

# Sistem Peringatan Dini Ketahanan Pangan Berbasis Web Menggunakan Metode Rule-Based untuk Rekomendasi Intervensi Stok

Archangela G. Repi<sup>1</sup>, Kristofel Santa<sup>2\*</sup>, Gladly C. Rorimpandey<sup>3</sup>

Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Manado, Sulawesi Utara, Indonesia

Email: <sup>1</sup>21210054@unima.ac.id, <sup>2</sup>Kristofelsanta@unima.ac.id\*, <sup>3</sup>gladlyrorimpandey@unima.ac.id

Email Penulis Korespondensi: kristofelsanta@unima.ac.id\*

Submitted: 25/04/2026; Accepted: 21/05/2026; Published: 30/06/2026

**Abstrak**—Stabilitas ketahanan pangan merupakan pilar fundamental dalam menjaga resiliensi ekonomi dan sosial suatu wilayah. Penelitian ini mengembangkan sebuah sistem peringatan dini (*Early Warning System*) berbasis web untuk memantau ketersediaan pangan di Kota Tomohon dengan mengintegrasikan algoritma *Rule-Based*. Kontribusi penelitian ini terletak pada otomatisasi pemantauan ketersediaan pangan melalui sinkronisasi data kependudukan secara dinamis untuk memitigasi risiko ketidakpastian stok akibat keterlambatan pelaporan manual. Metode penelitian mencakup pemodelan mesin inferensi menggunakan pendekatan *floating-point arithmetic* guna meminimalisir deviasi dalam kalkulasi neraca pangan. Hasil pengujian menggunakan dataset validasi riil tahun 2024 menunjukkan bahwa arsitektur sistem mampu melakukan klasifikasi otomatis status ketersediaan pangan ke dalam kategori Aman, Waspada, dan Kritis. Pengujian *black-box* menunjukkan bahwa sistem mencapai validitas fungsional penuh dalam menjalankan logika aturan yang ditetapkan maupun efektivitas dampak intervensi di lapangan secara empiris. Fitur rekomendasi intervensi stok yang dihasilkan diharapkan dapat menjadi rujukan bagi pengambil kebijakan dalam menentukan langkah operasi pasar yang lebih responsif di Kota Tomohon, serta menjamin keberlanjutan operasional melalui pembaruan master data kependudukan yang dinamis.

**Kata Kunci** : *Early Warning System*; Ketahanan Pangan; *Rule-Based*; Neraca Pangan; Akurasi Fungsional.

**Abstract**—Food security stability is a fundamental pillar in maintaining a region's economic and social resilience. This study developed a web-based early warning system to monitor food availability in the city of Tomohon by integrating a rule-based algorithm. The contribution of this research lies in the automation of food availability monitoring through dynamic synchronization of population data to mitigate the risk of stock uncertainty due to delays in manual reporting. The research method includes inference engine modeling using a floating-point arithmetic approach to minimize deviations in food balance calculations. Test results using a real-world 2024 validation dataset show that the system architecture is capable of automatically classifying food availability status into the categories of Safe, Caution, and Critical. Black-box testing indicates that functionally, the system achieves 100% accuracy in executing the defined rule logic; however, this study does not empirically measure long-term prediction accuracy or the effectiveness of intervention impacts in the field. The generated stock intervention recommendation features are expected to serve as a reference for policymakers in determining more responsive market operations in Tomohon City, as well as ensuring operational sustainability through dynamic updates to the population master data.

**Keywords** : Early Warning System; Food Security; Rule-Based; Food Balance Sheet; Functional Accuracy.

## 1. PENDAHULUAN

Stabilitas kedaulatan pangan merupakan parameter krusial yang menentukan tingkat kesejahteraan masyarakat serta menjadi fondasi utama bagi resiliensi nasional. Secara yuridis, pengelolaan pangan di Indonesia mengacu pada amanat Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2012, yang menegaskan bahwa ketersediaan pangan yang memadai, berkualitas, aman, dan bergizi merupakan pilar fundamental yang harus dijamin oleh negara [1], [2]. Namun, dalam implementasinya di tingkat daerah, pengelolaan logistik sering kali berbenturan dengan dinamika ekonomi dan keterbatasan infrastruktur digital. Sistem pelaporan yang masih bersifat konvensional dan birokratis menjadi titik lemah yang menghambat efektivitas ketahanan ekonomi nasional. Permasalahan serupa juga ditemukan pada berbagai instansi pemerintah lainnya, di mana ketergantungan pada sistem konvensional dalam penyimpanan dan validasi data mengakibatkan inefisiensi waktu dan menghambat pelayanan publik yang menuntut kecepatan serta ketelitian di era globalisasi [3]. Penggunaan metode manual dalam memantau cadangan pangan mengakibatkan munculnya *time lag* atau jeda waktu yang signifikan antara kondisi stok riil di gudang distribusi dengan proses pengambilan keputusan di tingkat manajerial. Di era disrupsi informasi saat ini, keterlambatan integrasi data bukan sekadar kendala administratif, melainkan risiko sistemik yang dapat memicu krisis ketersediaan, lonjakan harga yang tidak terkendali, hingga ancaman krisis ekonomi lokal yang lebih luas.

Kajian literatur menunjukkan bahwa digitalisasi sektor pangan telah menjadi tren riset global sebagai respons terhadap ketidakpastian rantai pasok. Namun, terdapat celah penelitian (*research gap*) yang signifikan pada sistem yang dikembangkan saat ini. Mayoritas riset terdahulu masih berfokus pada manajemen arsip elektronik di lingkungan komputasi awan (*cloud*) yang bersifat statis. Fokus utama cenderung menitikberatkan

pada aspek integritas, keamanan, dan aksesibilitas penyimpanan data (*digital record-keeping*), namun masih terdapat kesenjangan dalam mengintegrasikan logika pemrosesan data yang mendalam untuk menghasilkan fungsi peringatan otomatis yang proaktif [4]. Meskipun implementasi Sistem Informasi Geografis (SIG) telah memberikan kontribusi besar dalam visualisasi spasial persebaran pangan, alat tersebut sering kali hanya berfungsi sebagai media pemetaan tanpa kapabilitas untuk memberikan rekomendasi tindakan otomatis [5]. Celah fungsional ini menjadi landasan filosofis mengapa sebuah Sistem Peringatan Dini (*Early Warning System/EWS*) yang bersifat analitis sangat diperlukan. Kebutuhan untuk mentransformasi data mentah menjadi proyeksi dinamis merupakan urgensi yang tidak dapat ditunda agar instrumen teknologi mampu memberikan peringatan dini terhadap potensi krisis secara akurat dan tepat waktu. Urgensi ini dipertegas oleh penelitian terbaru yang menunjukkan bahwa ketiadaan sistem monitoring yang terintegrasi sering kali menyebabkan respon terhadap kerentanan sosial dan ekonomi menjadi reaktif dan tidak tepat sasaran [6]. Oleh karena itu, pengembangan sistem *early warning* berbasis data sangat krusial untuk mentransformasi pengambilan kebijakan dari bersifat reaktif menjadi kebijakan lokal berbasis bukti yang lebih responsif [7].

Penelitian ini hadir untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan memperkenalkan sebuah sistem cerdas yang mampu melakukan evaluasi stok secara *real-time*. Kebaruan (*novelty*) utama dalam penelitian ini terletak pada integrasi algoritma *Rule-Based* yang dikolaborasi dengan sinkronisasi data kependudukan secara dinamis. Berbeda dengan sistem pemantauan standar, naskah ini memaparkan kontribusi teknis dalam penggunaan mesin inferensi yang menerapkan mekanisme *if-then rules* secara ketat untuk mendeteksi ambang batas kebutuhan konsumsi harian penduduk secara otomatis. Algoritma *Rule-Based* dipilih karena kemampuannya yang unggul dalam merepresentasikan parameter teknis ketersediaan pangan ke dalam skema logika formal yang tegas dan mudah diinterpretasikan [8]. Pemilihan algoritma ini didasarkan pada efektivitasnya dalam menangani sistem dengan aturan yang kompleks dan membutuhkan tingkat presisi tinggi, sebagaimana telah dibuktikan pada berbagai implementasi sistem berbasis aturan yang mampu mengelola ribuan logika instruksi secara akurat [9]. Selain itu, fleksibilitas algoritma *Rule-Based* juga telah terbukti mampu meningkatkan minat dan motivasi pengguna dalam berbagai platform digital melalui standarisasi aturan logika yang interaktif [10]. Implementasi teknik ini bertujuan untuk mentransformasi data mentah yang kompleks menjadi rekomendasi status yang objektif, guna meningkatkan efektivitas pengambilan keputusan oleh otoritas terkait di daerah.

