

Sistem Pakar Gizi Balita: Kerangka Kerja Konseptual untuk Deteksi Gizi Buruk

Suryanto Nugroho^{1*}, Nugroho Arif Sudibyo²

¹Program Studi Informatika, ITS PKU Muhammadiyah Surakarta, Indonesia.

²Program Studi Informatika, Universitas Duta Bangsa Surakarta, Indonesia.

Artikel Info

Kata Kunci:

Dempster Shafer;
Kerangka Kerja Konseptual;
Multi Attribute Decision Making;
Sistem Pakar.

Keywords:

Dempster Shafer;
Conceptual Framework;
Multi Attribute Decision Making;
Expert System.

Riwayat Artikel:

Submitted: 8 Oktober 2024

Accepted: 8 November 2024

Published: 26 November 2024

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan kerangka kerja sistem pakar yang dapat mendeteksi gizi buruk pada balita melalui penerapan teori Dempster-Shafer dan metode Pengambilan Keputusan Berbasis Multi-Atribut (MADM). Kerangka kerja ini dirancang untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam proses diagnosis dengan memanfaatkan analisis ketidakpastian yang dihadapi oleh anak-anak. Melalui integrasi kedua pendekatan tersebut, sistem pakar diharapkan dapat memberikan rekomendasi yang tepat dan relevan berdasarkan gejala yang dimasukkan oleh pengguna. Selain itu, penelitian ini juga menekankan pentingnya akuisisi pengetahuan dari para ahli gizi untuk membangun basis pengetahuan yang kuat, sehingga sistem dapat beradaptasi dengan kebutuhan diagnosis dan perkembangan pengetahuan gizi terkini. Kerangka kerja yang diusulkan diharapkan dapat menjadi alat yang efektif bagi tenaga kesehatan dalam mengidentifikasi dan menangani masalah gizi buruk, serta meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya kesehatan gizi anak.

Abstract: The objective of this research is to establish a comprehensive framework for the detection of malnutrition in children under the age of five by means of an expert system. The framework incorporates diverse analytical techniques, particularly Dempster-Shafer theory and Multi-Attribute Decision Making (MADM), to improve the precision and efficacy of the diagnostic procedure. The expert system utilises these methodologies to deliver accurate and pertinent recommendations based on the symptoms and uncertainty factors encountered by youngsters. This study aims to provide a comprehensive knowledge base by enabling knowledge acquisition from nutrition specialists, ensuring the system is responsive to diagnostic requirements while incorporating the newest nutritional information. The suggested framework is anticipated to function as a valuable instrument for healthcare practitioners in recognising and tackling malnutrition concerns, while also enhancing community knowledge regarding the significance of child nutritional health.

Corresponding Author:

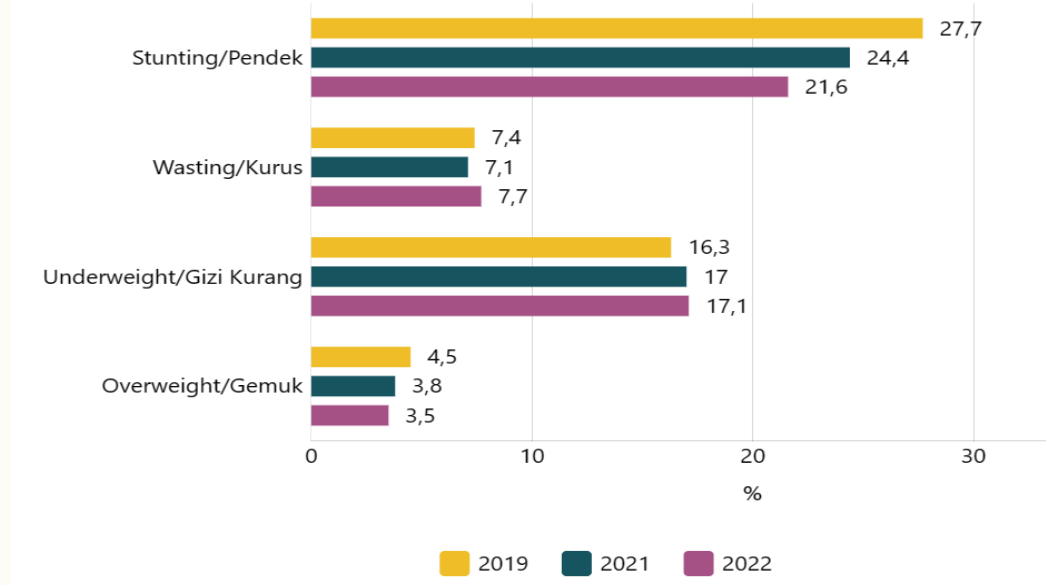
Suryanto Nugroho

Email: suryanto@itspku.ac.id

PENDAHULUAN

Gizi buruk pada balita tetap menjadi masalah kesehatan global yang serius, terutama di negara-negara berkembang (Tasnim, 2018). Dampaknya yang merugikan terhadap kesehatan dan perkembangan balita menunjukkan perlunya pendekatan yang lebih efektif dalam deteksi dan penanganannya. Namun, diagnosa gizi buruk pada balita sering kali rumit karena melibatkan banyak variabel dan tingkat ketidakpastian yang tinggi (De Onis et al., 2019). Di sisi lain, sumber daya medis yang terbatas, terutama di daerah pedesaan atau terpencil, dapat menjadi hambatan dalam penanganan kondisi ini.

Pada jangka panjang, gizi buruk dapat mengakibatkan pertumbuhan anak berhenti sebelum waktunya. Lebih jauh lagi, gizi buruk dalam jangka panjang akan menyebabkan anak kurus (*wasting*) dan stunting. Sementara itu, stunting pada anak akan berdampak pada gangguan metabolisme, rendahnya kekebalan tubuh, dan ukuran fisik tubuh yang tidak optimal (Pambudi et al., 2023).



