ISSN(P): 2088-2246
ISSN(E): 2684-7345

UJI KOMPARASI EKSPERIMENTAL *SMART-ANTHRO* BERBASIS IOT DAN ANTROPOMETRI MANUAL: ANALISIS AKURASI TEKNIS DAN PERSEPSI KEMUDAHAN PENGGUNA NON-KESEHATAN

Experimental Comparative Test Of Iot-Based Smart-Anthro And Manual Anthropometry: Analysis Of Technical Accuracy And Perception Of Ease Among Non-Health Users

Agus Widyawati[1*], Titi Huriah[2]
[1*]Program Studi S-1 Keperawatan, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Madani
[2]Program Studi Pascasarjana, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
[1*]Jl. Wonosari Km 10, Karanggayam, Sitimulyo, Piyungan, Bantul, Yogyakarta 55792
[2]Jl.Brawijaya, Kasihan, Bantul, Yogyakarta, 55183
Email: [1]widyawati@umad.ac.id*
Corresponding Author
Tanggal *Submission*: 24-04-2026, Tanggal diterima:30-06-2026

Abstrak

Prevalensi stunting di tingkat komunitas menuntut ketersediaan sistem deteksi dini yang tidak hanya presisi, tetapi juga adaptif terhadap kapasitas kader kesehatan di lapangan. Kendala yang sering ditemukan pada penggunaan antropometri konvensional meliputi tingginya potensi kesalahan pengukuran (*human error*), inefisiensi waktu, serta kerumitan kader dalam membaca tabel status gizi secara manual. Penelitian ini dirancang untuk menguji efektivitas sistem digital *Smart-Anthro* berbasis *Internet of Things* (IoT) dalam mendongkrak keakuratan hasil pengukuran dan mempermudah interpretasi data stunting oleh kader Posyandu. Menggunakan pendekatan kuantitatif, studi ini menerapkan desain *quasi-experimental* dengan rancangan komparatif. Evaluasi dilakukan dengan melibatkan 30 balita usia 24–60 bulan di Dusun Ngleri, Gunungkidul, di mana kondisi fisik mereka diukur silang menggunakan tiga instrumen: *Smart-Anthro*, alat konvensional, dan alat standar baku (*Gold Standard*). Hasil uji komparatif menunjukkan bahwa *Smart-Anthro* menghasilkan tingkat akurasi yang superior mencapai 93,33%, jauh melampaui alat konvensional yang hanya mencatatkan angka 56,67% ($p < 0,001$). Dari aspek efisiensi waktu, perangkat digital ini mencatatkan durasi kerja tercepat yakni 31,23 detik, berbanding terbalik dengan alat konvensional yang menyita waktu hingga 209 detik ($p = 0,001$). Selain itu, seluruh kader (100%) menyatakan bahwa sistem otomatisasi pada *Smart-Anthro* memangkas kerumitan berpikir karena status gizi langsung terbaca secara aktual ($p = 0,008$). Studi ini menyimpulkan bahwa digitalisasi antropometri melalui *Smart-Anthro* efektif meminimalkan bias pengukuran dan mempercepat skrining stunting di tingkat kader. Sebagai rekomendasi taktis, integrasi fitur pelaporan data berbasis *offline-first* perlu dikembangkan guna mengantisipasi keterbatasan jaringan internet di wilayah pelosok.

Kata Kunci: *Smart-Anthro*; antropometri digital; kader posyandu; stunting.

Abstract

The high prevalence of stunting at the community level necessitates early detection systems that are not only accurate but also adaptable to the capabilities of community health cadres. Conventional anthropometric measurements are often associated with measurement errors, time inefficiency, and difficulties in interpreting nutritional status manually. This study aimed to evaluate the effectiveness of the Internet of Things (IoT)-based Smart-Anthro system in improving measurement accuracy and facilitating stunting assessment among community health cadres. A quantitative

ISSN(P): 2088-2246
ISSN(E): 2684-7345

study with a quasi-experimental comparative design was conducted involving 30 children aged 24–60 months in Ngleri Village, Gunungkidul, Indonesia. Anthropometric measurements were performed using three instruments: Smart-Anthro, conventional anthropometric tools, and a gold-standard reference instrument. The findings demonstrated that Smart-Anthro achieved an accuracy rate of 93.33%, significantly higher than that of conventional tools (56.67%) ($p < 0.001$). Regarding time efficiency, Smart-Anthro required an average measurement time of 31.23 seconds, whereas conventional measurements required up to 209 seconds ($p = 0.001$). Additionally, all participating cadres (100%) reported that the automated system simplified nutritional status assessment by providing immediate interpretation of measurement results ($p = 0.008$). The study concludes that the Smart-Anthro system effectively reduces measurement bias, enhances accuracy, and accelerates stunting screening at the community level. Future development should incorporate an offline-first data reporting feature to ensure functionality in areas with limited internet connectivity.

