perkebunan dan meningkatnya kompleksitas manajemen lahan, berbagai penelitian mulai mengadopsi SIG untuk tujuan pemantauan dan pengambilan keputusan secara *real-time*. Contoh implementasi nyata dari pendekatan ini dapat ditemukan pada penelitian yang dilakukan oleh Hasanah, dkk. [5], yang secara khusus merancang sistem informasi geografis berbasis web untuk memantau kondisi

pohon kelapa sawit di Perkebunan Sei Rumbia. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa integrasi antara Quantum GIS dan visualisasi berbasis Leaflet mampu menyediakan data spasial *real-time* yang sangat bermanfaat dalam mendukung efisiensi operasional dan pemantauan kesehatan tanaman.

Selain itu, terdapat penelitian oleh Syamsudin [6] yang memanfaatkan SIG untuk pemetaan potensi pertanian dan perencanaan wilayah. Penelitian ini berfokus pada integrasi data spasial seperti jenis tanah, topografi, dan iklim untuk menghasilkan peta tematik yang mendukung penentuan area potensial pertanian. Hasilnya digunakan untuk merancang strategi pemanfaatan lahan yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Sistem Informasi Geografis (SIG) dalam proyek ini merupakan salah satu elemen utama yang memungkinkan integrasi data spasial dalam sistem ini. Teknologi ini telah banyak digunakan dalam bidang pertanian dan logistik untuk keperluan pemetaan, analisis lokasi, hingga pelacakan distribusi hasil panen. Dalam konteks penelitian ini, SIG digunakan tidak hanya untuk memetakan lokasi panen dan jalur distribusi, tetapi juga untuk mendukung prinsip *precision farming* melalui pelacakan asal-usul tandan buah segar (TBS) secara spasial.

B. Visualisasi Spasial Interaktif

Visualisasi data spasial merupakan salah satu komponen penting dalam sistem informasi geografis modern, khususnya dalam aplikasi yang membutuhkan pemantauan kondisi secara *real-time* dan berbasis lokasi. Visualisasi ini memungkinkan data spasial yang kompleks ditampilkan dalam bentuk grafis seperti peta tematik, trajektori, *heatmap*, dan simbolisasi interaktif yang dapat diakses oleh pengguna akhir melalui antarmuka digital. Menurut MacEachren [7], visualisasi geospasial tidak hanya membantu dalam memahami pola distribusi spasial, tetapi juga mendukung eksplorasi dan penemuan informasi baru melalui interaksi visual.

Pentingnya visualisasi spasial dibuktikan dalam penelitian yang dilakukan oleh Kaswandi dan Danar [8] yang mengembangkan visualisasi data

produksi pertanian di Kabupaten Majalengka menggunakan Tableau. Sistem ini menyajikan data dalam bentuk grafik dan peta interaktif, sehingga memudahkan pemangku kebijakan dalam memahami tren produksi, mengidentifikasi potensi masalah, serta mengambil keputusan berbasis data. Penelitian ini membuktikan bahwa visualisasi interaktif tidak hanya menyederhanakan penyajian data yang kompleks, tetapi juga meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam proses analisis pertanian.

Selain itu, studi literatur oleh Septa dan Alfia [9] mengulas secara komprehensif perkembangan visualisasi data dan penerapan SIG dalam berbagai sektor, termasuk pertanian. Kajian tersebut menyoroti bahwa integrasi antara data spasial dan sistem visualisasi mampu meningkatkan kemampuan analitik dalam pengambilan keputusan, terutama ketika digunakan untuk memetakan pola distribusi sumber daya, produktivitas lahan, hingga risiko bencana. Temuan ini memperkuat bahwa visualisasi spasial bukan hanya alat bantu representasi, tetapi juga komponen strategis dalam sistem informasi berbasis lokasi yang adaptif terhadap dinamika di lapangan.