Kota Tomohon, sebagai salah satu pusat distribusi ekonomi di Provinsi Sulawesi Utara, memiliki karakteristik pasar yang dinamis namun sangat rentan terhadap fluktuasi pasokan pangan pokok. Melalui observasi mendalam dan wawancara dengan enumerator di Dinas Pangan Kota Tomohon, ditemukan bahwa meskipun data historis telah dihimpun, format dokumen yang statis menyulitkan interpretasi cepat. Kelemahan mendasar dari dataset statis adalah ketidakmampuannya memberikan sinyal bahaya otomatis ketika cadangan stok berada pada level kritis [11]. Oleh karena itu, implementasi *Rule-Based* dalam penelitian ini juga mengandalkan kalkulasi berbasis *floating-point arithmetic* untuk menjamin presisi angka ketahanan hingga tingkat desimal terkecil. Hal ini sangat penting untuk menghindari kesalahan interpretasi yang sering muncul pada perhitungan manual, sehingga meningkatkan validitas hasil pengujian sistem hingga mencapai tingkat akurasi fungsional yang optimal.

Transformasi dari pemantauan manual menuju digitalisasi cerdas berbasis platform web diharapkan mampu mereduksi risiko spekulasi harga oleh pihak-pihak yang tidak bertanggung jawab serta menjamin konsistensi ketersediaan bahan pokok bagi masyarakat. Langkah ini sejalan dengan arah pengembangan sistem peringatan dini pangan nasional masa depan yang mulai mengandalkan algoritma klasifikasi secara masif untuk deteksi dini kelangkaan. Keberadaan sistem ini di Kota Tomohon akan memangkas birokrasi pelaporan yang berbelit, memungkinkan pemerintah daerah melakukan langkah preventif seperti operasi pasar, koordinasi pasokan lintas daerah, hingga pengaturan distribusi logistik secara lebih efektif dan efisien. Efisiensi ini menjadi kontribusi sosial nyata dari penelitian informatika terhadap penguatan ekonomi lokal masyarakat Tomohon.

Secara strategis, penelitian ini dirancang dengan antarmuka minimalis namun memiliki fungsionalitas tinggi agar dapat digunakan oleh berbagai tingkatan pengguna tanpa memerlukan pelatihan teknis yang rumit. Integrasi antara dataset validasi riil tahun 2024 dengan arsitektur mesin aturan dinamis tahun 2026 menciptakan sebuah instrumen baru dalam tata kelola pangan daerah yang lebih modern dan transparan. Penggunaan data historis tersebut berfungsi sebagai parameter pengujian untuk membuktikan keandalan sistem dalam merespons fluktuasi stok riil lapangan secara objektif. Keberhasilan implementasi sistem ini nantinya diharapkan dapat menjadi percontohan bagi daerah lain di Sulawesi Utara dalam melakukan digitalisasi ketahanan pangan secara mandiri dan sistematis. Naskah ini akan memaparkan secara komprehensif alur pemikiran dan tahapan pengembangan sistem, mulai dari arsitektur *rule engine* yang spesifik hingga analisis kinerja sistem dalam mengolah dataset riil Kota Tomohon. Pembahasan akan diakhiri dengan simpulan strategis dan rekomendasi visioner bagi penyempurnaan sistem agar dapat mencakup komoditas yang lebih luas di masa depan.

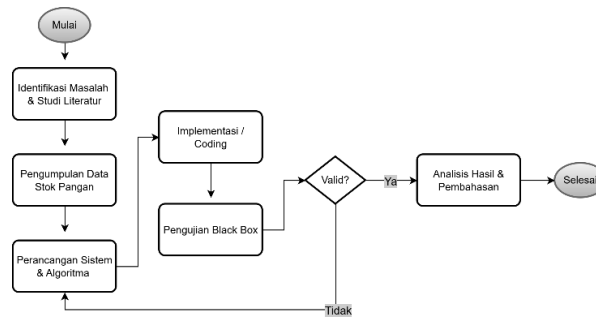
## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian ini disusun sebagai kerangka kerja sistematis untuk mentransformasikan dataset ketersediaan pangan menjadi sebuah instrumen pengambilan keputusan digital yang fungsional. Fokus utama dalam tahapan ini adalah pengintegrasian logika pakar ke dalam arsitektur perangkat lunak guna mendeteksi fluktuasi stok secara otomatis. Melalui pendekatan rekayasa yang terstruktur, setiap fase pengembangan dievaluasi

secara mendalam untuk menjamin bahwa sistem peringatan dini yang dihasilkan tidak hanya memiliki performa teknis yang stabil, tetapi juga memiliki tingkat akurasi klasifikasi yang tinggi sesuai dengan kondisi riil di lapangan. Penelitian ini menggunakan dataset riil tahun 2024 yang dihimpun melalui riset lapangan (MBKM) di Dinas Pangan Kota Tomohon sebagai instrumen pengujian algoritma. Meskipun data input yang digunakan bersifat historis, arsitektur sistem dirancang dengan fleksibilitas tinggi agar tetap relevan untuk digunakan pada tahun berjalan (2026) dan masa depan melalui pembaruan variabel populasi secara mandiri.

### 2.1 Tahapan Penelitian

Secara komprehensif, rangkaian prosedur yang ditempuh dalam pelaksanaan riset ini disajikan melalui alur kerja yang sistematis pada Gambar 1. Penjabaran ini mencerminkan fase-fase krusial mulai dari tahap inisiasi hingga tahap finalisasi produk penelitian yang mengadopsi prinsip siklus hidup pengembangan perangkat lunak terstruktur.



**Gambar 1.** Flowchart Alur Penelitian

Penjelasan mengenai alur penelitian pada Gambar 1 di atas merupakan representasi dari langkah-langkah yang ditempuh guna menjamin validitas hasil akhir. Rincian tahapan tersebut adalah sebagai berikut:

- Identifikasi Masalah & Studi Literatur:** Tahap awal dimulai dengan membedah urgensi digitalisasi pemantauan stok di Kota Tomohon guna mengatasi keterlambatan informasi akibat sistem manual. Sejalan dengan itu, dilakukan studi literatur untuk menelaah artikel jurnal dan buku referensi sebagai landasan penggunaan algoritma *Rule-Based*.
- Pengumpulan Data Stok Pangan:** Menghimpun dataset utama dari Laporan Neraca Bahan Makanan (NBM) Dinas Pangan Kota Tomohon tahun 2024. Tahap ini mencakup validasi dataset melalui proses *cleaning* dan transformasi untuk memastikan variabel stok dan populasi akurat sebelum diinput ke sistem.
- Perancangan Sistem & Algoritma :** Meliputi pemodelan basis data MySQL menggunakan ERD serta perancangan logika *Rule-Based*. Pada fase ini, peneliti menetapkan rumus perhitungan durasi ketahanan (D) dan ambang batas (*threshold*) yang akan digunakan oleh mesin inferensi.
- Implementasi / Coding:** Menerjemahkan seluruh rancangan arsitektur dan logika algoritma ke dalam baris kode fungsional menggunakan bahasa pemrograman PHP untuk mendukung operasional sistem secara dinamis.
- Pengujian Black Box:** Melakukan validasi fungsionalitas eksternal sistem melalui berbagai skenario (Normal, *Boundary*, dan *Negative Testing*) untuk memastikan reliabilitas aplikasi serta memastikan metode dapat direplikasi oleh peneliti lain.
- Validasi (Decision):** Merupakan titik evaluasi untuk memastikan apakah hasil pengujian telah sesuai dengan kebutuhan fungsional. Jika ditemukan galat (Tidak), maka proses akan kembali ke tahap perancangan; jika telah sesuai (Ya), maka berlanjut ke tahap akhir.
- Analisis Hasil & Pembahasan:** Mengevaluasi efektivitas sistem dalam memberikan klasifikasi status ketersediaan pangan secara otomatis sebelum akhirnya ditarik sebuah kesimpulan akhir.

