JURNAL ILMIAH INOVASI

Vol. 26, No. 2, Agustus 2026
E-ISSN : 2527-6220 | P-ISSN : 1411-5549
DOI : 10.25047/jii.v26i02.7351

SMART-SIP AI: Tumbler Cerdas Berbasis Kecerdasan Buatan untuk Deteksi *Real-Time* Kandungan Gula dan Kalori Minuman Sebagai Strategi Pencegahan Penyakit Metabolik

SMART-SIP AI: An AI-Based Smart Tumbler for Real-Time Detection of Beverage Sugar and Calorie Content

Tyas Nur Hapsari[1], Yunie Armiyati[2], Sifa Febriyanti[1], Nasywa Athiya[1], Elis Safika[3], Putri Utami[4]

[1] S1 Ilmu Keperawatan, Universitas Muhammadiyah Semarang
[2] Spesialis Keperawatan Medikal Bedah, Universitas Muhammadiyah Semarang
[3] S1 Informatika, Universitas Muhammadiyah Semarang
[4] D3 Keperawatan, Universitas Muhammadiyah Semarang
**yunie@unimus.ac.id*

ABSTRAK

Peningkatan konsumsi *sugar-sweetened beverages* (SSB) berkontribusi terhadap meningkatnya prevalensi penyakit metabolik, seperti diabetes melitus tipe 2 dan obesitas, serta memperburuk pencemaran lingkungan akibat penggunaan kemasan plastik sekali pakai. Keterbatasan informasi kandungan gula pada minuman nonkemasan juga menyulitkan masyarakat dalam mengontrol asupan gula harian. Penelitian ini bertujuan mengembangkan konsep **SMART-SIP AI**, yaitu tumbler cerdas berbasis kecerdasan buatan yang mampu mengestimasi kandungan gula dan kalori minuman secara *real-time* sebagai upaya promotif dan preventif terhadap penyakit metabolik. Penelitian menggunakan pendekatan studi konseptual melalui perancangan arsitektur sistem yang mengintegrasikan sensor *Near-Infrared Spectroscopy* (NIRS), sensor warna RGB, mikrokontroler ESP32 berbasis *edge artificial intelligence*, dan aplikasi *mobile*. Sistem memanfaatkan metode *Short-Wave Near-Infrared Spectroscopy* (SW-NIR) yang dipadukan dengan algoritma *Machine Learning* untuk menganalisis kandungan gula secara non-destruktif dan mentransmisikan hasil melalui *Bluetooth Low Energy* (BLE). Validasi teknis dirancang menggunakan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) sebagai standar emas. SMART-SIP AI diharapkan dapat meningkatkan literasi gizi digital, mendorong perilaku konsumsi yang lebih sehat, mengendalikan asupan gula, serta mengurangi penggunaan plastik sekali pakai guna mendukung pencegahan penyakit metabolik dan keberlanjutan lingkungan

Kata kunci SMART-SIP AI, *Near-Infrared Spectroscopy* (NIRS), penyakit metabolik

ABSTRACT

The increasing consumption of sugar-sweetened beverages (SSB) contributes to the increasing prevalence of metabolic diseases, such as type 2 diabetes mellitus and obesity, and worsens environmental pollution due to the use of single-use plastic packaging. Limited information on sugar content in non-packaged beverages also makes it difficult for people to control their daily sugar intake. This study aims to develop the concept of SMART-SIP AI, namely an artificial intelligence-based smart tumbler that is able to estimate the sugar and calorie content of drinks in real-time as a promotive and preventive effort against metabolic diseases. The study uses a conceptual study approach through the design of a system architecture that integrates Near-Infrared Spectroscopy (NIRS) sensors, RGB color sensors, an ESP32 microcontroller based on edge artificial intelligence, and a mobile application. The system utilizes the Short-Wave Near-Infrared Spectroscopy (SW-NIR) method combined with a Machine Learning algorithm to analyze sugar content non-destructively and transmit results via Bluetooth Low Energy (BLE). Technical validation is designed using High Performance Liquid Chromatography (HPLC) as the gold standard. SMART-SIP AI is expected to improve digital nutrition literacy, encourage healthier consumption behavior, control sugar intake, and reduce the use of single-use plastics to support metabolic disease prevention and environmental sustainability.

Keywords SMART-SIP AI, *Near-Infrared Spectroscopy* (NIRS), metabolic disease

OPEN ACCESS

© 2026. Tyas Nur Hapsari, Yunie Armiyati, Sifa Febriyanti, Nasywa Athiya[1], Elis Safika, Putri Utami

Creative Commons
Attribution 4.0 International License

1. Pendahuluan

Indonesia saat ini menghadapi dua tantangan besar yang kompleks, yaitu meningkatnya prevalensi penyakit metabolik dan masalah lingkungan akibat sampah plastik. Menurut data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, total timbulan limbah nasional diprediksi akan mencapai 68,5 juta ton pada tahun 2023, dengan sekitar 17–18% di antaranya merupakan limbah plastik. Selain itu, penelitian terbaru menunjukkan bahwa lebih dari 1.000 sungai di seluruh dunia mengalirkan sekitar 80% limbah plastik menuju laut [1]. Kondisi ini menegaskan bahwa isu sampah plastik telah menjadi masalah global dengan dampak yang signifikan terhadap lingkungan dan keberlanjutan ekosistem.

