

Prototipe Web Sistem Pendukung Keputusan Risiko Stunting Balita Berbasis *Certainty Factor* dan *Evidence Base*

Muhammad Nurwegiono^{1*}, Paulus Lucky Tirma Irawan², Ummu Ditya Erliana³, Mahendra Data⁴

¹Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Teknologi dan Desain, Universitas Ma Chung, Indonesia

²Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknologi dan Desain, Universitas Ma Chung, Indonesia

³Program Studi Ilmu Gizi, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Brawijaya, Indonesia

⁴Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya, Indonesia

muhammad.nurwegiono@machung.ac.id, paulus.lucky@machung.ac.id, ummuditya.fk@ub.ac.id, mahendra.data@ub.ac.id

Abstrak.

Tujuan : Mengembangkan prototipe web Sistem Pendukung Keputusan (SPK) risiko stunting balita yang modular, dapat diaudit, dan mampu menelusuri dasar pengetahuan dari hasil asesmen hingga evidence ilmiah.

Metode/Design/Pendekatan: Prototipe dikembangkan menggunakan arsitektur *Model-View-Controller* dengan PHP 8.1, MySQL, Bootstrap 5, dan JavaScript. Data mentah dipisahkan dari derivasi indikator, *Rule Base*, *Evidence Base*, parameter *Certainty Factor* (CF), dan *inference trace*. Verifikasi perangkat lunak dilakukan melalui delapan skenario *functional walkthrough* dan lima *regression test* mesin inferensi terhadap perhitungan manual.

Hasil/Temuan: Seluruh 8 dari 8 skenario fungsional memenuhi keluaran yang diharapkan (100%). Seluruh 5 dari 5 *regression test* menghasilkan nilai identik pada presisi tiga desimal (100% konsisten; selisih absolut maksimum 0,000). Hasil tersebut membuktikan konsistensi implementasi perangkat lunak, bukan validitas klinis model.

Kebaharuan/Originalitas/Nilai: Kontribusi utama penelitian adalah prototipe web yang memisahkan *knowledge base* dari *source code* serta menyediakan *Evidence Base* dan *inference trace* sehingga hasil dapat ditelusuri ke *rule*, indikator, dan *evidence*. Prototipe merupakan *proof of concept* dan belum ditujukan sebagai pengganti keputusan klinis.

Keywords: *stunting*, sistem pendukung keputusan, *certainty factor*, *prototipe web*, *evidence*, *traceability*

Abstract.

Purpose: To develop a modular and auditable web-based Decision Support System (DSS) prototype for stunting-risk assessment with traceability from assessment results to the supporting scientific evidence.

Methods/Study design/approach: The prototype was developed using a Model-View-Controller architecture with PHP 8.1, MySQL, Bootstrap 5, and JavaScript. Raw data were separated from indicator derivation, the Rule Base, Evidence Base, Certainty Factor (CF) parameters, and inference traces. Software verification used eight functional walkthrough scenarios and five inference-engine regression tests against manual calculations.

Result/Findings: All 8 of 8 functional scenarios met the expected outputs (100%). All 5 of 5 regression tests reproduced the manual values at three-decimal precision (100% consistency; maximum absolute difference 0.000). These findings demonstrate implementation consistency rather than clinical validity.

Novelty/Originality/Value: The main contribution is a web prototype that separates the knowledge base from source code and provides an Evidence Base and inference trace, allowing results to be traced to active rules, indicators, and supporting evidence. The prototype remains a proof of concept and is not intended to replace clinical decision-making.

Keywords: *stunting*, decision support system, *certainty factor*, web prototype, *evidence*, *traceability*

Article history:

Received, 2026-10-13

Revised, 2026-10-15

Accepted, 2026-10-20

^{1*}Corresponding author.

Muhammad Nurwegiono.

Email addresses: muhammad.nurwegiono@machung.ac.id

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



PENDAHULUAN

Stunting merupakan masalah pertumbuhan kronis pada anak yang berkaitan dengan faktor maternal, ukuran lahir, praktik pemberian makan, penyakit infeksi, kondisi lingkungan, dan akses pelayanan kesehatan [1], [2], [11], [12], [15]. Paparan asap rokok dalam keluarga [13] dan ketidaklengkapan imunisasi dasar [14] juga dilaporkan berkaitan dengan stunting. Keragaman faktor tersebut menunjukkan bahwa penilaian risiko membutuhkan integrasi data dari beberapa domain sekaligus, disertai mekanisme yang mampu menjelaskan dasar setiap hasil.

