

RANCANG BANGUN SCOLIOMETER DIGITAL PORTABEL BERBASIS MIKROKONTROLER UNTUK DETEKSI DINI SKOLIOSIS

Firman NurHidayat¹, Bagus Adhi Kusuma²

^{1,2}Universitas Amikom Purwokerto; Jl. Letjend Pol. Soemarto No.127, Watumas, Purwanegara, Kec. Purwokerto Utara, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah 53127; Telp. (0281) 623321

Keywords:

ESP32;
MPU6050;
IoT;
Scoliometer Digital.

Correspondent Email:

23sa11a144@students.amiko
mpurwokerto.ac.id,

Abstrak. Skoliosis merupakan kelainan tulang belakang yang sering tidak terdeteksi sejak dini, sehingga berpotensi menimbulkan gangguan postur dan komplikasi yang lebih serius. Deteksi awal melalui pengukuran Angle of Trunk Rotation (ATR) menggunakan scoliometer konvensional masih memiliki keterbatasan dalam hal portabilitas dan subjektivitas pembacaan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun scoliometer digital portabel berbasis mikrokontroler yang mampu mengukur nilai ATR secara real-time. Sistem yang dikembangkan menggunakan sensor MPU6050 untuk membaca sudut kemiringan tubuh, yang diproses dengan metode Kalman Filter guna meningkatkan stabilitas data, serta mikrokontroler ESP32 untuk pengolahan dan pengiriman data ke sistem berbasis web melalui protokol WiFi. Pengujian dilakukan secara eksperimental meliputi uji fungsionalitas komponen, pengujian pembacaan sudut ATR, dan pengujian pengiriman data. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat mampu mengukur nilai ATR secara stabil pada berbagai posisi kemiringan, menampilkan data secara real-time pada LCD, serta berhasil mengirimkan 8 dari 10 data pengukuran ke server web tanpa keterlambatan. 2 pengiriman mengalami delay 4 detik dan 10 detik yang disebabkan oleh ketidakstabilan jaringan. Secara keseluruhan, scoliometer digital yang dikembangkan terbukti dapat berfungsi sebagai alat bantu deteksi dini skoliosis yang praktis, portabel, dan berbasis digital.



Copyright © 2026 The Author(s),
Published by Jurnal Informatika dan
Teknik Elektro Terapan. This is an
open-access article distributed under
the terms of the Creative Commons
Attribution-NonCommercial 4.0
International License (CC BY-NC
4.0).

Abstract. Scoliosis is a spinal disorder that is often not detected early, potentially causing postural disorders and more serious complications. Early detection through the measurement of Angle of Trunk Rotation (ATR) using conventional scoliometers still has limitations in terms of portability and reading subjectivity. This study aims to design and build a portable microcontroller-based digital scoliometer capable of measuring ATR values in real-time. The developed system uses an MPU6050 sensor to read body tilt angle, processed with the Kalman Filter method to improve data stability, and an ESP32 microcontroller for data processing and transmission to a web-based system via WiFi protocol. Testing was performed experimentally covering component functionality tests, ATR angle reading tests, and data transmission tests. The test results show that the device can measure ATR values stably at various tilt positions, display data in real-time on an LCD, and successfully transmit 8 out of 10 measurement data to the web server without delay. 2 transmissions experienced 4-second and 10-second delay caused by network instability. Overall, the developed digital scoliometer is proven to function as a practical, portable, and digitally-based scoliosis early detection tool.

1. PENDAHULUAN

Skoliosis merupakan kelainan pada tulang belakang yang ditandai dengan adanya kelengkungan abnormal ke arah lateral [1]. Kondisi ini umumnya berkembang secara bertahap dan sering kali tidak terdeteksi sejak dini, terutama pada usia remaja. Prevalensi skoliosis idiopatik pada remaja diperkirakan mencapai 2–3% dari total populasi usia sekolah, dengan risiko progresivitas kurva yang signifikan apabila tidak ditangani sejak awal [2]. Apabila tidak ditangani dengan tepat, skoliosis dapat menyebabkan gangguan postur tubuh, nyeri punggung kronik, hingga komplikasi pada sistem pernapasan dan kardiovaskular [3].