Salah satu penyebab utama limbah plastik adalah meningkatnya konsumsi minuman dalam kemasan sekali pakai, khususnya *sugar-sweetened beverages* (SSB). Minuman seperti latte, teh botol, minuman boba, dan soda tidak hanya mengandung gula dalam jumlah tinggi, tetapi juga berkontribusi terhadap peningkatan penggunaan plastik sekali pakai. Berdasarkan laporan Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, asupan gula harian masyarakat Indonesia masih melebihi batas rekomendasi, yaitu 50 gram per hari. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa konsumsi minuman manis berhubungan signifikan dengan peningkatan risiko diabetes tipe 2 dan obesitas [2].

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa konsumsi minuman manis dapat meningkatkan jumlah kalori tanpa memberikan rasa kenyang, sehingga berisiko menyebabkan kelebihan kalori dan meningkatkan risiko terjadinya penyakit metabolik. Kondisi ini diperparah oleh rendahnya pemahaman masyarakat mengenai kandungan gula dalam minuman. Data survei nasional menunjukkan bahwa lebih dari separuh rumah tangga di Indonesia mengonsumsi minuman berpemanis setidaknya sekali setiap minggu [3]. Kondisi ini menjadi faktor risiko utama terjadinya hiperglikemia dan obesitas [4]. Meningkatnya konsumsi minuman berpemanis selain berdampak terhadap kesehatan melalui tingginya asupan gula, juga berkontribusi pada bertambahnya penggunaan kemasan plastik sekali pakai. Permasalahan konsumsi minuman manis tidak hanya berkaitan dengan risiko penyakit metabolik, tetapi juga menimbulkan tantangan lingkungan yang semakin kompleks.

Isu limbah plastik di sisi lain menimbulkan dampak yang lebih serius melalui terbentuknya mikroplastik, yaitu partikel plastik berukuran kurang dari 5 mm hasil degradasi plastik di lingkungan. Penelitian dalam jurnal *Environmental Science and Technology* menunjukkan bahwa mikroplastik telah ditemukan dalam air minum, produk laut, bahkan darah manusia [5]. Paparan dalam jangka panjang terhadap mikroplastik berpotensi menyebabkan peradangan, gangguan sistem endokrin, serta mengancam ekosistem laut dan ketahanan pangan secara global.

Permasalahan tersebut menunjukkan adanya keterkaitan erat antara aspek ekologis, kesehatan, dan sosial budaya. Konsumsi minuman manis dalam kemasan plastik sekali pakai menjadi bagian dari gaya hidup modern yang praktis, meskipun dampak kesehatan dan lingkungan sering kali diabaikan. Meskipun promosi penggunaan tumbler sebagai pengganti kemasan sekali pakai telah dilakukan secara luas, tingkat penggunaannya di masyarakat masih relatif rendah karena tumbler umumnya hanya berfungsi sebagai wadah penyimpanan minuman tanpa integrasi teknologi yang memberikan nilai tambah, seperti pemantauan kandungan gizi atau dukungan terhadap pengambilan keputusan konsumsi yang lebih sehat.

Hingga saat ini, inovasi tumbler yang mampu mengintegrasikan pengurangan penggunaan plastik sekali pakai dengan pemantauan kandungan gizi minuman secara *real-time* masih terbatas. Oleh karena itu, diperlukan inovasi yang tidak hanya berkontribusi terhadap pengurangan limbah plastik, tetapi mampu mendorong

perubahan pola konsumsi masyarakat secara berkelanjutan.

Melalui algoritma pembelajaran mesin, tumbler ini mampu mengidentifikasi melalui sensor internal, kadar gula dan estimasi kalori minuman secara instan. Inovasi ini berfokus pada upaya preventif dalam pengendalian konsumsi gula harian masyarakat sebagai salah satu faktor risiko utama penyakit metabolik, seperti Diabetes Melitus tipe 2 dan obesitas. Inovasi SMART-SIP AI yang berbasis pada gelas pintar ini bertujuan untuk menjadi solusi masa depan yang tidak hanya membantu masyarakat memantau jumlah gula dan kalori dalam minuman secara langsung, tetapi juga berkontribusi pada perkembangan budaya konsumsi yang lebih peduli terhadap kesehatan. Teknologi ini dalam jangka panjang, memiliki potensi untuk mendukung pencegahan penyakit metabolik dan meningkatkan kesehatan masyarakat melalui pendekatan pencegahan yang berbasiskan teknologi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, inovasi ini bertujuan untuk (1) mengembangkan dan mengevaluasi SMART-SIP AI sebagai tumbler cerdas berbasis kecerdasan buatan yang mampu mengestimasi kadar gula dan jumlah kalori minuman secara *real-time*; (2) menganalisis efektivitas SMART-SIP AI dalam meningkatkan kesadaran dan perubahan perilaku masyarakat terhadap konsumsi gula harian; dan (3) mengevaluasi potensi implementasi SMART-SIP AI dalam mendukung pencegahan penyakit metabolik serta mendorong pengurangan penggunaan plastik sekali pakai.