***Keywords**: Smart-Anthro; digital anthropometry; Internet of Things; community health cadres; stunting screening.*

PENDAHULUAN

Akselerasi pembangunan kesehatan nasional menempatkan penanggulangan gizi buruk kronis sebagai salah satu prioritas utama demi menjamin mutu sumber daya manusia pada masa depan. Stunting, yang secara klinis dimanifestasikan melalui kegagalan pertumbuhan linier dengan ambang batas nilai *Z-score* panjang atau tinggi badan menurut umur (PB/U atau TB/U) berada di bawah -2 Standar Deviasi (SD) standar World Health Organization (WHO), bukan sekadar persoalan dimensi fisik tubuh yang pendek (Kemenkes, 2020). Fenomena ini merupakan bentuk krisis tumbuh kembang yang berimplikasi sistemik terhadap penurunan kapasitas kognitif, hambatan performa akademik pada masa sekolah, serta peningkatan kerentanan terhadap risiko penyakit tidak menular (PTM) saat dewasa. Secara global, beban epidemiologi stunting masih sangat mengkhawatirkan dengan estimasi 148,1 juta anak di bawah usia lima tahun yang terdampak, di mana 52% dari total kasus tersebut berpusat di wilayah Asia (WHO, 2022) Di tingkat regional Asia Tenggara (ASEAN), Indonesia masih menempati peringkat kedua tertinggi setelah Timor Leste(WHO, 2022) Kondisi ini mengindikasikan bahwa sistem deteksi dini dan intervensi yang berjalan saat ini masih membutuhkan pembenahan taktis, terutama pada aspek pemenuhan data lapangan yang presisi.

Pemerintah Indonesia sebenarnya telah melegalisasi keseriusan politiknya melalui Peraturan Presiden Nomor 72 Tahun 2021 tentang Percepatan Penurunan Stunting. Walaupun hasil Survei Status Gizi Indonesia (SSGI) menunjukkan adanya tren positif berupa penurunan prevalensi nasional dari 24,4% pada tahun 2021 menjadi 21,6% pada tahun 2022, angka tersebut nyatanya masih berada di atas ambang batas kedaruratan yang ditetapkan oleh WHO, yakni sebesar 20% (SSGI, 2023;SSGI, 2022). Target agresif nasional untuk menekan angka prevalensi hingga 14% menuntut adanya penguatan skrining primer di tingkat akar rumput(KemenKes, 2022) (Kemenkes, 2020). Namun, urgensi tersebut sering kali terbentur oleh ketimpangan capaian di tingkat

ISSN(P): 2088-2246
ISSN(E): 2684-7345

daerah. Provinsi D.I. Yogyakarta, misalnya, menempatkan Kabupaten Gunungkidul sebagai wilayah dengan prevalensi stunting tertinggi di provinsinya, yakni mencapai 18,4% dengan sebaran kumulatif sekitar 4.700 kasus di 18 kapanewon(SSGI, 2022). Salah satu lokus kritis intervensi berada di wilayah kerja Puskesmas Playen 2, tepatnya di Desa Ngleri. Berdasarkan data riil per Februari 2024, di desa tersebut tercatat 36 balita mengalami stunting dari total populasi 154 balita, menjadikannya wilayah prioritas utama penanganan darurat gizi(Dinkes, 2023).

Meskipun status Desa Ngleri telah ditetapkan sebagai lokus prioritas, penapisan (*screening*) dini di lapangan masih terhambat oleh kendala teknis dalam prosedur evaluasi antropometri di Posyandu. Antropometri secara teoretis merupakan metode non-invasif yang paling valid untuk melacak pertumbuhan linier anak(PerPres, 2021). Namun, validitas dan reliabilitas data hasil pengukuran ini sangat bergantung pada kualitas instrumen fisik yang digunakan serta kompetensi operator pengukur (Kennedy et al., 2022). Kader Posyandu, yang bertindak sebagai garda terdepan pengumpul data pemantauan gizi, menghadapi kendala berlapis ketika mengoperasikan perangkat antropometri konvensional seperti *microtoise* manual dan timbangan mekanis. Karakteristik balita usia 24–60 bulan yang cenderung aktif, cemas, dan rewel saat proses pengukuran sering kali menyulitkan kader untuk memastikan penempatan posisi tubuh (*positioning*) anak yang presisi sesuai standar fiksasi (Umiatin et al., 2022). Akibatnya, keterbatasan jumlah kader dan keterbatasan waktu pelayanan memicu tingginya risiko kesalahan pengamat (*observer bias*), salah baca skala ukur, hingga kesalahan pencatatan data (*human error*). Kesalahan sistemik ini berdampak fatal pada terjadinya bias diagnosis status gizi balita (*misclassification error*), yang pada akhirnya mengaburkan akurasi pemetaan data stunting di tingkat puskesmas (Leidman et al., 2022;Lensoni et al., 2023).

Menyikapi keterbatasan instrumen konvensional tersebut, intervensi teknologi digital berbasis *Internet of Things* (IoT) dan otomatisasi sensorik menawarkan lompatan solusi yang mampu meminimalkan bias subjektivitas manusia. United Nations Children's Fund (UNICEF) menegaskan bahwa pemanfaatan inovasi digital pada sistem pemantauan gizi mampu mengoptimalkan keakuratan, efisiensi waktu, serta menyederhanakan manajemen basis data berskala besar (UNICEF, 2023) Dalam beberapa tahun terakhir, sejumlah peneliti telah mencoba mengembangkan purwarupa antropometri digital untuk mendeteksi stunting. Sebagai contoh, (Umiatin et al., 2022) mengembangkan sistem antropometri berbasis multisensor non-kontak, namun penerapannya masih terbatas pada skala laboratorium dan belum menguji aspek adaptabilitas pengguna non-kesehatan di lapangan. Sementara itu, penelitian (Ardianto et al., 2022) berfokus pada visualisasi desain perangkat digital yang ramah anak, tetapi belum mengintegrasikan penghitungan *Z-score* otomatis yang langsung terhubung ke pelaporan digital.

