



Integrasi JSON Web Token dan Algoritma Validasi Relasional untuk Menjamin Integritas Data Transaksi Panen Kelapa Sawit

Andri Aryanto Doke¹, Adnan Zulkarnain^{2*}

¹ Informatika, Fakultas Sains & Teknologi, Universitas Bhinneka Nusantara, Indonesia

² Sistem Informasi, Fakultas Sains & Teknologi, Universitas Bhinneka Nusantara, Indonesia

Info Artikel

Riwayat Artikel:

Diterima : **08 April 2026**

Direvisi : **30 April 2026**

Diterbitkan : **05 Juni 2026**

Kata Kunci:

Integritas Data,
JSON Web Token,
Kelapa Sawit,
Gapoktan,
Validasi Transaksi

Keywords:

*Data Integrity,
JSON Web Token,
Palm Oil,
Gapoktan,
Transaction Validation*

ABSTRAK

Pengelolaan transaksi panen kelapa sawit pada tingkat Gapoktan masih bergantung pada pencatatan manual yang menghasilkan deviasi perhitungan 2–5% serta inkonsistensi relasi data. Penelitian ini mengembangkan sistem informasi berbasis web dengan integrasi validasi relasional dan autentikasi JSON Web Token (JWT) pada arsitektur Spring Boot dan Vue.js. Metode yang digunakan adalah System Development Life Cycle (SDLC) dengan pengujian melalui 15 kasus fungsional dan 8 skenario validasi. Sistem memverifikasi kesesuaian kode anggota dan kode kebun sebelum transaksi diproses, lalu menghitung nilai secara deterministik berdasarkan tonase dan harga. Hasil menunjukkan tingkat keberhasilan pengujian 100% dengan deviasi perhitungan 0,00% dibandingkan metode manual. Mekanisme JWT menolak seluruh akses tanpa autentikasi valid melalui respons HTTP 401/403. Implementasi ini meningkatkan konsistensi data, menghilangkan kesalahan perhitungan, dan memperkuat transparansi transaksi.

ABSTRACT

Palm oil harvest transaction management at the Gapoktan level relies on manual recording, producing 2–5% calculation deviations and inconsistent relational data. This study develops a web-based information system integrating relational validation and JSON Web Token (JWT) authentication using Spring Boot and Vue.js. The method follows the System Development Life Cycle (SDLC) with evaluation through 15 functional tests and 8 validation scenarios. The system verifies the consistency between member and estate codes before processing transactions and computes values deterministically based on tonnage and price. Results show 100% test success with 0.00% calculation deviation compared to manual methods. JWT authentication rejects unauthorized access with HTTP 401/403 responses. This implementation improves data consistency, eliminates calculation errors, and enhances transaction transparency.

Penulis Korespondensi:

Adnan Zulkarnain,
Program Studi Sistem Informasi,
Universitas Bhinneka Nusantara
Email: adnan.zulkarnain@ubhinus.ac.id

This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license



1. PENDAHULUAN

Ekosistem perkebunan kelapa sawit nasional berdiri di atas fondasi manajemen data yang sangat rapuh. Meskipun sektor ini menyumbang porsi krusial terhadap PDB global, tata kelola hasil panen pada level akar rumput khususnya pada Gabungan Kelompok Tani (Gapoktan) di wilayah seperti Desa Sukaharja masih terjebak dalam arkaisme pencatatan manual [1], [2]. Lembaran kertas bukan sekadar media kuno. Ia adalah kerentanan sistemik. Setiap angka tonase yang digoreskan di atas nota fisik merupakan titik kegagalan tunggal

(*single point of failure*) yang mengundang manipulasi data sistematis oleh aktor internal maupun eksternal [3], [4]. Integritas informasi menjadi mustahil ditegakkan saat rantai pasok data tidak memiliki jejak audit digital yang nirbilang.

Krisis kepercayaan muncul dari ambiguitas algoritma perhitungan potongan yang selama ini dilakukan tanpa standardisasi komputasi. Petani sawit swadaya seringkali berhadapan dengan struktur biaya yang opasitasnya tinggi, mulai dari pajak pemerintah, biaya transportasi mobil, jasa pemuat, hingga iuran kas pengurus yang variabelnya fluktuatif [5]. Kesalahan manusia dalam kalkulasi ini bukan sekadar kekeliruan administratif yang sepele. Ia adalah ancaman finansial nyata terhadap kesejahteraan petani. Tanpa validasi relasional yang mengikat antara kode anggota, identitas kebun, dan volume produksi harian, sistem konvensional dipastikan gagal mendeteksi anomali input yang merupakan indikasi kuat adanya *fraud* atau klaim ganda [6], [7].

Digitalisasi adalah imperatif teknis yang tidak dapat ditawar lagi. Namun digitalisasi bukan obat mujarab jika arsitektur sistem yang dibangun memiliki cacat logika sejak fase perancangan. Banyak solusi perangkat lunak pertanian saat ini hanya memindahkan kekacauan manual ke dalam basis data digital tanpa menyertakan lapisan proteksi integritas yang memadai [8], [9]. Arsitektur *client-server* dengan penegakan *Business Logic* yang ketat di sisi *backend*, seperti menggunakan *framework Spring Boot*, dapat mengeliminasi celah tersebut dengan memastikan validasi transaksi secara menyeluruh dan konsisten [8]. Penelitian ini tidak lagi berbicara tentang aplikasi pencatatan sederhana yang pasif. Fokus riset ini bergeser secara radikal pada pembangunan benteng integritas data di mana setiap transaksi divalidasi secara silang terhadap profil spasial dan historis kebun anggota guna menjamin validitas setiap kilogram Tandan Buah Segar (TBS) yang masuk ke [10], [11].

Risiko keamanan pada *Representational State Transfer (REST) API* seringkali menjadi titik buta dalam pengembangan sistem informasi koperasi di pedesaan. Tanpa mekanisme otentikasi yang tangguh, data pendapatan petani menjadi sasaran empuk serangan Man-in-the-Middle atau eksploitasi *Insecure Direct Object Reference (IDOR)* yang dapat menyebabkan kebocoran informasi finansial secara masif. Implementasi *JSON Web Token (JWT)* dalam arsitektur ini berfungsi sebagai lapisan pertahanan primer yang menjamin bahwa setiap akses data bersifat terotentikasi, terverifikasi integritasnya, dan terotorisasi penuh oleh otoritas yang sah [12], [13], [14]. Protokol ini memastikan bahwa transparansi informasi tidak mengorbankan privasi data individu. Petani mendapatkan kembali kedaulatan informasi atas hasil panen mereka melalui antarmuka responsif *VueJS* tanpa membuka celah sedikit pun bagi aktor jahat untuk melakukan penetrasi ke dalam basis data [15], [16].