Certainty Factor (CF) merupakan pendekatan berbasis pengetahuan untuk merepresentasikan tingkat keyakinan terhadap suatu hipotesis [3]. Pada MYCIN, CF digunakan untuk mendukung penalaran ketika evidence tidak selalu lengkap, sedangkan analisis berikutnya menunjukkan bahwa mekanisme kombinasi CF memiliki asumsi tertentu terhadap hubungan antar-evidence [4]. Dalam konteks stunting, karakteristik tersebut relevan karena informasi keluarga, maternal, pola makan, infeksi, dan lingkungan dapat tersedia dengan tingkat kelengkapan yang berbeda.

Sejumlah penelitian telah menerapkan CF pada sistem stunting untuk diagnosis dan monitoring [5], diagnosis berbasis gejala [6], deteksi awal [7], maupun deteksi risiko yang menggabungkan Case Based Reasoning dan CF [8]. Meskipun memberikan dasar penting, fokus utama penelitian tersebut umumnya berada pada perhitungan gejala dan keluaran diagnosis atau skor akhir. Belum banyak dibahas bagaimana evidence ilmiah dikelola sebagai objek pengetahuan yang dapat diperbarui, bagaimana data mentah diturunkan menjadi indikator secara terdokumentasi, bagaimana rule dan parameter dipisahkan dari source code, serta bagaimana setiap hasil dapat ditelusuri kembali melalui inference trace. Kesenjangan inilah yang menjadi fokus rekayasa perangkat lunak pada penelitian ini.

Pendekatan berbasis web dipilih karena knowledge base dan rule perlu dikelola secara terpusat, diperbarui tanpa instalasi ulang pada perangkat pengguna, dan diakses melalui peran yang berbeda menggunakan peramban. Arsitektur web juga memudahkan konsistensi versi pengetahuan, pencatatan audit, dan pengujian ulang terhadap hasil asesmen. Sebagai pembanding metodologis, Bayesian network dapat memodelkan dependensi kondisional secara eksplisit [9], sedangkan pendekatan ketidakpastian lain dapat merepresentasikan belief dan ignorance dengan cara berbeda [10]. Pada tahap proof of concept dengan data lokal terbatas, rule-based CF tetap dipilih karena alur inferensinya dapat diperiksa secara langsung.

Artikel ini berfokus pada realisasi perangkat lunak dari model SPK risiko stunting, bukan pada validasi klinis bobot CF. Kontribusi yang ditawarkan adalah prototipe web modular yang memisahkan raw data, derivasi indikator, Evidence Base, Rule Base, parameter CF, mesin inferensi, dan inference trace. Tujuan penelitian adalah mengembangkan prototipe yang dapat diaudit dan diverifikasi secara komputasional, kemudian mengukur keberhasilan implementasinya melalui functional walkthrough dan regression test sebelum dilanjutkan ke validasi pakar, usability testing, pengujian keamanan, dan evaluasi pada data yang representatif.

METODE PENELITIAN

Desain Pengembangan Prototipe

Penelitian menggunakan pendekatan pengembangan prototipe untuk menerjemahkan model konseptual menjadi perangkat lunak web pada tahap proof of concept. Tahapan pengembangan meliputi analisis kebutuhan, pemodelan data dan arsitektur, implementasi modul, integrasi mesin inferensi CF, serta verifikasi perangkat lunak. Kebutuhan diturunkan menjadi kebutuhan fungsional yang dapat diuji, sebagaimana dirangkum pada Tabel 1. Seluruh pengujian menggunakan akun dan data uji/dummy sehingga tidak melibatkan penggunaan prototipe sebagai alat diagnosis klinis.

