

# Rancang Bangun Optimasi Akurasi Stadiometer Digital Berbasis Regresi Linier dan ESP32 untuk Deteksi Dini Risiko Stunting pada Anak Usia 2-5 Tahun

Ganjar Winasis<sup>1\*</sup>, Afeef Kurnia Rahmawan<sup>2</sup>, Bambang Hadi Kunaryo<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Universitas PGRI Semarang, Jalan Sidodadi Timur No. 24, Karangtempel, Semarang Timur, Kota Semarang, Jawa Tengah

Received: 05-01-2026  
Accepted: 12-02-2026

**Keywords:**  
ESP32;  
HC-SR04;  
Stadiometer Digital;  
Stunting;  
Tinggi Badan

**Correspondent Email:**  
[ganjarwinasis@upgris.ac.id](mailto:ganjarwinasis@upgris.ac.id)

**Abstrak.** *Stunting* mendapatkan perhatian khusus kaitannya dengan pembangunan berkelanjutan karena termasuk dalam beban gizi utama di Indonesia. Berbagai cara dilakukan untuk dapat menurunkan angka stunting di Indonesia. Salah satunya dengan memanfaatkan teknologi untuk pencegahan dini stunting. Rancang bangun stadiometer digital bertujuan untuk deteksi dini risiko stunting pada anak usia 2-5 tahun. Kebaruan teknis dalam penelitian ini terletak pada penerapan metode regresi linier untuk mengkalibrasi sensor ultrasonik HC-SR04 guna meminimalkan galat pengukuran yang umum terjadi pada sensor berbasis suara. Data tinggi badan, usia, dan jenis kelamin diproses secara real-time oleh ESP32 untuk dibandingkan dengan tabel standar Tinggi Badan menurut Usia (TB/U). Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi sebesar 96,67% dalam mengklasifikasikan status risiko stunting (pendek/sangat pendek) dibandingkan dengan pengukuran manual. Hasil diagnosis ditampilkan secara instan melalui LCD 16x2, memberikan solusi alat ukur antropometri yang objektif, cepat, dan minim kesalahan input data bagi tenaga kesehatan maupun kader posyandu.

**Abstract.** *Stunting* has received significant attention within the framework of sustainable development as it remains a major nutritional burden in Indonesia. Various strategies have been implemented to reduce stunting rates, including the utilization of technology for early prevention. This study aims to design and develop a digital stadiometer for the early detection of stunting risk in children aged 2–5 years. The technical novelty of this research lies in the application of a linear regression method to calibrate the HC-SR04 ultrasonic sensor, effectively minimizing measurement errors common in sound-based sensors. Height, age, and gender data are processed in real-time by an ESP32 microcontroller and compared against the Ministry of Health's standard Height-for-Age (H/A) tables. Testing results indicate that the system achieves an accuracy rate of 96.67% in classifying stunting risk status (stunted/severely stunted) compared to manual measurements. The diagnosis is displayed instantly via a 16x2 LCD, providing an objective, rapid, and low-error anthropometric measurement solution for healthcare workers and community health volunteers (Posyandu).

## 1. PENDAHULUAN

Stunting mendapatkan perhatian khusus kaitannya dengan pembangunan berkelanjutan karena termasuk dalam beban gizi utama di Indonesia. Stunting menimbulkan konsekuensi

jangka panjang kaitannya dengan hambatan pertumbuhan fisik, penurunan kemampuan kognitif, produktivitas ekonomi hingga resiko penyakit kronis di masa yang akan datang. Berdasarkan hasil Survei Status Gizi Indonesia

(SSGI) 2024, prevalensi stunting di Indonesia adalah 19,8% pada tahun 2024 atau lebih rendah 0,3% dari target 20,1%[1]. Hasil SSGI 2024 juga menunjukkan bahwa telah terjadi penurunan prevalensi stunting di Indonesia dari 21,5% pada tahun 2023. Pemerintah berkomitmen untuk menurunkan stunting menjadi sebesar 14,4% pada tahun 2029 dan mencapai 5% pada tahun 2045[2].