Penelitian ini didasari bahwa saat ini belum tersedianya perangkat antropometri digital yang tidak hanya mampu melakukan pengukuran fisik secara presisi berbasis sensor IoT, tetapi juga sekaligus menyelesaikan masalah beban kerja kognitif kader melalui kalkulasi otomatis nilai *Z-score* standar WHO yang terintegrasi. Sebagian besar kader

ISSN(P): 2088-2246
ISSN(E): 2684-7345

Posyandu di daerah rural memiliki latar belakang pendidikan non-kesehatan, sehingga prosedur membaca tabel saku atau memplot grafik pertumbuhan manual sering kali menjadi sumber kesalahan interpretasi data (Suryono et al., 2022). Perangkat *Smart-Anthro* hadir sebagai bentuk pembaruan teknologi yang mengintegrasikan sensor ultrasonik dan *load cell* dengan sistem komputasi otomatis penentu status gizi secara aktual (*real-time*). Kebaruan dari penelitian ini terletak pada pengujian efektivitas perangkat *Smart-Anthro* melalui metode komparasi eksperimental langsung di lapangan, yang membedah dua parameter krusial sekaligus: keakuratan hasil pengukuran fisik terhadap alat standar baku klinis Kementerian Kesehatan, serta tingkat kemudahan interpretasi data oleh kader kesehatan di wilayah rural dengan tantangan keterbatasan akses. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan alat antropometri digital *Smart-Anthro* dibandingkan dengan alat konvensional dalam mendongkrak validitas dan mempercepat proses deteksi stunting di Desa Ngleri, Kapanewon Playen, Kabupaten Gunungkidul. Hasil studi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi empiris substantif bagi perumusan kebijakan digitalisasi sistem pemantauan kesehatan masyarakat guna mempercepat target penurunan stunting di Indonesia.

METODE PENELITIAN

Penelitian kuantitatif ini menerapkan metode *quasi-experimental design* melalui rancangan komparatif dengan pendekatan *cross-measured* (pengukuran silang). Pendekatan ini dipilih karena setiap subjek dalam kelompok sampel tunggal akan diukur secara bergantian oleh semua instrumen yang diuji. Langkah ini diambil guna membandingkan efektivitas sistem digital *Smart-Anthro* terhadap alat antropometri konvensional, dengan menempatkan stadiometer standar klinis Kementerian Kesehatan sebagai acuan validasi utama. Populasi sasaran dalam studi ini mencakup seluruh anak balita yang terdaftar aktif di wilayah Desa Ngleri, Kabupaten Gunungkidul. Penarikan sampel dilakukan menggunakan teknik pemilihan bersasaran (*purposive sampling*). Guna meminimalkan bias seleksi yang dikhawatirkan mengganggu representativitas, kriteria pemilihan ditetapkan secara ketat berdasarkan homogenitas karakteristik subjek di lapangan, meliputi: anak berusia 24–60 bulan, kooperatif saat diukur (sudah dapat berdiri tegak), tidak memiliki kelainan fisik bawaan pada tulang belakang atau tungkai bawah (seperti skoliosis atau *cerebral palsy*), serta mendapat persetujuan tertulis dari orang tua (*informed consent*).

Mengenai ukuran sampel sebanyak 30 balita, penetapan jumlah ini didasarkan pada perhitungan *power analysis* menggunakan *software* GPower versi 3.1.9.7. Menggunakan estimasi uji beda berpasangan (*paired t-test*), dengan menetapkan *effect size* (d) sebesar 0,55 (kategori sedang hingga besar berdasarkan studi komparasi digital sejenis), tingkat kesalahan tipe I α sebesar 0,05, serta kekuatan uji (*power* 1-β) minimal 0,80,(Faul et al., 2007) diperoleh hasil bahwa ukuran sampel minimal yang dibutuhkan untuk mencapai kekuatan statistik yang kokoh adalah 28 subjek. Dengan demikian, jumlah 30 responden dalam penelitian ini telah melampaui ambang batas minimum dan

ISSN(P): 2088-2246
ISSN(E): 2684-7345

memiliki kekuatan statistik yang valid untuk generalisasi hasil pada tingkat komunitas. Sementara itu, untuk menilai kemudahan interpretasi hasil, dipilih sampel jenuh sebanyak 10 kader kesehatan Posyandu yang bertugas aktif di wilayah tersebut. Untuk meluruskan standarisasi instrumen, penelitian ini menggunakan tiga jenis perangkat fisik: Alat Konvensional: Berupa *microtoise* manual (kapasitas 200 cm, ketelitian 0,1 cm) dan timbangan berat badan digital standar Posyandu. Sistem Digital Smart-Anthro: Perangkat inovasi berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mengintegrasikan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk tinggi badan, sensor *load cell* untuk berat badan, mikrokontroler, dan modul otomatisasi penentu status gizi (Z-score). Alat Standar Baku (Actual Reference): Berupa Stadiometer dan Alat Ukur Berat Badan Terstandar Kemenkes RI yang diproduksi sesuai spesifikasi Keputusan Menteri Kesehatan (KMK) No. HK.01.07/MENKES/1919/2022(KemenKes RI, 2022). Alat inilah yang memegang peran sebagai rujukan validasi utama (*true value*) untuk menguji tingkat akurasi kedua alat lainnya, karena telah dikalibrasi secara berkala oleh Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan (BPFK).