Tabel 1. Kebutuhan fungsional utama prototipe

ID	Kebutuhan Fungsional
FR-01	Pengelolaan data balita dan data asesmen
FR-02	Penyimpanan jawaban mentah sebelum derivasi indikator
FR-03	Evidence Base untuk menyimpan sumber ilmiah pendukung
FR-04	Indicator/Knowledge Base yang dapat diubah tanpa mengubah source code
FR-05	Rule Base yang menghubungkan indikator dengan hipotesis risiko
FR-06	Modul expert judgment disiapkan untuk MB/MD pada tahap validasi pakar
FR-07	Mesin inferensi Certainty Factor sebagai service/engine terpisah
FR-08	Hasil yang menampilkan nilai CF, rule aktif, faktor dominan, dan keterbatasan data
FR-09	Monitoring, riwayat asesmen, laporan, dan audit trail
FR-10	Keterlacakan hasil ke rule, indikator, dan evidence ilmiah

Teknologi dan Arsitektur Sistem

Prototipe dikembangkan sebagai aplikasi web dengan PHP 8.1, MySQL, Bootstrap 5, dan JavaScript menggunakan pola Model-View-Controller (MVC). View menangani presentasi, Controller mengorkestrasi proses aplikasi, sedangkan Model menangani akses data. Perhitungan CF ditempatkan pada service/engine terpisah agar dapat diuji secara independen. Evidence, indikator, rule, threshold, parameter CF, dan version ID disimpan pada lapisan pengetahuan/data sehingga perubahan konfigurasi tidak memerlukan penulisan ulang logika pada antarmuka. Pendekatan ini mendukung pembaruan terpusat, audit trail, dan konsistensi konfigurasi antar pengguna.

Tabel 2. Arsitektur logis prototipe

Lapisan	Komponen
Presentation Layer	Beranda, login, formulir asesmen, dashboard, hasil, monitoring
Application Layer	Validasi data, derivasi indikator, orkestrasi asesmen, explanation service
Knowledge Layer	Evidence Base, indikator, Rule Base, parameter CF, expert judgment
Inference Layer	CF engine, aktivasi rule, agregasi kontribusi, penyimpanan trace
Data/Audit Layer	Data balita, raw response, hasil asesmen, riwayat, versi knowledge base, audit log

Penerjemahan Kebutuhan ke Indikator, Rule, dan Parameter CF

Penerjemahan kebutuhan dilakukan secara berlapis. Pertama, kebutuhan asesmen menentukan variabel mentah yang harus dikumpulkan. Kedua, setiap variabel mentah dipetakan oleh aturan derivasi menjadi status indikator: aktif, tidak aktif, tidak diketahui, atau tidak berlaku. Ketiga, *Rule Engine* mengevaluasi kondisi *IF-THEN* berdasarkan indikator aktif. Keempat, *rule* aktif mengambil parameter CF dari *knowledge base* versi yang sedang berlaku; parameter tersebut tidak ditulis langsung di *source code*. Kelima, *CF Engine* menghitung kontribusi dan urutan kombinasi sesuai konfigurasi model, kemudian menyimpan nilai antara bersama *rule ID*, *indicator ID*, *evidence ID*, dan *version ID* sebagai *inference trace*. Karena *expert elicitation* belum selesai, parameter yang ada pada prototipe diperlakukan sebagai konfigurasi kerja untuk verifikasi komputasi, bukan bobot klinis final.

Tabel 3. Penerjemahan kebutuhan menjadi indikator, rule, dan parameter CF

Sumber kebutuhan	Raw data	Derivasi indikator	Aktivasi rule	Parameter CF	Trace yang disimpan
Riwayat kelahiran	Berat lahir/usia gestasi	Status indikator diturunkan dari nilai mentah dan definisi operasional	Rule aktif bila kondisi terpenuhi	Parameter versi aktif + source status	Indicator ID, Rule ID, Evidence ID, nilai antara
Riwayat ASI/MPASI	Ya/tidak/tidak tahu dan usia mulai MPASI	Jawaban dipetakan menjadi indikator; 'tidak tahu' disimpan terpisah	Rule hanya dievaluasi bila status relevan	Parameter versi aktif	Status data + rule aktif/tidak aktif
Pola makan	Frekuensi dan kelompok pangan	Sistem menghitung indikator sesuai aturan usia/konteks	Rule menggunakan derived indicator	Parameter versi aktif	Nilai indikator dan kontribusi rule
Kesehatan/maternal	Diare/infeksi, anemia/KEK, ANC	Data faktual dipetakan melalui derivation rule	Rule aktif bila kondisi terpenuhi	Parameter versi aktif	Jejak raw data -> indikator -> rule
Lingkungan	Sumber air, sanitasi, higiene	Kategori raw diklasifikasikan di backend	Rule menggunakan hasil klasifikasi	Parameter versi aktif	Klasifikasi, rule, evidence, version ID