### 2.2 Identifikasi Masalah dan Studi Literatur

Tahap awal penelitian ini difokuskan pada pembedahan masalah fundamental yang menghambat efektivitas pemantauan stok pangan di Kota Tomohon. Berdasarkan hasil observasi, ditemukan bahwa keterlambatan akses informasi ketersediaan bahan pokok selama ini menjadi kendala utama dalam menjaga stabilitas pangan daerah. Hal ini disebabkan oleh sistem birokrasi data yang masih bersifat manual, di mana penumpukan berkas laporan fisik di Dinas Pangan menyulitkan proses rekapitulasi yang cepat. Kondisi tersebut menyebabkan otoritas terkait sering kali terlambat dalam mendeteksi potensi kelangkaan pangan di lapangan.

Sejalan dengan permasalahan tersebut, dilakukan studi literatur secara mendalam untuk mengeksplorasi efektivitas sistem peringatan dini berbasis teknologi sebagai solusi digitalisasi [12]. Kajian pustaka mencakup analisis penggunaan algoritma *Rule-Based* yang mampu mentransformasi tumpukan laporan statis menjadi basis data berbasis web yang dinamis. Melalui pendekatan ini, sistem tidak hanya berfungsi sebagai media penyimpanan digital, tetapi juga sebagai mesin inferensi yang menghasilkan wawasan strategis secara otomatis. Dasar teori yang dikumpulkan dari berbagai jurnal penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa otomatisasi klasifikasi status stok

(Aman, Waspada, dan Kritis) secara signifikan dapat mereduksi kesalahan manusia (*human error*) dan mempercepat durasi pengambilan keputusan intervensi stok.

### 2.3 Pengumpulan Data Pangan

Sesuai dengan alur pada Gambar 1, tahap pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh dataset yang akurat sebagai dasar perhitungan mesin inferensi. Dataset utama dalam penelitian ini merupakan data sekunder otentik yang bersumber dari Laporan Neraca Bahan Makanan (NBM) Dinas Pangan Kota Tomohon periode tahun 2024.

Guna menjamin reliabilitas metode dan memastikan naskah ini dapat direplikasi oleh peneliti lain, dilakukan tahapan Validasi Dataset sebelum data diintegrasikan ke dalam basis data sistem:

- Data Cleaning*: Melakukan pembersihan dataset dari nilai yang kosong (*null*) atau data ganda guna mencegah terjadinya kegagalan kalkulasi otomatis pada sistem.
- Data Transformation*: Mengonversi format laporan administratif yang bersifat statis ke dalam format numerik serta memastikan konsistensi satuan berat (Ton) agar selaras dengan variabel dalam formulasi matematika.
- Expert Verification*: Melakukan sinkronisasi dan verifikasi ambang batas angka konsumsi harian dengan otoritas terkait di Dinas Pangan guna memastikan parameter keputusan tetap relevan dengan kondisi riil di lapangan.

Adapun rincian variabel data yang dihimpun dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1 berikut:

**Tabel 1. Variabel Dataset Penelitian**

Variabel	Deskripsi	Data Satuan
Stok Riil ( $S_i$ )	Total ketersediaan fisik komoditas pangan di gudang/pasar	Ton
Konsumsi ( $S_k$ )	Rata-rata kebutuhan konsumsi harian per kapita	Gram/Hari
Populasi ( $P$ )	Jumlah penduduk Kota Tomohon terbaru	Jiwa

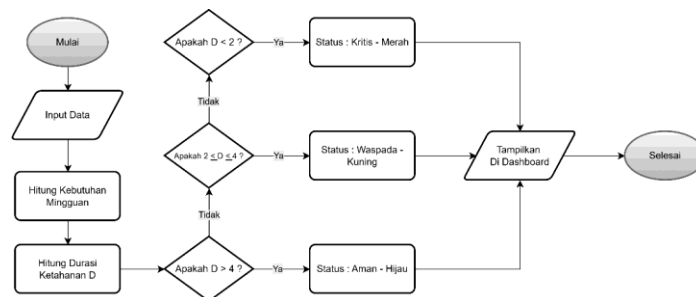
### 2.4 Analisis Kebutuhan dan Logika Algoritma

Setelah dataset melalui tahap validasi, dilakukan analisis kebutuhan untuk menentukan ambang batas (*threshold*) keputusan yang akan menjadi dasar aturan pada mesin inferensi. Logika algoritma *Rule-Based* diterapkan untuk menghitung nilai durasi ketahanan ( $D$ ) yang hasilnya kemudian diklasifikasikan ke dalam status ketersediaan pangan. Parameter klasifikasi tersebut disajikan secara mendetail pada Tabel 2.

**Tabel 2. Parameter Klasifikasi Status Ketersediaan Pangan**

No	Durasi Ketahanan (D)	Status Ketersediaan	Deskripsi Logika
1	$D > 4$ Minggu	AMAN (Hijau)	Persediaan melebihi kebutuhan bulanan
2	$2 \leq D \leq 4$ Minggu	WASPADA (Kuning)	Persediaan dalam batas minimum
3	$D < 2$ Minggu	KRITIS (Merah)	Persediaan sangat rendah (Darurat)

Mekanisme pengambilan keputusan secara teknis digambarkan melalui alur logika pada Gambar 2.



**Gambar 2. Flowchart Logika Algoritma Sistem Peringatan Dini**

Mekanisme pengambilan keputusan pada Gambar 2 menunjukkan bagaimana data stok riil diolah terhadap variabel kebutuhan mingguan masyarakat Kota Tomohon. Penggunaan ambang batas (*threshold*) dalam sistem

pakar sederhana ini sangat efektif untuk meminimalisir subjektivitas dalam penentuan status ketersediaan pangan. Proses filterisasi menggunakan tiga kondisi *rule* utama; di mana durasi ketahanan ( $D$ ) yang kurang dari 2 minggu akan memicu status Kritis, sementara durasi yang melampaui 4 minggu dikategorikan sebagai status Aman. Hasil dari kalkulasi ini kemudian akan dipublikasikan secara otomatis melalui halaman *dashboard* aplikasi sebagai informasi publik.

Kalkulasi durasi ketahanan ( $D$ ) dilakukan melalui dua tahapan komputasi. Tahap pertama adalah menentukan total kebutuhan mingguan ( $K_m$ ) berdasarkan jumlah populasi ( $P$ ) dan standar konsumsi harian ( $S_k$ ). Tahap kedua adalah membandingkan total stok ( $S_t$ ) dengan kebutuhan mingguan tersebut. Secara matematis, formulasi yang diimplementasikan dalam sistem adalah sebagai berikut:

$$K_m = \frac{P \times S_k \times 7}{1.000.000} \tag{1}$$

**Keterangan:**

1.  $K_m$  : Total Kebutuhan Mingguan (Ton).
2.  $P$  : Jumlah Populasi/Penduduk (Jiwa).
3.  $S_k$  : Standar Konsumsi (Gram/Kapita/Hari).
4. 7 : Konstanta jumlah hari dalam satu minggu.
5. 1.000.000 : Konstanta konversi satuan dari gram ke Ton.

Tahap kedua adalah membandingkan total stok ( $S_t$ ) dengan kebutuhan mingguan ( $K_m$ ) untuk mendapatkan durasi ketahanan ( $D$ ):

$$D = \frac{S_t}{K_m} \tag{2}$$

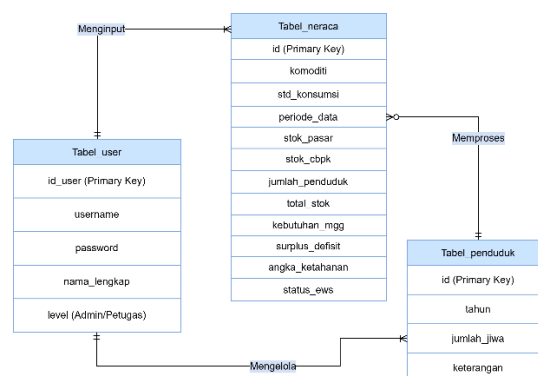
**Keterangan:**

1.  $D$  : Angka Durasi Ketahanan (Minggu).
2.  $S_t$  : Total Stok Riil (Ton).
3.  $K_m$  : Total Kebutuhan Mingguan (Ton).