Gambar 1. Survey Status Gizi di Indonesia

Hasil Survei Status Gizi Indonesia (SSGI) Kementerian Kesehatan menunjukkan, terdapat empat permasalahan gizi balita di Indonesia. Di antaranya stunting, *wasting*, *underweight*, dan *overweight*. Stunting atau ukuran badan pendek merupakan salah satu masalah gizi yang menjadi perhatian pemerintah. Angka stunting di Indonesia masih cukup tinggi yaitu 21,6% berdasarkan hasil Survei Status Gizi Indonesia (SSGI) tahun 2022, walaupun terjadi penurunan dari tahun sebelumnya yaitu 24,4% tahun 2021, namun masih perlu upaya besar untuk mencapai target penurunan stunting pada tahun 2024 sebesar 14%. Hasil yang cukup memprihatinkan dari survei yang sama adalah risiko terjadinya stunting meningkat sebesar 1,6 kali dari kelompok umur 6-11 bulan ke kelompok umur 12-23 bulan (13,7% ke 22,4%). Angka tersebut melebihi ambang batas yang ditetapkan standar Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) sebesar 20%. Ini mengindikasikan bahwa stunting di Indonesia masih tergolong kronis.

Hal ini dikarenakan sulitnya mendeteksi diagnosa gizi balita sejak dini karena wilayah Indonesia yang luas dan hanya pakar yang dapat melakukan diagnose untuk masalah gizi balita. Dalam menghadapi tantangan ini, pendekatan inovatif diperlukan untuk meningkatkan kemampuan tenaga medis dalam mendeteksi dan menangani gizi buruk pada balita (Stephenson et al., 2022). Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah pengembangan Sistem Pakar Gizi Balita Berbasis Modifikasi Teori Dempster-Shafer. Sistem ini memanfaatkan kecerdasan buatan untuk mengintegrasikan data dari berbagai sumber, menganalisis ketidakpastian, dan memberikan rekomendasi diagnosis yang tepat (Watkins et al., 2024).

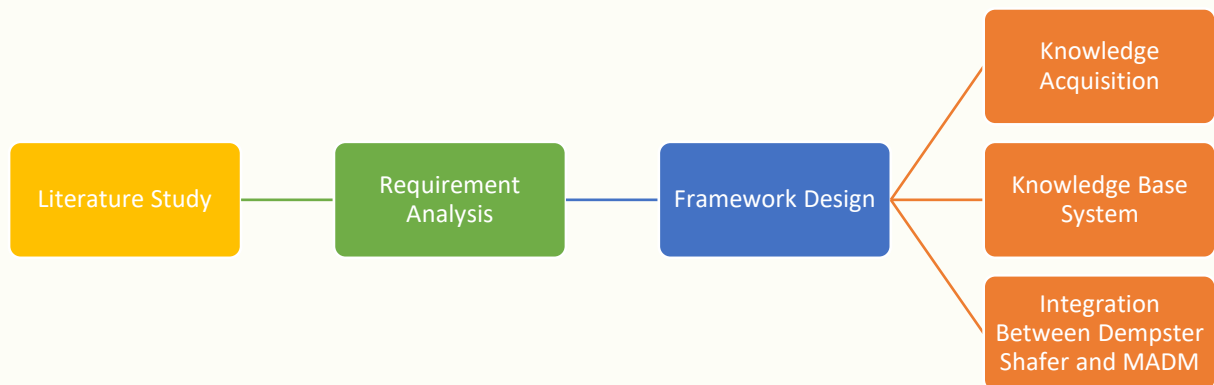
Metode Dempster-Shafer adalah representasi, kombinasi dan propogasi ketidakpastian, dimana teori ini memiliki beberapa karakteristik yang secara instutif sesuai dengan cara berfikir seorang pakar, namun dasar matematika yang kuat (Xiao, 2020). Metode Dempster-Shafer dimodifikasi dengan di tambahkan multi attribute decision making akan menambah tingkat akurasi dalam menganalisa diagnosa dan memberikan kesimpulan berdasarkan gejala yang timbul(Mokarram & Mohammadzadeh, 2021).

Tujuan penelitian ini adalah untuk menghasilkan sebuah kerangka kerja (framework) yang komprehensif dalam mendeteksi masalah gizi buruk pada balita melalui sistem pakar. Kerangka kerja ini dirancang untuk mengintegrasikan berbagai metode analisis, khususnya Dempster-Shafer dan Multi Attribute Decision Making (MADM), guna meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam proses diagnosis(Hernando et al., 2024). Dengan memanfaatkan pendekatan ini, diharapkan sistem pakar dapat memberikan rekomendasi yang lebih tepat dan relevan berdasarkan input gejala serta faktor ketidakpastian yang dihadapi oleh anak-anak.

Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menyusun metode basis pengetahuan yang solid dan memfasilitasi akuisisi pengetahuan dari para ahli gizi, sehingga menghasilkan sistem yang tidak hanya responsif terhadap kebutuhan diagnosa tetapi juga dapat beradaptasi dengan perkembangan pengetahuan gizi terbaru. Dengan adanya kerangka kerja ini, diharapkan sistem pakar dapat menjadi alat yang efektif untuk membantu tenaga kesehatan dalam mengidentifikasi dan menangani masalah gizi buruk, serta meningkatkan kesadaran masyarakat mengenai pentingnya kesehatan gizi anak.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental, alur penelitian dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Alur Penelitian

Literature Study, pada fase ini melakukan studi literatur dalam pengembangan framework sistem pakar, peneliti mengidentifikasi penelitian-penelitian terkait yang relevan untuk memahami teori dasar dan pendekatan teknis yang digunakan dalam sistem pakar, seperti basis pengetahuan, mesin inferensi, dan model penalaran teori Dempster-Shafer. Peneliti juga meninjau penerapan sistem pakar dalam bidang serupa, mempelajari tantangan dan solusi yang ada, serta menentukan kebutuhan dan fitur sistem yang akan dikembangkan. Dengan demikian, studi literatur membantu merumuskan strategi yang tepat untuk membangun framework yang efektif dan inovatif (Sojak et al., 2023).