Pentingnya deteksi dini dan intervensi awal pada skoliosis tidak dapat diabaikan [4]. Deteksi sejak tahap awal dapat membantu dalam menentukan jenis penanganan yang tepat, seperti terapi fisik, penggunaan brace ortopedik, maupun tindakan medis lanjutan. Salah satu metode yang umum digunakan dalam pemeriksaan awal adalah pengukuran Angle of Trunk Rotation (ATR) menggunakan alat scoliometer [5]. ATR merupakan indikator klinis yang diukur saat pasien melakukan Adam's Forward Bend Test, di mana nilai ATR $\geq 5^\circ$ mengindikasikan perlunya evaluasi lebih lanjut [6]. Namun, scoliometer konvensional masih memiliki beberapa keterbatasan, seperti kurangnya portabilitas, pembacaan yang masih manual, serta potensi kesalahan akibat subjektivitas pengguna.

Perkembangan teknologi mikrokontroler dan sensor telah mendorong pengembangan berbagai sistem pemantauan kesehatan berbasis Internet of Things (IoT) [7]. Sensor Inertial Measurement Unit (IMU) seperti MPU6050 yang menggabungkan akselerometer tiga sumbu dan giroskop tiga sumbu memungkinkan pengukuran sudut kemiringan secara real-time dengan tingkat presisi yang cukup tinggi [8]. Sensor ini telah banyak diaplikasikan pada sistem pemantauan postur dan gerakan tubuh [9]. Selain itu, mikrokontroler ESP32 menawarkan keunggulan berupa kemampuan pemrosesan data yang cepat serta modul WiFi dan Bluetooth yang terintegrasi, sehingga mendukung implementasi sistem berbasis IoT [10].

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan alat ukur berbasis sensor IMU

untuk mendeteksi kemiringan dan postur tubuh. Setiawan et al. [11] mengembangkan sistem kendali gestur menggunakan MPU6050 yang mampu mendeteksi sudut orientasi dengan akurasi tinggi. Pratama et al. [9] mengaplikasikan MPU6050 pada robot omnidirectional berbasis IoT. Namun, sebagian besar penelitian tersebut belum diarahkan secara spesifik pada aplikasi deteksi skoliosis, dan masih memiliki keterbatasan dalam hal stabilitas pembacaan data akibat noise sensor serta belum terintegrasinya sistem dengan platform digital untuk penyimpanan dan pemantauan hasil pengukuran secara terpusat.

Untuk mengatasi permasalahan noise pada data sensor IMU, metode Kalman Filter telah terbukti efektif dalam meningkatkan stabilitas dan akurasi pembacaan sudut [12]. Mohd et al. [13] menunjukkan bahwa kombinasi filter komplementer dan Kalman Filter pada MPU6050 mampu menghasilkan data sudut yang lebih halus dibandingkan data mentah. Penerapan metode ini pada sistem scoliometer digital diharapkan dapat menghasilkan pengukuran ATR yang lebih konsisten dan dapat diandalkan.

Berdasarkan analisis kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun scoliometer digital portabel berbasis mikrokontroler ESP32 dan sensor MPU6050 yang mampu mengukur nilai ATR secara real-time dengan stabilitas data yang ditingkatkan melalui metode Kalman Filter, serta terintegrasi dengan sistem berbasis web untuk kemudahan monitoring. Hipotesis penelitian adalah bahwa penggunaan sensor IMU MPU6050 yang dipadukan dengan Kalman Filter pada sistem mikrokontroler ESP32 mampu menghasilkan pengukuran ATR yang lebih stabil dan dapat digunakan sebagai alat bantu deteksi dini skoliosis secara praktis dan portabel.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Skoliosis dan Angle of Trunk Rotation (ATR)

Skoliosis adalah deformitas tiga dimensi tulang belakang yang melibatkan kelengkungan lateral, rotasi vertebra, dan perubahan profil sagital. Secara klinis, diagnosis skoliosis ditegakkan apabila sudut Cobb pada radiografi

mencapai $\geq 10^\circ$ [1]. Pada pemeriksaan skrining awal tanpa radiografi, Adam's Forward Bend Test dikombinasikan dengan pengukuran ATR menggunakan scoliometer menjadi metode standar yang direkomendasikan. ATR merupakan sudut rotasi trunkus yang diukur pada bidang transversal saat pasien membungkuk ke depan, di mana nilai $\geq 5^\circ$ menjadi ambang batas klinis yang umum digunakan [5][6].