Di mana  $S_k$  dinyatakan dalam satuan gram/kapita/hari,  $P$  dalam jiwa, dan  $S_t$  dalam satuan Ton. Penggunaan pembagi 1.000.000 berfungsi sebagai konstanta konversi satuan dari gram ke Ton agar tercapai konsistensi unit pengukuran. Dengan formulasi ini, sistem dapat mendeteksi potensi kerawanan pangan secara *real-time* berdasarkan dinamika stok yang diinput oleh operator melalui antarmuka berbasis *web*.

### 2.5 Perancangan Basis Data (Database Design)

Perancangan basis data dalam sistem ini menggunakan model relasional *MySQL* yang difokuskan pada integritas data dan efisiensi kalkulasi. Pemodelan data melalui *Entity Relationship Diagram (ERD)* digunakan untuk memvisualisasikan struktur logis serta hubungan antar entitas secara komprehensif [13], [14]. Skema relasi antar tabel (*Entity Relationship Diagram*) dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Skema Relasi Basis Data (*Entity Relationship Diagram*)

Berdasarkan Gambar 3, tabel\_neraca merupakan tabel utama (*central table*) yang menyimpan seluruh variabel kalkulasi peringatan dini, mulai dari volume stok (stok\_pasar, stok\_dbp), data konsumsi (std\_konsumsi), hingga hasil keputusan sistem (status\_ews). Arsitektur relasi ini melibatkan tiga entitas utama yang saling terintegrasi:

1. Tabel User: Berfungsi untuk mengelola hak akses sistem, di mana entitas ini memiliki relasi *one-to-many* terhadap tabel\_neraca dalam proses penginputan data oleh Admin atau Petugas.
2. Tabel Neraca: Menjadi pusat pemrosesan data. Tabel ini menyimpan atribut kebutuhan\_mgg dan angka\_ketahanan yang nilainya diperbarui secara otomatis oleh sistem berdasarkan rumus yang telah didefinisikan pada sub-bab sebelumnya.
3. Tabel Penduduk: Menyediakan data pendukung berupa jumlah jiwa (jumlah\_jiwa) per tahun yang direlasikan dengan tabel\_neraca untuk menentukan besaran kebutuhan pangan total secara akurat.

Relasi yang terstruktur ini menjamin bahwa setiap data yang ditampilkan pada *dashboard* aplikasi memiliki sinkronisasi yang tepat antara ketersediaan stok fisik di lapangan dengan kebutuhan riil masyarakat Kota Tomohon.

## 2.6 Implementasi Sistem (Coding)

Memasuki fase implementasi, rancangan arsitektur basis data dan skema algoritma diterjemahkan ke dalam baris kode fungsional. Selaras dengan standar pengembangan sistem informasi pelayanan publik di wilayah lokal, platform ini dibangun menggunakan bahasa pemrograman *PHP* yang terintegrasi dengan sistem manajemen basis data *MySQL* [15]. Struktur kode dirancang secara khusus untuk mensinkronisasi variabel pada tabel\_neraca dan tabel\_penduduk melalui logika *if-else* yang merepresentasikan aturan (*Rule-Based*) yang telah ditetapkan pada Tabel 1.

Prioritas utama pada tahap ini adalah menjamin mekanisme kalkulasi otomatis pada kolom angka\_ketahanan serta pembaruan status\_ews dapat beroperasi secara instan sesaat setelah data stok diinput oleh operator. Implementasi logika *conditional* dalam skrip *PHP* memastikan bahwa sistem secara sekuensial memeriksa nilai durasi ketahanan ( $D$ ) terhadap ambang batas (*threshold*) yang ada; jika  $D < 2$  maka sistem memberikan label Kritis, jika  $2 \leq D \leq 4$  maka Waspada, dan jika  $D > 4$  maka status dinyatakan Aman.

Guna meminimalisir kesalahan interpretasi angka, sistem mengadopsi tipe data *floating-point* dalam setiap proses perhitungan variabel. Penggunaan tipe data ini sangat krusial untuk menjaga akurasi hingga dua digit desimal, sekaligus mencegah terjadinya deviasi akibat pembulatan prematur (*premature rounding*) yang sering menjadi kelemahan pada pengelolaan data berbasis manual. Melalui otomatisasi ini, efisiensi kerja staf di kedinasan dapat ditingkatkan secara signifikan, sekaligus mereduksi kompleksitas birokrasi data sebagaimana efektivitas yang dihasilkan oleh sistem pemanggilan otomatis dan manajemen jadwal digital pada layanan publik lainnya.

## 2.7 Pengujian Sistem (Black Box Testing)

Guna menjamin reliabilitas aplikasi, dilakukan pengujian menggunakan metode *Black Box Testing* yang berfokus pada fungsionalitas eksternal sistem tanpa memeriksa struktur internal kode program. Metode ini dipilih untuk memastikan bahwa semua jalur input menghasilkan output yang sesuai dengan spesifikasi kebutuhan pengguna [16]. Pengujian dirancang untuk memvalidasi beberapa komponen krusial, antara lain:

- a. Autentikasi Pengguna: Memastikan hak aksesibilitas pada tabel\_user berjalan dengan aman sehingga hanya pihak berwenang yang dapat mengelola data.
- b. Akurasi Kalkulasi Otomatis: Memastikan mesin inferensi memproses rumus durasi ketahanan ( $D$ ) secara presisi berdasarkan input stok riil dan data penduduk.
- c. Ketepatan Klasifikasi Status: Memvalidasi bahwa label status (Aman, Waspada, Kritis) yang muncul di *dashboard* sudah sesuai dengan ambang batas (*threshold*) yang ditetapkan pada Tabel 1.

Skenario pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil kalkulasi sistem terhadap kalkulasi manual menggunakan *spreadsheet* untuk menjamin konsistensi data. Rincian matriks skenario serta hasil eksekusi pengujian fungsionalitas ini dipaparkan secara mendetail pada sub-bab 3.2 Evaluasi dan Pengujian Fungsionalitas.

# 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

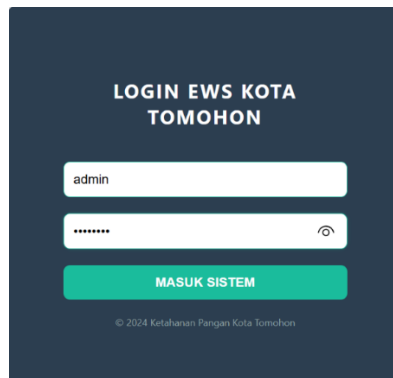
Bagian ini memaparkan hasil implementasi sistem peringatan dini ketahanan pangan Kota Tomohon serta hasil pengujian menggunakan dataset riil tahun 2024. Analisis difokuskan pada efektivitas algoritma *Rule-Based* dalam melakukan klasifikasi status ketersediaan secara otomatis.

## 3.1 Implementasi Antarmuka Sistem Berbasis Web

Bagian ini memaparkan realisasi fisik dari sistem peringatan dini yang telah dibangun. Antarmuka dirancang menggunakan bahasa pemrograman *PHP* dan basis data *MySQL* dengan fokus pada kemudahan penggunaan (*user experience*) bagi petugas Dinas Pangan Kota Tomohon.

### 3.1.1 Modul Autentikasi Pengguna (Login)

Keamanan data ketersediaan pangan dijaga melalui modul *login* terenkripsi. Sebelum mengakses data strategis, pengguna wajib melakukan verifikasi identitas melalui halaman yang disajikan pada Gambar 4.

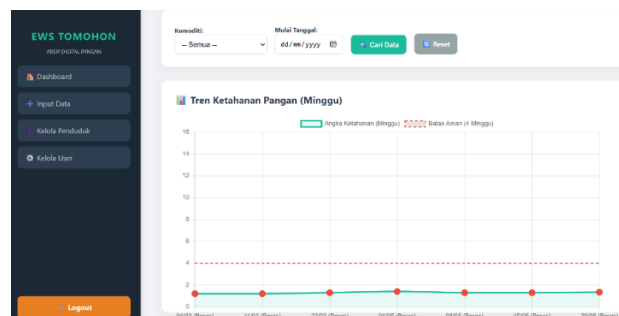


**Gambar 4.** Antarmuka Halaman Login Admin/Petugas

Gambar 4. ini melakukan sinkronisasi dengan tabel `_user` dalam basis data *MySQL*. Penggunaan algoritma autentikasi ini bertujuan untuk meminimalisir risiko anomali data akibat akses dari entitas yang tidak memiliki otoritas, sehingga setiap perubahan stok pangan dapat ditelusuri secara akuntabel.