2. Target dan Luaran *(Optional)*

2.1 Target

Gagasan SMART-SIP AI ditujukan pada beberapa khalayak sasaran sebagai berikut:

a. Individu usia produktif, khususnya remaja dan dewasa muda, yang tercatat memiliki tingkat konsumsi minuman berpemanis (*sugar-sweetened beverages*/SSB) yang tinggi dan cenderung terpapar risiko penyakit metabolik sejak usia dini.
b. Masyarakat umum, termasuk rumah tangga yang secara rutin mengonsumsi minuman berpemanis setiap minggu, sebagai kelompok yang berkontribusi terhadap peningkatan asupan energi harian nasional.
c. Institusi kesehatan, khususnya Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, sebagai pemangku kepentingan utama dalam program pencegahan penyakit tidak menular (PTM) seperti diabetes melitus dan hipertensi.
d. Sektor pendukung teknis dan regulasi, meliputi produsen tumbler, tim pengembang sistem (IT dan *engineering*), ahli gizi, serta lembaga pengujian alat kesehatan sebagai pihak yang diproyeksikan terlibat dalam pengujian, sertifikasi, dan penyusunan regulasi produk.

2.2 Luaran

Luaran SMART-SIP AI diharapkan tidak hanya berupa produk inovatif, tetapi juga memberikan manfaat dalam mendukung upaya pencegahan penyakit metabolik melalui pemantauan kandungan gula minuman secara *real-time*. Integrasi sensor NIRS, *edge Artificial Intelligence* (AI), dan aplikasi *mobile* memungkinkan pengguna memperoleh informasi kandungan gula dan kalori secara praktis sebagai dasar pengambilan keputusan konsumsi yang lebih sehat.

Selain menghasilkan prototipe, SMART-SIP AI juga diharapkan memberikan dampak berupa peningkatan literasi gizi masyarakat serta menjadi dasar pengembangan inovasi kesehatan digital yang berkelanjutan. Luaran tersebut didukung dengan potensi perlindungan Hak Kekayaan Intelektual (HKI) dan peluang pengembangan lebih lanjut melalui kolaborasi dengan akademisi, industri, dan pemerintah.

a. Luaran Produk

1) Prototipe tumbler cerdas terintegrasi sensor *Near-Infrared Spectroscopy* (NIRS) dan mikrokontroler ESP32 berbasis *edge Artificial Intelligence*, yang memungkinkan pemrosesan data secara lokal dan *real-time* tanpa ketergantungan penuh pada konektivitas internet.
2) Aplikasi *mobile* pendukung yang menyajikan estimasi kalori, volume, komposisi zat gizi, serta indikator risiko konsumsi gula harian, sejalan dengan bukti bahwa aplikasi berbasis *smartphone* secara konsisten efektif dalam mendorong perilaku makan yang lebih sehat.
3) Basis data spektrum minuman hasil kalibrasi sensor NIRS sebagai dasar pelatihan algoritma *machine learning*untuk memprediksi kadar gula secara non-destruktif

b. Luaran Non-Produk (Dampak)

1) Peningkatan literasi gizi digital masyarakat, khususnya dalam memahami kandungan gula pada minuman non-kemasan yang selama ini tidak memiliki label gizi, melalui pendekatan edukasi personal berbasis sensor dan kecerdasan buatan.
2) Transformasi perilaku konsumsi dari pola reaktif menjadi proaktif, sebagaimana ditunjukkan oleh studi bahwa umpan balik glukosa secara *real-time* mendorong individu untuk secara intuitif memodifikasi perilaku konsumsi mereka begitu data ditampilkan.
3) Kontribusi terhadap efisiensi sistem kesehatan nasional, mengingat prevalensi diabetes melitus di Indonesia meningkat dari 5,7% pada 2007 menjadi 11,7% pada 2023, sejalan dengan meningkatnya beban klaim BPJS Kesehatan untuk penanganan diabetes yang diproyeksikan terus bertambah pada dekade mendatang.
4) Luaran kekayaan intelektual, berupa pendaftaran Hak Kekayaan Intelektual (HKI) atas desain sistem serta pengurusan sertifikasi Standar Nasional Indonesia (SNI) atau standar alat kesehatan.
5) Kontribusi akademik, sebagai model integrasi teknologi sensor optik, *edge AI*, dan interaksi manusia-mesin yang dapat menjadi rujukan pengembangan penelitian lanjutan di bidang kesehatan preventif berbasis teknologi wearable.

3. Metodologi

Penelitian ini menerapkan pendekatan studi konseptual serta perancangan arsitektur sistem (Sistem Minum Pintar Berbasis Kecerdasan Buatan yang Dipersonalisasi) yang disusun secara holistik guna mengintegrasikan teknologi sensor optik, komputasi cerdas, dan pemantauan perilaku konsumsi riil. Alur pengembangan inovasi SMART-SIP AI dilaksanakan melalui metodologi terstruktur yang mencakup tahapan riset teoretis, integrasi perangkat keras dan lunak, hingga perancangan model validasi laboratorium.