2.2 Sensor MPU6050

MPU6050 adalah sensor IMU 6-DOF yang diproduksi oleh InvenSense, menggabungkan akselerometer $\pm 16g$ dan giroskop $\pm 2000^\circ/s$ dalam satu paket komponen. Sensor ini berkomunikasi melalui antarmuka I2C dan dilengkapi dengan Digital Motion Processor (DMP) internal yang memungkinkan komputasi data fusi sensor secara mandiri [8]. Keunggulan MPU6050 meliputi konsumsi daya rendah, ukuran kompak, serta harga yang terjangkau, menjadikannya pilihan populer untuk aplikasi pengukuran sudut dan orientasi pada sistem portabel [9][11].

2.3 Metode Kalman Filter

Kalman Filter adalah algoritma estimasi rekursif yang secara optimal memperkirakan keadaan suatu sistem dinamis linier berdasarkan serangkaian pengukuran yang mengandung noise. Dalam konteks pengolahan data sensor IMU, Kalman Filter digunakan untuk memfusi data akselerometer dan giroskop sehingga menghasilkan estimasi sudut orientasi yang lebih akurat dan bebas dari derau [12]. Mohd et al. [13] mendemonstrasikan bahwa penerapan Kalman Filter pada MPU6050 secara signifikan mengurangi fluktuasi pembacaan sudut dibandingkan penggunaan data mentah atau filter komplementer sederhana. Implementasi Kalman Filter pada mikrokontroler ESP32 telah terbukti feasible mengingat kemampuan komputasi ESP32 yang memadai [10].

2.4 Mikrokontroler ESP32 dan IoT

ESP32 adalah mikrokontroler 32-bit berbasis arsitektur Xtensa LX6 dual-core yang dikembangkan oleh Espressif Systems. Keunggulan utama ESP32 dibandingkan pendahulunya (ESP8266) meliputi kecepatan clock hingga 240 MHz, kapasitas memori yang

lebih besar, serta dukungan WiFi 802.11 b/g/n dan Bluetooth 4.2/BLE secara terintegrasi [10]. Kapabilitas konektivitas nirkabel ini menjadikan ESP32 sebagai platform yang ideal untuk pengembangan sistem berbasis IoT, termasuk pada bidang kesehatan [7]. Irmayani et al. [14] berhasil mengimplementasikan ESP32 pada sistem monitoring arsip menggunakan komunikasi LoRa, menunjukkan fleksibilitas ESP32 dalam berbagai skenario komunikasi nirkabel.

2.5 Penelitian Terkait

Beberapa penelitian terkait sistem pengukuran postur dan kemiringan berbasis mikrokontroler telah dilakukan. Anggraeni et al. [15] mengembangkan alat monitoring kemiringan lantai menggunakan sensor IMU berbasis Google Sheets yang berhasil memvisualisasikan data kemiringan secara daring. Nailurrohmah et al. [16] merancang sistem smart key sepeda motor menggunakan ESP32 dan Android via Bluetooth, menunjukkan kemampuan ESP32 dalam sistem kontrol portabel. Rahman [17] mengembangkan sistem deteksi jatuh pada lansia menggunakan MPU6050 dan ESP32 yang relevan sebagai referensi pengembangan sistem kesehatan berbasis sensor IMU. Dewangga et al. [4] melaporkan program preventif dan deteksi dini skoliosis di sekolah menengah yang menggarisbawahi pentingnya metode skrining yang mudah dan portabel. Habna [1] meneliti hubungan antara postur duduk dengan kejadian skoliosis pada remaja, memperkuat urgensi deteksi dini. Penelitian oleh Vendeuvre et al. [6] mengevaluasi karakteristik rasterstereografi sebagai metode diagnostik skoliosis idiopatik remaja, memberikan konteks klinis bagi pengembangan alat ukur ATR digital.