### 3.1.2 Dashboard Utama dan Grafik Tren Ketahanan

Dashboard dirancang sebagai pusat kendali (*command center*) yang menyatukan data statistik dengan visualisasi tren grafik. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.

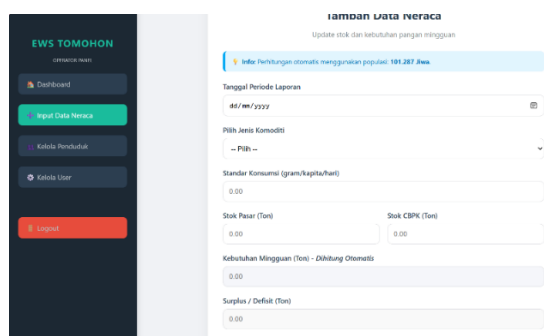


**Gambar 5.** Antarmuka Halaman Dashboard Tren Ketahanan Pangan (Minggu)

Komponen grafik pada Gambar 5 ini memungkinkan pengguna untuk mendeteksi apakah ketahanan pangan suatu komoditas sedang mengalami tren menurun (*downward trend*) atau stabil. Berbeda dengan tabel statis, grafik tren mingguan memungkinkan pimpinan untuk mendeteksi pola penurunan ketersediaan secara dini sebelum mencapai titik kritis. Jika garis tren menunjukkan deviasi menuju angka di bawah 2 minggu, sistem secara otomatis memberikan sinyal kewaspadaan visual guna memicu langkah mitigasi preventif.

### 3.1.3 Antarmuka Formulir Input Data Neraca Pangan

Proses pengumpulan data primer ke dalam sistem dilakukan melalui antarmuka input data yang dirancang untuk memudahkan admin/petugas lapangan dalam melakukan digitalisasi laporan pasokan pangan. Seperti pada Gambar 6.



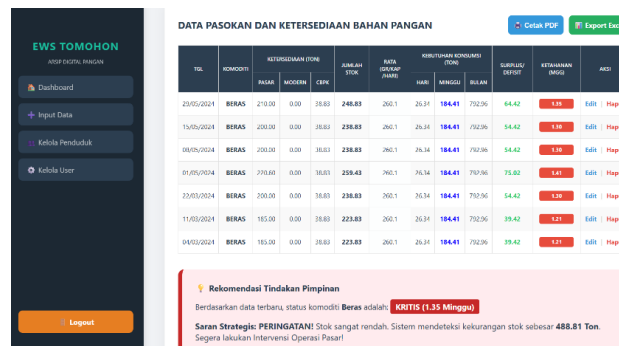
**Gambar 6.** Antarmuka Formulir Input Data Pasokan Pangan

Berdasarkan implementasi pada Gambar 6, terdapat beberapa fitur fungsional yang menjamin akurasi data sebelum disimpan ke dalam basis data:

- Informasi Populasi Dinamis: Sistem memberikan notifikasi bahwa perhitungan otomatis pada tahap pengujian ini menggunakan dataset referensi tahun 2024 dengan jumlah populasi 101.287 Jiwa. Hal ini bertujuan untuk memvalidasi akurasi logika sistem dalam mengolah data riil yang terdokumentasi.
- Struktur Input Terstandarisasi: Formulir menyediakan kolom input yang spesifik untuk parameter kunci, meliputi Tanggal Periode Laporan, Jenis Komoditi, dan Standar Konsumsi harian. Pemisahan kolom antara Stok Pasar (Ton) dan Stok CBPK (Ton) memastikan data cadangan pangan pemerintah tidak tercampur dengan stok pasar fisik.
- Kalkulasi Pratinjau (*Preview*) Otomatis: Salah satu keunggulan teknis pada halaman ini adalah kolom Kebutuhan Mingguan (Ton) dan Surplus / Defisit (Ton) yang memiliki keterangan "Dihitung Otomatis". Fitur ini mencegah petugas melakukan penghitungan manual di luar sistem, sehingga meminimalisir risiko kesalahan matematis (*human error*). Hal ini menjamin bahwa sistem memberikan hasil yang deterministik dan konsisten sesuai dengan algoritma yang dirancang.
- Eksekusi Simpan dan Hitung: Tombol utama "Simpan & Hitung Status" menunjukkan bahwa proses penyimpanan data diikuti langsung oleh pemrosesan algoritma *Rule-Based*. Begitu data disimpan, sistem secara instan menentukan status ketahanan (Aman, Waspada, atau Kritis) yang akan tampil di dashboard utama.

### 3.1.4 Visualisasi Output Analisis dan Rekomendasi Pimpinan

Halaman ini merepresentasikan fungsi kecerdasan buatan sederhana pada sistem, di mana data tidak hanya disajikan secara pasif, tetapi diolah untuk memberikan panduan operasional bagi pengambil keputusan seperti pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Visualisasi Output Analisis dan Rekomendasi Intervensi

Berdasarkan implementasi pada Gambar 7, terdapat tiga komponen utama yang mendukung efektivitas pelaporan ketersediaan pangan Kota Tomohon:

- Interpretasi Visual Status Ketahanan

Sistem menggunakan skema warna (*color-coding*) sebagai indikator cepat bagi pimpinan. Sesuai dengan klasifikasi pada metodologi penelitian, angka ketahanan 1,35 pada komoditas Beras secara otomatis memicu label "KRITIS" dengan latar belakang merah. Hal ini bertujuan untuk meminimalisir beban kognitif pengguna dalam membaca data; pimpinan tidak perlu menganalisis deretan angka secara manual, cukup melihat warna untuk mengetahui tingkat urgensi suatu masalah.

- Mesin Rekomendasi Tindakan Otomatis

Fitur utama pada halaman ini adalah panel rekomendasi di bagian bawah. Menggunakan logika *Rule-Based*, sistem mengevaluasi status terkini dan menghasilkan narasi instruksi seperti: "Segera lakukan Intervensi Operasi Pasar!". Fitur ini menjawab tantangan birokrasi yang sering kali lambat dalam memberikan respon karena ketidakpastian data. Dengan rekomendasi langsung ini, proses pengambilan keputusan berpindah dari yang bersifat subjektif menjadi objektif berdasarkan fakta digital.

- Presisi Kalkulasi Defisit Stok

Sistem memberikan angka kekurangan stok secara eksplisit, yakni 488,81 Ton. Angka ini didapatkan dari perhitungan selisih antara ketersediaan riil saat ini dengan ambang batas ketersediaan aman untuk periode satu bulan ke depan. Akurasi angka ini sangat penting untuk perencanaan anggaran dan pengadaan stok tambahan, sehingga volume intervensi pemerintah daerah benar-benar tepat sasaran tanpa adanya pemborosan sumber daya.

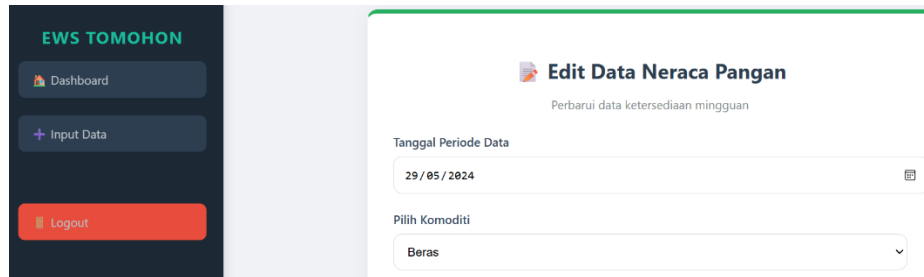
- Validasi Histori dan Sinkronisasi

Dashboard ini juga menampilkan tabel histori yang menunjukkan konsistensi data dari waktu ke waktu. Hal ini membuktikan bahwa sistem memiliki integritas basis data yang baik, di mana setiap perubahan stok melalui

halaman input akan langsung tercermin pada panel rekomendasi ini secara *real-time*. Kecepatan sinkronisasi ini memastikan pimpinan selalu mendapatkan informasi terbaru (*up-to-date*) saat membuka sistem.