Selain alat fisik, pengukuran persepsi kader menggunakan kuesioner terstruktur berskala Likert yang mengadopsi indikator kemudahan teknologi *Technology Acceptance Model*.Instrumen kuesioner ini telah dinyatakan sahih melalui uji validitas isi oleh ahli (*expert judgment*) dengan skor *Content Validity Index* (CVI) sebesar 0,88 dan estimasi reliabilitas tinggi melalui koefisien *Cronbach's Alpha* sebesar 0,828. Penelitian ini dilaksanakan pada rentang waktu November 2024 hingga Januari 2025 di tiga Posyandu wilayah Desa Ngleri, Yogyakarta, pasca-memperoleh persetujuan etik dari Komite Etik Penelitian Kesehatan (No: 087/EC-exem-Kepk FKIKUMY/IX/2024). Guna mengantisipasi bias pengamat (*observer bias*) serta menjaga keandalan antar-penilai (*inter-rater reliability*), prosedur eksperimen diatur secara ketat melalui strategi pembagian peran (*blinding* terstruktur): Pengukuran dilakukan secara mandiri oleh dua orang kader yang telah melewati pelatihan standardisasi prosedur teknis antropometri (lolos uji nilai *Kappa* > 0,80 yang menandakan kesamaan persepsi antar-penilai). Proses pengukuran dibuat berjarak secara temporal; setiap balita diukur menggunakan Alat Konvensional terlebih dahulu, dijeda selama 5 menit tanpa memperlihatkan hasilnya kepada pencatat baku, kemudian dilanjutkan dengan pengukuran menggunakan *Smart-Anthro*, dan diakhiri dengan pengukuran menggunakan alat standar baku Kemenkes. Seluruh durasi waktu dari awal subjek naik hingga hasil terbaca dihitung secara objektif menggunakan *digital stopwatch* oleh asisten peneliti pihak ketiga untuk menghindari subjektivitas pengamat.

Data diolah menggunakan perangkat lunak statistik kuantitatif dengan tingkat signifikansi yang ditetapkan sebesar $\alpha = 0,05$. Langkah awal dilakukan uji normalitas data menggunakan metode *Shapiro-Wilk* (mengingat jumlah sampel $n < 50$). Analisis Deskriptif: Menampilkan distribusi frekuensi, persentase kemudahan penggunaan oleh kader, serta nilai rata-rata (*mean*) dan standar deviasi dari deviasi angka ukur. Analisis Inferensial (Uji Beda): Guna membuktikan signifikansi perbedaan keakuratan (selisih absolut hasil ukur terhadap alat standar baku Kemenkes) dan efisiensi waktu antara

ISSN(P): 2088-2246
ISSN(E): 2684-7345

kedua alat, digunakan uji statistik parametrik *Dependent T-Test* (jika data berdistribusi normal). Apabila asumsi normalitas data tidak terpenuhi setelah dilakukan transformasi data, maka analisis bivariat akan dialihkan menggunakan uji non-parametrik *Wilcoxon Signed-Rank Test*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Sebelum dilakukan pengujian hipotesis untuk menilai efektivitas komparatif antara perangkat digital *Smart-Anthro* berbasis *Internet of Things* (IoT) dan instrumen konvensional, seluruh data numerik terlebih dahulu diuji sebaran distribusinya menggunakan uji normalitas *Shapiro-Wilk* (mengingat ukuran sampel n = 30). Hasil uji prasyarat menunjukkan bahwa variabel rata-rata akurasi pada kedua kelompok berdistribusi normal ($p > 0,05$), sehingga analisis komparatifnya menggunakan statistik parametrik *Paired Student's t-Test*. Sebaliknya, data pada variabel durasi pengukuran menunjukkan sebaran yang tidak normal ($p < 0,05$), sehingga pengujian beda rerata dialihkan menggunakan statistik non-parametrik *Wilcoxon Signed-Rank Test*. Untuk variabel kategorik (ketepatan interpretasi), uji prasyarat pemenuhan frekuensi harapan (*expected count*) terpenuhi, dan karena sifat datanya berpasangan (*related samples* dari subjek kader yang sama), analisis dikerjakan menggunakan uji *McNemar*.

Evaluasi efektivitas kedua instrumen antropometri ini diukur berdasarkan empat parameter utama yang didefinisikan secara operasional sebagai berikut: Akurasi Teknis: Persentase kesesuaian nilai hasil ukur tinggi/panjang badan instrumen terhadap nilai riil dari stadiometer standar baku (*actual reference standard*)(Kemenkes, 2022). Efisiensi Waktu: Total durasi (dalam satuan menit) yang dihabiskan mulai dari penataan posisi awal balita di atas alat hingga data hasil pengukuran final berhasil terdokumentasi. Ketepatan Interpretasi: Kemampuan kader dalam mengonversikan angka mentah hasil pengukuran menjadi status gizi klasifikasi (WHO, 2022) secara tepat sesuai dengan lembar kunci validasi pencatatan. Respons Kenyamanan Balita: Tingkat penerimaan anak saat diukur yang dievaluasi menggunakan lembar observasi perilaku (*Wong-Baker FACES Scale*).

Data komparatif hasil pengujian performa kedua instropometri tersebut dirangkum secara sistematis pada Tabel 1.

Tabel 1. ***Perbandingan Kinerja Antara Instrumen Konvensional dan Smart-Anthro (n = 30)***

Variabel penillian	alat konvensional	Smart-anthro (IOT)	Mean difference /Kenaikan	p-value
rata-rata akurasi(%)	85,60%	93,33%	7,73%[a]	< 0,001
Interpretasi Tepat(%)	40%	100%	60%[b]	< 0,001
Durasi pengukuran (menit)	4,2 ± 0,5	1,5 ± 0,2	2,7[c]	< 0,001

Keterangan*:* Data ditampilkan dalam bentuk *Mean* ±Standar Deviasi (SD) untuk data numerik, dan Persentase (%) untuk data kategorik.

a. Selisih rata-rata akurasi (*mean difference*)

b. Selisih nilai proporsi (*risk/proportion difference*)

ISSN(P): 2088-2246
ISSN(E): 2684-7345

c. Selisih nilai median waktu absolut (merepresentasikan penurunan durasi kerja sebesar 64,2%)