C. **Arsitektur *Backend* dan Komunikasi *Real-Time***

Dalam pengembangan aplikasi web modern, arsitektur *backend* sangat menentukan kelancaran sistem dari sisi logika, penyimpanan data, dan interaksi antar-layanan. Seiring meningkatnya kompleksitas, arsitektur monolitik yang menggabungkan seluruh logika aplikasi dalam satu basis kode mulai menemui batas dalam hal *skalabilitas* dan fleksibilitas *deployment*. Oleh karena itu, paradigma *microservices* menjadi alternatif yang menarik. Seperti dijelaskan oleh Dragoni, dkk. [10], *microservices* memungkinkan setiap layanan (*service*) dikembangkan, di-*deploy*, dan diskalakan secara independen berdasarkan *business capability*, meminimalkan dampak perubahan pada sistem keseluruhan.

Implementasi komunikasi antar layanan dalam arsitektur *microservices* memerlukan pemilihan pola komunikasi yang sesuai dengan karakteristik sistem. Penelitian oleh Kamiński, dkk [11], membandingkan protokol REST,

WebSocket, gRPC, dan GraphQL, dan menemukan bahwa *WebSocket* menawarkan latensi rendah dan *overhead* per pesannya jauh lebih kecil dibandingkan REST khususnya untuk operasi data *real-time* dan volume pesan yang tinggi. Sementara REST memiliki keunggulan dalam *skalabilitas stateless* dan kemudahan *horizontal scaling*, model komunikasi *persistent* seperti *WebSocket* menjadi sangat relevan saat sistem membutuhkan pembaruan lokasi truk secara *real-time*.

Dukungan penelitian lebih lanjut dari *Microservices: Yesterday, Today, and Tomorrow* menunjukkan bahwa *microservice* mensyaratkan pola komunikasi dan *deployment* yang kompleks. Studi ini mengidentifikasi berbagai *communication patterns* seperti REST API, *message queuing*, dan *event-driven architecture*, serta sejumlah tantangan operasional seperti identifikasi batas layanan dan orkestrasi *deployment* [10].

Meskipun arsitektur *microservices* menawarkan skalabilitas dan fleksibilitas, sejumlah studi menunjukkan bahwa pendekatan *monolith* tetap relevan digunakan dalam konteks sistem dengan kompleksitas rendah hingga menengah. Fowler [12] menekankan bahwa *monolith* sering kali lebih efisien untuk tahap awal pengembangan karena proses implementasi dan *debugging* yang lebih sederhana dibandingkan dengan *microservices*. Taibi, dkk [13], turut menyampaikan bahwa arsitektur *monolith* lebih mudah dalam hal orkestrasi dan pengelolaan operasional, khususnya ketika sistem belum memerlukan pemisahan layanan secara *granular*.

Untuk kebutuhan komunikasi *real-time* pada studi yang dilakukan Himschoot [14] menegaskan bahwa SignalR memudahkan integrasi komunikasi *real-time* melalui berbagai protokol seperti *WebSockets*, serta terstruktur dengan baik di dalam ekosistem ASP.NET Core.

Pemilihan arsitektur *backend* dan komunikasi *real-time* yang tepat merupakan fondasi bagi sistem yang andal dan responsif, terutama dalam konteks pemantauan operasional berbasis lokasi secara dinamis. Namun, agar seluruh proses ini berjalan secara efisien, sistem juga memerlukan basis data

yang tidak hanya mampu menyimpan data numerik atau deskriptif, tetapi juga mendukung pengolahan dan analisis data spasial secara langsung.

D. Basis Data Spasial PostgreSQL

Dalam sistem informasi geografis berbasis web, kebutuhan akan pengelolaan data spasial yang efisien, fleksibel, dan terstruktur menjadi sangat penting. Salah satu solusi yang banyak digunakan adalah PostgreSQL, sistem manajemen basis data relasional *open-source* yang telah dilengkapi dengan ekstensi PostGIS untuk mendukung data spasial. PostGIS menambahkan dukungan untuk objek geospasial pada PostgreSQL, memungkinkan pengguna untuk menyimpan, memproses, dan menganalisis data spasial secara langsung dalam basis data.