Status risiko stunting pada anak dapat diketahui dengan memantau perkembangan tinggi badan berdasarkan usia. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia telah mengeluarkan standar antropometri anak berdasarkan indeks tinggi badan menurut usia (TB/U) untuk anak usia 2-5 tahun[3]. Indeks TB/U dapat mengidentifikasi status risiko stunting anak yang pendek, sangat pendek, normal, dan tinggi seperti yang tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Kategori dan Ambang Batas Status Gizi Anak[3]

Kategori Status Gizi	Ambang Batas (Z-Score)
Sangat Pendek	$< -3 SD$
Pendek	$-3 SD \text{ sd } < -2 SD$
Normal	$-2 SD \text{ sd } +3 SD$
Tinggi	$> +3 SD$

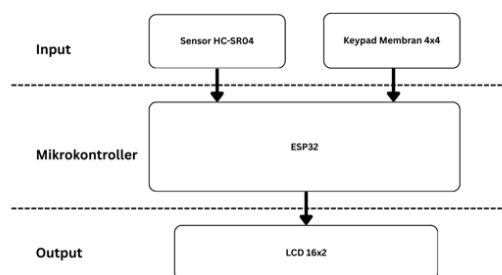
Saat ini, pengukuran tinggi badan pada skala posyandu maupun skala rumah tangga masih mengandalkan stadiometer manual. Metode ini rentan terhadap bias dan kesalahan pengukuran akibat faktor manusia serta kondisi ruangan[4]. Kesalahan pengukuran tinggi badan dapat menyebabkan penilaian status gizi anak yang keliru, seperti anak yang seharusnya normal menjadi terdeteksi mengalami stunting, atau sebaliknya. Oleh karena itu, diperlukan alat ukur digital yang dapat memberikan data tinggi badan dengan akurasi tinggi, real-time, dan langsung memberikan informasi status gizi.

Perkembangan teknologi juga semakin banyak dimanfaatkan dalam bidang kesehatan, salah satunya untuk identifikasi dini status stunting[5],[6],[7]. Sehingga penelitian ini bertujuan untuk merancang stadiometer digital yang dapat mengukur tinggi dan sekaligus menentukan status risiko stunting secara akurat. Dalam penelitian ini, sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan untuk mengukur tinggi badan. Data tinggi badan kemudian diolah

menggunakan Mikrokontroler ESP32 untuk menentukan status risiko stunting. Hasil yang didapatkan akan ditampilkan pada LCD 16x2 sehingga dapat dilakukan pencatatan secara langsung oleh petugas.

## 2. METODE PENELITIAN

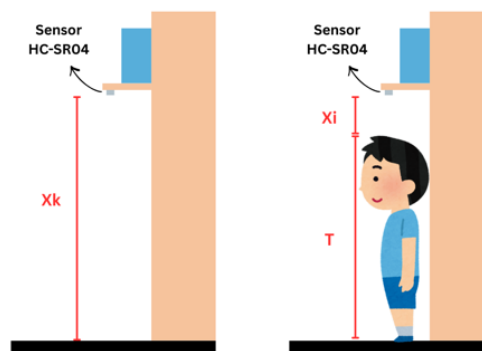
Stadiometer digital dalam penelitian ini terbagi menjadi 3 bagian utama, yaitu input, output, dan mikrokontroler. Blok diagram dari sistem stadiometer digital untuk deteksi dini risiko stunting terlihat pada Gambar 1. Keypad membrane 4x4 dan Sensor ultrasonic HC-SR04 berfungsi sebagai input. Keseluruhan data yang diinputkan akan diolah mikrokontroler ESP32 sebelum ditampilkan pada output LCD 16x2.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem Stadiometer Digital

### 2.1 Keypad Membrane 4x4

Keypad membrane 4x4 berfungsi untuk melakukan input usia dan jenis kelamin pengguna. Selain itu, keypad berfungsi sebagai interface antara perangkat elektronik dengan manusia[9]. Dimana keypad digunakan untuk memberikan perintah melanjutkan sistem, menghapus data, dan mengulang pengukuran.