Requirement Analysis, pada fase ini peneliti melakukan penentuan kebutuhan sistem dalam pengembangan framework sistem pakar melibatkan identifikasi komponen utama yang diperlukan untuk mencapai tujuan sistem. Ini mencakup pengumpulan informasi terkait basis pengetahuan, yang berisi aturan dan data yang akan digunakan oleh sistem, serta mesin inferensi yang melakukan penalaran berdasarkan data tersebut. Selain itu, kebutuhan terkait antarmuka pengguna juga diidentifikasi agar sistem mudah digunakan oleh para ahli atau pengguna awam. Peneliti juga menetapkan jenis data masukan, format keluaran yang diharapkan, serta kemampuan integrasi dengan sistem lain jika diperlukan. Semua kebutuhan ini disesuaikan dengan masalah yang hendak diselesaikan dan kapabilitas teknologi yang tersedia (Rybina & Blokhin, 2019).

Framework Design, pada fase ini penelitian dibagi menjadi tiga tahap yaitu: pertama, *knowledge acquisition*, pada penelitian ini adalah proses pengumpulan, ekstraksi, dan pemodelan pengetahuan dari para ahli atau sumber pengetahuan lain untuk diintegrasikan ke dalam sistem pakar. Pengetahuan ini mencakup aturan, fakta, prosedur, dan strategi yang digunakan oleh para ahli untuk membuat keputusan dalam domain tertentu. Dalam sistem pakar, *knowledge acquisition* sangat penting karena merupakan dasar bagi basis pengetahuan yang digunakan oleh mesin inferensi untuk melakukan penalaran dan memberikan solusi atau saran kepada pengguna (Fei et al., 2024). Proses ini melibatkan berbagai teknik, seperti wawancara langsung dengan ahli, observasi, dan studi dokumen. Tantangan utama dalam *knowledge acquisition* adalah menangkap pengetahuan yang bersifat implisit atau tersembunyi, serta mengubahnya menjadi aturan yang dapat dimanfaatkan oleh sistem.

Kedua, *knowledge base system*, penelitian ini berfungsi sebagai pusat penyimpanan informasi yang memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih kompleks dan berbasis ketidakpastian. Sistem ini mengintegrasikan dua pendekatan penalaran, yaitu teori Dempster-Shafer untuk menangani ketidakpastian dalam diagnosis gizi balita, dan MADM untuk melakukan penilaian multi-kriteria terhadap status gizi balita berdasarkan berbagai faktor (Nahar et al., 2023). Teori Dempster-Shafer memungkinkan sistem pakar untuk menangani ketidakpastian dalam penilaian gizi balita dengan menggabungkan bukti dari berbagai sumber (gejala fisik, data antropometri, kondisi kesehatan, dll.) dan memberikan keyakinan pada diagnosis yang berbeda, bukan hanya satu keputusan pasti. Dalam konteks gizi balita, ini penting karena gejala gizi buruk atau kurang gizi sering tumpang tindih dengan kondisi kesehatan lain. Basis pengetahuan sistem akan menyimpan aturan berbasis keyakinan (*belief*) dan ketidakpastian (*uncertainty*) (Fei et al., 2025) dari gejala-gejala yang terkait dengan kondisi gizi balita. Setiap gejala atau hasil pemeriksaan akan diberi fungsi keyakinan berdasarkan seberapa relevan informasi tersebut dengan kondisi tertentu (misalnya, gizi buruk atau kurang gizi). Sistem kemudian akan menggabungkan bukti-bukti dari berbagai gejala menggunakan *rule of combination* Dempster-Shafer untuk menghasilkan keyakinan akhir mengenai status gizi balita. MADM digunakan dalam sistem pakar untuk menilai status gizi balita berdasarkan berbagai atribut (misalnya, berat badan, tinggi badan, indeks massa tubuh, kondisi kesehatan umum, dan asupan nutrisi). Metode ini memungkinkan sistem untuk mempertimbangkan banyak faktor sekaligus dan menentukan prioritas berdasarkan tingkat kepentingannya (Yadav et al., 2024). Atribut-atribut tersebut disimpan dalam basis pengetahuan sebagai parameter yang akan dianalisis dan dibandingkan. Sistem menggunakan teknik penilaian multi-kriteria untuk memberikan bobot pada setiap atribut dan menghasilkan penilaian akhir tentang kondisi gizi balita (Liu et al., 2019).

Ketiga, *Integration Between Dempster Shafer and MADM*, Pada penelitian ini memungkinkan penanganan masalah gizi secara lebih komprehensif, terutama dalam kondisi ketidakpastian dan multi-faktor yang memengaruhi status gizi anak. Teori Dempster-Shafer digunakan untuk menggabungkan berbagai sumber bukti (seperti data antropometri, gejala fisik, dan riwayat kesehatan) dengan memberikan nilai keyakinan (*belief*) pada setiap kemungkinan diagnosis. Dengan pendekatan ini, sistem dapat menilai probabilitas beberapa diagnosis secara bersamaan, meskipun terdapat ketidakpastian atau ketidakkonsistenan dalam data. Ini sangat penting dalam konteks gizi balita, di mana berbagai faktor seperti asupan nutrisi, kondisi kesehatan, dan lingkungan dapat memengaruhi status gizi secara kompleks. Di sisi lain, MADM digunakan untuk mengevaluasi berbagai atribut secara bersamaan, seperti berat badan, tinggi badan, indeks massa tubuh (IMT), dan pola makan, dengan

memberikan bobot pada setiap faktor berdasarkan tingkat kepentingannya. MADM memungkinkan sistem untuk memberikan peringkat atau prioritas atas beberapa alternatif diagnosis atau intervensi berdasarkan analisis multi-kriteria. Dengan menggabungkan Dempster-Shafer yang menangani ketidakpastian dan MADM yang melakukan penilaian komprehensif berdasarkan beberapa faktor, sistem pakar gizi balita mampu memberikan keputusan yang lebih akurat dan seimbang. Ini memastikan bahwa rekomendasi intervensi gizi yang diberikan bersifat holistik dan berbasis bukti dari berbagai dimensi kesehatan balita.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur Sistem Pakar

Struktur sistem pakar gizi balita yang menggunakan teori Dempster-Shafer dan Multiple Attribute Decision Making (MADM) dirancang untuk memberikan keputusan berbasis bukti dalam kondisi ketidakpastian dan multi-kriteria. Komponen inti dari sistem ini adalah basis pengetahuan yang menyimpan aturan, fakta, dan model terkait status gizi balita. Dalam basis pengetahuan, teori Dempster-Shafer digunakan untuk menangani ketidakpastian dengan menyimpan nilai keyakinan (belief) dan ketidakpastian terkait berbagai kondisi gizi balita, seperti gizi buruk, kurang gizi, dan gizi baik. Selain itu, komponen MADM mengelola berbagai atribut kesehatan, seperti berat badan, tinggi badan, indeks massa tubuh (IMT), dan asupan nutrisi, yang digunakan untuk menilai status gizi secara multi-kriteria.