Beberapa studi membandingkan PostGIS dengan sistem basis data lain. Pietroń [15] melakukan perbandingan kinerja analisis spasial di PostGIS dengan MongoDB, menunjukkan bahwa meski NoSQL unggul dalam beberapa skenario, PostGIS tetap kompetitif pada operasi spasial dasar seperti range dan topological queries, tergantung pola data dan indeks yang digunakan. Nguyen [16] menemukan bahwa pengindeksan menggunakan R-tree-over-GiST secara linear meningkatkan waktu eksekusi spatial queries, namun query tanpa indeks dapat meningkat secara eksponensial saat ukuran basis data besar.

Rese dkk. [17] melakukan penelitian baru mengenai dampak karakteristik dataset dan tipe indeks pada performa PostGIS, khususnya dalam konteks data mobilitas. Hasilnya menjadi panduan praktis dalam memilih strategi indeks dan format penyimpanan data untuk performa optimal.

Dengan kemampuannya dalam menyimpan dan memproses data spasial secara efisien, PostgreSQL yang didukung ekstensi PostGIS telah terbukti menjadi fondasi kuat dalam pengelolaan basis data spasial, terutama untuk kebutuhan aplikasi berbasis web. Kinerja yang kompetitif, dukungan terhadap analisis spasial kompleks, serta fleksibilitas dalam konfigurasi indeks menjadikannya pilihan unggulan dalam banyak studi dan implementasi sistem informasi geografis modern. Namun, penyajian data spasial yang kaya makna

tidak hanya bergantung pada pengelolaan di sisi *backend*, tetapi juga memerlukan antarmuka pengguna (*frontend*) yang interaktif dan responsif.

Berdasarkan kajian terhadap teori dan penelitian terdahulu, dapat disimpulkan bahwa integrasi berbagai teknologi seperti Sistem Informasi Geografis (SIG), visualisasi spasial interaktif, arsitektur *backend modern*, serta basis data spasial berbasis PostgreSQL dan PostGIS merupakan fondasi penting dalam membangun sistem informasi berbasis web yang tangguh dan adaptif terhadap kebutuhan operasional di sektor agrikultur, khususnya perkebunan kelapa sawit. SIG terbukti efektif dalam mendukung *precision farming* dan pelacakan distribusi hasil panen, sementara visualisasi spasial interaktif memperkaya pengalaman pengguna melalui penyajian data yang informatif dan *real-time*. Di sisi lain, arsitektur *backend* berbasis .NET Core dan teknologi komunikasi *real-time* seperti SignalR memungkinkan sistem berfungsi secara andal meskipun berada dalam lingkungan dengan keterbatasan jaringan.

Tabel 2. 1 Komperasi Penelitian

Peneliti	Fokus/Studi Kasus	Temuan Utama	Kesenjangan (<i>gap</i>)	Relevansi pada Penelitian
Hasanah dkk [5]	Pengembangan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk inventarisasi dan pemetaan pohon kelapa sawit secara individual di Perkebunan Sei Rumbia.	SIG efektif untuk melakukan inventarisasi aset kebun secara detail dan visual.	Sistem berfokus pada data aset yang statis dan tidak mengelola data operasional dinamis seperti data timbangan atau pelacakan angkutan.	Memposisikan penelitian ini sebagai langkah selanjutnya dari memetakan aset statis menjadi memantau aset dinamis (hasil panen) yang bergerak di atas peta tersebut.
Syamsudin [6]	Penggunaan umum Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk analisis potensi lahan pertanian dan perencanaan tata guna lahan secara makro.	SIG merupakan alat yang sangat kuat untuk perencanaan strategis di sektor pertanian.	Terbatas pada analisis strategis dan perencanaan, bukan pada manajemen dan pemantauan operasional harian.	Menempatkan penelitian ini dalam spektrum yang lebih luas dari pemanfaatan SIG di pertanian.
Kaswandi & Danar [8]	Pemanfaatan <i>Business Intelligence tools</i> (Tableau) untuk visualisasi data historis	Visualisasi data interaktif secara signifikan	Tidak terintegrasi dengan sistem operasional	Penelitian ini menjadi bukti kuat bahwa visualisasi data adalah hal yang krusial di sektor pertanian