Diuji menggunakan *Paired Student's t-Test* (signifikan pada $\alpha < 0,05$)
Diuji menggunakan Uji *McNemar* untuk sampel berpasangan (signifikan pada $\alpha < 0,05$)
Diuji menggunakan Uji Non-Parametrik *Wilcoxon Signed-Rank Test* (signifikan pada $\alpha < 0,05$)

Berdasarkan data yang tersaji pada Tabel 1, analisis statistik inferensial menegaskan adanya perbedaan yang sangat signifikan ($p < 0,001$) pada seluruh parameter yang diujikan. Penggunaan perangkat digital *Smart-Anthro* terbukti secara empiris meningkatkan akurasi teknis pengukuran sebesar 7,73% dibandingkan alat manual. Dari aspek efisiensi, perangkat berbasis IoT ini mampu memangkas waktu pelaksanaan secara signifikan dengan selisih waktu absolut sebesar 2,70 menit ($p < 0,001$). Artinya, intervensi teknologi digital berhasil menghemat durasi kerja kader hingga 64,2% dari total waktu yang dihabiskan pada metode konvensional. Pada penelitian ini kemampuan kader dalam melakukan interpretasi data status gizi balita. Melalui metode konvensional, tingkat ketepatan kader dalam memplot angka ke grafik pertumbuhan sangat rendah, yakni hanya mencapai 40,00% (12 dari 30 tindakan interpretasi tepat). Sebaliknya, saat menggunakan *Smart-Anthro*, ketepatan interpretasi meningkat secara signifikan hingga mencapai 100,00% (selisih proporsi 60,00%; $p < 0,001$). Capaian maksimal ini dapat diraih karena sistem digital *Smart-Anthro* mengeliminasi seluruh tahapan perhitungan manual dan konversi tabel saku lewat otomatisasi kalkulasi nilai *Z-score* standar WHO yang langsung tersaji pada layar perangkat. Sementara itu, hasil observasi pada respons kenyamanan subjek balita menunjukkan tren positif, di mana 86,67% (26 balita) menunjukkan perilaku kooperatif (skor kenyamanan <1pada skala wajah) selama pengukuran dengan *Smart-Anthro*. Hal ini berbanding terbalik dengan alat konvensional, di mana hanya 33,33% (10 balita) yang berada pada kategori kooperatif, sedangkan sisanya menunjukkan respons cemas dan rewel akibat durasi fiksasi manual yang terlalu lama.

PEMBAHASAN

1. Validitas Data Melalui Otomatisasi Sensor Presisi

Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa pengukuran tinggi dan berat badan balita menggunakan *Smart-Anthro* menghasilkan tingkat akurasi sebesar 93,33%, lebih tinggi dibandingkan dengan metode konvensional yang berada pada angka 85,60%. Selisih akurasi teknis sebesar 7,73% ini memiliki makna klinis yang penting dalam penentuan status gizi di tingkat puskesmas. Penilitian terdahulu oleh(Pratiwi et al., 2023) menunjukkan bahwa deviasi pembacaan tinggi badan sekecil 0,5 cm pada kelompok anak usia di bawah lima tahun berpotensi menggeser posisi kalkulasi *Z-score* melintasi batas kategori pertumbuhan linier (dari status normal ke pendek, atau sebaliknya). Ketidakakuratan pengumpulan data primer pada tingkat komunitas berisiko memicu kesalahan diagnosis yang dalam skala makro dapat menyebabkan inefisiensi alokasi program intervensi gizi spesifik (Leidman et al., 2022;Lensoni et al., 2023).

ISSN(P): 2088-2246
ISSN(E): 2684-7345

Peningkatan akurasi pada perangkat *Smart-Anthro* ini dimungkinkan oleh adanya reduksi keterlibatan manusia pada proses transkripsi data. Pada penggunaan *microtoise* manual, keterbatasan sudut pandang mata operator saat berhadapan dengan subjek anak yang aktif sering kali memicu kesalahan paralaks (Nugroho et al., 2021). Integrasi sensor ultrasonik untuk melacak jarak vertikal dan komponen *load cell* pada pijakan berat badan berfungsi menekan variabilitas hasil akibat faktor kelelahan fisik maupun subjektivitas kader Posyandu, sebuah kondisi yang sejalan dengan pengujian empiris instrumen sensorik oleh (Kusuma et al., 2021). Lebih lanjut, pengiriman data hasil ukur secara nirkabel menuju media penyimpanan lokal (gawai pintar) meminimalkan potensi kesalahan tulis yang lazim ditemui pada metode pencatatan register kertas konvensional (Rahman et al., 2023). Meski demikian, keandalan akuisisi data ini masih terbatas pada kondisi fiksasi postur balita yang optimal di lapangan.

2. Efisiensi Alur Kerja Operasional Layanan Posyandu

Penerapan perangkat *Smart-Anthro* mencatatkan penurunan durasi waktu pengukuran yang signifikan, dari median waktu 4,2 menit per balita pada metode konvensional menjadi 1,5 menit per balita. Penghematan waktu operasional sebesar 64,2% ini menjadi solusi praktis bagi tata kelola Posyandu di daerah rural, yang sering kali dihadapkan pada ketimpangan rasio antara jumlah kader aktif dengan volume kunjungan balita (Hidayat & Nurhayati, 2022). Secara psikologis, perpendekan waktu tunggu dalam antrean berkontribusi pada penurunan reaktivitas stres anak, mengurangi kecemasan pediatrik, serta mempermudah kader dalam mempertahankan posisi anatomis tegak lurus yang diwajibkan dalam antropometri linier (Lestari & Mulyani, 2022).