3.1 Tahap Riset, Kalibrasi Sensor, dan Pembangunan Basis Data

Penelitian diawali dengan kajian spektroskopi mendalam yang difokuskan pada kalibrasi performa sensor *Near-Infrared Spectroscopy* (NIRS). Proses pemindaian larutan mengimplementasikan metode spektroskopi gelombang pendek (*Short-Wave Near-Infrared* / SW-NIR) untuk menganalisis interaksi serapan cahaya inframerah dengan molekul gula secara stabil tanpa merusak sampel cairan [6]. Pembangunan basis data spektrum fungsional dilaksanakan secara sistematis sebagai instrumen utama untuk melatih algoritma *machine learning*. Algoritma tersebut mengolah pola spektral dan parameter zat gizi standar yang telah dikalibrasi sebelumnya agar mampu membedakan karakteristik jenis karbohidrat serta memproyeksikan estimasi kadar gula secara akurat.

3.2 Tahap Perancangan Prototipe dan Integrasi Sistem

Perancangan perangkat keras (*hardware*) berpusat pada fungsionalitas dan portabilitas komponen elektronik yang terintegrasi di dalam struktur tumbler. SMART-SIP AI dirancang sebagai suatu sistem yang menggabungkan perangkat keras, perangkat lunak, dan antarmuka pengguna untuk mendukung proses estimasi kandungan gula dan kalori minuman secara *real-time*. Integrasi komponen tersebut memungkinkan proses akuisisi data, pemrosesan kecerdasan buatan, hingga penyajian informasi kepada pengguna dalam satu ekosistem yang saling terhubung.

Komponen utama SMART-SIP AI terdiri atas sensor optik berbasis *Near-Infrared Spectroscopy* (NIRS), mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemrosesan tertanam (*edge AI*), sensor warna RGB, modul komunikasi *Bluetooth Low Energy* (BLE), panel tampilan OLED, serta baterai isi ulang. Sensor NIRS berfungsi sebagai komponen utama untuk memperoleh data spektral minuman secara non-kontak melalui jendela optik (*optical window*), sehingga proses pengukuran berlangsung higienis tanpa merusak sampel. Data spektral yang diperoleh kemudian diproses oleh ESP32 menggunakan algoritma *Machine Learning* untuk mengestimasi kandungan gula dan kalori minuman secara *real-time*. Sensor RGB digunakan sebagai komponen pendukung untuk membantu klasifikasi awal jenis minuman berdasarkan karakteristik visual, sedangkan panel OLED berfungsi menampilkan informasi ringkas mengenai status sistem dan hasil estimasi awal. Seluruh komponen memperoleh suplai daya dari baterai isi ulang yang mendukung penggunaan perangkat secara portabel.

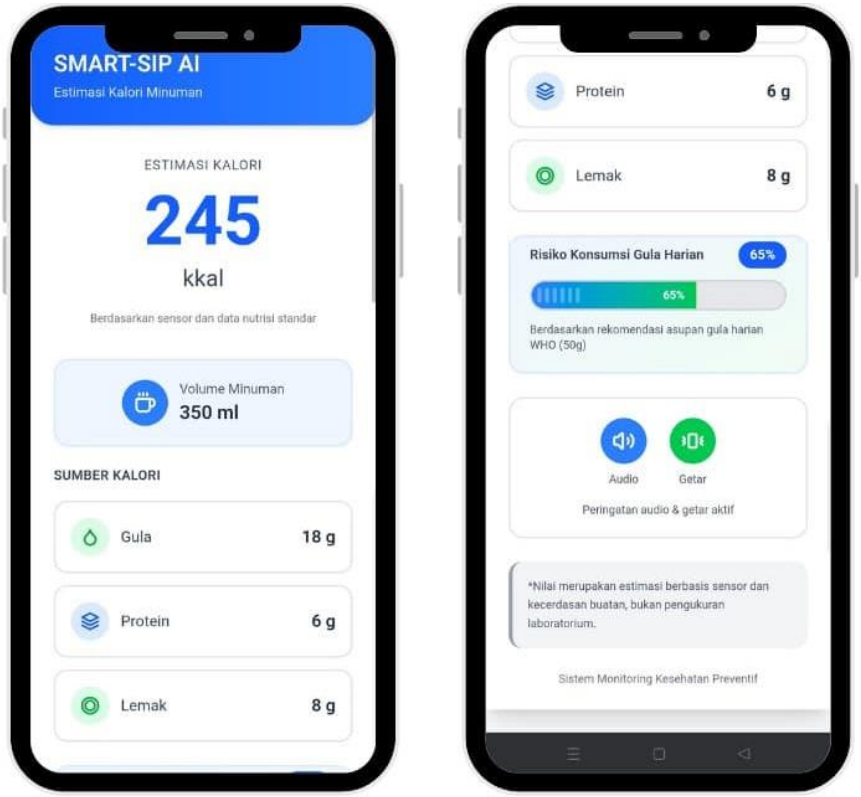
Alur kerja SMART-SIP AI dimulai ketika pengguna menuangkan minuman ke dalam tumbler. Sensor *Near-Infrared Spectroscopy* (NIRS) melakukan pemindaian spektral secara non-kontak untuk memperoleh karakteristik molekul gula pada minuman, sementara sensor RGB berfungsi sebagai data pendukung dalam proses identifikasi jenis minuman. Data yang diperoleh kemudian diproses oleh mikrokontroler ESP32 melalui tahapan normalisasi dan inferensi menggunakan model *Machine Learning* berbasis *edge AI* sehingga estimasi kandungan gula dan kalori dapat dihasilkan secara *real-time*.