Alur Data dan Mesin Inferensi

Alur inferensi dimulai dengan validasi dan penyimpanan *raw response*. *Derivation rule* kemudian membentuk *derived indicator* tanpa menghapus nilai mentah. Status 'tidak diketahui' disimpan terpisah dari kondisi yang diketahui tidak ada, sehingga ketidaklengkapan data tidak menghasilkan kepastian semu. *Rule Engine* mengevaluasi kondisi pada indikator, *CF Engine* mengambil parameter berdasarkan *knowledge_base_version*, lalu menghitung kontribusi sesuai konfigurasi model. Untuk setiap asesmen, sistem menyimpan *active_rules*, nilai antara, urutan kombinasi, serta relasi ke *indicator ID* dan *evidence ID* sebagai *inference trace*. Alur operasional ini dirangkum pada Algoritma 1.



Gambar 1. Alur bisnis dan komponen utama prototipe SPK risiko stunting

Algoritma 1. Alur inferensi pada prototipe

INPUT : raw_response, source_status, knowledge_base_version

OUTPUT : assessment_result, active_rules, inference_trace

- 1 validasi raw_response dan tandai data tidak diketahui/tidak berlaku
- 2 turunkan raw_response menjadi derived_indicator
- 3 ambil rule aktif dari Rule Base
- 4 ambil bobot/parameter dari knowledge base versi aktif
- 5 hitung kontribusi CF setiap rule aktif
- 6 gabungkan kontribusi sesuai konfigurasi model
- 7 simpan nilai antara dan urutan kombinasi sebagai inference_trace

8 bentuk interpretasi, faktor dominan, dan keterbatasan data

9 simpan assessment_result dan version ID

Desain Antarmuka dan Peran Pengguna

Peran prototipe mencakup admin/peneliti, pakar gizi atau kesehatan anak, dan petugas kesehatan/*tester*. Admin mengelola *evidence*, indikator, *rule*, pengguna, hasil, dan laporan. Modul pakar menyiapkan penyimpanan MB, MD, komentar, dan versi penilaian untuk tahap validasi berikutnya. Petugas/*tester* dapat memasukkan data uji, menjalankan asesmen, meninjau *inference trace*, dan mencetak laporan. Pemisahan peran ini digunakan untuk menguji alur perangkat lunak dan belum berarti sistem siap digunakan untuk pengambilan keputusan klinis.

Verifikasi Prototipe

Verifikasi dilakukan pada dua tingkat. *Functional walkthrough* menggunakan delapan skenario yang mewakili fungsi inti pada Tabel 5. Setiap skenario dijalankan menggunakan akun dan data uji; status dinyatakan 'Sesuai' apabila *output* aktual memenuhi kriteria yang telah ditetapkan. Persentase keberhasilan fungsional dihitung dari jumlah skenario yang sesuai dibandingkan seluruh skenario. *Regression test* kemudian membandingkan lima keluaran mesin inferensi dengan hasil perhitungan manual pada presisi tiga desimal. Suatu *trace* dinyatakan konsisten apabila selisih absolut tidak lebih dari 0,001. Persentase konsistensi dihitung dari jumlah *trace* yang memenuhi kriteria dibandingkan lima *trace*. Kedua pengujian tersebut mengevaluasi implementasi perangkat lunak, bukan sensitivitas, spesifisitas, atau validitas klinis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Realisasi Modul Prototipe

Prototipe berhasil merealisasikan modul data balita, asesmen, *Evidence Base*, *Indicator/Knowledge Base*, *Rule Base*, *expert judgment*, *CF Engine*, hasil analisis, *monitoring*, serta laporan/audit. *Backend* memisahkan data operasional dari lapisan pengetahuan sehingga perubahan *evidence* atau *rule* dapat dikelola melalui data konfigurasi. Keterhubungan fitur dengan bukti verifikasi tidak hanya ditunjukkan melalui tampilan antarmuka, tetapi juga melalui *functional walkthrough* pada Tabel 4.