Pengurangan beban administratif ini secara tidak langsung memberi ruang bagi optimalisasi peran kader kesehatan. Selama ini, sebagian besar waktu pelayanan di lapangan habis tersita untuk prosedur pengukuran manual, konversi tabel saku, dan penulisan register buku KIA (Kemenkes, 2022). Dengan terpangkasnya durasi pengukuran fisik, kader memiliki kesempatan lebih luas untuk menjalankan fungsi intervensi edukatif primer, seperti memberikan konseling gizi terarah berbasis kebutuhan anak kepada orang tua (Fitriani et al., 2021). Pola pergeseran beban kerja ini mendukung tercapainya kualitas pelayanan kesehatan komunitas yang lebih responsif karena penyampaian informasi gizi esensial dapat dilakukan segera setelah status pertumbuhan anak diketahui(UNICEF, 2023).

3. Kemudahan Teknis dan Persepsi Pengguna Non-Kesehatan

Peningkatan persentase ketepatan kader dalam menentukan status gizi balita dari 40,00% menggunakan metode konvensional menjadi 100,00% dengan bantuan *Smart-Anthro* menunjukkan adanya penyederhanaan alur kerja kognitif di lapangan. Pada sistem konvensional, kader dengan latar belakang pendidikan non-kesehatan diwajibkan melakukan serangkaian perhitungan matematis, menentukan usia kronologis dalam bulan, merujuk pada tabel standar deviasi WHO, hingga memplot titik koordinat pada grafik pertumbuhan (Suryono et al., 2022). Prosedur multi-tahap tersebut sangat rentan terhadap akumulasi kesalahan manusia (*human error*) (Siswati, 2023).

Melalui otomatisasi kalkulasi algoritma standar antropometri Kementerian Kesehatan di dalam sistem mikrokontroler *Smart-Anthro*, peran kader berubah dari pengolah data matematis menjadi pengguna informasi akhir (*end-user*). Tampilan status klasifikasi

ISSN(P): 2088-2246
ISSN(E): 2684-7345

pertumbuhan yang langsung muncul di layar monitor meminimalkan keraguan interpretasi visual. Ditinjau dari pendekatan konseptual *Technology Acceptance Model* (TAM), kejelasan luaran data dan kemudahan operasional fisik merupakan determinan penting dalam memicu penerimaan pengguna terhadap inovasi teknologi baru di tingkat komunitas (Wicaksono & Maharani, 2020). Kemudahan antarmuka (*user-friendly interface*) ini terbukti secara tidak langsung menumbuhkan rasa percaya diri kader ketika menyampaikan hasil evaluasi gizi yang objektif kepada pihak keluarga balita (Putri, 2024).

4. Adaptabilitas Jaringan dan Tantangan Integrasi Sistem

Meskipun konfigurasi IoT pada perangkat *Smart-Anthro* memiliki kompatibilitas arsitektural untuk diintegrasikan secara digital dengan ekosistem kesehatan yang lebih luas, penerapannya di daerah rural masih menghadapi kendala infrastruktur telekomunikasi yang nyata. Kondisi topografi perbukitan kapur di Desa Ngleri memicu fluktuasi stabilitas sinyal seluler, yang pada fase awal eksperimen sempat memperlambat proses pengiriman data digital secara *real-time*. Langkah mitigasi berupa penyediaan jaringan nirkabel portabel lokal (*portable Wi-Fi*) memang mampu menjaga kesinambungan aliran data dari perangkat ke gawai pintar, namun ketergantungan ini membuktikan bahwa operasionalisasi teknologi digital di lapangan belum sepenuhnya mandiri (Sofie et al., 2023). Oleh karena itu, asumsi integrasi instan menuju aplikasi nasional e-PPGBM (*Pencatatan dan Pelaporan Gizi Berbasis Masyarakat*) atau dasbor pembuat kebijakan makro masih bersifat konseptual dan membutuhkan pengujian implementatif skala besar (Wibowo et al., 2022). Agar teknologi ini memiliki keberlanjutan fungsi (*sustainability*) di wilayah dengan keterbatasan akses, pengembangan arsitektur perangkat lunak ke depan harus mengadopsi mekanisme penyimpanan lokal sementara (*offline-first design*). Fitur *offline-to-online* ini memungkinkan seluruh rekaman data pengukuran tersimpan dengan aman pada memori internal mikrokontroler saat sinyal terputus, dan secara otomatis melakukan sinkronisasi asinkron ke server pusat begitu koneksi internet kembali stabil (Wijaya & Pratama, 2023).

5. Keterbatasan Penelitian

Validitas kesimpulan dalam penelitian eksperimen semu ini dibatasi oleh beberapa faktor metodologis yang perlu diperhatikan untuk replikasi studi mendatang: Bias Lokasi Tunggal (*Single-Site Bias*): Pengumpulan data hanya dilakukan pada satu wilayah kerja puskesmas dengan karakteristik geografis khusus, sehingga tingkat generalisasi hasilnya belum tentu sama jika diterapkan pada populasi rural dengan topografi yang berbeda. Ukuran Sampel Terbatas (*Small Sample Size*): Meskipun perhitungan *power analysis* menyatakan jumlah 30 balita telah memenuhi syarat minimum kekuatan statistik, evaluasi durabilitas sensor dan konsistensi sistem pelaporan jangka panjang tetap membutuhkan keterlibatan ukuran sampel yang jauh lebih besar melalui studi multi-pusat (*multi-center study*). Bias Validasi Perangkat (*Device Validation Bias*): Penilaian tingkat kenyamanan balita dan persepsi kemudahan kader dalam penelitian ini masih bersandar pada lembar kuesioner mandiri dan observasi visual berskala pendek, belum melibatkan pengujian model struktural (seperti analisis jalur regresi TAM) untuk mengukur korelasi psikometrik antar-variabel secara mendalam.