Mesin inferensi bertanggung jawab atas pengambilan keputusan dalam sistem (Ikechukwu Nkuma-Udah et al., 2018). Pada bagian ini, teori Dempster-Shafer digunakan untuk menggabungkan bukti dari berbagai sumber data seperti data antropometri dan gejala fisik. Mesin inferensi akan mengombinasikan bukti-bukti ini untuk menghitung keyakinan mengenai status gizi balita. Kemudian, menggunakan metode MADM, sistem akan mengevaluasi setiap atribut kesehatan secara simultan, memberikan bobot pada faktor-faktor kunci, dan menghasilkan diagnosis serta rekomendasi berdasarkan analisis multi-kriteria. Dengan demikian, mesin inferensi memastikan bahwa keputusan yang diambil adalah hasil dari kombinasi berbagai sumber bukti dan analisis mendalam dari sejumlah variabel yang mempengaruhi kondisi gizi.

Selanjutnya, antarmuka pengguna (user interface) memungkinkan pengguna, seperti tenaga kesehatan atau orang tua, untuk memasukkan data terkait kesehatan balita dan menerima hasil diagnosis serta rekomendasi intervensi (Mazhar et al, 2022). Data yang dimasukkan melalui antarmuka ini diproses oleh sistem, lalu hasilnya disajikan kepada pengguna, mencakup status gizi yang terdeteksi, tingkat keyakinan dari diagnosis, dan saran intervensi yang disesuaikan dengan kondisi gizi balita. Dengan memadukan teori Dempster-Shafer untuk ketidakpastian dan MADM untuk penilaian multi-kriteria, struktur sistem ini memungkinkan sistem pakar gizi balita memberikan penilaian yang akurat dan relevan, bahkan dalam situasi di mana data tidak lengkap atau terdapat ketidakpastian dalam diagnosis.

Knowledge Acquisition

Knowledge acquisition dalam sistem pakar gizi balita yang menggunakan teori Dempster-Shafer dan Multiple Attribute Decision Making (MADM) adalah proses pengumpulan, pengolahan, dan pengorganisasian pengetahuan dari berbagai sumber untuk membangun basis pengetahuan yang digunakan oleh sistem. Proses ini bertujuan untuk menangkap informasi dari para ahli gizi, data medis, literatur ilmiah, dan standar kesehatan terkait status gizi balita, serta metode penanganannya. Tahapan *Knowledge Acquisition* diuraikan sebagai berikut:

Pengumpulan Pengetahuan:

Pengetahuan diperoleh dari ahli gizi balita, dokter, dan profesional kesehatan melalui wawancara dan diskusi. Data ini mencakup faktor-faktor penting dalam penilaian status gizi balita, seperti indikator kesehatan (berat badan, tinggi badan, IMT), riwayat medis, serta asupan nutrisi. Studi

literatur dilakukan untuk meninjau penelitian sebelumnya dan pedoman kesehatan yang relevan (misalnya, standar WHO tentang gizi balita) untuk melengkapi basis pengetahuan sistem.

Pemetaan Ketidakpastian dengan Teori Dempster-Shafer:

Pengetahuan mengenai ketidakpastian yang sering terjadi dalam penilaian status gizi juga dikumpulkan. Misalnya, gejala yang tumpang tindih atau data antropometri yang tidak konsisten. Teori Dempster-Shafer digunakan untuk menangani ketidakpastian ini, dan fungsi keyakinan (belief) serta fungsi ketidakpastian (uncertainty) dirumuskan berdasarkan informasi yang terkumpul. Pengetahuan yang diperoleh diklasifikasikan ke dalam *rule of combination* Dempster-Shafer, yang kemudian akan diintegrasikan ke dalam basis pengetahuan untuk pengambilan keputusan berbasis bukti (Ntenda, 2019).

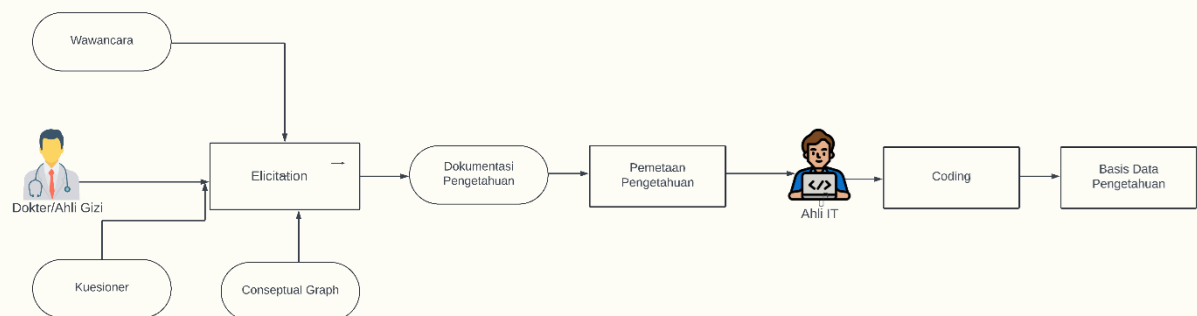
Pengumpulan Atribut untuk MADM:

Data numerik dan atribut-atribut multi-kriteria terkait status gizi balita, seperti berat badan, tinggi badan, IMT, pola makan, dan faktor lingkungan, diperoleh untuk digunakan dalam proses MADM. Setiap atribut diberikan bobot berdasarkan tingkat kepentingannya dalam memengaruhi status gizi balita, dan model penilaian multi-kriteria (seperti metode Simple Additive Weighting) diadaptasi untuk mencerminkan pengetahuan ini dalam sistem (Somu & Kowli, 2024).