Gambar 2. Konfigurasi Sensor HC-SR04

### 2.2 Sensor Ultrasonik HC-SR04

Dalam penelitian ini, pengukuran tinggi badan dilakukan dengan menggunakan sensor

ultrasonik HC-SR04. Sensor ini merupakan modul ultrasonik yang digunakan untuk mengukur jarak suatu objek[10]. Gambar 2 menunjukkan konfigurasi letak sensor HC-SR04 saat pengukuran tinggi badan. Nilai tinggi badan didapatkan dengan menggunakan Persamaan (1)[11], [12]. Dimana T merupakan tinggi badan (cm),  $X_i$  adalah jarak sensor ke kepada pengguna (cm), dan  $X_k$  adalah jarak sensor ke dasar lantai (cm).

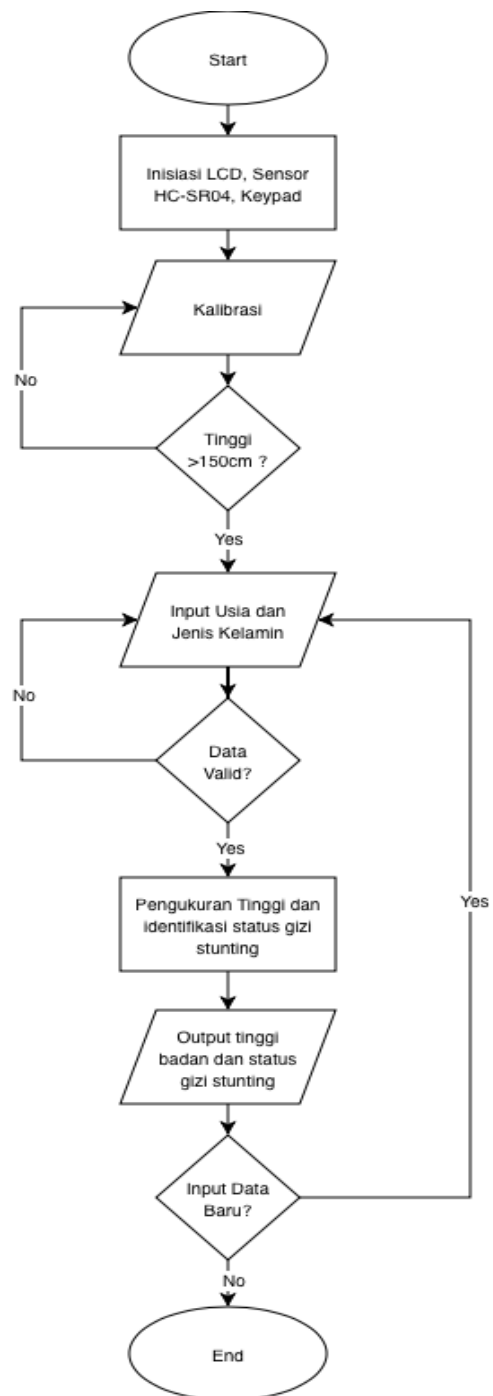
$$T = X_k - X_i \quad (1)$$

### 2.3 Mikrokontroler ESP32

Keseluruhan sistem stadiometer digital untuk deteksi dini risiko stunting diproses menggunakan mikrokontroler ESP32. Gambar 3 menunjukkan cara kerja sistem secara keseluruhan dan dikontrol oleh ESP32. Sistem dimulai dengan melakukan kalibrasi untuk mengukur tinggi sensor HC-SR04 ke dasar lantai. Jika tinggi sensor HC-SR04 ke dasar lantai lebih dari 150 cm, maka proses dilanjutkan. Sebaliknya, jika kurang dari 150 cm maka harus dilakukan kalibrasi ulang. Kode program ESP32 yang digunakan untuk kalibrasi sensor HC-SR04 terlihat pada Gambar 4 [13],[14]. Selanjutnya pengguna dapat memasukkan data usia dan jenis kelamin. Jika data tersebut sudah sesuai, maka dilanjutkan dengan melakukan pengukuran tinggi badan. Data tinggi badan, usia, dan jenis kelamin akan diolah oleh ESP32 untuk menentukan status risiko stunting dan ditampilkan pada output LCD 16x2.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil rancang bangun stadiometer digital untuk deteksi dini risiko stunting terlihat pada Gambar 5. Material akrilik digunakan sebagai casing. Alat ini bersifat portable sehingga bisa dilekatkan pada tembok dilokasi yang berbeda-beda. Stadiometer digital dilekatkan pada tembok untuk melakukan pengukuran tinggi badan dengan pengguna berdiri tegak.