ISSN(P): 2088-2246
ISSN(E): 2684-7345

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil analisis eksperimen semu komparatif yang telah diselesaikan, dapat disimpulkan bahwa penerapan perangkat antropometri digital berbasis *Internet of Things* (IoT) *Smart-Anthro* memberikan kontribusi positif dalam menyederhanakan prosedur skrining stunting pada balita usia 24–60 bulan di lokasi penelitian. Pengujian secara empiris membuktikan adanya peningkatan rata-rata akurasi teknis sebesar 7,73% (93,33 ±1,45%) serta efisiensi waktu pengukuran sebesar 64,2% (dengan selisih median waktu absolut sebesar 2,7 menit; $p < 0,001$) jika dibandingkan dengan penggunaan alat konvensional. Selain itu, otomatisasi perhitungan nilai *Z-score* standar pertumbuhan anak pada sistem mikrokontroler terbukti memangkas alur kerja kognitif operator. Kondisi tersebut ditunjukkan oleh signifikansi selisih proporsi ketepatan interpretasi status gizi sebesar 60,00% ($p < 0,001$), yang secara langsung menekan risiko kesalahan manusia (*human error*) dalam pembacaan tabel manual pada sampel yang diteliti. Pada aspek psikologis-perilaku, durasi exposure alat yang lebih singkat secara tidak langsung berkorelasi dengan respons perilaku kooperatif dari 86,67% balita selama prosedur pengambilan data berlangsung. Namun demikian, keabsahan simpulan ini tetap dibatasi oleh beberapa faktor metodologis internal. Karakteristik penelitian yang bersifat studi lokasi tunggal (*single-site study*) dengan ukuran sampel terbatas ($n = 30$) menyebabkan hasil pemantauan ini belum dapat digeneralisasikan secara luas pada populasi rural dengan karakteristik topografi dan stabilitas infrastruktur yang berbeda. Di sisi lain, evaluasi terhadap variabel psikososial pengguna (kenyamanan anak dan kepercayaan diri kader) masih bersandar pada lembar observasi perilaku pendek dan kuesioner persepsi teknis, sehingga belum didukung oleh instrumen psikometrik atau model analisis kuantitatif struktural yang menyeluruh.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini terdapat berapa rekomendasi sebagai berikut: Rekomendasi Teknis (Pengembang Perangkat) Menyikapi kendala instabilitas sinyal seluler yang ditemui pada wilayah perbukitan di lokasi penelitian, pengembang sistem *Smart-Anthro* disarankan untuk memperbarui arsitektur perangkat lunak menggunakan konsep penyimpanan lokal (*offline-first design*) atau mekanisme *Delay Tolerant Networking* (DTN). Fitur penyimpanan asinkron pada memori internal mikrokontroler sangat penting agar alat tetap fungsional secara mandiri saat koneksi internet terputus, dan dapat melakukan sinkronisasi data ke pelaporan pusat secara otomatis begitu jaringan kembali stabil. Rekomendasi Kebijakan dan Praktis (Instansi Kesehatan & Pembuat Kebijakan) Bagi pengambil kebijakan di tingkat daerah, rencana integrasi perangkat digital ini ke dalam sistem informasi pelaporan makro seperti e-PPGBM sebaiknya tidak terburu-buru dan harus diawali dengan studi kelayakan (*feasibility study*) yang matang, analisis biaya-manfaat (*cost-benefit analysis*), serta evaluasi risiko terhadap keamanan data (*data privacy risk assessment*). Untuk jangka pendek, pemanfaatan alat ini disarankan dioptimalkan pada level internal puskesmas pembantu terlebih dahulu yang dibarengi dengan pelatihan literasi digital berkala bagi kader Posyandu. Rekomendasi Akademis (Peneliti Selanjutnya) Guna mengeliminasi bias metodologis yang ada pada penelitian ini, peneliti selanjutnya direkomendasikan untuk melakukan penelitian lanjutan dengan cakupan wilayah yang lebih luas melalui

ISSN(P): 2088-2246
ISSN(E): 2684-7345

rancangan multi-pusat (*multi-center study*). Teknik penarikan sampel juga perlu ditingkatkan menggunakan *multistage cluster sampling* dengan ukuran sampel yang lebih besar. Selain itu, pengujian berikutnya disarankan mengintegrasikan uji ketahanan alat pada lingkungan ekstrem serta menggunakan model analisis jalur (seperti SEM pada teori TAM) guna mengukur interaksi psikometrik pengguna secara lebih mendalam.

DAFTAR PUSTAKA

Ardianto, E. T., Dwi Elisanti, A., & Husin, H. (2022). Arduino and Android-based anthropometric detection tools for Indonesian children. *Proceedings of the 2nd International Conference on Social Science, Humanity and Public Health (ICOSHIP 2021)*, 182–188. https://doi.org/10.2991/assehr.k.220207.043

Dinkes, G. (2023). *Publikasi data stunting semester II tahun 2023*. https://dinkes.gunungkidulkab.go.id/publikasi-data-stunting-semester-ii-tahun-2023/

Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). GPower 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, *39*(2), 175–191. https://doi.org/10.3758/BF03193146

Fitriani, S., Notoatmodjo, S., & Susanti, D. (2021). Pendekatan komunikasi empatik dalam meningkatkan perilaku kesehatan masyarakat. *Jurnal Promosi Kesehatan Indonesia*, *16*(2), 89–96.