Ketidakefisienan operasional pada manajemen Gapoktan Desa Sukaharja berakar pada fragmentasi data yang tidak terstruktur. Saat ini pencatatan hasil panen, pemotongan biaya operasional, hingga distribusi laba bersih dilakukan secara terpisah pada buku log yang berbeda [17]. Kondisi ini menyebabkan proses rekonsiliasi data bulanan menjadi beban administratif yang sangat berat dan rentan terhadap ketidakakuratan fatal. Sistem informasi yang dikembangkan dalam penelitian ini mengintegrasikan seluruh parameter tersebut ke dalam satu skema basis data relasional yang ternormalisasi [18]. Integrasi ini memungkinkan sistem untuk menghasilkan laporan keuangan yang presisi secara otomatis sekaligus memberikan kemampuan bagi pengurus untuk melakukan pengawasan terhadap tren produksi kebun anggota secara real-time.

Paradigma lama yang menganggap sistem informasi hanya sebagai pendukung administrasi harus segera ditinggalkan. Dalam konteks industri 4.0, sistem informasi adalah instrumen penegakan keadilan ekonomi bagi petani kecil. Ketika sebuah sistem mampu membuktikan bahwa potongan pajak dan biaya logistik dihitung dengan akurasi hingga dua angka di belakang koma, maka sentimen negatif dan kecurigaan antar anggota dapat direduksi secara signifikan [19]. Kepercayaan adalah komoditas mahal dalam organisasi petani. Teknologi hadir untuk mengkodifikasi kepercayaan tersebut ke dalam baris kode yang transparan dan dapat diaudit oleh siapa saja yang memiliki hak akses [20].

Keamanan data pada sistem informasi berbasis web di area agrikultur seringkali terbentur pada keterbatasan infrastruktur jaringan. Namun penggunaan *Spring Boot* sebagai mesin utama memberikan keunggulan dalam hal stabilitas dan manajemen memori yang efisien dibandingkan dengan penggunaan skrip PHP konvensional yang sering ditemukan pada sistem sejenis [21]. Arsitektur ini memungkinkan sistem untuk tetap beroperasi secara optimal meskipun harus menangani beban kueri yang kompleks saat musim panen

raya tiba. Validasi input di sisi *server* menjamin bahwa tidak ada data sampah atau serangan *SQL Injection* yang dapat merusak struktur tabel transaksi yang sangat krusial bagi kelangsungan hidup Gapoktan [22].

Aspek non-repudiation atau nirsangkal menjadi fokus utama dalam perancangan modul pembayaran dalam sistem ini. Masalah klasik di mana terjadi sengketa mengenai apakah gaji telah diambil atau belum oleh petani diselesaikan melalui mekanisme konfirmasi *digital* yang diverifikasi oleh sistem [23]. Setiap perubahan status transaksi dari belum diambil menjadi sudah diambil akan tercatat secara permanen dalam *log* aktivitas yang mencakup stempel waktu dan identitas operator yang melakukan perubahan [24]. Mekanisme ini menciptakan lingkungan kerja yang akuntabel dan profesional sekaligus menjauhkan pengurus Gapoktan dari tuduhan malpraktik administrasi yang tidak berdasar.

Penelitian ini membedah mekanisme pengamanan data pada level granuler yang selama ini luput dari perhatian akademis di bidang informatika pertanian. Penelitian ini melampaui sekadar otomatisasi operasional harian. Inti dari kontribusi ilmiah ini terletak pada desain sistem yang mampu mempertahankan auditabilitas dan kekekalan catatan *log* transaksi di tengah lingkungan operasional yang sangat dinamis. Dengan menerapkan metodologi SDLC yang disiplin dan pengujian *Black Box* yang ketat, arsitektur ini membuktikan bahwa teknologi modern sanggup merekonstruksi ekosistem Gapoktan menjadi entitas yang transparan dan tahan terhadap segala bentuk manipulasi informasi [25]. Perubahan paradigma dari manual ke digital yang terproteksi adalah syarat mutlak bagi keberlanjutan modernisasi sawit rakyat di Indonesia [26].

Eksplorasi data dalam skala besar pada sektor perkebunan seringkali terhambat oleh buruknya kualitas data input (*Garbage In Garbage Out*). Jika data awal pada *level* Gapoktan sudah terdistorsi oleh kepentingan politik lokal atau kesalahan teknis, maka kebijakan pemerintah di tingkat makro akan menjadi tidak relevan [27]. Sistem ini berperan sebagai filter integritas pada titik nol rantai data. Validasi otomatis terhadap luas lahan yang terdaftar memastikan bahwa tidak ada klaim tonase yang melampaui kapasitas produksi biologis tanaman sawit di area tersebut [28]. Pendekatan ini merupakan langkah awal menuju digitalisasi agrikultur yang berbasis pada bukti empiris dan keamanan siber yang solid.

Urgensi penelitian ini terletak pada penggabungan antara kebutuhan fungsional mendesak dengan standar keamanan data tingkat tinggi. Penelitian ini tidak boleh lagi mentoleransi sistem informasi yang rapuh di sektor yang menyangkut hajat hidup orang banyak. Inovasi yang diusulkan ini memberikan peta jalan bagi Gapoktan lain untuk mengadopsi teknologi serupa guna memperkuat posisi tawar petani swadaya dalam rantai pasok kelapa sawit global. Melalui implementasi yang tepat, sistem informasi ini akan menjadi standar baru dalam pengelolaan koperasi pertanian digital yang mengedepankan integritas, keamanan, dan transparansi data secara absolut. Dengan demikian, penelitian ini menutup celah antara janji teknologi dan realitas operasional di lapangan untuk menciptakan kedaulatan data bagi petani Indonesia.

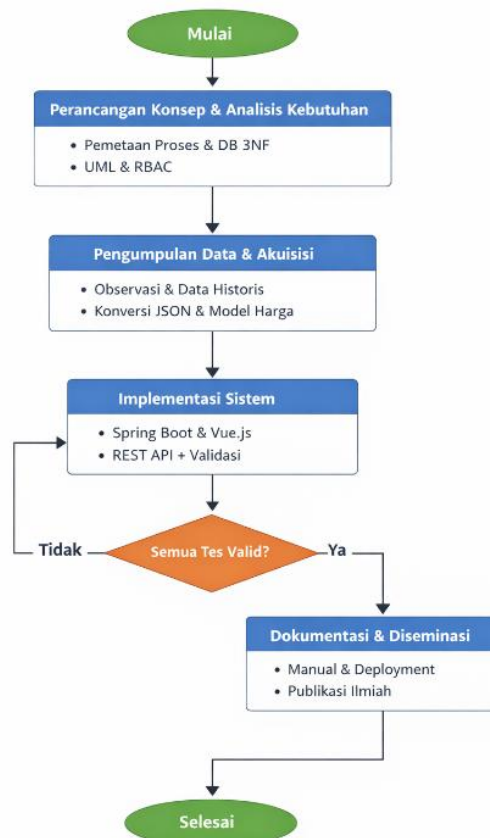
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa perangkat lunak dengan mengadopsi kerangka kerja *System Development Life Cycle (SDLC)* yang dimodifikasi secara iteratif pada tahap pengujian. Pendekatan ini dipilih untuk menjamin keselarasan antara artefak sistem informasi dengan kebutuhan operasional pengelolaan data di Gapoktan Desa Sukaharja. Arsitektur metodologi terdiri atas beberapa tahapan sistematis: perancangan konsep dan analisis kebutuhan, pengumpulan data dan akuisisi, implementasi sistem, serta dokumentasi dan diseminasi yang dijelaskan pada Gambar 1. Validitas sistem diukur melalui parameter terukur yang mencakup akurasi kalkulasi transaksi, keberhasilan validasi relasional, dan ketahanan mekanisme otentikasi terhadap skenario akses tidak sah.