Knowledge Acquisition Resources merupakan sumber-sumber yang digunakan untuk mengumpulkan, mengelola, dan memproses informasi terkait diagnosis dan penanganan gizi balita. Berikut adalah beberapa sumber utama dalam proses knowledge acquisition untuk sistem pakar gizi balita: (1) Ahli Gizi dan Tenaga Kesehatan, Wawancara dan konsultasi dengan ahli gizi, dokter anak, dan dokter spesialis gizi klinik menjadi sumber utama pengetahuan praktis. Mereka memberikan aturan diagnosis, gejala yang relevan, serta rekomendasi intervensi untuk penyakit gizi pada balita; (2) Literatur dan Pedoman Ilmiah, Penelitian yang relevan dan pedoman dari organisasi kesehatan internasional seperti World Health Organization (WHO), UNICEF, dan kementerian kesehatan setempat menjadi referensi penting. Dokumen-dokumen ini menyediakan standar penilaian gizi balita berdasarkan antropometri, seperti tinggi badan, berat badan, dan Indeks Massa Tubuh (IMT); (3) Database Kesehatan dan Riwayat Medis, Data medis historis dan basis data kesehatan balita yang mencakup informasi antropometri, riwayat penyakit, dan hasil pemeriksaan gizi sebelumnya digunakan sebagai bahan input bagi sistem pakar. Data ini berguna untuk mengidentifikasi pola dan tren dalam kondisi gizi balita; dan (4) Studi Kasus dan Data Empiris, Pengumpulan data dari kasus nyata, seperti data balita yang mengalami masalah gizi atau telah menjalani intervensi, membantu dalam validasi sistem. Data empiris ini digunakan untuk melatih sistem dalam mengenali pola yang mirip atau menganalisis efektivitas tindakan intervensi.

Knowledge Acquisition Techniques

Alur pada knowledge acquisition techniques manual dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 3. Knowledge Acquisition Techniques Manual

Gambar 3 di atas menjelaskan teknik akuisisi pengetahuan (*knowledge acquisition techniques*) untuk membangun sistem pakar gizi balita. Berikut adalah deskripsi setiap langkah dalam *flowchart*:

Wawancara

Dilakukan wawancara dengan **dokter atau ahli gizi** untuk mendapatkan informasi terkait diagnosis dan penanganan masalah gizi balita. Wawancara ini berfungsi sebagai salah satu teknik pengumpulan pengetahuan dari pakar.

Kuesioner

Penggunaan kuesioner untuk mengumpulkan data dari ahli mengenai faktor-faktor yang memengaruhi status gizi balita, seperti gejala, diagnosis, dan tindakan intervensi. Data dari kuesioner melengkapi hasil wawancara.

Conceptual Graph

Diagram konseptual digunakan untuk memvisualisasikan hubungan antara faktor-faktor yang mempengaruhi status gizi balita. Hal ini membantu ahli dalam merancang aturan diagnosis dan pengambilan keputusan untuk sistem pakar.

Elicitation:

Proses **elicitation** adalah upaya untuk mengeluarkan atau memperoleh pengetahuan dari pakar (dokter atau ahli gizi), yang dihasilkan dari wawancara, kuesioner, dan *conceptual graph*.

Dokumentasi Pengetahuan

Setelah proses elicitation, informasi yang diperoleh didokumentasikan dengan rapi sebagai **pengetahuan eksplisit** yang dapat digunakan dalam sistem pakar.

Pemetaan Pengetahuan:

Pengetahuan yang telah didokumentasikan kemudian dipetakan dalam bentuk aturan-aturan, skema penalaran, atau model diagnosis. **Ahli IT** berkolaborasi dalam langkah ini untuk memetakan pengetahuan ke dalam struktur yang dapat diolah oleh sistem.

Coding:

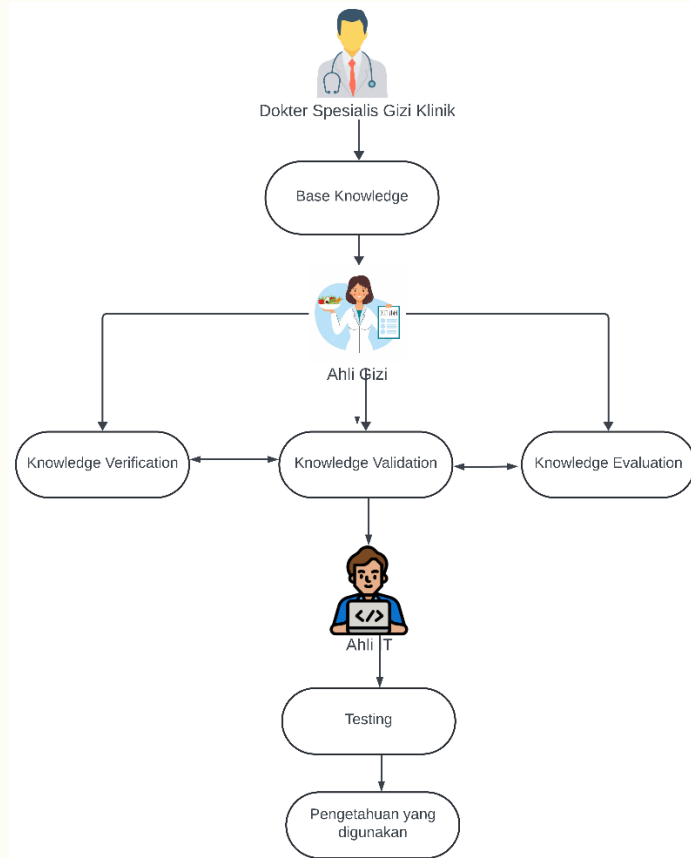
Pengetahuan yang telah dipetakan dikonversi menjadi kode pemrograman oleh ahli IT. Proses ini melibatkan implementasi aturan dan algoritma diagnosis ke dalam sistem pakar.