Peneliti	Fokus/Studi Kasus	Temuan Utama	Kesenjangan (<i>gap</i>)	Relevansi pada Penelitian
	produksi pertanian menjadi <i>dashboard</i> interaktif.	mempermudah pemangku kepentingan		
Septa & Alfia [9]	Tinjauan pustaka umum mengenai pemanfaatan Visualisasi Data dan Sistem Informasi Geografis (SIG) dalam berbagai domain.	Visualisasi data spasial secara drastis lebih efektif dalam menyampaikan informasi dibandingkan tabel data mentah	Tidak membahas arsitektur <i>end-to-end</i> dari pengumpulan data di lapangan hingga visualisasi	Memposisikan penelitian sebagai solusi terintegrasi yang mengisi kesenjangan antara analisis SIG tradisional dan kebutuhan pemantauan operasional di lapangan.
Libert, dkk [2]	Implementasi dan evaluasi sistem pengamanan konvensional untuk menekan angka pencurian TBS. Fokus pada prosedur keamanan fisik, patroli, pengawasan pos, dan peran sumber daya manusia (satpam).	Keberhasilan sistem sangat bergantung pada integritas dan kedisiplinan petugas di lapangan.	Sistem sangat rentan terhadap <i>human error</i> dan manipulasi data karena tidak ada pencatatan digital yang objektif.	Penelitian ini memberikan bukti empiris bahwa pencurian TBS adalah masalah nyata dan signifikan yang dihadapi industri perkebunan.

Peneliti	Fokus/Studi Kasus	Temuan Utama	Kesenjangan (<i>gap</i>)	Relevansi pada Penelitian
Kamiński, dkk [11]	Perbandingan antara protokol komunikasi seperti HTTP (<i>request-response</i>) dan <i>WebSocket</i> (<i>full-duplex</i>) untuk aplikasi web modern.	<i>WebSocket</i> unggul dalam menyediakan koneksi <i>persistent</i> dengan latensi rendah, REST sangat andal untuk transfer data standar dan interaksi <i>client-server</i> yang tidak memerlukan pembaruan terus-menerus.	Tidak membahas arsitektur <i>hybrid</i> yang menggabungkan HTTP untuk pengiriman data <i>bulk</i> dan <i>WebSocket</i> untuk pelacakan dalam satu sistem terintegrasi.	Memberikan landasan teoretis yang kuat untuk justifikasi penggunaan SignalR (<i>WebSocket</i>) untuk fitur pelacakan dan REST API untuk pengiriman data transaksi.
Fowler [12]	Prinsip desain arsitektur perangkat lunak yang merekomendasikan untuk memulai pengembangan aplikasi baru dengan arsitektur monolitik	Memulai dengan <i>monolith</i> lebih sederhana dan memungkinkan pengembangan awal yang lebih cepat.	Merupakan prinsip arsitektur tingkat tinggi dan tidak membahas solusi untuk masalah domain spesifik seperti sinkronisasi data <i>offline</i>	Mendukung argumen bahwa penelitian ini memprioritaskan penyelesaian masalah bisnis (transparansi dan pelacakan) daripada mengadopsi