Tabel 4. Modul prototipe dan fungsi utama

Modul	Fungsi
Data Balita	Menyimpan identitas minimum, data pertumbuhan, dan riwayat asesmen.
Asesmen	Mengumpulkan raw data secara bertahap dan menyimpan status tidak diketahui.
Evidence Base	Menyimpan referensi, jenis evidence, ringkasan temuan, dan relasi ke indikator/rule.
Indicator & Knowledge Base	Menyimpan definisi operasional, domain, status, dan versi indikator.
Rule Base	Menyimpan aturan IF-THEN dan hubungan indikator dengan hipotesis risiko.
Expert Judgment	Menyiapkan ruang penyimpanan MB, MD, komentar, dan versi penilaian pakar.
CF Engine	Menghitung kontribusi rule dan menghasilkan jejak kombinasi.
Hasil Analisis	Menampilkan CF final, rule aktif, faktor dominan, interpretasi, dan keterbatasan.
Monitoring	Menampilkan riwayat nilai, tren, tindak lanjut, dan perbandingan asesmen.
Laporan/Audit	Mencetak hasil dan menyimpan version ID serta jejak perubahan.

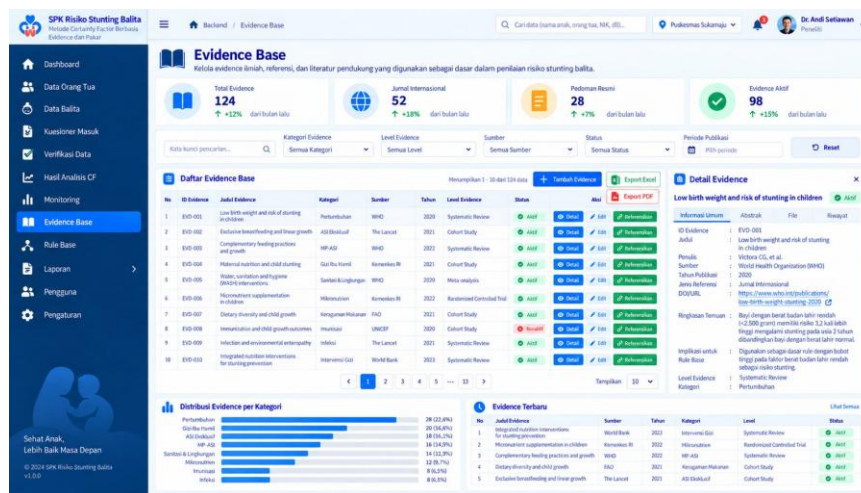
Alur Asesmen dan Pengelolaan Data

Antarmuka asesmen menggunakan pola *wizard* agar data dikumpulkan secara bertahap: data anak, riwayat kelahiran dan ASI, pola makan, kesehatan anak, riwayat ibu/keluarga, lingkungan/sanitasi, *review*, dan hasil. *Progress indicator* menunjukkan tahap yang sedang dikerjakan. Pada verifikasi fungsional, skenario asesmen bertahap dinyatakan berhasil ketika perpindahan tahap, penyimpanan *input*, dan tampilan *progress* berjalan sesuai kriteria uji.

Pemisahan *raw data* dari *derived indicator* merupakan mekanisme audit utama. Pengguna/tester memasukkan data faktual, sedangkan *backend* melakukan klasifikasi sesuai *derivation rule*. Dengan demikian, perubahan definisi indikator pada versi berikutnya dapat diuji ulang tanpa menghilangkan data sumber. Status 'tidak diketahui' juga disimpan secara eksplisit dan pada *functional walkthrough* terbukti tidak diperlakukan sama dengan jawaban 'tidak'.