Gambar 3. Flowchart Sistem Stadiometer Digital

```

digitalWrite(triggerPin, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(triggerPin, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(triggerPin, LOW);
long duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
float jarak = duration*0.034/2;
    
```

Gambar 4. Kode Program untuk HC-SR04



Gambar 5. Stadiometer Digital untuk Deteksi Dini Risiko Stunting

Pengujian terhadap stadiometer digital dalam penelitian ini dilakukan untuk mengetahui fungsi dan keakuratan sistem. Pengujian dilakukan dengan 2 tahap, pertama menguji sensor HC-SR04 dan kedua menguji sistem secara keseluruhan.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor HC-SR04

Data	Tinggi (cm)		Galat
	Stadiometer Manual	Sensor HC-SR04	
1	5	5,22	4,40%
2	10	9,94	0,60%
3	20	19,57	2,15%
4	30	28,41	5,30%
5	40	38,57	3,58%
6	50	47,55	4,90%
7	60	57,94	3,43%
8	70	67,15	4,07%
9	80	76,82	3,98%
10	90	86,56	3,82%
11	100	96,68	3,32%
12	110	106,47	3,21%
13	120	116,19	3,18%
14	130	125,89	3,16%
15	140	135,61	3,14%
16	141	136,6	3,12%
17	142	137,51	3,16%
18	143	138,52	3,13%
19	144	139,45	3,16%
20	145	140,51	3,10%
21	146	141,42	3,14%
22	147	142,41	3,12%
23	148	143,38	3,12%
24	149	144,33	3,13%
25	150	145,83	2,78%
Galat Rata-Rata			3,33%

### 3.1 Pengujian Sensor HC-SR04

Pengujian sensor HC-SR04 dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dengan stadiometer manual dalam mengukur

tinggi. Variasi pengukuran antara tinggi 5cm hingga 150cm. Pengukuran tinggi sensor HC-SR04 menggunakan kode program yang tertera pada Gambar 5. Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 2. Didapati terdapat galat rata-rata sebesar 3,33% dengan keakuratan pengukuran menggunakan sensor HC-SR04 adalah sebesar 96,67%. Menurut peneliti, keakuratan sensor HC-SR04 sebesar 96,67% masih bisa ditingkatkan. Sehingga peneliti menggunakan persamaan regresi linier pada data yang tertera pada Tabel 2. Dimana persamaan regresi linier sudah terbukti dapat meningkatkan akurasi dari sensor[15],[16]. Nilai koefisien yang didapatkan dari hasil regresi terlihat pada Gambar 6. Koefisien tersebut selanjutnya dimasukkan kedalam kode program ESP32 seperti pada Gambar 7 dan dilakukan pengujian kembali untuk sensor HC-SR04.

	Coefficients
Intercept	0,2866
SENSOR	1,0306

Gambar 6. Hasil Persamaan Regresi Linier

```
digitalWrite(triggerPin, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(triggerPin, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(triggerPin, LOW);
long duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
float jarak = duration*0.034/2;
float jarakregresi = (1.0306*jarak)+0.2866;
```

Gambar 7. Kode Program untuk HC-SR04 dengan Regresi

Pengujian sensor HC-SR04 kembali dilakukan dengan menggunakan persamaan regresi linier. Tahapan pengujian yang dilakukan sama dengan tahapan sebelumnya, dimana pengukuran tinggi dilakukan secara bervariasi antara 5cm hingga 150cm. Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian kedua untuk sensor HC-SR04. Dari 25 data percobaan, didapatkan galat rata-rata sebesar 0,54% dan keakuratan sensor HC-SR04 menjadi 99,46%. Hasil pengujian kedua menunjukkan bahwa persamaan regresi linier dapat meningkatkan keakuratan dari sensor HC-SR04 dalam mengukur tinggi.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor HC-SR04 dengan Regresi Linier