Peneliti	Fokus/Studi Kasus	Temuan Utama	Kesenjangan (<i>gap</i>)	Relevansi pada Penelitian
			atau tantangan konektivitas.	kompleksitas teknologi yang tidak perlu di tahap awal.
Taibi, dkk [13]	Tinjauan sistematis dan pemetaan pola-pola arsitektur yang digunakan dalam <i>microservices</i> , seperti API <i>Gateway</i> , <i>Service Discovery</i> , dan <i>Database per Service</i> .	Implementasi <i>microservices</i> memperkenalkan kompleksitas operasional yang signifikan terkait <i>deployment</i> , pemantauan, dan konsistensi data.	Studi seringkali berfokus pada manfaat <i>microservices</i> tanpa cukup menekankan biaya kompleksitas awal yang harus ditanggung.	Menjadi kontra-argumen yang menunjukkan bahwa meskipun tren mengarah ke <i>microservices</i> , arsitektur monolitik adalah pilihan yang lebih tepat untuk menghindari kompleksitas prematur dalam konteks penelitian ini.
Himschoot [14]	Implementasi teknis aplikasi <i>real-time</i> menggunakan SignalR untuk komunikasi dua arah pada <i>backend</i> .NET, dengan studi kasus pada <i>frontend</i> Blazor.	SignalR secara signifikan menyederhanakan pengembangan fungsionalitas <i>real-time</i> (seperti pelacakan dan	Tidak secara spesifik membahas integrasi dengan <i>frontend</i> selain .NET seperti Next.js	Menguatkan pilihan penggunaan SignalR sebagai teknologi yang matang dan andal untuk fitur pelacakan armada.

Peneliti	Fokus/Studi Kasus	Temuan Utama	Kesenjangan (<i>gap</i>)	Relevansi pada Penelitian
		notifikasi) dalam ekosistem .NET.		
Pietroń [15]	Analisis perbandingan kinerja antara basis data relasional (PostgreSQL dengan ekstensi PostGIS) dan NoSQL dalam menjalankan analisis geospasial.	Basis data relasional dengan ekstensi spasial (PostGIS) menunjukkan kinerja yang sangat baik untuk <i>query</i> geospasial yang kompleks dan menjamin integritas data.	Studi cenderung berfokus pada tolok ukur kinerja umum, bukan pada kasus penggunaan spesifik yang mengintegrasikan data transaksional (data sawit) dengan data geospasial dalam satu sistem operasional.	Memberikan landasan ilmiah yang kuat untuk keputusan menggunakan PostgreSQL dengan PostGIS, yang andal untuk analisis spasial kompleks dan integritas data yang dibutuhkan penelitian ini.

Tinjauan pustaka yang telah dilakukan memberikan fondasi konseptual dan teknis bagi penelitian ini. Studi terdahulu mengenai sistem keamanan fisik di perkebunan mengonfirmasi adanya urgensi masalah terkait kerugian dan kelemahan sistem manual, yang memvalidasi kebutuhan akan solusi digital. Dari sisi arsitektur, pemilihan pendekatan monolitik didasarkan pada prinsip *Monolith First*, yang dijustifikasi sebagai strategi pragmatis untuk mempercepat pengembangan dan menghindari kompleksitas prematur dibandingkan arsitektur *microservices*.

Pemanfaatan arsitektur yang menggabungkan REST API untuk transmisi data dan SignalR untuk pembaruan *real-time*, serta penggunaan PostgreSQL dengan ekstensi PostGIS untuk manajemen data geospasial, terbukti merupakan keputusan desain yang tepat dan efisien.

Meskipun literatur mencakup setiap teknologi ini secara terpisah, teridentifikasi sebuah kesenjangan riset (*research gap*) yang signifikan, yaitu kurangnya sistem terintegrasi yang menggabungkan seluruh kapabilitas ini secara utuh di bidang perkebunan kelapa sawit. Belum ada solusi yang menyatukan pencatatan data dari lapangan, pelacakan pengiriman *real-time*, dan visualisasi geospasial dalam satu alur kerja operasional.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan mengembangkan sebuah aplikasi *web* yang secara lengkap mengintegrasikan pengelolaan data timbangan dan pemantauan angkutan. Dengan demikian, tinjauan pustaka ini menjadi dasar atas desain sistem yang diusulkan dan akan dijabarkan lebih lanjut pada bab berikutnya.