Evidence Base dan Keterlacakan Pengetahuan

Evidence Base menyimpan informasi bibliografi, jenis sumber, tahun, status, ringkasan temuan, dan relasinya terhadap indikator atau *rule*. Pada pengujian, detail *evidence* dapat dibuka dari daftar dan ditelusuri ke sumber yang dicatat. Jalur *Result -> Rule -> Indicator -> Evidence* menjadi mekanisme *provenance* pengetahuan yang membedakan prototipe ini dari sistem yang hanya menyimpan skor atau bobot CF tanpa jejak sumber.



Gambar 2. Modul Evidence Base dan pengelolaan sumber evidence pada prototipe

Hasil Analisis dan Explanation Layer

Halaman hasil menampilkan CF final, *rule* aktif, faktor dominan, interpretasi, dan keterbatasan data. *Functional walkthrough* mengonfirmasi bahwa komponen tersebut muncul setelah asesmen selesai. Nilai kategori dan parameter pada prototipe masih merupakan konfigurasi kerja untuk *proof of concept*; karena *expert judgment* dan evaluasi klinis belum dilakukan, hasil tidak boleh ditafsirkan sebagai diagnosis atau estimasi probabilitas klinis. *Inference trace* disimpan di *backend* bersama *rule* yang aktif dan kontribusi CF sehingga hasil dapat direkonstruksi. Keberhasilan implementasi fitur ini ditunjukkan oleh kemampuan sistem menampilkan hasil analisis sekaligus mempertahankan hubungan ke *knowledge base*. Dengan demikian, *explanation layer* merupakan bagian dari proses inferensi, bukan sekadar teks penjelas setelah skor akhir terbentuk.

Monitoring dan Riwayat

Modul monitoring menyajikan riwayat asesmen dan tren dari data uji yang telah disimpan. *Functional walkthrough* menunjukkan riwayat dapat ditampilkan kembali sesuai data yang tersedia. Fungsi ini ditujukan untuk mendukung penelusuran perubahan asesmen pada tahap pengembangan, bukan untuk menyatakan diagnosis longitudinal atau efektivitas intervensi.

Verifikasi Fungsional dan Konsistensi Komputasi

Tabel 5. Hasil functional walkthrough prototype

Skenario	Prosedur dan kriteria verifikasi	Hasil
Login dan pembatasan akses	Login dengan akun uji valid; berhasil bila dashboard sesuai peran dapat ditampilkan	Sesuai
Input data balita	Menyimpan data uji balita; berhasil bila record tersimpan dan dapat ditampilkan kembali	Sesuai
Asesmen bertahap	Mengisi dan berpindah antar tahap; berhasil bila input tersimpan dan progress mengikuti tahap aktif	Sesuai
Status tidak diketahui	Memilih opsi 'tidak tahu'; berhasil bila status disimpan terpisah dari jawaban 'tidak'	Sesuai
Evidence Base	Membuka daftar dan detail evidence; berhasil bila metadata dan sumber dapat ditelusuri	Sesuai
Rule Base/knowledge base	Membuka konfigurasi rule/parameter; berhasil bila konfigurasi tersimpan sebagai data terpisah dari source code	Sesuai
Hasil analisis	Menjalankan asesmen; berhasil bila CF, rule aktif, faktor dominan, interpretasi, dan keterbatasan tampil	Sesuai
Monitoring/riwayat	Membuka riwayat data uji; berhasil bila asesmen sebelumnya dan tren dapat ditampilkan	Sesuai

Tabel 6. Regression test mesin inferensi terhadap perhitungan manual

Kasus uji	Manual	Prototipe	Selisih absolut
Trace 1	0,942	0,942	0,000
Trace 2	0,467	0,467	0,000
Trace 3	0,820	0,820	0,000
Trace 4	0,801	0,801	0,000
Trace 5	0,862	0,862	0,000

Functional walkthrough menghasilkan 8 dari 8 skenario sesuai kriteria (100% keberhasilan fungsional). *Regression test* menghasilkan 5 dari 5 *trace* konsisten dengan perhitungan manual (100% konsistensi komputasi), dengan selisih absolut maksimum 0,000 pada presisi tiga desimal. Angka 100% pada kedua pengujian ini hanya menggambarkan keberhasilan terhadap skenario uji yang telah ditetapkan. Hasil tersebut tidak menunjukkan sensitivitas, spesifisitas, akurasi klinis, ataupun kesiapan sistem untuk penggunaan klinis.