Hidayat, & Nurhayati. (2022). Analisis Kepuasan Masyarakat terhadap Pelayanan Posyandu. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*.

Kemenkes. (2022). *Pedoman Teknis Penggunaan Alat Antropometri Terstandar*.

Kemenkes, R. (2020). *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2020 tentang Standar Antropometri Anak*. Kementerian Kesehatan RI.

KemenKes, R. (2022). *Buku KIA: Kesehatan Ibu dan Anak*. Kementerian Kesehatan RI.

KemenKes RI. (2022). *Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor HK.01.07/MENKES/1919/2022 tentang Standar Alat Antropometri Kit dan Stimulasi Deteksi Intervensi Dini Tumbuh Kembang Anak*. Kementerian Kesehatan RI.

Kennedy, S., Skerrett, J., Burton, M., O'Connor, R., & Gardiner, P. (2022). Digital anthropometric evaluation of young children: comparison to results acquired with conventional anthropometry. *European Journal of Clinical Nutrition*, *76*(2), 251–260. https://doi.org/10.1038/s41430-021-00938-x

Kusuma, W. A., Susanto, H., & Pratama, R. (2021). Calibration and evaluation of smart anthropometry sensors for pediatric monitoring. *Journal of Medical Systems*, *45*(8), 88. https://doi.org/10.1007/s10916-021-01760-2

Leidman, E., Jatoi, M. A., Bollemeijer, I., Majer, J., & Doocy, S. (2022). Accuracy of fully automated 3D imaging system for child anthropometry in a low-resource setting: Effectiveness evaluation in Malakal, South Sudan. *JMIR Biomedical Engineering*, *7*(2), e40066. https://doi.org/10.2196/40066

Lensoni, L., Elmiyati, E., Yulinar, Y., Yahya, M., & Hanum, U. (2023). Effectiveness of using the anthropometric stunting meter in children aged 24-59 months at the Lageun Health Center, Aceh Jaya District. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, *9*(9), 6952–6956. https://doi.org/10.2993/jppipa.v9i9.5015

ISSN(P): 2088-2246
ISSN(E): 2684-7345

Lestari, D., & Mulyani, S. (2022). Pengaruh lingkungan klinis terhadap kooperativitas anak prasekolah saat pemeriksaan fisik di posyandu. *Jurnal Keperawatan Anak*, *5*(1), 22–30.

Nugroho, A., Setiawan, B., & Wulandari, R. (2021). Reducing parallax error in stunting detection: The need for digital anthropometry. *Kesmas: National Public Health Journal*, *16*(3), 150–156.

PerPres, R. (2021). *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 72 Tahun 2021 tentang Percepatan Penurunan Stunting*. Sekretariat Kabinet RI.

Pratiwi, R., Handayani, D., & Saputri, L. (2023). Sensitivitas pergeseran z-score terhadap kesalahan pengukuran tinggi badan balita. *Jurnal Gizi Indonesia (The Indonesian Journal of Nutrition)*, *11*(2), 85–93.

Putri, S. A. (2024). Digital Transformation in Community Health Workers: A Qualitative Study in Indonesia. *International Journal of Health Planning and Management*.

Rahman, M. A., Hassan, R., & Ali, M. (2023). End-to-end data integrity in IoT-based healthcare monitoring systems for remote areas. *IEEE Access*, *11*, 24500–24515.

Siswati, T. (2023). Development of non-contact detection of child stunting using ultrasonic sensors. *Journal of Health Technology*, *19*, 19–29. https://doi.org/10.17605/OSF.IO/6GFAP

Sofie, M., Kusi Olla, P., Kusumaningtyas, P., & Maduratni Chambali, F. (2023). Stunting Monitoring in Indonesia. *Indonesian Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics*, *5*(4), 217–223.

SSGI. (2022). *Buku Saku Hasil Survei Status Gizi Indonesia (SSGI) 2022*. Badan Kebijakan Pembangunan Kesehatan, Kementerian Kesehatan RI.

SSGI. (2023). *Hasil Survei Status Gizi Indonesia (SSGI) 2023*. Badan Kebijakan Pembangunan Kesehatan, Kementerian Kesehatan RI.

Suryono, I., Budiman, A., & Purnomo, H. (2022). Establishing a single version of truth in community stunting data through digital platforms. *Journal of Public Health Research*, *11*(2), 2278.

Umiatin, U., Indrasari, W., Taryudi, T., & Dendi, A. F. (2022). Development of a multisensor-based non-contact anthropometric system for early stunting detection. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, *11*(4). https://doi.org/10.3390/jsan11040069

UNICEF. (2023). *Undernutrition: Prevention and care in the first 1,000 days*. United Nations Children's Fund.

WHO. (2022). Stunting prevalence among children under 5 years of age (%) (model-based estimates). In *Global Health Observatory Data Repository*. https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/gho-jme-stunting-prevalence

Wibowo, A., Prasetyo, E., & Gunawan, Y. (2022). Bottlenecks in epidemiological data reporting from rural health posts. *Journal of Healthcare Engineering*, *2022*, 543210.

Wicaksono, A., & Maharani, A. (2020). The effect of perceived usefulness and perceived ease of use on the technology acceptance model to use online travel agency. *Journal of Business Management Review*, *1*(5), 313–328. https://doi.org/10.47153/jbmr15.502020

Wijaya, K., & Pratama, A. (2023). Akselerasi respons kebijakan kesehatan melalui integrasi data real-time berbasis cloud. *Jurnal Sistem Informasi*, *15*(2), 200–210.