### 3.1.5 Modul Pembaruan Data Neraca Pangan (Halaman Edit)

Modul ini berfungsi sebagai sarana untuk melakukan koreksi atau pembaruan terhadap data pasokan yang telah tersimpan di dalam basis data. Fitur ini krusial untuk menjaga validitas informasi jika terjadi perubahan angka stok riil di lapangan seperti pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Antarmuka Formulir Perubahan (Edit) Data Neraca Pangan

Halaman pembaruan pada Gambar 8. data atau modul edit ini dirancang sebagai instrumen koreksi yang sangat vital dalam menjaga kualitas informasi pada sistem *Early Warning System*. Secara fungsional, antarmuka ini bertugas untuk memfasilitasi petugas ketika ditemukan adanya ketidaksesuaian angka stok pangan di lapangan dengan data yang telah tersimpan sebelumnya. Ketika petugas mengakses fitur ini melalui dashboard, sistem akan melakukan pemanggilan data kembali (*data fetching*) dari basis data untuk ditampilkan secara otomatis ke dalam setiap kolom formulir, mulai dari periode tanggal hingga rincian komoditi. Hal ini memastikan petugas tidak perlu melakukan pengulangan input dari awal, melainkan cukup fokus pada variabel yang ingin diperbaiki, seperti jumlah stok pasar fisik atau stok Cadangan Beras Pemerintah/Kota (CBPK).

Keunggulan teknis dari halaman ini terletak pada kemampuannya untuk melakukan kalkulasi pratinjau secara *real-time* sebelum data benar-benar diperbarui. Sebagaimana terlihat pada Gambar 8, angka kebutuhan penduduk per minggu (184,41 Ton) dan status surplus atau defisit (64,42 Ton) akan langsung berubah menyesuaikan dengan angka stok terbaru yang dimasukkan oleh petugas. Proses ini memberikan gambaran instan mengenai dampak perubahan data terhadap ketahanan pangan di Kota Tomohon. Setelah petugas menekan tombol pembaruan, sistem akan mengeksekusi perintah UPDATE pada database *MySQL*, yang kemudian secara otomatis menyegarkan seluruh indikator warna dan status pada dashboard utama agar tetap mencerminkan kondisi lapangan yang paling akurat dan terkini.

### 3.1.6 Master Data Kependudukan

Akurasi dari seluruh kalkulasi dalam sistem *Early Warning System* ini sangat bergantung pada validitas variabel pembagi, yaitu jumlah populasi. Modul Kelola Penduduk dirancang untuk memastikan data demografi Kota Tomohon selalu diperbarui pada Gambar 9.



**Gambar 9.** Antarmuka Manajemen Master Data Penduduk

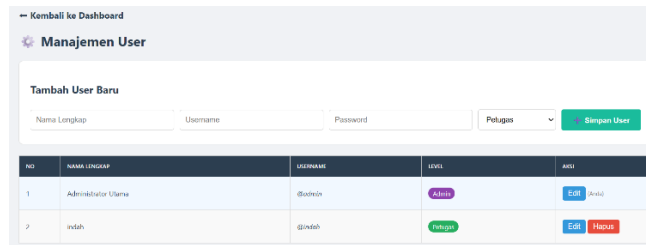
Penjelasan fungsional dari Gambar 9. ini meliputi:

- Pengaturan Populasi Sebagai Acuan Utama: Berdasarkan Gambar 9, sistem menampilkan populasi aktif sebesar 101.287 Jiwa. Angka ini merupakan variabel statis yang akan digunakan oleh skrip *PHP* untuk menghitung konsumsi harian berdasarkan proyeksi penduduk di tahun yang diinputkan.
- Fleksibilitas Pembaruan Data: Modul ini memungkinkan pembaruan data secara mandiri. Meskipun validasi dalam naskah ini menggunakan data 2024, kapabilitas sistem 2026 menjamin keberlanjutan operasional di mana pengguna dapat menginput data kependudukan tahun berjalan untuk menghasilkan analisis yang tetap relevan.

- c. Sinkronisasi *Real-Time*: Begitu data penduduk baru disimpan dan diaktifkan, seluruh status ketahanan pangan (Aman, Waspada, Kritis) pada seluruh komoditas akan berubah secara otomatis tanpa perlu mengubah data pasokan. Ini menunjukkan efisiensi dalam arsitektur basis data sistem.

### 3.1.7 Manajemen Akun Pengguna dan Keamanan Sistem (Kelola User)

Aspek keamanan dan akuntabilitas data dikelola melalui modul Manajemen User. Halaman ini berfungsi untuk mengatur siapa saja yang memiliki otoritas untuk berinteraksi dengan sistem pada Gambar 10.



**Gambar 10.** Antarmuka Manajemen Pengguna dan Hak Akses

Beberapa poin penting pada Gambar 10. ini adalah:

- a. Hierarki Hak Akses (Level): Sistem menerapkan kontrol akses berbasis level, yaitu Administrator Utama (Admin) dan Petugas. Administrator memiliki wewenang penuh atas sistem, sementara Petugas mungkin dibatasi hanya pada fungsi input data stok pasar.
- b. Akuntabilitas Entri Data: Dengan adanya akun yang bersifat individual (seperti akun "indah" pada Gambar 10), setiap data yang masuk ke database dapat ditelusuri siapa penginputnya. Hal ini penting untuk menjaga validitas data pangan yang bersifat strategis bagi pemerintah daerah.
- c. Manajemen Kredensial: Antarmuka ini menyediakan fitur untuk menambah user baru, mengedit profil, hingga menghapus akun yang sudah tidak aktif. Tombol "Edit" dan "Hapus" memberikan kontrol penuh bagi Admin untuk menjaga ekosistem pengguna yang bersih dan aman.

## 3.2 Evaluasi dan Verifikasi Metodologi

### 3.2.1 Pengujian Fungsionalitas (*Black Box Testing*)

Tahap pengujian merupakan fase krusial untuk memastikan bahwa seluruh modul yang telah diimplementasikan pada Sub-bab 3.1 beroperasi sesuai dengan spesifikasi kebutuhan yang telah ditetapkan. Metode pengujian yang diterapkan dalam penelitian ini adalah *Black Box Testing*. Pemilihan metode ini didasarkan pada kebutuhan untuk memvalidasi keluaran (output) sistem berdasarkan variasi masukan (input) tanpa harus mengintervensi struktur kode internal. Pengujian difokuskan pada fungsionalitas antarmuka, kebenaran kalkulasi matematis, dan akurasi logika *rule-based* yang menjadi inti dari *Early Warning System*.

Hasil pengujian fungsionalitas sistem dirangkum secara komprehensif dalam Tabel 3 berikut :

**Tabel 3.** Matriks Hasil Pengujian Siste

No	Komponen Uji	Skenario Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Status
1.	Autentikasi	Menginput kredensial akun yang valid pada form login	Sistem memberikan akses dan mengarahkan ke dashboard	Berhasil
2.	Entri Data	Mengisi formulir stok pangan /dan menekan tombol simpan	Data tersimpan ke database dan muncul pada tabel histori	Berhasil
3.	Kalkulasi Otomatis	Memasukkan angka stok pasar dan CBPK secara spesifik	Sistem menghitung angka ketahanan (D) secara presisi	Berhasil
4.	Logika Status: Aman	Memasukkan stok yang cukup untuk konsumsi > 4 minggu	Label status otomatis Hijau dengan keterangan AMAN	Berhasil

5.	Logika Status: Waspada	Memasukkan stok untuk konsumsi antara 2 - 4 minggu	Label status otomatis Kuning dengan keterangan WASPADA	Berhasil
6.	Logika Status: Kritis	Memasukkan data dengan nilai ketahanan < 2 minggu	Label status berubah menjadi KRITIS dengan latar Merah	Berhasil
7.	Modul Pembaruan	Mengubah angka stok melalui antarmuka halaman edit	Status ketahanan diperbarui secara real-time di dashboard	Berhasil
8.	Manajemen User	Menambahkan akun petugas baru melalui modul kelola user	Akun baru dapat digunakan untuk otorisasi akses system	Berhasil
9.	Integritas Grafik	Menambahkan data pasokan baru setiap minggu	Titik koordinat pada grafik tren bergerak secara dinamis	Berhasil

Keberhasilan pengujian pada poin 3, 4, dan 5 menunjukkan bahwa fungsi *If-Then* atau logika bercabang pada sistem telah berjalan dengan Validitas fungsional ini menunjukkan ketepatan sistem dalam mengeksekusi algoritma sesuai rancangan, namun tidak merepresentasikan tingkat akurasi prediksi kondisi pangan di lapangan secara empiris. Hal ini membuktikan bahwa mesin aturan (*rule engine*) secara deterministik mampu mengklasifikasikan data stok menjadi tiga tingkatan status (Aman, Waspada, dan Kritis) tanpa kesalahan logika program.