Pembahasan

Hasil pengembangan menunjukkan bahwa kebutuhan SPK dapat direalisasikan menjadi arsitektur perangkat lunak yang memisahkan antarmuka, proses aplikasi, knowledge base, mesin inferensi, dan data audit. Nilai 100% pada delapan functional walkthrough menunjukkan seluruh fungsi yang diuji memberikan keluaran sesuai kriteria. Temuan ini merupakan bukti keberhasilan implementasi fungsi yang didefinisikan, bukan bukti bahwa seluruh kemungkinan kondisi penggunaan telah tercakup.

Kontribusi paling spesifik dibandingkan sistem CF *stunting* sebelumnya [5]-[8] adalah penempatan *Evidence Base* dan *inference trace* sebagai komponen inti. *Evidence* tidak hanya berfungsi sebagai referensi dalam naskah, tetapi direpresentasikan pada sistem dan dihubungkan dengan indikator serta *rule*. Pemisahan *knowledge base* dari *source code* juga memungkinkan pembaruan konfigurasi dan *versioning* tanpa mengubah logika antarmuka. Karakteristik tersebut memperkuat *auditability* dan *explainability* prototipe.

Konsistensi mesin inferensi juga terverifikasi pada lima *trace*: seluruh hasil prototipe sama dengan perhitungan manual pada presisi tiga desimal. Namun, kesesuaian komputasi tidak identik dengan validitas model. Mesin dapat menghitung secara benar sesuai *rule* dan parameter yang diberikan, tetapi ketepatan klinis *rule*, bobot CF, dan kategori risiko tetap memerlukan *expert elicitation* serta evaluasi terhadap data representatif. Karena itu, keberhasilan 5/5 *trace* harus dibaca sebagai *software regression verification*.

Keterbatasan penelitian mencakup penggunaan data uji/*dummy* pada sebagian antarmuka, belum selesainya validasi pakar untuk MB/MD, belum adanya *usability testing* formal, *security testing*, dan evaluasi pada *dataset*

kasus-kontrol yang memadai. Implikasi praktis prototipe saat ini adalah sebagai sarana pengembangan, demonstrasi alur pengetahuan, dan pengujian komputasi. Tahap berikutnya diprioritaskan pada validasi pakar, *usability testing* oleh pengguna layanan primer, pengujian keamanan dan kontrol akses, serta evaluasi model menggunakan data *stunting* dan *non-stunting* yang representatif sebelum mempertimbangkan penerapan pada pengambilan keputusan kesehatan.

KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan prototipe *web* SPK risiko *stunting* balita yang memisahkan *raw data*, derivasi indikator, *Evidence Base*, *Rule Base*, parameter CF, mesin inferensi, dan *inference trace* dalam arsitektur modular. Seluruh 8 skenario *functional walkthrough* berhasil memenuhi kriteria (100%) dan seluruh 5 *regression test* konsisten dengan perhitungan manual pada presisi tiga desimal (100%; selisih absolut maksimum 0,000), sehingga prototipe menunjukkan konsistensi implementasi perangkat lunak dan keterlacakan pengetahuan. Capaian tersebut tidak membuktikan validitas klinis dan sistem belum ditujukan untuk pengambilan keputusan klinis. Pengembangan selanjutnya diprioritaskan pada validasi pakar terhadap *rule* dan parameter CF, *usability testing*, *security testing*, penguatan *versioning/audit trail*, serta evaluasi menggunakan data *stunting* dan *non-stunting* yang representatif.