Data	Tinggi (cm)		Galat
	Stadiometer Manual	Sensor HC-SR04	
1	5	5,03	0,60%
2	10	10,3	3,00%
3	20	20,38	1,90%
4	30	29,42	1,93%
5	40	39,9	0,25%
6	50	49,5	1,00%
7	60	60,35	0,58%
8	70	69,4	0,86%
9	80	79,39	0,76%
10	90	89,83	0,19%
11	100	99,87	0,13%
12	110	109,84	0,15%
13	120	119,84	0,13%
14	130	129,87	0,10%
15	140	140,29	0,21%
16	141	140,83	0,12%
17	142	142,17	0,12%
18	143	143,2	0,14%
19	144	144,25	0,17%
20	145	145,37	0,26%
21	146	146,26	0,18%
22	147	147,21	0,14%
23	148	148,21	0,14%
24	149	149,19	0,13%
25	150	150,31	0,21%
<b>Galat Rata-Rata</b>			<b>0,54%</b>

Tabel 4. Hasil Pengujian Stadiometer Digital

Data	Nama	Usia (Bulan)	Jenis Kelamin	Stadiometer Digital		Pengamatan	Keterangan
				Tinggi Badan (cm)	Status	Manual (Status)	
1	Numa	36	Perempuan	81,7	Sangat Pendek	Sangat Pendek	Sesuai
2	Daffa	55	Laki-laki	94,4	Pendek	Pendek	Sesuai
3	Ainaya	49	Perempuan	85,2	Sangat Pendek	Sangat Pendek	Sesuai
4	Nadhira	44	Perempuan	102,8	Normal	Normal	Sesuai
5	Pahlevi	48	Laki-laki	111,3	Normal	Normal	Sesuai
6	Husain	28	Laki-laki	95,2	Normal	Normal	Sesuai
7	Gibran	27	Laki-laki	92,2	Normal	Normal	Sesuai
8	Athar	36	Laki-laki	103,4	Normal	Normal	Sesuai
9	Kilau	27	Perempuan	90	Normal	Normal	Sesuai
10	Rara	40	Perempuan	83,9	Sangat Pendek	Sangat Pendek	Sesuai
11	Fiyya	47	Perempuan	91,4	Pendek	Pendek	Sesuai
12	Aluna	47	Perempuan	101,1	Normal	Normal	Sesuai
13	Shanika	37	Perempuan	95,9	Normal	Normal	Sesuai
14	Syahrian	46	Laki-laki	97,5	Normal	Normal	Sesuai
15	Kamal	33	Laki-laki	92,1	Normal	Normal	Sesuai

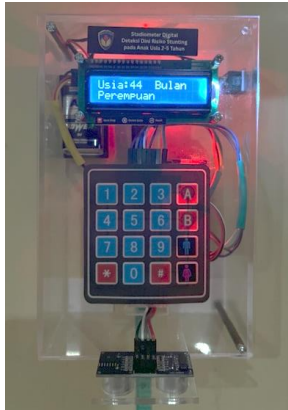
### 3.2 Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan dengan mengambil data terhadap 15 anak di Posyandu RT 2 RW 4 Kelurahan Mangunsari, Kecamatan Gunungpati, Semarang. Data yang diambil hanya untuk anak laki-laki dan perempuan dengan usia 2-5 tahun. Tabel 4 merupakan data hasil pengujian sistem stadiometer digital secara keseluruhan. Hasil identifikasi status risiko stunting yang diperoleh dari stadiometer digital dibandingkan dengan identifikasi secara manual. Dimana untuk pengamatan secara manual dilakukan dengan

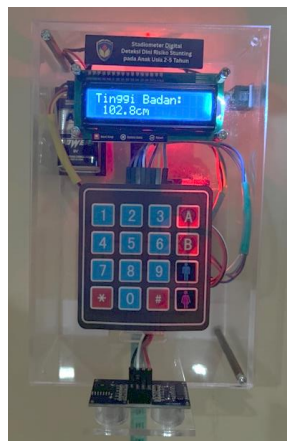
melihat tabel standar TB/U dari Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.