Hasil estimasi ditampilkan secara ringkas pada panel OLED dan dikirimkan ke aplikasi seluler melalui koneksi *Bluetooth Low Energy* (BLE). Aplikasi berfungsi menyimpan riwayat konsumsi, menghitung akumulasi asupan gula harian berdasarkan profil pengguna, serta memberikan notifikasi apabila konsumsi mendekati atau melampaui batas yang direkomendasikan. Rangkaian integrasi perangkat keras dan perangkat lunak tersebut menjadi dasar pelaksanaan tahap validasi laboratorium untuk mengevaluasi akurasi, konsistensi, dan keandalan sistem sebelum diterapkan pada pengguna.



Gambar 3. 1 Desain Fisik SMART-SIP AI

Pengembangan perangkat lunak dan antarmuka (*software* & *interface*) menerapkan model kecerdasan buatan berbasis *Machine Learning* yang adaptif terhadap evaluasi spektral pangan cair [7]. Sistem cerdas ini mengklasifikasikan jenis minuman, mengukur kadar gula secara non-destruktif, serta mengestimasi nilai total energi dalam satuan kilokalori (kkal) dan volume cairan dalam mililiter (ml) [8]. Model *Machine Learning* yang telah dilatih menggunakan basis data spektrum minuman akan melakukan proses inference secara otomatis sehingga hasil analisis dapat ditampilkan hanya dalam hitungan detik. Pendekatan ini memungkinkan proses identifikasi berlangsung secara cepat, efisien, dan konsisten meskipun digunakan pada berbagai jenis minuman dengan karakteristik yang berbeda. Hasil analisis kemudian dikirimkan ke aplikasi seluler melalui konektivitas *Bluetooth Low Energy* (BLE) yang memiliki konsumsi daya rendah namun tetap mampu mempertahankan kecepatan transmisi data. Aplikasi seluler dirancang untuk menampilkan informasi secara interaktif, meliputi kadar gula, estimasi kalori, volume minuman, serta riwayat hasil pengukuran yang dapat dipantau pengguna dari waktu ke waktu. Selain itu, sistem juga memberikan notifikasi atau peringatan apabila kadar gula yang terdeteksi melebihi batas konsumsi harian yang direkomendasikan, sehingga pengguna memperoleh umpan balik (*real-time feedback*) sebagai dasar dalam mengambil keputusan konsumsi yang lebih sehat dan mendukung pencegahan penyakit metabolik.



Gambar 3. 2 Rancangan Antarmuka Aplikasi SMART-SIP AI

Integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak tersebut membentuk sistem pemantauan gizi digital yang memungkinkan pengguna memperoleh informasi kandungan gula dan kalori sebelum minuman dikonsumsi. Dengan demikian, SMART-SIP AI tidak hanya berfungsi sebagai wadah minum, tetapi juga sebagai perangkat pendukung pengambilan keputusan konsumsi yang lebih sehat dalam upaya pencegahan penyakit metabolik.

3.3 Tahap Validasi Medis dan Uji Akurasi Laboratorium

Pengujian validasi klinis dan teknis dirancang secara ketat untuk menjamin presisi serta tingkat akurasi dari algoritma *edge AI* dan sensor optik yang dikembangkan. Hasil pembacaan kadar gula oleh perangkat SMART-SIP AI akan dikomparasikan secara langsung dengan instrumen standar emas (*gold standard*) laboratorium berupa *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC). Standardisasi keamanan material dilakukan melalui pengurusan sertifikasi Standar Nasional Indonesia (SNI) atau regulasi instrumen kesehatan pada lembaga otoritatif seperti P2SMTP-LIPI guna menjamin kelayakan material *food-grade* sebelum diimplementasikan secara luas di masyarakat.

4. Pembahasan

4.1 Posisi Inovatif SMART-SIP AI dalam Lanskap Teknologi Pemantauan Gizi

Konsumsi *sugar-sweetened beverages* (SSB) di Indonesia telah menjadi persoalan kesehatan masyarakat yang terukur, dengan lebih dari separuh rumah tangga mengonsumsi minuman berpemanis setiap minggu [3]. Pada kelompok remaja perkotaan,

tingginya konsumsi SSB digerakkan oleh tekanan sosial sebaya, kemudahan memperoleh minuman, dan rendahnya pemahaman tentang kandungan gula aktual [9]. Kegagalan teknologi pemantauan gizi yang ada saat ini berakar pada kesalahan desain: aplikasi *food logging* berbasis AI menunjukkan akurasi rendah pada minuman racikan tanpa label [10], pemindaian barcode tidak dapat menjangkau ekosistem minuman warung dan kedai kopi lokal, sementara estimasi kalori berbasis gambar tidak mampu membedakan minuman identik visual dengan kandungan gula berbeda [8].