3. METODE PENELITIAN

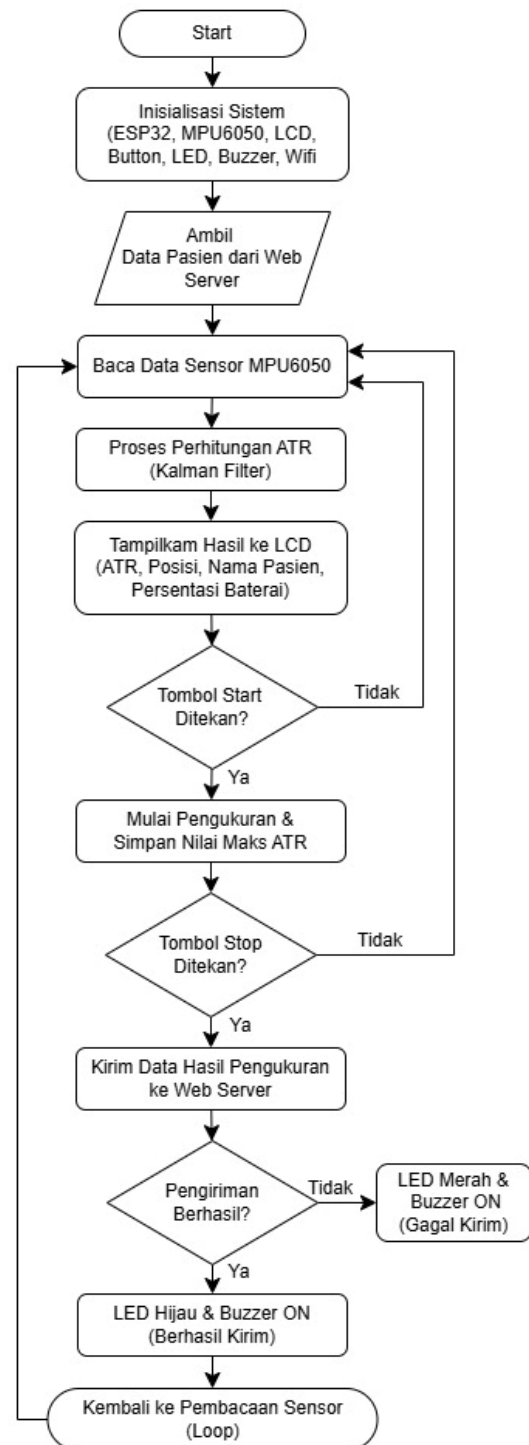
Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan rancang bangun (engineering design), yang bertujuan untuk mengembangkan dan menguji kinerja alat scoliometer digital portabel berbasis mikrokontroler [16].

3.1. Rancangan Sistem

Sistem scoliometer digital portabel dirancang dengan arsitektur yang terdiri dari

tiga lapisan utama: lapisan akuisisi data (sensor MPU6050), lapisan pemrosesan (mikrokontroler ESP32 dengan algoritma Kalman Filter), dan lapisan presentasi (LCD lokal dan sistem web). Gambar 1 menunjukkan alur kerja sistem secara keseluruhan.

Proses sistem dimulai dari inialisasi perangkat, kemudian sensor MPU6050 membaca sudut kemiringan tubuh yang selanjutnya diproses oleh ESP32 menggunakan Kalman Filter untuk menghasilkan nilai ATR yang stabil. Nilai ATR kemudian ditampilkan pada LCD 16x4 secara real-time. Sistem dilengkapi tombol BTNC (perubahan posisi pengukuran: thoracic, lumbar, cervical) dan BTNSS (mulai/berhenti pengukuran). Setelah pengukuran selesai, data ATR dikirimkan ke sistem berbasis web melalui jaringan WiFi [17].



Gambar 1. Flowchart rancang bangun sistem

3.2 Objek Penelitian

Objek dalam penelitian ini adalah sistem scoliometer digital portabel yang dirancang untuk mengukur sudut kemiringan tubuh(ATR) sebagai indikator awal scoliosis.

3.3 Alat dan Bahan

Komponen perangkat keras yang digunakan dalam rancang bangun Scoliometer Digital ini

meliputi: ESP32 sebagai mikrokontroler utama; sensor MPU6050 sebagai pendeteksi sudut; LCD 16x4 untuk tampilan lokal; saklar (power switch); push button momentary dan maintained; LED dan buzzer sebagai indikator; modul TP4056 untuk pengisian baterai; voltage divider; modul step-up DC to DC; baterai 18650 beserta dudukan; pin header female; dan kabel penghubung. Perangkat lunak meliputi Arduino IDE sebagai lingkungan pengembangan, library MPU6050 dan WiFi untuk ESP32, serta framework web berbasis PHP/MySQL untuk sistem monitoring.