Gambar 8 merupakan contoh input data usia dan jenis kelamin untuk data 4 pada Tabel 4. Data yang dimasukkan adalah usia 44 bulan dan jenis kelamin perempuan. Hasil pengukuran tinggi untuk data 4 terlihat pada Gambar 9 dengan tinggi 102,8 cm. Dengan data jenis kelamin perempuan, usia 44 bulan, dan tinggi badan 102,8 cm didapatkan kesimpulan status risiko stunting adalah normal seperti pada Gambar 10.

Dari 15 data pengujian yang telah dilakukan menunjukkan tingkat kesesuaian mencapai 100%.



Gambar 8. Input Data Usia dan Jenis Kelamin



Gambar 9. Hasil Pengukuran Tinggi Badan



Gambar 10. Hasil Identifikasi Stadiometer Digital

#### 4. KESIMPULAN

Rancang bangun stadiometer digital untuk deteksi dini risiko stunting pada anak usia 2-5 tahun berbasis ESP32 telah dikembangkan dan diuji. Dari 2 pengujian yang telah dilakukan pada sensor HC-SR04 dan keseluruhan sistem menunjukkan galat rata-rata sebesar 3,33% dan keakuratan sistem mencapai 96,67%. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa alat stadiometer digital dalam penelitian ini dapat membantu tenaga medis maupun orang tua dalam memantau kondisi status stunting anak. Meskipun demikian, alat stadiometer digital ini masih perlu dikembangkan kembali supaya dapat berperan besar dalam membantu program pemerintah untuk menurunkan prevalensi stunting di Indonesia.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) dan Program Studi Teknik Elektro Universitas Persatuan Guru Republik Indonesia Semarang yang telah mendukung penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Hermawati, N. A. Tsaqifah, Y. Nabella Prameswari, A. E. Fidusia, A. N. Khafiyya, and H. A. Zulfa, "Analisis Deskriptif Survei Status Gizi Indonesia (SSGI) 2024: Prevalensi dan Faktor Determinan Stunting pada Balita di Provinsi Banten," *Jurnal Gizi Kerja dan Produktivitas*, no. Vol. 6, No. 2, 2025, pp. 352–362, 2025, doi: 10.62870/jgkp.v6i2.36646.
- [2] W. Wayunah, D. S. Zuzika, F. S. Ramadhan, M. N. Sukma, L. Nurhasanah, and R. Rahmatunnisa, "Menggali Potensi Desa: Pemanfaatan Pangan Lokal dan Edukasi Sanitasi Sehat untuk Generasi Bebas Stunting di Desa Sinagar," *Kolaborasi: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, vol. 5, no. 5, pp. 753–763, Oct. 2025, doi: 10.56359/kolaborasi.v5i5.627.
- [3] Kementerian Republik Indonesia, "Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2020 Tentang Standar Antropometri Anak," 2020. Accessed: Dec. 19, 2025. [Online]. Available: [https://fs.stunting.go.id/index.php/s/dygbpskmm39wcdz?\\_Gl=1\\*Kzk1e0\\*\\_Ga\\*Mja5mtcwmjkwmc4xnzy1otg2odmx\\*\\_Ga\\_TV21Y9HW17\\*Cze3njyxndc2ndckbzmkkzckdde3njyxndgyotikajywjgwwjggw](https://fs.stunting.go.id/index.php/s/dygbpskmm39wcdz?_Gl=1*Kzk1e0*_Ga*Mja5mtcwmjkwmc4xnzy1otg2odmx*_Ga_TV21Y9HW17*Cze3njyxndc2ndckbzmkkzckdde3njyxndgyotikajywjgwwjggw)