SMART-SIP AI menghadirkan tiga kontribusi orisinal: (1) konsep pertama yang menempatkan sensor NIRS pada wadah minum portabel untuk deteksi gula non-destruktif; (2) pemrosesan *edge AI* yang berjalan langsung di perangkat tanpa ketergantungan internet; dan (3) penggabungan fungsi pemantauan kesehatan dengan pengurangan limbah plastik dalam satu artefak tunggal.

4.2 Fondasi Ilmiah NIRS dan Machine Learning

NIRS memanfaatkan absorpsi cahaya pada panjang gelombang 800-2500 nm oleh ikatan molekuler C-H, O-H, dan C-O yang menyusun molekul gula, meninggalkan "sidik jari spektral" yang khas untuk estimasi konsentrasi gula tanpa kontak fisik [7]. [6] mendemonstrasikan bahwa SW-NIR yang dikombinasikan dengan arsitektur deep learning CNN-LSTM mampu memprediksi kadar gula pada matriks cairan kompleks dengan akurasi tinggi, memberikan preseden teknis untuk implementasi dalam tumbler berukuran terbatas. Namun, ekstrapolasi ke minuman khas Indonesia memerlukan pertimbangan matrix effect [8], sehingga model machine learning SMART-SIP AI harus dilatih dengan database spektrum spesifik yang mencakup variasi resep dan merek minuman populer Indonesia. Integrasi sensor warna RGB sebagai lapisan pra-klasifikasi secara teoretis meningkatkan ketahanan sistem terhadap variabilitas sampel melalui pendekatan multi-sensor fusion. Efektivitasnya akan sangat ditentukan oleh kualitas kalibrasi lintas-sensor, yang harus melibatkan sampel minuman dari berbagai kondisi nyata: variasi suhu, tingkat kekeruhan, dan konsentrasi gula**,** kondisi-kondisi yang kerap berbeda jauh antara minuman yang baru dibuat dan yang sudah didiamkan.

4.3 Arsitektur Edge AI–IoT: Implikasi Teknis dan Strategis untuk Kesehatan Preventif

SMART-SIP AI mengadopsi arsitektur *edge computing*, di mana seluruh pemrosesan data spektral dan inferensi model machine learning dieksekusi secara lokal pada mikrokontroler ESP32 yang tertanam di dalam perangkat. Keputusan arsitektural ini didasarkan pada pertimbangan fungsional dan kontekstual: estimasi kandungan gula dapat dihasilkan dalam hitungan detik tanpa ketergantungan pada koneksi internet, suatu prasyarat krusial mengingat titik konsumsi SSB utama di Indonesia warung kopi, kantin kampus, dan gerai minuman

pinggir jalan sering berada dalam keterbatasan konektivitas.

SMART-SIP AI dalam kerangka IoT kesehatan berlapis, menempati lapisan persepsi sebagai simpul pengumpul dan pengolah data primer. Hasil pemrosesan dikirim melalui *Bluetooth Low Energy* (BLE) ke smartphone pengguna yang berfungsi sebagai lapisan aplikasi, menyediakan visualisasi, penyimpanan riwayat konsumsi, dan sistem peringatan. Pembagian tugas komputasi ini *hierarchical data processing* memberikan dua keuntungan sekaligus: konsumsi daya baterai perangkat sensor diminimalkan, sementara kemampuan analisis data longitudinal di tingkat aplikasi tetap tersedia. Pada tahap lanjut, data anonim dari populasi pengguna berpotensi mendukung pemodelan epidemiologi SSB berbasis data nyata untuk perumusan kebijakan kesehatan.

Keterkaitan arsitektur ini dengan pencegahan diabetes terletak pada pergeseran titik intervensi. Konsumsi SSB berulang memicu sekresi insulin berlebih dan resistensi reseptor insulin jalur patofisiologi utama diabetes tipe 2 [11]. Pendekatan klinis konvensional baru bergerak setelah gejala muncul, saat kerusakan telah berlangsung bertahun-tahun. SMART-SIP AI menggeser intervensi ke hulu: informasi tersedia setiap kali minuman dituang, sebelum konsumsi terjadi. Ini adalah pencegahan primer berbasis data, bukan sekadar ajaran hidup sehat yang abstrak.