Basis Data Pengetahuan:

Hasil akhir dari coding adalah pengetahuan yang tersimpan dalam basis data pengetahuan. Basis data ini berisi informasi yang akan digunakan oleh sistem pakar dalam memberikan rekomendasi dan diagnosis terkait gizi balita.

Knowledge Validation

Knowledge validation pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Knowledge Validation

Gambar 4 menjelaskan proses validasi pengetahuan (*knowledge validation*) dalam pengembangan sistem pakar gizi balita. *Knowledge Validation* merupakan tahap kritis dalam proses pengembangan sistem pakar. Pada tahap ini, pengetahuan yang telah dikumpulkan (*base knowledge*) dari dokter spesialis gizi klinik dan ahli gizi diuji dan dinilai kebenarannya. Ahli gizi dan dokter spesialis terlibat untuk memastikan bahwa pengetahuan yang telah diperoleh sesuai dengan praktik medis yang valid dan sesuai dengan protokol standar gizi anak. Pengetahuan ini diperiksa melalui berbagai metode validasi, seperti pengujian data historis, studi kasus, atau eksperimen simulasi untuk memastikan hasil yang dihasilkan oleh sistem pakar akurat dan dapat diandalkan. Setelah proses validasi selesai, pengetahuan yang telah terverifikasi akan dilanjutkan ke tahap implementasi dan pengujian oleh Ahli IT yang kemudian diuji lebih lanjut sebelum digunakan dalam sistem pakar.

Knowledge Based System (KBS) pada sistem pakar gizi balita dengan integrasi teori Dempster-Shafer dan MADM (*Multiple Attribute Decision Making*) bertujuan untuk membantu para dokter dan ahli gizi dalam mendiagnosis dan menangani masalah gizi balita secara akurat, terutama dalam situasi yang melibatkan ketidakpastian dan keputusan multi-kriteria. Berikut adalah penjelasan bagaimana KBS ini bekerja:

Knowledge Base (Basis Pengetahuan):

Basis pengetahuan pada sistem pakar ini berisi informasi yang diperoleh dari pakar gizi dan sumber referensi medis yang berhubungan dengan gizi balita. Informasi ini mencakup berbagai gejala, indikator fisik (seperti berat badan, tinggi badan, lingkar kepala), serta kriteria tambahan seperti kondisi medis atau asupan nutrisi.

Untuk mendukung pengambilan keputusan dalam kondisi ketidakpastian, teori Dempster-Shafer digunakan. Teori ini memungkinkan penggabungan beberapa bukti (*evidence*) yang tidak pasti, sehingga dapat dihasilkan keyakinan (*belief*) terhadap kemungkinan status gizi balita, seperti gizi buruk, gizi kurang, gizi baik, atau gizi lebih. Misalnya, jika beberapa parameter memberikan indikasi

ketidakpastian, teori Dempster-Shafer dapat mengkombinasikan bukti-bukti ini untuk menghasilkan keputusan yang lebih baik.

Machine Inference and Reasoning (Mesin Inferensi dan Penalaran):

Sistem inferensi menggunakan mesin inferensi berbasis aturan yang mendukung proses pengambilan keputusan berdasarkan pengetahuan dalam *knowledge base*. Dengan pendekatan Dempster-Shafer, mesin inferensi ini akan menggunakan fungsi mass assignment untuk menghitung keyakinan terhadap berbagai hipotesis status gizi. Selain itu, MADM digunakan untuk menangani situasi di mana berbagai faktor harus dipertimbangkan sekaligus dalam mengambil keputusan. Dalam hal ini, setiap kriteria, seperti usia balita, berat badan, tinggi badan, dan faktor lainnya, diberi bobot yang relevan dan dihitung dengan metode MADM untuk menghasilkan keputusan akhir mengenai status gizi balita.

Pengolahan Informasi dengan Teori *Dempster-Shafer*:

Teori Dempster-Shafer memberikan dasar untuk menangani ketidakpastian dalam sistem pakar. Pada kasus gizi balita, di mana data kesehatan balita tidak selalu lengkap atau pasti, sistem ini memungkinkan pengambilan keputusan berdasarkan informasi parsial atau bukti yang kurang jelas. Dengan menggunakan kombinasi keyakinan (belief) dan plausibility dari beberapa sumber bukti, sistem dapat menghasilkan estimasi probabilitas yang lebih akurat mengenai status gizi balita.

Penggunaan *Multiple Attribute Decision Making* (MADM):

MADM diterapkan untuk situasi di mana terdapat banyak atribut atau faktor yang perlu dipertimbangkan dalam evaluasi status gizi balita. Faktor-faktor ini dapat meliputi IMT (Indeks Massa Tubuh), riwayat medis, pola makan, dan faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi gizi anak. Sistem pakar menggunakan metode MADM seperti *Simple Additive Weighting* (SAW) SAW adalah metode Multi Attribute Decision Making (MADM) yang digunakan untuk menilai dan meranking alternatif berdasarkan kriteria yang telah memiliki bobot yang ditentukan sebelumnya. Dalam proses SAW, bobot kriteria diberikan secara manual, kemudian SAW digunakan untuk menghitung nilai akhir dan menentukan peringkat alternatif.