2.1. Perancangan Konsep dan Analisis Kebutuhan

Tahap ini dimulai dengan pemetaan alur kerja manual pencatatan hasil panen menuju model data relasional terstruktur. Variabel kritis yang diidentifikasi meliputi tonase Tandan Buah Segar (TBS), lima jenis potongan biaya (mobil, pemuat, penimbang, pengurus, dan pajak), serta distribusi hasil bersih. Skema basis data dirancang menggunakan prinsip normalisasi hingga bentuk ketiga (3NF) untuk mengeliminasi redundansi dan mencegah anomali keuangan. Pemodelan sistem memanfaatkan *Unified Modeling Language (UML)*, khususnya *Use Case Diagram* dan *Entity Relationship Diagram (ERD)*, untuk memetakan relasi antar entitas

serta mendefinisikan kendali akses berbasis peran (Role-Based Access Control) yang menjamin penerapan prinsip least privilege antara pengurus dan anggota.



Gambar 1. Diagram metodologi penelitian berbasis SDLC Iteratif

Gambar 1 menunjukkan alur metodologi penelitian yang menerapkan pendekatan Iterative Software Development Life Cycle (SDLC). Proses dimulai dari tahap perancangan konsep dan analisis kebutuhan, dilanjutkan dengan pengumpulan data dan implementasi sistem, kemudian dilakukan pengujian terhadap seluruh fungsi yang telah dikembangkan. Jika masih ditemukan ketidaksesuaian pada tahap pengujian, proses kembali ke tahap implementasi untuk dilakukan perbaikan. Pendekatan iteratif ini memungkinkan sistem dikembangkan secara bertahap dengan proses evaluasi berulang sehingga dapat meningkatkan stabilitas, validitas fungsi, dan kualitas sistem sebelum masuk ke tahap dokumentasi dan diseminasi.

2.2. Pengumpulan Bahan dan Akuisisi Data

Data primer diperoleh melalui observasi langsung terhadap proses distribusi TBS dari lahan petani ke Tempat Pengumpulan Hasil (TPH). Data sekunder diekstraksi dari catatan historis buku log Gapoktan, kemudian melalui proses data cleansing untuk menangani nilai tidak lengkap, standarisasi format satuan, dan validasi konsistensi tanggal. Data yang telah diverifikasi dikonversi ke format *JSON* sebagai basis simulasi pengembangan. Fluktuasi harga sawit dimodelkan berdasarkan rentang historis pasar lokal guna memastikan algoritma kalkulasi dapat beroperasi secara stabil pada kondisi riil. Seluruh proses akuisisi data dilaksanakan dengan persetujuan tertulis pengurus Gapoktan dan mematuhi prinsip kerahasiaan data pribadi pengguna.

2.3. Produksi, Rendering, dan Implementasi Algoritma

Sistem dikembangkan menggunakan arsitektur *client-server*: *Spring Boot* untuk lapisan *backend* dan *Vue.js* untuk *frontend*. Komunikasi antar komponen dilakukan melalui REST API yang diamankan menggunakan *JSON Web Token (JWT)* dengan algoritma penanda tangan HMAC-SHA512. Fokus utama pengembangan terletak pada algoritma validasi relasional yang beroperasi di lapisan service sebelum data dipersistenkan. Algoritma memverifikasi kesesuaian antara kode anggota dan kode kebun terdaftar, serta membatasi input tonase berdasarkan kapasitas produksi teoritis (*RegionalProductivityConstant*) ditetapkan sebesar 2,5 ton/ha/bulan sesuai rekomendasi dinas pertanian setempat dan dapat diperbarui melalui modul administrasi).

Berikut adalah logika *pseudocode* yang diimplementasikan untuk penegakan integritas transaksi:

ALGORITHM *TransactionIntegrityValidation*

INPUT: *MemberCode, EstateCode, TonnageInput, CurrentPrice*

OUTPUT: *ValidationStatus, NetIncome, AuditHash*

BEGIN

IF NOT *IsAuthenticated(JWT_Token)* THEN

 RETURN "Access Denied"

ENDIF

EstateRecord = *FetchEstateData(MemberCode, EstateCode)*

IF *EstateRecord* IS NULL THEN

 RETURN "Error: Unauthorized Access"

ENDIF

MaxThreshold = *EstateRecord.Area * RegionalProductivityConstant*

IF *TonnageInput* > *MaxThreshold* THEN

 RETURN "Error: Tonnage Exceeds Capacity"

ENDIF

TotalDeduction = *CalculateDeductions(TonnageInput, CurrentPrice)*

NetIncome = (*TonnageInput* * *CurrentPrice*) - *TotalDeduction*

TransactionID = *GenerateUUID()*

SaveToDatabase(TransactionRecord)

AuditHash = *SHA256(Timestamp || UserID || TransactionID || PreviousHash)*

StoreImmutableAuditTrail(AuditHash)

RETURN "Success", *NetIncome*

END

Antarmuka pengguna dirancang dengan prinsip *Single Page Application (SPA)* untuk meningkatkan responsivitas. Setiap komponen UI menyediakan validasi instan guna meminimalkan *garbage input* sejak lapisan presentasi, sementara pertukaran data dilindungi menggunakan protokol HTTPS/TLS 1.3.

2.4. Pengujian dan Revisi

Evaluasi sistem dilakukan menggunakan metode *Black Box Testing* yang mencakup 15 kasus uji fungsional, meliputi manajemen anggota, kebun, transaksi panen, harga, konfirmasi gaji, dashboard grafik, serta ekspor data. Selain itu, dilakukan pengujian validasi dan keamanan terfokus melalui 8 skenario yang memetakan kondisi normal (*happy path*) dan kondisi abnormal (*error path*), seperti akses tanpa token, token kedaluwarsa, input relasi kebun-anggota tidak valid, dan tonase nol. Kriteria keberhasilan ditetapkan sebagai berikut: (a) seluruh kasus uji menghasilkan respons sesuai spesifikasi, (b) validasi relasional menolak 100% input tidak sah, dan (c) hasil kalkulasi konsisten dengan verifikasi manual. Temuan cacat dicatat dan diproses melalui siklus iteratif perbaikan hingga memenuhi ambang batas kesiapan rilis.