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Data diperoleh melalui pengujian langsung terhadap alat yang telah dirancang. Parameter yang diamati meliputi: (1) nilai sudut ATR yang dihasilkan oleh sensor pada berbagai posisi kemiringan yang telah dikalibrasi; (2) stabilitas pembacaan data yang diukur melalui konsistensi nilai ATR pada posisi statis; dan (3) keberhasilan pengiriman data ke sistem web yang dievaluasi berdasarkan tingkat keberhasilan dan latensi pengiriman.

3.5 Definisi Operasional Variabel

Variabel dalam penelitian ini didefinisikan sebagai berikut: ATR (Angle of Trunk Rotation) adalah nilai sudut kemiringan tubuh yang diukur dalam satuan derajat ($^{\circ}$) menggunakan sensor MPU6050. Stabilitas data adalah tingkat konsistensi nilai ATR yang dihasilkan sensor MPU6050 setelah melalui algoritma Kalman Filter [12]. Keberhasilan sistem adalah kemampuan alat dalam menampilkan dan mengirimkan data ATR ke server web yang dinyatakan dalam persentase keberhasilan pengiriman.

3.6 Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif dengan mengamati hasil pembacaan sensor dan kinerja sistem secara keseluruhan. Analisis dilakukan untuk mengetahui apakah alat yang dirancang dapat bekerja sesuai dengan tujuan penelitian, meliputi: akurasi pengukuran ATR berdasarkan referensi sudut yang diketahui, konsistensi pembacaan dengan dan tanpa Kalman Filter, serta persentase keberhasilan dan latensi pengiriman data ke server web.

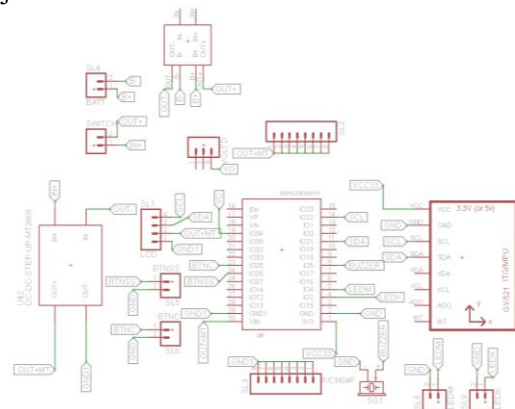
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan pada penelitian ini difokuskan pada evaluasi kinerja sistem scoliometer digital portabel yang telah dirancang dan diimplementasikan. Pengujian dilakukan berdasarkan parameter yang telah ditentukan pada tahap metodologi, yaitu kemampuan sistem dalam mengukur nilai ATR, stabilitas pembacaan data, serta keberhasilan pengiriman data ke sistem berbasis web.

4.1 Perancangan dan Implementasi Sistem

Sistem scoliometer digital portabel yang dikembangkan terdiri dari mikrokontroler, sensor, modul input, dan modul output yang terintegrasi dalam satu papan PCB. Mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pusat pengolahan data sekaligus pengirim data ke sistem berbasis web [10]. Sensor MPU6050 digunakan untuk membaca sudut kemiringan tubuh dalam tiga sumbu, yang kemudian diolah menggunakan algoritma Kalman Filter [13] untuk menghasilkan nilai ATR yang stabil.

Perancangan skematik PCB dilakukan menggunakan perangkat lunak EAGLE dengan pendekatan pin header untuk memudahkan perakitan dan penggantian komponen. Implementasi perangkat keras direalisasikan menggunakan PCB dot matrix dengan metode penyolderan langsung antar komponen. Seluruh komponen seperti ESP32, sensor MPU6050, LCD 16x4, modul daya TP4056, serta tombol kontrol dihubungkan menjadi satu sistem terintegrasi. Desain ini memastikan keandalan koneksi antar komponen sekaligus kemudahan dalam pemeliharaan dan pengembangan lebih lanjut.



Gambar 2. Desain Skematik PCB Scoliometer Digital



Gambar 3. Implementasi Perangkat Keras Scoliometer Digital

4.2 Pengujian Fungsionalitas Sistem

Pengujian dilakukan untuk memastikan seluruh komponen bekerja sesuai rancangan. Hasil pengujian dirangkum pada Tabel 1.