Dengan adanya perbedaan visual (warna hijau, kuning, dan merah), pimpinan tidak perlu lagi menghitung secara manual, melainkan cukup melakukan pemantauan pada dashboard untuk menentukan prioritas komoditas yang membutuhkan perhatian khusus. Hal ini membuktikan bahwa aplikasi tidak hanya sekadar menyimpan data, tetapi juga berfungsi sebagai alat analisis pendukung keputusan yang reliabel bagi Dinas Pangan Kota Tomohon.

Selain itu, pengujian pada fungsi pembaruan (poin 5) menunjukkan bahwa perintah UPDATE pada skrip PHP berhasil melakukan sinkronisasi ulang terhadap variabel ketahanan pangan tanpa adanya delay data atau kesalahan logika. Keberhasilan pengujian pada seluruh komponen ini memberikan jaminan bahwa aplikasi *Early Warning System* Ketahanan Pangan Kota Tomohon siap digunakan sebagai instrumen bantu bagi pemerintah daerah dalam melakukan pengawasan ketersediaan komoditas strategis secara objektif dan terukur berdasarkan parameter yang ditetapkan.

### 3.2.2 Verifikasi Akurasi Kalkulasi

Untuk menjamin reliabilitas sistem, dilakukan verifikasi manual terhadap data riil komoditas Beras per tanggal 29 Mei 2024 sebagaimana ditampilkan pada Gambar 7. Verifikasi ini bertujuan untuk membuktikan bahwa algoritma *Rule-Based* yang diimplementasikan dalam kode program telah sesuai dengan formulasi matematis yang ditetapkan.

Berdasarkan data pada Gambar 7 parameter yang digunakan adalah:

- Populasi ( $P$ ): 101.287 Jiwa
- Standar Konsumsi ( $S_k$ ): 260,1 Gram/Kapita/Hari
- Total Stok Riil ( $S_r$ ): 248,83 Ton (Hasil akumulasi Stok Pasar 210,00 Ton + CBPK 38,83 Ton)

Tahapan perhitungan manual dilakukan sebagai berikut:

Langkah 1: Menghitung Kebutuhan Mingguan ( $K_m$ )

$$K_m = \frac{101.287 \times 260 \times 7}{1.000.000} = 184,41 \text{ Ton} \quad (3)$$

Langkah 2: Menghitung Durasi Ketahanan ( $D$ )

$$D = \frac{248,83 \text{ Ton}}{184,41 \text{ Ton}} = 1,35 \text{ Minggu} \quad (4)$$

Berdasarkan hasil komputasi di atas, didapatkan nilai kebutuhan mingguan ( $K_m$ ) sebesar 184,41 Ton dan angka durasi ketahanan ( $D$ ) sebesar 1,35 Minggu. Hasil ini menunjukkan sinkronisasi sempurna dengan *output*

yang disajikan oleh sistem pada Gambar 7. Kesesuaian antara kalkulasi manual dan sistem ini membuktikan bahwa algoritma *Rule-Based* telah berhasil mengonversi parameter populasi, standar konsumsi, dan stok riil menjadi informasi peringatan dini yang valid dan reliabel untuk mendukung pengambilan keputusan bagi Pemerintah Kota Tomohon.

### 3.3 Pembahasan Analisis Keunggulan Sistem

Implementasi sistem *Early Warning System (EWS)* ketahanan pangan ini memberikan alternatif digital dalam manajemen data strategis di Kota Tomohon. Berdasarkan hasil pengujian dan pengamatan selama fase implementasi, terdapat beberapa poin krusial yang menjadi nilai tambah dibandingkan dengan metode pemantauan konvensional. Hal ini sejalan dengan penelitian peringatan dini pangan di wilayah lain di Indonesia yang menunjukkan bahwa transformasi digital sangat diperlukan untuk menjaga stabilitas ketersediaan pangan daerah [17].

#### 3.3.1 Perbandingan Efisiensi dengan Metode Manual

Sebelum adanya sistem ini, proses penentuan status ketahanan pangan dilakukan melalui kalkulasi manual menggunakan lembar kerja (*spreadsheet*) yang rentan terhadap kesalahan input dan keterlambatan birokrasi. Perbandingan performa antara metode lama dengan sistem EWS berbasis *web* disajikan dalam Tabel 4.

**Tabel 4.** Perbandingan Metode Manual vs Sistem EWS Web-Based

Parameter	Metode Manual (Spreadsheet)	Sistem EWS (Web-Based)
Kecepatan Olah Data	15 – 30 Menit per Komoditas	< 1 Detik (Otomatis)
Risiko Kesalahan	Tinggi ( <i>Human Error</i> )	Rendah (Algoritma Terkunci)
Output Rekomendasi	Bergantung Interpretasi Staf	Otomatis Berbasis <i>Rule-Based</i>
Aksesibilitas Data	Terbatas pada File Komputer Kantor	<i>Real-time</i> melalui <i>Browser</i>

#### 3.3.2 Akurasi Intervensi Melalui Kalkulasi Defisit

Salah satu temuan penting dalam pembahasan ini adalah kemampuan sistem dalam menghitung volume defisit stok secara presisi. Sebagai contoh, merujuk pada Gambar 7, ketika sistem mendeteksi kondisi kritis pada komoditas beras dengan durasi 1,35 minggu, sistem tidak hanya memberi peringatan visual, tetapi juga menghitung secara eksplisit kekurangan stok sebesar 488,81 Ton untuk mencapai level aman.

Informasi angka defisit ini sangat vital bagi Dinas Pangan dalam melakukan pengadaan stok atau Operasi Pasar yang tepat sasaran. Hal ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menekankan bahwa digitalisasi data pangan krusial dalam mempercepat respon kebijakan mitigasi kelangkaan. Selain itu, Yulianis dkk. menegaskan bahwa penggunaan indikator yang sensitif terhadap perubahan stok dan harga sangat menentukan ketajaman prediksi dalam sistem peringatan dini pangan [18]. Dengan demikian, efisiensi anggaran daerah dapat terjaga dengan menghindari pembelian stok yang berlebihan."

#### 3.3.3 Validasi Rekomendasi Tindakan Otomatis

Fitur inovatif berupa panel rekomendasi pada bagian bawah antarmuka (Gambar 7) membuktikan fungsi sistem sebagai *Decision Support System (DSS)* yang reliabel. Dengan menggunakan logika *Rule-Based*, sistem mengevaluasi status terkini dan menghasilkan narasi instruksi seperti: "*Segera lakukan Intervensi Operasi Pasar!*". Hal ini sejalan dengan prinsip sistem pendukung keputusan yang dirancang untuk mendukung pengambilan keputusan yang kompleks melalui analisis data yang terstruktur guna meningkatkan efektivitas kebijakan [19]. Fitur ini menjawab tantangan birokrasi yang sering kali lambat dalam memberikan respon karena ketidakpastian data; dengan rekomendasi langsung ini, proses pengambilan keputusan berpindah dari yang bersifat subjektif menjadi objektif berdasarkan fakta digital. Efektivitas logika *Rule-Based* dalam menghasilkan keputusan adaptif ini juga telah dibuktikan dalam berbagai aplikasi sistem cerdas yang mampu menyesuaikan variabel keluaran secara dinamis tanpa memerlukan instalasi perangkat keras tambahan. Implementasi ini memperkuat validasi bahwa mekanisme *if-then rules* pada sistem ini memadai untuk menghasilkan instruksi intervensi stok yang proaktif bagi pengambil kebijakan [20].

#### 3.3.4 Visualisasi Tren untuk Mitigasi Jangka Panjang

Kehadiran grafik tren mingguan pada *dashboard* (Gambar 5) memberikan kemampuan bagi pimpinan untuk melakukan analisis prediktif. Dengan memantau pergerakan garis stok, pola kelangkaan pangan pada periode tertentu (seperti menjelang hari raya) dapat dideteksi lebih awal sebelum mencapai status kritis. Kemampuan *early*

warning ini menjadi instrumen mitigasi bencana non-alam yang berperan dalam menjaga stabilitas sosial dan ekonomi masyarakat Kota Tomohon.