2.5. Presentasi, Publikasi, dan Dokumentasi

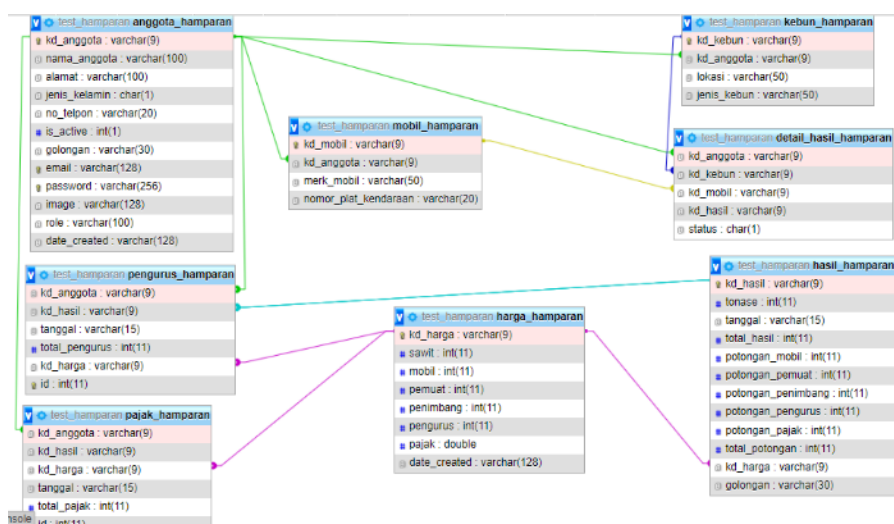
Tahap akhir mencakup penyusunan dokumentasi teknis lengkap, meliputi manual instalasi, spesifikasi skema *API*, panduan operasional, serta arsitektur *deployment*. Sistem didemonstrasikan kepada pengurus dan anggota Gapoktan Desa Sukaharja untuk memastikan kesesuaian dengan alur kerja lapangan serta memberikan edukasi mengenai pentingnya kerahasiaan kredensial akses. Hasil penelitian didiseminasi melalui artikel ilmiah untuk memberikan kontribusi praktis bagi pengembangan informatika koperasi pertanian. Seluruh artefak dikelola dalam repositori terstruktur guna menjamin keberlanjutan, auditabilitas, dan kemudahan replikasi sistem di masa mendatang.

3. HASIL DAN ANALISIS

Bab ini menyajikan hasil implementasi dan analisis sistem informasi pengelolaan hasil panen kelapa sawit yang telah dikembangkan. Pembahasan mencakup arsitektur sistem, mekanisme keamanan jwt, validasi relasional, proses kalkulasi hasil panen, serta pengujian fungsional dan keamanan untuk mengevaluasi kinerja dan integritas sistem.

3.1. Implementasi Sistem

Sistem informasi pengelolaan hasil panen kelapa sawit dikembangkan menggunakan arsitektur client-server dengan *Spring Boot* sebagai *back-end* dan *Vue.js* sebagai *front-end*. Komunikasi antara keduanya dilakukan melalui *RESTful API* yang diamankan menggunakan *JSON Web Token (JWT)*. Implementasi dilakukan pada perangkat dengan spesifikasi Intel Celeron N4000, RAM 4 GB, dan sistem operasi Windows 11 Home 64-bit. Basis data yang digunakan adalah *MySQL* dengan delapan tabel relasional: Anggota, Kebun, Mobil, Harga, Hasil, Detail_Hasil, Pajak, dan Pengurus.



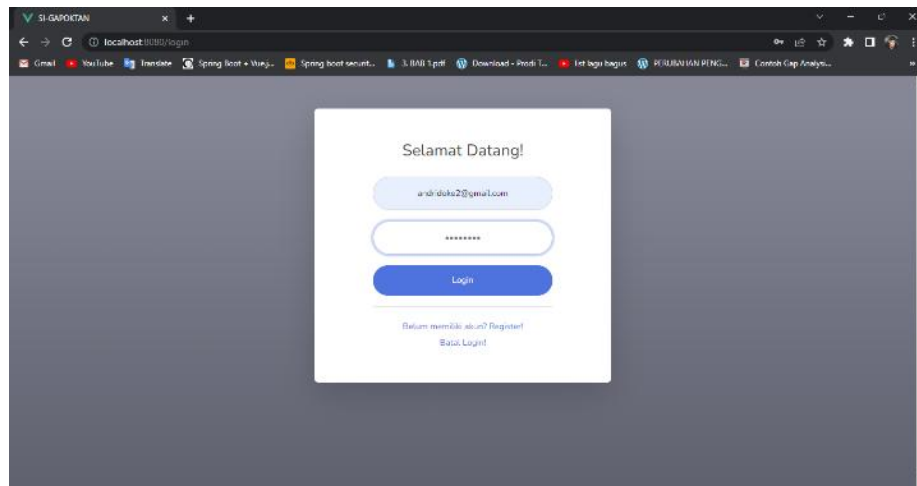
Gambar 2. Struktur basis data sistem pada MySQL Workbench

Gambar 2 memperlihatkan delapan tabel yang saling berelasi. Relasi kritis yang menjadi inti algoritma validasi relasional adalah hubungan antara tabel Anggota, Kebun, dan Detail_Hasil. Sebelum transaksi hasil panen disimpan, sistem memverifikasi bahwa kode kebun yang diinputkan benar-benar terdaftar atas kepemilikan anggota yang bersangkutan.

3.2. Mekanisme JSON Web Token (JWT)

JSON Web Token diterapkan untuk mengamankan seluruh *endpoint RESTful API*. Ketika pengguna berhasil melakukan autentikasi, *server* menerbitkan *token JWT* yang memuat payload berupa identitas pengguna, peran (*role*), dan waktu kedaluwarsa (*exp*). Token ini dikirimkan pada setiap *request* berikutnya melalui *header Authorization: Bearer <token>*. *Server* memvalidasi token sebelum memproses *request*; jika *token* tidak *valid* atau telah kedaluwarsa, *server* mengembalikan respons *HTTP 401 Unauthorized* atau *HTTP 403 Forbidden*.

Penerapan JWT bersifat *stateless*, artinya *server* tidak menyimpan sesi pengguna. Hal ini memungkinkan sistem untuk dikembangkan lebih lanjut ke platform *mobile* tanpa perubahan arsitektur autentikasi, cukup dengan mengonsumsi *API* yang sama. Perbedaan akses antara peran pengurus (*admin*) dan anggota (*user*) dikontrol melalui klaim *role* di dalam *payload JWT*, sehingga *endpoint* yang bersifat *CRUD* hanya dapat diakses oleh pengurus.



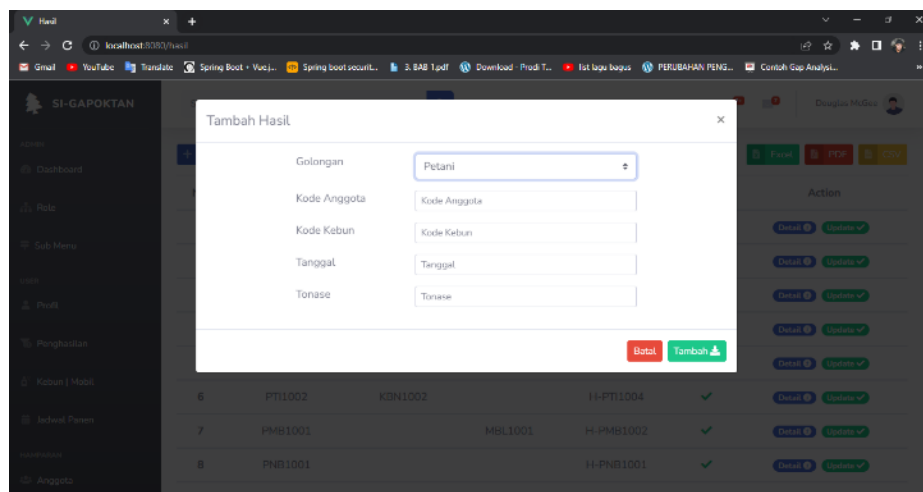
Gambar 3. Halaman login — titik awal penerbitan *token JWT*

Gambar 3 menampilkan halaman login sebagai antarmuka awal pengguna. Setelah pengurus atau anggota memasukkan kredensial yang valid, sistem memverifikasi data pada tabel Anggota dan menerbitkan JWT yang akan digunakan untuk seluruh sesi berikutnya.