- [4] J. K. Edwards and A. P. Keil, "Measurement Error and Environmental Epidemiology: a Policy Perspective," Mar. 01, 2017. doi: 10.1007/s40572-017-0125-4.
- [5] I. Aliyan Syah, G. Kusuma Yudha, and H. Setiawan, "Perancangan Deteksi Stunting dengan Parameter Berat dan Tinggi Badan pada Anak 2-5 Tahun Berbasis Arduino Uno," 2025.
- [6] Fahmi Fadillah, Hamzah Nurriqfi Fakhri F, and Yosep Bustomi, "Perancangan Prototype Sistem Pendeteksi Stunting dengan Menggunakan Microcontroller Berbasis Sensor Ultrasonic dan Load cell," *Jurnal Penelitian Teknologi Informasi dan Sains*, vol. 3, no. 1, pp. 30–43, Jan. 2025, doi: 10.54066/jptis.v3i1.2976.
- [7] L. R. Alberto Prendy, "Rancang Bangun Pengukur Berat Badan dan Tinggi Badan Bayi Dilengkapi IoT dan Penyimpanan Database," *Journal Hospital Technology and Mechatronics*, pp. 11–24, Sep. 2023.
- [8] E. A. Tunggadewi, R. T. Yunardi, and E. I. Agustin, "Desain Alat Pengukur Tinggi Badan Yang Dilengkapi Dengan Fitur Deteksi Stunting," *Elektrika*, vol. 17, no. 1, pp. 42–47, May 2025, doi: 10.26623/elektrika.v17i1.11382.
- [9] A. Kamolan and L. Sampebatu, "Rancang Bangun Prototipe Pengaman Ruangan Dengan Input Kode Pin Dan Multi Sensor Berbasis Mikrokontroler," vol. 6, no. 1, 2021, doi: 10.31851/ampere.
- [10] M. Irfan Alhady *et al.*, "Rancang Bangun Smart Trash Bin Automation pada Smartlab Politeknik Negeri Jakarta," 2024.
- [11] Widyaningrum. I. Bambang. H. I. Martalia. Andayani, "Kalibrasi Sensor Ultrasonik Hc-Sr04 Sebagai Sensor Pendeteksi Jarak Pada Prototipe Sistem Peringatan Dini Bencana Banjir," Universitas Negeri Jakarta, Oct. 2016, pp. 43–46. doi: 10.21009/0305020113.
- [12] G. Winasis, M. A. Riyadi, T. Prakoso, and E. Module, "Design of integrated bioimpedance analysis and body mass index for users with special needs," in *International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, Institute of Advanced Engineering and Science, Oct. 2020, pp. 181–186. doi: 10.23919/EECSI50503.2020.9251895.
- [13] F.- Puspasari, I.- Fahrurrozi, T. P. Satya, G.- Setyawan, M. R. Al Fauzan, and E. M. D. Admoko, "Sensor Ultrasonik HCSR04 Berbasis Arduino Due Untuk Sistem Monitoring Ketinggian," *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, vol. 15, no. 2, p. 36, Jun. 2019, doi: 10.12962/j24604682.v15i2.4393.
- [14] A. Amrullah, "Perbandingan Tingkat Akurasi Pengukuran Ketinggian Air pada Sensor HC-SR04, HY-SRF05, dan JSN-SR04T," vol. 7, no. 1, 2022.
- [15] M. N. Hakim, W. Miftahul Ashari, and J. Kuswanto, "Kalibrasi Regresi Linier untuk Peningkatan Akurasi Load Cell pada Kursi Roda Cerdas," *Jurnal Algoritma*, vol. 22, no. 2, Nov. 2025, doi: 10.33364/algoritma/v.22-2.3023.
- [16] A. Vonie Rachmawati and M. Yantidewi, "Analisis Kalibrasi Sensor BME280 dengan Pendekatan Regresi Linear pada Pengukuran Temperatur, Kelembaban Relatif, dan Titik Embun," *Jurnal Kolaboratif Sains*, vol. 7, no. 5, pp. 1589–1597, May 2024, doi: 10.56338/jks.v7i5.5272.