4.4 Mekanisme Perubahan Perilaku Konsumsi: Dari Konstruk Teoretis ke Implementasi Desain

SMART-SIP AI mengatasi *knowledge–action gap* melalui integrasi Health Belief Model dan Nudge Theory dalam desain perangkat. Melalui HBM, sistem mengaktifkan *perceived susceptibility* dengan menampilkan informasi personal seperti "38 gram gula = 152% batas harian WHO" pada saat pengguna hendak minum, memvisualisasikan *perceived severity* melalui progress bar risiko harian yang berubah warna dari hijau ke merah, memperkuat *perceived benefits* melalui umpan balik positif atas pilihan rendah gula, dan menekan *perceived barriers* dengan desain tumbler yang tidak mengubah ritual konsumsi sehari-hari. Pendekatan ini menjawab temuan [9] bahwa rendahnya *perceived susceptibility* remaja Indonesia terhadap diabetes menjadi penyebab kegagalan kampanye edukasi konvensional. Dari sisi Nudge Theory, notifikasi berfungsi sebagai *temporal proximity nudge* peringatan diberikan saat minuman dituang, bukan saat membaca poster kesehatan sehingga keputusan masih dapat diubah, sejalan dengan bukti [12] bahwa umpan balik terukur pada momen tepat lebih efektif daripada edukasi tanpa pemantauan langsung. Risiko *habituation* terhadap notifikasi berulang menjadi celah desain yang harus diantisipasi melalui strategi anti-habituation: variasi pesan, gamifikasi mingguan, dan personalisasi berbasis riwayat konsumsi sebelum validasi lapangan dilakukan.

4.5 Sinergi Kesehatan Lingkungan: Nilai Tambah Strategis yang Melampaui Substitusi Plastik

Konsumsi SSB dan limbah plastik kemasan sekali pakai terikat oleh perilaku konsumsi yang sama. [1] memetakan lebih dari seribu sungai di dunia memasok 80% sampah plastik ke lautan, dengan kemasan minuman dari Asia Tenggara menyumbang proporsi signifikan. [5] bahkan mengkonfirmasi keberadaan mikroplastik dalam darah manusia, menegaskan limbah plastik telah memasuki rantai biologis manusia. Karena kedua masalah bersumber dari perilaku yang sama, solusi yang menyentuh keduanya sekaligus memiliki nilai strategis berlipat.

Kegagalan kampanye tumbler guna ulang di Indonesia disebabkan oleh *functional value deficit*: tumbler konvensional hanya menawarkan nilai substitusi (menggantikan plastik) tanpa nilai fungsional tambahan yang dirasakan langsung. Teori nilai konsumen menyatakan adopsi produk berkelanjutan meningkat ketika manfaat fungsional konkrit ditambahkan ke manfaat lingkungan yang abstrak. SMART-SIP AI mengisi celah ini dengan memberikan informasi kesehatan nyata dan terukur setiap kali digunakan, sehingga motivasi bertumpu pada manfaat pribadi langsung, bukan sekadar kewajiban moral jangka panjang.

Namun klaim *dual-impact* ini masih konseptual dan belum memiliki dukungan data empiris. Penelitian adopsi mHealth di Indonesia masih bersifat *cross-sectional*, belum cukup menyimpulkan keberlanjutan jangka menengah. Oleh karena itu, uji efektivitas SMART-SIP AI harus mencakup metrik adopsi dan retensi pengguna dalam studi longitudinal, membandingkan kelompok pengguna SMART-SIP AI dengan kelompok kontrol pengguna tumbler konvensional, dengan luaran utama berupa perubahan perilaku konsumsi SSB dan pengurangan sampah plastik.

4.6 Keterbatasan, Risiko, dan Agenda Penelitian Lanjutan

SMART-SIP AI memiliki tiga keterbatasan fundamental. Pertama, klaim deteksi masih konseptual karena diturunkan dari ekstrapolasi penelitian NIRS pada matriks lain, bukan pengujian prototipe langsung, sehingga memerlukan validasi tiga level: uji akurasi sensor terhadap HPLC, uji generalisasi model pada sampel baru, dan uji ketahanan terhadap variabel perancu. Kedua, database spektrum minuman Indonesia sulit dibangun karena variabilitas ekstrem antar resep, barista, dan wilayah, menuntut pengumpulan data sistematis melalui kolaborasi multisenter sejak awal pengembangan. Ketiga, tingkat attrition pengguna aplikasi kesehatan tinggi, sehingga diperlukan fitur engagement seperti gamifikasi, social comparison, dan personalisasi target gula yang belum ada dalam rancangan awal. Agenda penelitian direkomendasikan dalam tiga jalur paralel: teknis (validasi sensor dan optimasi AI), klinis (uji akurasi dan sertifikasi Kemenkes/BPOM), dan behavioral (studi TAM dan RCT perubahan perilaku). Sebelum konvergensi ketiga jalur ini tercapai, SMART-SIP AI tepat diposisikan sebagai alat

peningkatan kesadaran gizi (*nutrition awareness tool*), bukan pengganti pemeriksaan klinis.