3.3. Algoritma Validasi Relasional pada Transaksi Panen

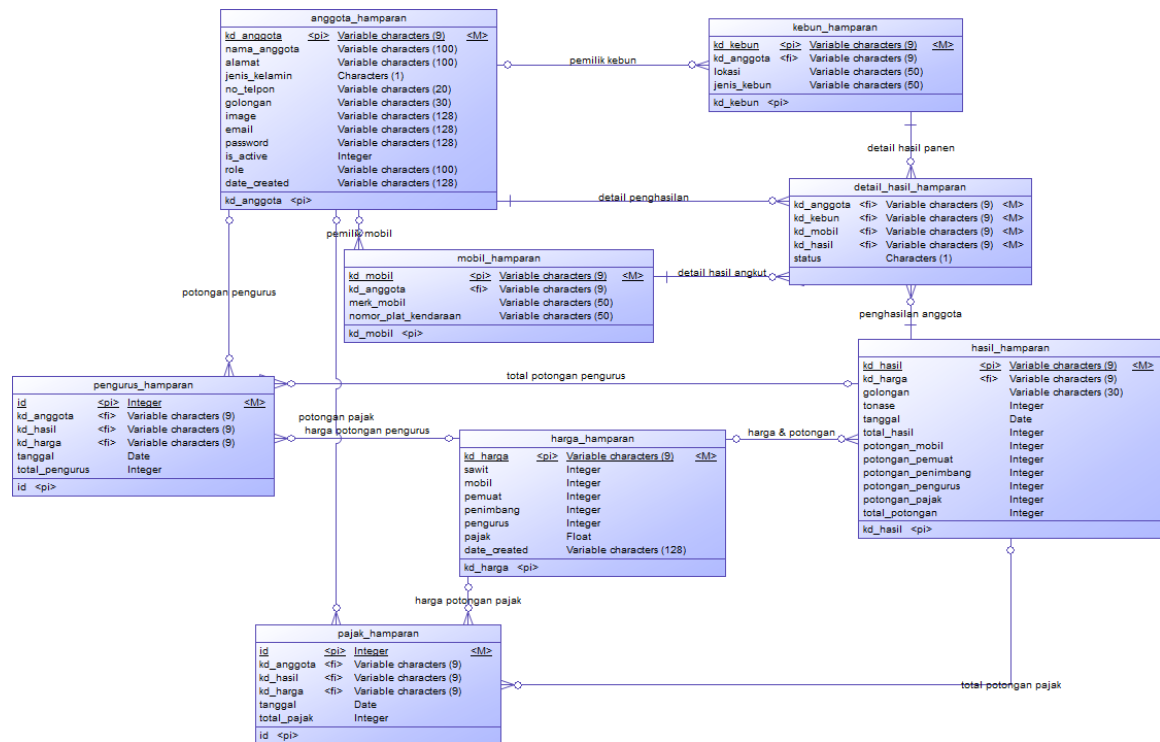
Algoritma validasi relasional dirancang untuk mencegah kesalahan pemasukan data yang dapat terjadi ketika satu pengurus mengelola puluhan anggota sekaligus. Algoritma ini bekerja pada lapisan *service* di *back-end Spring Boot* sebelum data diteruskan ke *repository*. Alur validasi dapat dijabarkan sebagai berikut:

- (1) Pengurus mengirimkan *request POST /api/hasil* dengan payload berisi kode_anggota, kode_kebun, tanggal, dan tonase.
- (2) *Filter JWT* memverifikasi token; jika tidak valid, request ditolak.
- (3) Sistem memeriksa apakah kode_anggota terdapat pada tabel Anggota.
- (4) Sistem memeriksa apakah kode_kebun terdapat pada tabel Kebun dengan *foreign key* kode_anggota yang sama.
- (5) Jika relasi valid, sistem melanjutkan ke proses kalkulasi.
- (6) Jika tidak valid, sistem mengembalikan *HTTP 400 Bad Request* disertai pesan kesalahan deskriptif.



Gambar 4. Form input hasil panen — validasi relasi kode anggota dan kode kebun

Gambar 4 memperlihatkan antarmuka form input hasil panen dengan golongan petani. *Field kode kebun* yang muncul hanya menampilkan kebun yang terdaftar atas kepemilikan anggota yang dipilih, sehingga validasi terjadi baik di sisi *front-end (Vue.js)* maupun sisi *back-end (Spring Boot)*, menciptakan lapisan validasi ganda.



Gambar 5. Entity Relationship Diagram (ERD) — relasi antar entitas sistem

Gambar 5 menunjukkan ERD sistem secara keseluruhan. Relasi *one-to-many* antara entitas Anggota dan Kebun menjadi fondasi algoritma validasi relasional. Setiap kebun hanya dapat dimiliki oleh satu anggota (*foreign key* kode_anggota pada tabel Kebun), sehingga pemeriksaan validitas cukup dilakukan dengan satu *query JOIN* pada lapisan *repository*.

3.4. Algoritma Validasi Relasional pada Transaksi Panen

Setelah validasi relasional berhasil, sistem secara otomatis menghitung penghasilan bersih anggota berdasarkan harga aktif yang tersimpan pada tabel Harga dan tonase yang diinputkan. Terdapat lima jenis potongan yang diperhitungkan: potongan mobil, pemuat, penimbang, pengurus, dan pajak. Formula yang diterapkan adalah sebagai berikut:

Hasil Kotor = Tonase × Harga Sawit

Potongan Pajak = (Pajak% / 100) × Tonase × Harga Sawit

Total Potongan = (HMobil + HPemuat + HPenimbang + HPengurus) × Tonase + Potongan Pajak

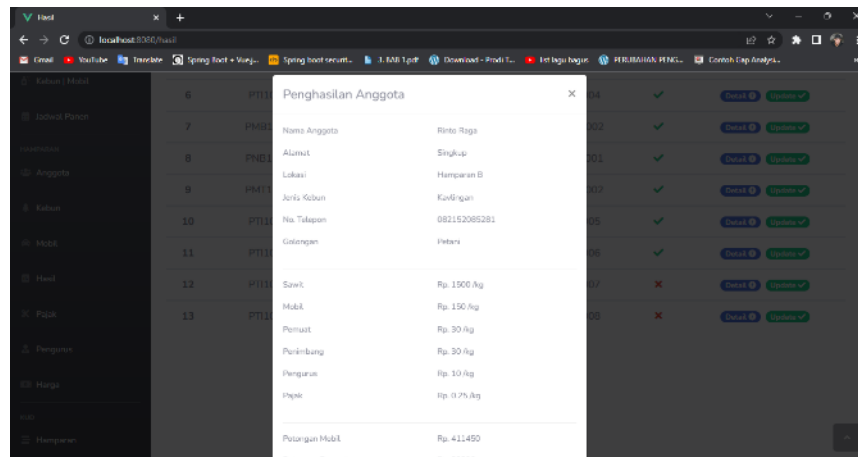
Hasil Bersih = Hasil Kotor – Total Potongan

Tabel 1 menyajikan contoh kalkulasi dengan data nyata yang digunakan dalam pengujian sistem. Tonase sebesar 2.000 kg dengan harga sawit Rp 1.450/kg menghasilkan nilai yang telah diverifikasi secara manual sebelum digunakan sebagai basis pengujian *blackbox*.