Proses Kerja KBS:

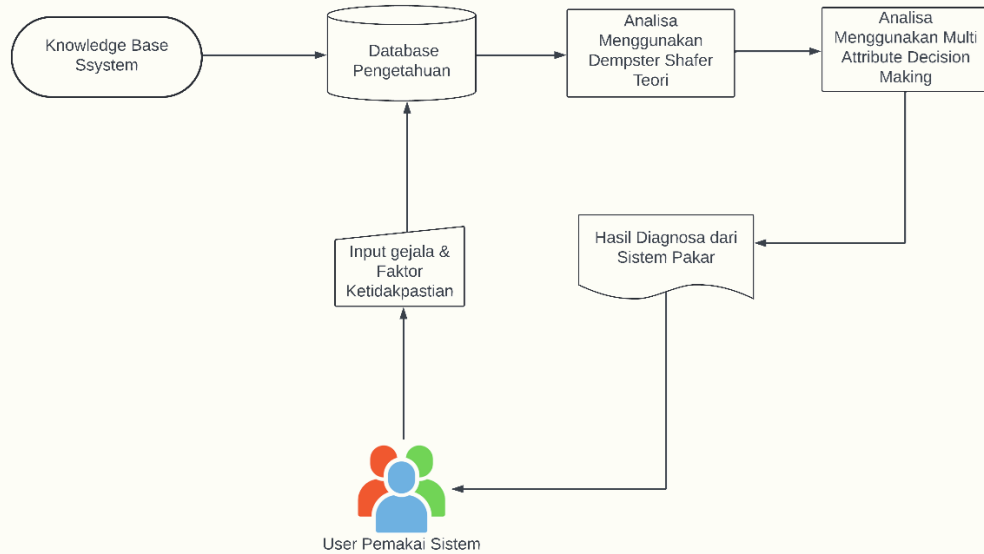
Input berupa data kesehatan balita seperti berat badan, tinggi badan, asupan gizi, dan informasi lain dari orang tua atau pengasuh akan dimasukkan ke dalam sistem. Mesin inferensi kemudian mengolah data ini dengan aturan berbasis teori Dempster-Shafer dan menghitung keyakinan terhadap berbagai kemungkinan status gizi. Selanjutnya, MADM digunakan untuk memproses informasi ini dengan mempertimbangkan kriteria multi-faktor sehingga keputusan akhir dapat diambil. Hasil akhir berupa rekomendasi tindakan atau penanganan gizi akan diberikan oleh sistem, berdasarkan hasil perhitungan dari kombinasi kedua teori tersebut.

Output dari KBS:

Sistem ini memberikan hasil berupa status gizi balita (misalnya: gizi baik, kurang gizi, gizi buruk, atau gizi lebih) beserta tingkat keyakinan berdasarkan kombinasi bukti. Sistem juga memberikan rekomendasi intervensi gizi atau tindakan yang harus dilakukan oleh orang tua atau pengasuh balita, sesuai dengan status gizi yang didiagnosis.

Integration Between Dempster Shafer and MADM

Integrasi antara Dempster Shafer dan MADM dapat di lihat pada gambar 5.



Gambar 5. Proses Integrasi antara Dempster-Shafer dan MADM

Gambar 5 menunjukkan integrasi antara Teori Dempster-Shafer (DST) dan Multi Attribute Decision Making (MADM) dalam sistem pakar yang digunakan untuk mendiagnosa gizi balita. Sistem ini menggunakan database pengetahuan (knowledge base) yang dihasilkan dari proses knowledge acquisition sebagai dasar analisis. Ketika pengguna (misalnya dokter atau ahli gizi) memasukkan gejala dan faktor ketidakpastian yang terkait dengan status gizi balita, sistem akan melakukan dua jenis analisis:

Analisis dengan Teori Dempster-Shafer (DST): Metode ini digunakan untuk menangani ketidakpastian dalam data yang masuk, seperti gejala yang mungkin tidak lengkap atau informasi kesehatan yang ambigu. DST memungkinkan penggabungan bukti yang ada dan menghasilkan tingkat keyakinan terhadap berbagai kemungkinan status gizi balita. Analisis dengan MADM: Setelah melakukan analisis dengan DST, sistem akan melanjutkan dengan menggunakan MADM untuk mengevaluasi dan memilih opsi yang terbaik berdasarkan berbagai kriteria yang sudah ditentukan, seperti berat badan, tinggi badan, usia, dan asupan makanan balita. Hasil dari kedua analisis ini kemudian digabungkan untuk memberikan diagnosa yang akurat mengenai status gizi balita, yang akan dikembalikan kepada pengguna sistem. Integrasi kedua metode ini membantu menghasilkan keputusan yang lebih komprehensif dan dapat diandalkan meskipun ada ketidakpastian dalam data yang diberikan.

Framework yang dihasilkan dari penelitian ini berfungsi sebagai panduan terstruktur dalam menyusun sistem pakar, khususnya untuk kasus deteksi dan diagnosis gizi buruk. Framework ini membantu langkah-langkah pengembangan sistem pakar dengan menyediakan kerangka kerja yang jelas dan sistematis, mulai dari pengumpulan data, analisis indikator kesehatan, hingga proses pengambilan Keputusan (Norhisham et al., 2017). Dengan adanya panduan ini, pengembang sistem dapat lebih mudah mengidentifikasi metode yang tepat, seperti Dempster-Shafer untuk mengatasi ketidakpastian data dan Simple Additive Weighting (SAW) untuk penilaian multi-kriteria. Framework ini juga memastikan bahwa setiap tahap proses terintegrasi dengan baik, sehingga meningkatkan akurasi dan reliabilitas keputusan yang dihasilkan. Sebagai hasilnya, pengembangan sistem pakar menjadi lebih efisien dan terstruktur, memfasilitasi implementasi yang efektif di lapangan.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pentingnya langkah dalam pembuatan framework yang berdasarkan pada pengembangan basis data pengetahuan yang sistematis dan teknik akuisisi pengetahuan yang baik untuk mendukung keandalan sistem pakar. Alur dari sistem pakar juga harus

jas sebelum pengembangan sistem yang nyata digunakan pada industri. Framework yang dihasilkan diharapkan menjadi role model untuk dapat diterapkan tidak hanya terhadap gizi balita tetapi dengan model atau kasus yang lain. Sehingga framework ini menunjukkan kontribusi terhadap pengembangan system pakar pada penelitian yang akan datang. Penelitian yang akan datang bisa menerapkan framework yang mengintegrasikan metode Dempster-Shafer dan Multi Attribute Decision Making (MADM) dalam mendeteksi dan mendiagnosis masalah gizi buruk pada anak-anak apakah sistemnya dapat berjalan efektif atau tidak. Penelitian kedepan diharapkan bahwa sistem ini tidak hanya berkontribusi terhadap diagnosis gizi buruk tetapi juga dapat berfungsi sebagai alat edukasi bagi orang tua dan masyarakat mengenai pentingnya pemantauan gizi pada anak. Secara keseluruhan, sistem pakar gizi balita ini berpotensi menjadi solusi yang inovatif dan efisien dalam menangani isu kesehatan anak di tingkat komunitas, mendukung upaya pencegahan dan intervensi yang lebih proaktif terhadap gizi buruk.