### 3.3.5 Akuntabilitas dan Keamanan Data Digital

Selain aspek kalkulasi, keunggulan sistem ini terletak pada mekanisme keamanan data melalui modul manajemen pengguna Gambar 10. Penggunaan kontrol akses berbasis level (Admin dan Petugas) memastikan bahwa setiap entri data stok pasar maupun cadangan pemerintah dapat ditelusuri akuntabilitasnya (*audit trail*). Hal ini memberikan lapisan keamanan yang lebih baik dibandingkan penyimpanan data dalam berkas fisik atau *spreadsheet* biasa yang mudah dimodifikasi tanpa jejak. Fleksibilitas pembaruan data penduduk pada modul master data Gambar 9 juga menjamin bahwa seluruh analisis ketahanan pangan dalam sistem ini selalu menggunakan basis data kependudukan yang paling mutakhir, sehingga hasil analisis tetap relevan terhadap dinamika demografi Kota Tomohon.

## 4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil mengembangkan sistem *Early Warning System* (EWS) ketahanan pangan berbasis web di Kota Tomohon yang mengintegrasikan algoritma *Rule-Based* untuk mentransformasi manajemen data ketersediaan pangan dari metode konvensional ke digital. Implementasi ini terbukti meningkatkan efisiensi operasional dan aksesibilitas data secara *real-time* sekaligus meminimalisir risiko kesalahan input yang umum terjadi pada sistem manual. Capaian teknis utama penelitian ini ditunjukkan melalui validitas fungsional penuh pada pengujian *black-box*, di mana mesin aturan mampu mengeksekusi sinkronisasi kalkulasi antara variabel populasi dan stok riil secara presisi untuk menetapkan status ketahanan serta volume defisit tanpa adanya kegagalan logika program. Secara strategis, sistem ini berfungsi sebagai *Decision Support System* (DSS) yang objektif bagi pemerintah daerah melalui penyediaan visualisasi tren dan rekomendasi intervensi otomatis yang didasarkan pada parameter numerik terukur. Meskipun telah memenuhi spesifikasi fungsional yang direncanakan, pengembangan sistem di masa mendatang disarankan untuk mengintegrasikan variabel eksternal seperti data cuaca atau fluktuasi harga pasar melalui pendekatan kecerdasan buatan guna memperkuat kapabilitas prediktif dalam menjaga stabilitas ketahanan pangan daerah.

## REFERENCES

- [1] (2025) H. Y. Suryati, "Manajemen Rantai Pasok Komoditas Sayuran Berkelanjutan di Indonesia," *Jurnal Bisnis*, vol. 13, no. 2, pp. 307–324, 2025.
- [2] Kristiawan, *Ketahanan Pangan*. Scopindo Media Pustaka, 2021.
- [3] R. Hendri, M. B. Hartanto, and A. Agustin, "Rancang Bangun Sistem Pendukung Keputusan Validasi Data Pegawai Polda Dengan Metode AHP Berbasis WEB," *Jurnal Teknologi dan Informatika (JEDA)*, vol. 4, no. 1, Apr. 2023, doi: 10.57084/jeda.v4i1.1189.
- [4] N. J. S. K. C. N. J. R. Katrina Julaihi Aisyah, "Digital Record-Keeping Practices: Electronic Records and Archives in the Cloud," *Journal of Engineering Trends and Technology*, vol. 72, no. 10, pp. 267–281, 2024.
- [5] Perrina Grace Maria, "Literature Review Sistem Informasi Geografis (SIG)," *Journal of Information Technology and Computer Science*, vol. 10, no. 10, 2021.
- [6] M. N. N. A. I. K. F. I. Eko Aziz Apriadi, "PENGEMBANGAN SISTEM EARLY WARNING BERBASIS DATA UNTUK MONITORING KERENTANAN SOSIAL DAN EKONOMI MASYARAKAT DI KECAMATAN BAKAUHENI, KABUPATEN LAMPUNG SELATAN," *Jurnal Pengabdian Masyarakat*, vol. 2, no. 3, Sep. 2023.
- [7] A. K. A. Pilliang Marzuki, "OPTIMASI SENSITIVITAS EARLY WARNING SYSTEM AKADEMIK BERBASIS ZONASI MELALUI STRATEGI KLASIFIKASI PROAKTIF," *Jurnal Simasi: Jurnal Ilmiah Sistem Informasi*, vol. 5, no. 2, pp. 699–710, 2025.
- [8] Moningkey R.S Efraim and Modeong Asfiani Dinda, "Implementasi Rule-Based Classification Untuk Klasifikasi Penggunaan Lahan Berbasis WebGIS," *SemanTIK: Teknik Informasi*, vol. 11, no. 2, Dec. 2025, doi: 10.55679/semantik.v11i2.242.
- [9] A. A. F. B. Putu Wahyu Pratama, "Rancang Bangun Aplikasi Transliterasi Aksara Latin menjadi Aksara Sasak Menggunakan Algoritma Rule Based Berbasis Android," *JTIKA*, vol. 3, no. 2, pp. 2657–0327, Sep. 2021.
- [10] Y. A. Sibarani and E. Hutabri, "PERANCANGAN GAME EDUKASI BAHASA INGGRIS DENGAN RPG MAKER MV MENGGUNAKAN ALGORITMA RULE BASED," *Computer and Science Industrial Engineering (COMASIE)*, vol. 9, no. 1, Sep. 2023, doi: 10.33884/comasiejournal.v9i1.7416.
- [11] K. C. Q. Kenap. A. Audy. Moningka Criszela, "Informasi Pangan Kota Tomohon Menggunakan Metode Prototype," *JOURNAL OF INFORMATICS, BUSINESS, EDUCATION AND INNOVATION TECHNOLOGY*, vol. 2, no. 2, 2024.
- [12] K. E. C. P. Santa. Kristofel. Dotulong Injili Whitney Gratia, "Pemanfaatan Big Data dalam Mendukung Pengambilan Keputusan Berbasis Data di Berbagai Bidang: Studi Literatur," *Edutik: Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi dan Komunikasi*, vol. 6, no. 1, pp. 234–242, 2026.
- [13] W. S. M. A. A. H. H. S. K. L. Sinuraya Junus, *Analisis Perancangan Sistem*. CV Megapress Nusantara, 2022.



- [14] S. Y. Fauziyah Syifa, "Literature Review: Analisis Metode Perancangan Sistem Informasi," *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, vol. 8, no. 2, 2022.
- [15] Rorimpandey. C. Gladly. Santa. Kristofel. Mawuntu T Crisila Krina, "Perancangan Sistem Antrian Berbasis Web Pada Puskesmas Pangolombian," *Jurnal Penelitian Teknologi Informasi Dan Sains*, vol. 1, no. 2, pp. 15–31, Jun. 2023.
- [16] M. G. & I. A. GS, "Menggunakan Black Box Testing dan Skala Kegunaan Sistem pada Aplikasi Kidung Sekar Madya," *Jurnal Dan Penelitian Teknik Informatika*, vol. 6, no. 4, pp. 2292–2302, 2022.
- [17] S. F. Muttaqin Imam Muhammad, "Early Warning System Ketahanan Pangan terhadap Inflasi Pangan di Kabupaten Sukabumi Menggunakan Metode SAW," *SISMATIK (Seminar Nasional Sistem Informasi dan Manajemen Informatika)*, vol. 4, 2024.
- [18] N. Yulianis *et al.*, "Penyempurnaan indikator keterjangkauan pada sistem peringatan dini kerawanan pangan dan gizi," *Analisis Kebijakan Pertanian*, vol. 22, no. 2, pp. 169–182, Jan. 2025, doi: 10.21082/akp.v22i2.169-182.
- [19] L. T. S. N. A. H. I. G. I. S. M. S. A. M. M. B. D. M. N. L. W. S. R. G. L. M. F. I. Sarwandi, *Sistem Pendukung Keputusan*. CV. Graha Mitra Edukasi, 2023.
- [20] R. A. Ilham and Moh. A. Romli, "IMPLEMENTASI ALGORITMA RULE-BASED DAN CLUSTERING UNTUK APLIKASI PERAWATAN MOTOR MATIK ADAPTIF 'MOTOCARE,'" *Information System Journal*, vol. 8, no. 02, pp. 85–94, Dec. 2025, doi: 10.24076/infosjournal.2025v8i02.2365.