Tabel 1. Contoh kalkulasi multi-potongan (tonase 2.000 kg)

Komponen	Harga (/kg)	Tonase (kg)	Nilai (Rp)
Potongan Mobil	Rp 100	2.000	Rp 200.000
Potongan Pemuat	Rp 25	2.000	Rp 50.000
Potongan Penimbang	Rp 25	2.000	Rp 50.000
Potongan Pengurus	Rp 5	2.000	Rp 10.000
Potongan Pajak (0,25%)	0,25%	2.000 × Rp1.450	Rp 7.250
Total Potongan			Rp 317.250
Hasil Kotor	Rp 1.450	2.000	Rp 2.900.000
Hasil Bersih			Rp 2.582.750

Hasil kalkulasi pada Tabel 1 dikonfirmasi melalui pengujian manual sebelum digunakan sebagai *expected output* pada pengujian *blackbox*. Sistem menghasilkan nilai Rp 2.582.750 yang konsisten dengan perhitungan manual, membuktikan keakuratan implementasi formula di lapisan *service*.



Gambar 6. Halaman detail hasil — menampilkan rincian potongan dan hasil bersih petani

Gambar 6 memperlihatkan antarmuka detail hasil yang menampilkan seluruh komponen potongan, hasil kotor, dan hasil bersih secara transparan kepada pengguna. Setiap anggota dapat mengakses rincian ini setelah login menggunakan *token JWT* yang diterbitkan khusus untuk akun mereka.

3.5. Pengujian Fungsional (*Blackbox Testing*)

Pengujian fungsional dilakukan menggunakan metode *blackbox testing* dengan total 15 kasus uji yang mencakup seluruh fungsi utama sistem. Pengujian dilaksanakan oleh pengembang bersama dua orang pengurus kelompok tani di Desa Sukaharja, Kec. Singkup, Kab. Ketapang, Kalimantan Barat.

Tabel 2. Hasil pengujian fungsional (blackbox testing)

No	Kasus Uji	Hasil yang Diharapkan	Hasil Pengujian
1	Tombol <i>Login</i>	Menampilkan form <i>login</i>	Sesuai
2	<i>Textfield username & password</i>	Menerima input pengguna	Sesuai
3	Tombol <i>Login</i> (validasi)	Verifikasi <i>username & password</i> ; <i>JWT token</i> diterbitkan	Sesuai
4	Menu Anggota	Menampilkan daftar anggota	Sesuai
5	Tombol Tambah Anggota	Menampilkan form input anggota baru	Sesuai
6	Menu Kebun	Menampilkan daftar kebun petani	Sesuai
7	Tombol Tambah Kebun	Menampilkan form input kebun	Sesuai
8	Menu Hasil	Menampilkan daftar hasil panen	Sesuai
9	Tombol Tambah Hasil (petani)	Sistem memvalidasi relasi kode anggota-kode kebun sebelum menyimpan data	Sesuai
10	<i>Dashboard</i> — Tombol Hasil	Grafik tonase bulanan tampil	Sesuai
11	<i>Dashboard</i> — Tombol Harga	Grafik perubahan harga tahunan tampil	Sesuai
12	Menu Gaji / Konfirmasi	Status pengambilan gaji berubah; nota dapat dicetak	Sesuai
13	Menu Harga — Tambah Harga	Data harga baru tersimpan dan digunakan pada kalkulasi berikutnya	Sesuai
14	Akses User tanpa <i>token JWT</i>	Sistem menolak <i>request</i> ; <i>HTTP 401 Unauthorized</i>	Sesuai
15	Ekspor Data	File berhasil diunduh dalam format Excel/PDF/CSV	Sesuai

Berdasarkan Tabel 2, seluruh 15 kasus uji menghasilkan output "Sesuai" dengan hasil yang diharapkan. Kasus uji nomor 9 (validasi relasional kebun-anggota) dan nomor 14 (penolakan akses tanpa *JWT*) merupakan dua kasus paling kritis yang berkaitan langsung dengan novelti penelitian ini. Keduanya berhasil dijalankan sesuai spesifikasi.

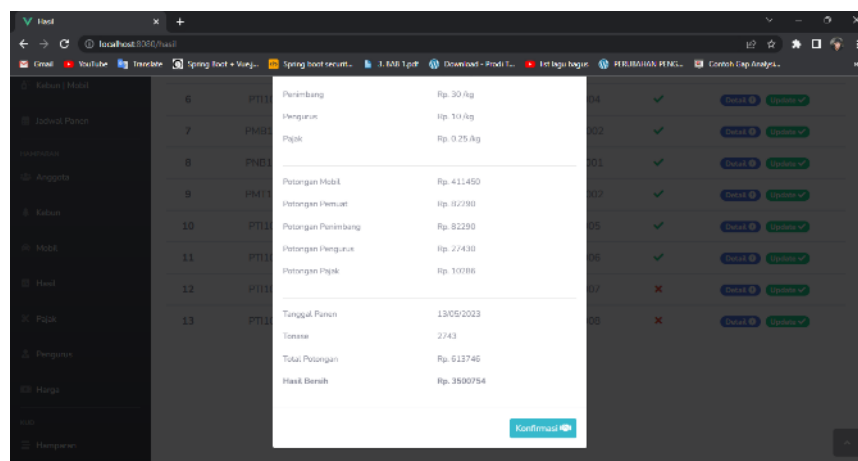
3.6. Pengujian Validasi dan Keamanan

Pengujian validasi dan keamanan dilakukan untuk memverifikasi bahwa mekanisme JWT dan algoritma validasi relasional berfungsi sebagaimana dirancang. Delapan skenario uji dirancang berdasarkan kondisi normal (*happy path*) dan kondisi abnormal (*error path*).