REFERENSI

- [1] C. G. Victora, P. Christian, L. P. Vdaletti, G. Gatica-Domínguez, P. Menon, and R. E. Black, "Revisiting maternal and child undernutrition in low-income and middle-income countries: Variable progress towards an unfinished agenda," *The Lancet*, vol. 397, no. 10282, pp. 1388–1399, 2021, doi: 10.1016/S0140-6736(21)00394-9.
- [2] G. Gusnedi et al., "Risk factors associated with childhood stunting in Indonesia: A systematic review and meta-analysis," *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, vol. 32, no. 2, pp. 184–195, 2023, doi: 10.6133/apjcn.202306_32(2).0001.
- [3] E. H. Shortliffe and B. G. Buchanan, "A model of inexact reasoning in medicine," *Mathematical Biosciences*, vol. 23, no. 3–4, pp. 351–379, 1975, doi: 10.1016/0025-5564(75)90047-4.
- [4] D. E. Heckerman, "Probabilistic interpretations for MYCIN's certainty factors," in *Uncertainty in Artificial Intelligence*, vol. 4, L. N. Kanal and J. F. Lemmer, Eds. North-Holland, 1986, pp. 167–196, doi: 10.1016/B978-0-444-70058-2.50017-6.
- [5] N. Noviandi, B. Hidayah, and R. Widiyanti, "Implementasi metode Certainty Factor untuk pengembangan sistem pakar diagnosis dan monitoring kasus stunting," *ICIT Journal*, vol. 9, no. 2, pp. 247–257, 2023, doi: 10.33050/icit.v9i2.2957.
- [6] F. E. Gea, R. Saragih, and S. Ramadani, "Expert system to diagnose stunting disease in toddlers using certainty factor method," *Journal of Mathematics and Technology (MATECH)*, vol. 3, no. 1, pp. 62–75, 2024, doi: 10.63893/matech.v3i1.168.
- [7] R. Oktafiani and A. Witanti, "Sistem pakar deteksi awal stunting pada balita menggunakan metode Certainty Factor," *Technologia: Jurnal Ilmiah*, vol. 15, no. 1, 2024, doi: 10.31602/tji.v15i1.13675.
- [8] C. K. J. Fangidae Repi and M. O. Meo, "Sistem pakar deteksi rawan stunting pada balita dengan metode Case Based Reasoning dan Certainty Factor berbasis website," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 9, no. 4, pp. 5867–5873, 2025, doi: 10.36040/jati.v9i4.13921.
- [9] E. Kyrimi, S. McLachlan, K. Dube, M. R. Neves, A. Fahmi, and N. Fenton, "A comprehensive scoping review of Bayesian networks in healthcare: Past, present and future," *Artificial Intelligence in Medicine*, vol. 117, art. 102108, 2021, doi: 10.1016/j.artmed.2021.102108.
- [10] R. Alizadehsani et al., "Handling of uncertainty in medical data using machine learning and probability theory techniques: A review of 30 years (1991–2020)," *Annals of Operations Research*, vol. 339, no. 3, pp. 1077–1118, 2024, doi: 10.1007/s10479-021-04006-2.
- [11] Y. S. Arief, F. C. Yunita, F. Efendi, F. A. K. Murti, R. O. Pradipta, and L. McKenna, "Social and environmental determinants of childhood stunting in Indonesia: National cross-sectional study," *JMIR Pediatrics and Parenting*, vol. 8, art. e68918, 2025, doi: 10.2196/68918.

- [12] A. A. N. Kusumajaya et al., “Sociodemographic and healthcare factors associated with stunting in children aged 6–59 months in the urban area of Bali Province, Indonesia 2018,” *Nutrients*, vol. 15, no. 2, art. 389, 2023, doi: 10.3390/nu15020389.
- [13] N. Muchlis et al., “Cigarette smoke exposure and stunting among under-five children in rural and poor families in Indonesia,” *Environmental Health Insights*, vol. 17, art. 11786302231185210, 2023, doi: 10.1177/11786302231185210.
- [14] E. D. Purwanti, S. Masitoh, and S. Ronoatmodjo, “Association between basic immunization status and stunting in toddlers aged 12–59 months in Indonesia,” *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, vol. 58, no. 3, pp. 298–306, 2025, doi: 10.3961/jpmph.24.230.
- [15] A. J. Prendergast and J. H. Humphrey, “The stunting syndrome in developing countries,” *Paediatrics and International Child Health*, vol. 34, no. 4, pp. 250–265, 2014, doi: 10.1179/2046905514Y.0000000158.