5. Kesimpulan

SMART-SIP adalah satu inovasi dalam bentuk tumbler pintar yang menyatukan kecerdasan buatan, sensor *Near-Infrared Spectroscopy* (NIRS), dan *mikrokontroler* ESP32 untuk menilai kandungan gula dan kalori dalam minuman secara *real-time* dan non-invasif. Inovasi ini merupakan jawaban atas tingginya angka diabetes di Indonesia yang mencapai 11,7% pada tahun 2023, konsumsi gula berlebihan dari minuman manis, serta minimnya informasi gizi pada minuman yang dibuat sendiri. Dengan adanya teknologi ini, konsumen dapat dengan mudah mengawasi asupan gula mereka, meningkatkan kesadaran, dan memberikan kemampuan untuk mengontrol kebiasaan makan sehari-hari yang lebih baik.

Realisasi SMART-SIP telah direncanakan dalam empat tahap selama empat tahun, mulai dari penelitian dan pengembangan sensor pembuatan prototipe, validasi medis, hingga penyampaian informasi kepada publik dan pengembangan skala operasional. Inovasi ini diharapkan bisa memperbaiki pemahaman mengenai gizi digital, mendorong pergeseran menuju pola konsumsi yang lebih preventif, mengurangi angka kejadian penyakit tidak menular seperti diabetes dan obesitas, serta berkontribusi pada terciptanya masyarakat Indonesia yang lebih sehat, produktif, dan mampu beradaptasi dengan kemajuan teknologi.

6. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Muhammadiyah Semarang (Unimus) atas penyediaan dana, dukungan akademis, dan lingkungan penelitian yang kondusif, sehingga penyusunan manuskrip dan pengembangan gagasan ilmiah ini dapat diselesaikan dengan baik.

Daftar Pustaka

[1] L. J. J. Meijer, T. Van Emmerik, R. Van Der Ent, C. Schmidt, and L. Lebreton, “More than 1000 rivers account for 80 % of global riverine plastic emissions into the ocean,” *Sci. Adv.*, vol. 7 (18), no. April, pp. 1–14, 2021, doi: 10.1126/SCIADV.AAZ5803;PAGEGROUP:STRING:PUBLICATION.

[2] J. Lee, “Signs and symptoms of hypertension,” *Journal of Molecular Pathophysiology*, vol. 11, no. 9, pp. 1–2, 2022.

[3] W. Anggraini, M., and Septiani, “Digital health advocacy: exploring instagram’s role in promoting public support for sugar-sweetened beverage excise,” *The Indonesian Journal of Communication Studies*, vol. 8, no. 2, pp. 42–54, 2025, doi: 10.31315/ijcs.v18i2.16053.

[4] A. Kurmala, “Sweetened beverages are risk factor to three major diseases: Ministry Antara News,” https://en.antaranews.com/news/304344/sweetened-beverages-are-risk-factor-to-three-major-diseases-ministry.

[5] H. A. Leslie, M. J. M. Van Velzen, S. H. Brandsma, A. D. Vethaak, J. Garcia-vallejo, and M. H. Lamoree, “Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood,” *Environ. Int.*, vol. 163, no. 107199, pp. 1–8, 2022, doi: 10.1016/j.envint.2022.107199.

[6] M. M. Salehin *et al.*, “Measurement: Food Prediction of sugar content in Java Plum using SW-NIR spectroscopy with CNN-LSTM based hybrid deep learning model,” *Measurement: Food*, vol. 19, no. 100246, 2025, doi: 10.1016/j.meafoo.2025.100246.

[7] W. Qi and Q. Jiang, “Research progress on the application of near - infrared spectroscopy in liquid food quality testing,” *Beny-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 14, no. 75, 2025.

[8] R. Puthukulangara, A. Cl, and C. Erkinbaev, "Miniaturized spectroscopy and AI-driven probes in food industry automation ☆," *Food Research Internasional*, vol. 214, no. 116646, 2025, doi: 10.1016/j.foodres.2025.116646.
[9] D. Karyoko, W. K. Y. Putra, T. J. Prasetyo, D. Karyoko, W. K. Y. Putra, and T. J. Prasetyo, "Factors Related to the Consumption of Sugar-Sweetened Beverages (SSBs) Among High School Students at SMA Negeri 68 Jakarta in 2024," *Indonesian Journal of Public Health Nutrition (IJPHN)*, vol. 5, no. 1, p. 3, Oct. 2024, doi: 10.7454/ijphn.v5i1.1052.
[10] K. V. Dalakleidi, M. Papadelli, I. Kapolos, and K. Papadimitriou, "Applying Image-Based Food-Recognition Systems on Dietary Assessment: A Systematic Review," *Advances in Nutrition*, vol. 13, no. 6, p. 2590, Nov. 2022, doi: 10.1093/ADVANCES/NMAC078.
[11] V. S. Malik and F. B. Hu, "The role of sugar-sweetened beverages in the global epidemics of obesity and chronic diseases," *Nature Reviews Endocrinology 2022 18:4*, vol. 18, no. 4, pp. 205–218, Jan. 2022, doi: 10.1038/s41574-021-00627-6.
[12] T. Qian *et al.*, "The Micro-Randomized Trial for Developing Digital Interventions: Experimental Design and Data Analysis Considerations," *Psychol. Methods*, vol. 27, no. 5, p. 874, Jan. 2022, doi: 10.1037/MET0000283.