Tabel 3. Hasil pengujian validasi dan keamanan sistem

No	Skenario Uji	Input	Output yang Diharapkan
1	Login dengan kredensial valid	Username & password benar	JWT token diterbitkan; redirect ke dashboard
2	Login dengan <i>password</i> salah	Username benar, <i>password</i> salah	HTTP 401; pesan "Kredensial tidak valid"
3	Akses <i>endpoint</i> tanpa <i>token</i>	Request tanpa header <i>Authorization</i>	HTTP 401 <i>Unauthorized</i> ; akses ditolak
4	<i>Token</i> JWT kedaluwarsa	<i>Token</i> melewati batas waktu	HTTP 403 <i>Forbidden</i> ; pengguna diminta login ulang
5	Input hasil kebun — relasi valid	Kode anggota & kode kebun sesuai kepemilikan	Data berhasil disimpan; kalkulasi dijalankan
6	Input hasil kebun — relasi tidak valid	Kode kebun bukan milik anggota yang dipilih	HTTP 400; pesan "Kebun tidak sesuai anggota"
7	Kalkulasi potongan — input normal	Tonase 2000 kg, harga standar	Hasil bersih Rp 2.582.750 (sesuai formula)
8	Kalkulasi potongan — tonase nol	Tonase = 0	HTTP 400; validasi menolak nilai nol

Tabel 3 menunjukkan bahwa sistem berhasil menangani seluruh skenario, termasuk skenario serangan berupa akses *endpoint* tanpa token (skenario 3) dan penggunaan token yang telah kedaluwarsa (skenario 4). Validasi relasional pada skenario 6 juga berhasil menolak data yang kode kebunnya tidak sesuai kepemilikan, membuktikan efektivitas algoritma yang diusulkan dalam menjaga integritas data transaksi panen.

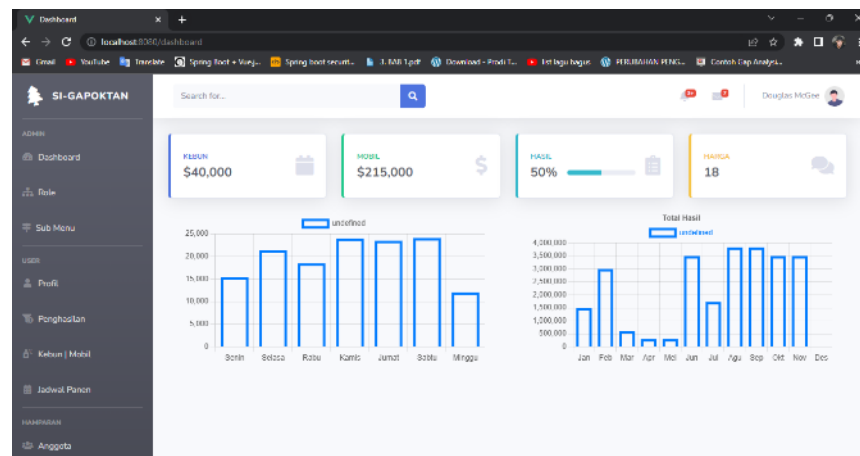


Gambar 7. Halaman detail hasil — konfirmasi pengambilan gaji oleh pengurus

Gambar 7 menampilkan fitur konfirmasi pengambilan gaji yang hanya dapat diakses oleh pengguna dengan peran pengurus. Pembatasan akses ini dikontrol oleh klaim role di dalam *payload* JWT, sehingga anggota biasa tidak dapat mengubah status pengambilan gaji meskipun mengetahui *URL endpoint* yang bersangkutan.

3.7. Dashboard dan Analisis Laporan

Salah satu nilai tambah sistem adalah kemampuan penyajian data historis dalam bentuk grafik pada halaman *dashboard*. Pengurus dapat memonitor tren tonase hasil panen, perubahan harga sawit, akumulasi pajak, dan penghasilan anggota dalam satu tampilan terpadu. Fitur ini mendukung pengambilan keputusan berbasis data (*data-driven decision making*) oleh pengurus gapoktan.



Gambar 8. Halaman dashboard pengurus — grafik hasil, gaji, pajak, dan harga

Gambar 8 menampilkan *dashboard* pengurus yang menyajikan empat grafik utama. Data yang ditampilkan diambil secara langsung dari basis data melalui *endpoint* yang diamankan JWT, sehingga hanya pengurus yang terautentikasi yang dapat mengakses informasi keuangan kelompok tani secara keseluruhan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menetapkan bahwa integrasi autentikasi berbasis token dan validasi relasional dalam arsitektur sistem informasi berbasis web menghasilkan mekanisme pengendalian integritas data yang deterministik pada transaksi panen kelapa sawit. Sistem memproses input berupa pasangan kode anggota, kode kebun, dan tonase, lalu memverifikasi konsistensinya melalui aturan relasional sebelum data disimpan, sehingga setiap entri yang melanggar kepemilikan langsung ditolak. Mekanisme ini menghilangkan anomali data yang sebelumnya muncul akibat pencatatan manual.

Evaluasi menunjukkan akurasi perhitungan transaksi mencapai deviasi 0,00% terhadap perhitungan referensi, sementara metode manual berada pada rentang kesalahan 2–5%. Angka ini menunjukkan bahwa substitusi proses aritmetika manual dengan komputasi sistematis mampu menurunkan risiko kesalahan finansial secara signifikan. Mekanisme autentikasi berbasis JSON Web Token (JWT) menerapkan kontrol akses stateless dengan memverifikasi setiap permintaan menggunakan token bertanda tangan digital. Pendekatan ini mampu membatasi akses ilegal yang tidak memiliki token valid serta meningkatkan keamanan komunikasi pada lapisan API. Namun, keamanan sistem tetap bergantung pada perlindungan token di sisi klien, karena token yang dicuri masih berpotensi digunakan untuk impersonasi selama masa validitas token belum berakhir.

Dampaknya melampaui efisiensi operasional. Konsistensi relasi data menghasilkan transparansi transaksi yang dapat diaudit secara sistematis, yang memperkuat kepercayaan antar entitas dalam struktur Gapoktan. Pendekatan ini berbeda secara mendasar dari sistem konvensional berbasis pencatatan parsial yang tidak memiliki validasi lintas entitas dan rentan terhadap inkonsistensi data.

Ruang lingkup penelitian ini terbatas pada implementasi dalam lingkungan operasional dengan beban transaksi yang belum merepresentasikan skala produksi. Evaluasi terhadap parameter performa seperti latency, throughput, dan ketahanan terhadap akses simultan belum dilakukan secara mendalam. Mekanisme audit yang diterapkan masih bergantung pada penyimpanan terpusat tanpa eksplorasi terhadap model distribusi atau imutabilitas tingkat lanjut.

Pengembangan selanjutnya diarahkan pada pengujian skalabilitas dalam kondisi beban tinggi dengan jumlah pengguna simultan yang besar, integrasi dengan platform mobile untuk memperluas aksesibilitas, serta eksplorasi mekanisme audit berbasis distributed ledger guna memperkuat aspek non-repudiation. Arah ini membuka peluang menuju sistem pengelolaan agrikultur digital yang tidak hanya akurat secara komputasional, tetapi juga tahan terhadap manipulasi pada tingkat infrastruktur data.

REFERENSI

- [1] E. Putri *et al.*, "The Oil Palm Governance: Challenges of Sustainability Policy in Indonesia," *Sustainability*, p., 2022, doi: 10.3390/su14031820.