DAFTAR PUSTAKA

- De Onis, M., Borghi, E., Arimond, M., Webb, P., Croft, T., Saha, K., De-Regil, L. M., Thuita, F., Heidkamp, R., Krasevec, J., Hayashi, C., & Flores-Ayala, R. (2019). Prevalence thresholds for wasting, overweight and stunting in children under 5 years. *Public Health Nutrition*, 22(1), 175–179. <https://doi.org/10.1017/S1368980018002434>
- Fei, L., Li, T., & Ding, W. (2024). Dempster–Shafer theory-based information fusion for natural disaster emergency management: A systematic literature review. *Information Fusion*, 112. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2024.102585>
- Fei, L., Li, T., Liu, X., & Ding, W. (2025). A novel multi-source information fusion method for emergency spatial resilience assessment based on Dempster-Shafer theory. *Information Sciences*, 686. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2024.121373>
- Hernando, A., Galán-García, J. L., & Aguilera-Venegas, G. (2024). A novel way to build expert systems with infinite-valued attributes. *AIMS Mathematics*, 9(2), 2938–2963. <https://doi.org/10.3934/math.2024145>
- Ikechukwu Nkuma-Udah, K., Azogini Chukwudebe, G., & Nwabueze Ekwonwune, E. (2018). Medical Diagnosis Expert System for Malaria and Related Diseases for Developing Countries. *E-Health Telecommunication Systems and Networks*, 07(02), 43–56. <https://doi.org/10.4236/etsn.2018.72002>
- Liu, Z., Xu, H., Zhao, X., Liu, P., & Li, J. (2019). Multi-Attribute Group Decision Making Based on Intuitionistic Uncertain Linguistic Hamy Mean Operators with Linguistic Scale Functions and Its Application to Health-Care Waste Treatment Technology Selection. *IEEE Access*, 7, 20–46. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2882508>
- Mazhar, T., & Qandeel Nasir, Inayatul Haq, Mian Muhammad Kamal, Inam Ullah, Taejoon Kim, Heba G. Mohamed, N. A. (2022). A Novel Expert System for the Diagnosis and Treatment of Heart Disease. *Electronics (Switzerland)*, 289(2), 236.
- Mokarram, M., & Mohammadzadeh, P. (2021). Prediction of Karst Suitable Area Using Fuzzy AHP Method and Dempster-Shafer Theory. *Earth and Space Science*, 8(11), 1–13. <https://doi.org/10.1029/2019EA000719>
- Nahar, K. M. O., Banikhalaf, M., Ibrahim, F., Abual-Rub, M., Almomani, A., & Gupta, B. B. (2023). A Rule-Based Expert Advisory System for Restaurants Using Machine Learning and Knowledge-Based Systems Techniques. *International Journal on Semantic Web and Information Systems*, 19(1). <https://doi.org/10.4018/IJSWIS.333064>

- Norhisham, S., Ismail, A., Borhan, M. N., & Katman, H. Y. (2017). An Exploration on the Developing of Expert System in Transport Engineering. *MATEC Web of Conferences*, 103. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201710309014>
- Ntenda, P. A. M. (2019). Association of low birth weight with undernutrition in preschool-aged children in Malawi. *Nutrition Journal*, 18(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s12937-019-0477-8>
- Pambudi, W., Farah, F., Santoso, A. H., Edbert, B., Angelina, D., & Septianti, N. S. (2023). Survei Pengukuran Status Gizi Balita dan Pola Pemberian Makanan Pendamping ASI di RPTRA Mandala Kelurahan Tomang Jakarta Barat. *Jurnal Bakti Masyarakat Indonesia*, 6(1), 75–82.
- Rybina, G. V., & Blokhin, Y. M. (2019). Methods and Software Implementation of Intelligent Planning for Integrated Expert System Design. *Scientific and Technical Information Processing*, 46(6), 434–445. <https://doi.org/10.3103/S0147688219060091>
- Sojak, M., Głowacki, S., Tulej, W., Bryś, A., Hutsol, T., Horetska, I., Stroianovska, L., Rozkosz, A., & Prístavka, M. (2023). The Expert System Supporting Decision-Making in the Process of Vegetable Pests Extermination during Vegetation Period. *Agricultural Engineering*, 27(1), 331–348. <https://doi.org/10.2478/agriceng-2023-0024>
- Somu, N., & Kowli, A. (2024). Evaluation of building energy demand forecast models using multi-attribute decision making approach. *Energy and Built Environment*, 5(3), 480–491. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2023.03.002>
- Stephenson, H., Roberts, M., Klimkeit, E., & Smith, T. (2022). Uncovering undernutrition in chronic obstructive pulmonary disease: Beyond body mass index. *Respiratory Medicine*, 205(July), 107026. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2022.107026>
- Tasnim, T. (2018). Determinants of malnutrition in children under five years in developing countries: A systematic review. *Indian Journal of Public Health Research and Development*, 9(6), 333–338. <https://doi.org/10.5958/0976-5506.2018.00574.0>
- Watkins, B., Odallo, L., & Yu, J. (2024). Artificial intelligence for the practical assessment of nutritional status in emergencies. *Expert Systems*, December 2023, 1–12. <https://doi.org/10.1111/exsy.13550>
- Xiao, F. (2020). Generalization of Dempster–Shafer theory: A complex mass function. *Applied Intelligence*, 50(10), 3266–3275. <https://doi.org/10.1007/s10489-019-01617-y>
- Yadav, A. K., Singh, K., Arshad, N. I., Ferrara, M., Ahmadian, A., & Mesalam, Y. I. (2024). MADM-based network selection and handover management in heterogeneous network: A comprehensive comparative analysis. *Results in Engineering*, 21(February), 101918. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.101918>