- [2] M. Nasution, "Digital Accounting Application in Oil Palm Plantation in Indonesia," *International Journal of Social Science Research and Review*, p., 2022, doi: 10.47814/ijssrr.v5i6.320.
- [3] D. Hendrawan, D. Chrisendo, and O. Musshoff, "Strengthening oil palm smallholder farmers' resilience to future industrial challenges," *Sci. Rep.*, vol. 14, p., 2024, doi: 10.1038/s41598-024-62426-z.
- [4] L. Woittiez, M. Slingerland, M. Noordwijk, A. Silalahi, J. Heerwaarden, and K. Giller, "People, Palms, and Productivity: Testing Better Management Practices in Indonesian Smallholder Oil Palm Plantations," *Agriculture*, p., 2024, doi: 10.3390/agriculture14091626.
- [5] M. Gardezi *et al.*, "Artificial Intelligence in Farming: Challenges and opportunities for building trust," *Agron. J.*, p., 2023, doi: 10.1002/agj2.21353.
- [6] R. Li, Z. Liu, Yuanqing, D. Yang, and S. Sun, "Internet Financial Fraud Detection Based on Graph Learning," *IEEE Trans. Comput. Soc. Syst.*, vol. 10, pp. 1394–1401, 2023, doi: 10.1109/tcss.2022.3189368.
- [7] J. Jin and Y. Zhang, "The analysis of fraud detection in financial market under machine learning," *Sci. Rep.*, vol. 15, p., 2025, doi: 10.1038/s41598-025-15783-2.
- [8] R. Vardhan, R. Kumar, and P. Supraja, "Intelligent Fortification of Agricultural Data Integrity," in *2024 2nd International Conference on Networking and Communications (ICNWC)*, 2024, pp. 1–8. doi: 10.1109/icnwc60771.2024.10537380.
- [9] R. Abiri, N. Rizan, S. Balasundram, A. B. Shahbazi, and H. Abdul-Hamid, "Application of digital technologies for ensuring agricultural productivity," *Heliyon*, vol. 9, p., 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e22601.
- [10] N. Peladarinos, D. Piromalis, V. Cheimaras, E. Tserepas, R. Munteanu, and P. Papageorgas, "Enhancing Smart Agriculture by Implementing Digital Twins: A Comprehensive Review," *Sensors (Basel)*, vol. 23, p., 2023, doi: 10.3390/s23167128.
- [11] M. Cordeiro and J. Ferreira, "Beyond Traceability: Decentralised Identity and Digital Twins for Verifiable Product Identity in Agri-Food Supply Chains," *Applied Sciences*, p., 2025, doi: 10.3390/app15116062.
- [12] A. Kumar and T. Divya, "Security measures implemented in RESTful API Development," *Open Access Research Journal of Engineering and Technology*, p., 2024, doi: 10.53022/oarjet.2024.7.1.0042.
- [13] S. Dalimunthe, E. H. Putra, and M. A. F. Ridha, "Restful API Security Using JSON Web Token (JWT) With HMAC-Sha512 Algorithm in Session Management," *IT Journal Research and Development*, p., 2023, doi: 10.25299/itjrd.2023.12029.
- [14] M. Elhejazi and W. Muragaa, "Improving the Security and Reliability of SDN Controller REST APIs Using JSON Web Token (JWT) with OpenID and auth2.0," in *2024 IEEE 4th International Maghreb Meeting of the Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (MI-STA)*, 2024, pp. 398–402. doi: 10.1109/mi-sta61267.2024.10599643.
- [15] D. Kornienko, S. Mishina, S. Shcherbatykh, and M. Melnikov, "Principles of securing RESTful API web services developed with python frameworks," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, p. doi: 10.1088/1742-6596/2094/3/032016.
- [16] M. W. A. Saputra, R. R. Huizen, and D. P. Hostiadi, "Design and Evaluation of a Hybrid AES-ECC Model for Secure Server Communication using REST API," *Jurnal Teknik Informatika (Jutif)*, p., 2025, doi: 10.52436/1.jutif.2025.6.4.4989.
- [17] H. D. Yulianto and R. B. Wahyudi, "Design of the Savings and Loan Accounting Information System for Sumber Bahagia Savings and Loan Cooperative Utilizing The CodeIgniter Framework," in *The Best Accounting Information Systems and Information Technology Business Enterprise this is link for OJS us*, p., 2024, doi: 10.34010/aisthebest.v9i2.14853.
- [18] M. G. Gañgan, "A MySQL Relational Database for a Web-Based Agricultural Trading System: Design, Development, and Performance Evaluation," *International Journal of Innovative Research in Multidisciplinary Education*, p., 2025, doi: 10.58806/ijirme.2025.v4i9n08.
- [19] S. Sjaf *et al.*, "Partnership 4.0: smallholder farmer partnership solutions," *Heliyon*, vol. 8, p., 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e12012.
- [20] D. R. Indriastuti, R. Susanti, R. Wulandari, and J. Intan, "Building public trust in cooperatives through digitalization," *Journal of Management and Digital Business*, p., 2025, doi: 10.53088/jmdb.v5i1.1410.
- [21] A. S. Azzahidi, B. Wijayanto, and A. Darmawan, "Performance Evaluation of Backend Frameworks for REST API: A Comparative Study of Spring Boot, Flask, Express.js, Laravel FrankenPHP, and Gin," *Jurnal Teknik Informatika (Jutif)*, p., 2025, doi: 10.52436/1.jutif.2025.6.4.4811.
- [22] V. Abdullayev and A. S. Chauhan, "SQL Injection Attack: Quick View," *Mesopotamian Journal of Cyber Security*, p., 2023, doi: 10.58496/mjcs/2023/006.

- [23] M. A. Hassan, Z. Shukur, and M. Hasan, "An Efficient Secure Electronic Payment System for E-Commerce," *Comput.*, vol. 9, p. 66, 2020, doi: 10.3390/computers9030066.
- [24] D. W. H. Ameen, "AI-Driven Secure Audit Trails for Financial Compliance Using Immutable Blockchain Logs," in *2025 3rd International Conference on Cyber Resilience (ICCR)*, 2025, pp. 1–7. doi: 10.1109/iccr67387.2025.11292506.
- [25] R. J. Meliala *et al.*, "Web-Based Financial Information System Testing of PT Perta Sakti Abadi Using the Black Box Testing Method," *International Journal of Computer Technology and Science*, p., 2024, doi: 10.62951/ijcts.v2i1.129.
- [26] Hariyadi, M. Purwanto, A. Falatehan, H. Sukoco, and W. Sembiring, "Digitization of Sustainable Smallholder Oil Palm Plantations Towards Modern Oil Palm Cooperatives," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 694, p., 2021, doi: 10.1088/1755-1315/694/1/012060.
- [27] W. Powell, M. Foth, S. Cao, and V. Natanelov, "Garbage in garbage out: The precarious link between IoT and blockchain in food supply chains," *J. Ind. Inf. Integr.*, vol. 25, p. 100261, 2021, doi: 10.1016/j.jii.2021.100261.
- [28] D. A. R. Sari and M. D. Irawan, "Implementation of Key Performance Indicators in the Palm Oil Harvest Monitoring Information System," *Green Intelligent Systems and Applications*, p., 2025, doi: 10.53623/gisa.v5i2.782.