No	Komponen	Fungsi	Hasil
1	ESP32	Pemrosesan dan komunikasi WiFi	Berfungsi
2	MPU6050	Pembacaan sudut kemiringan	Berfungsi
3	LCD 16x4	Menampilkan data ATR real-time	Berfungsi
4	Button Change	Ganti Posisi Pengukuran	Berfungsi
5	Button Stop & Start	Start & Stop saat pengukuran	Berfungsi
6	LED & Buzzer	Indikator Status Sistem	Berfungsi
7	Wifi	Kirim data ke server web	Berfungsi

Seluruh komponen utama berfungsi sesuai dengan perancangan [16]. Integrasi antar modul berjalan dengan baik, ditunjukkan oleh respons tombol yang sesuai, tampilan LCD yang menampilkan nilai ATR, posisi pengukuran, nama pasien, serta status baterai secara real-time. Indikator LED menyala saat proses pengiriman data berlangsung, sementara buzzer memberikan sinyal audio saat pengukuran dimulai dan diselesaikan. Keberhasilan fungsionalitas komponen ini selaras dengan temuan Nailurrohmah et al. [16] yang melaporkan keandalan ESP32 dalam sistem kontrol portabel berbasis mikrokontroler.



Gambar 4. Tampilan Hasil Pengukuran pada LCD

4.3 Pengujian Pembacaan Sudut ATR

Pengujian dilakukan dengan mengamati nilai ATR yang dihasilkan alat pada beberapa kemiringan yang telah dikalibrasi. Hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 2.

No	Posisi	ATR (°)
1	Normal	0.2
2	Miring ringan	3.2
3	Miring sedang	7.5
4	Miring besar	10.8

Nilai ATR yang dihasilkan meningkat secara konsisten seiring bertambahnya sudut kemiringan tubuh, menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi perubahan sudut secara linier dan real-time. Penerapan metode Kalman Filter [12][13] pada sistem membantu mengurangi fluktuasi pembacaan sensor yang disebabkan oleh noise mekanis dan getaran, sehingga nilai yang dihasilkan lebih stabil dibandingkan dengan data mentah dari sensor MPU6050. Pada posisi normal, nilai residual ATR sebesar 0.2° berada dalam batas toleransi klinis yang dapat diterima mengingat ambang batas ATR klinis adalah $\geq 5^\circ$ [5][6]. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem tidak menghasilkan pembacaan palsu positif pada kondisi tegak lurus.

Nilai ATR pada posisi miring sedang (7.5°) dan miring besar (10.8°) menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi kondisi yang perlu tindak lanjut klinis sesuai kriteria yang ditetapkan [6]. Temuan ini mendukung hipotesis penelitian bahwa kombinasi sensor MPU6050 dengan Kalman Filter menghasilkan pengukuran yang dapat diandalkan untuk skrining awal skoliosis, konsisten dengan laporan Mohd et al. [13] mengenai keefektifan Kalman Filter dalam meningkatkan akurasi pembacaan sudut IMU.

4.4 Pengujian Pengiriman Data ke Sistem Web

Pengujian dilakukan untuk memastikan data hasil pengukuran dapat dikirim ke sistem berbasis website melalui jaringan WiFi. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 3.

No	Percobaan	Nama Pasien	Status
1	Pengiriman 1	Andi Saputra	Berhasil
2	Pengiriman 2	Haekal Ahmad	Delay
		Zanziban	(4 detik)
3	Pengiriman 3	Sony Subagyo	Berhasil
4	Pengiriman 4	Dominic Dinand A.	Berhasil
5	Pengiriman 5	Refida Septiana Putri	Berhasil
6	Pengiriman 6	Putra Apriliyanto	Berhasil
7	Pengiriman 7	Khanif Haryadi	Berhasil
8	Pengiriman 8	Aulia Suryaning Tyas	Berhasil
9	Pengiriman 9	Intan Nur Sifa	Berhasil
10	Pengiriman 10	Adi Maulana Putra Hidayat	Delay (10 detik)

Hasil pengujian menunjukkan tingkat keberhasilan pengiriman data sebesar 80% (8 dari 10 percobaan) tanpa keterlambatan, serta 20% mengalami delay selama 4 detik dan 10 detik yang disebabkan oleh ketidakstabilan koneksi jaringan WiFi. Hal ini menunjukkan bahwa performa sistem komunikasi sangat dipengaruhi oleh kualitas koneksi WiFi yang digunakan, sesuai dengan karakteristik sistem berbasis IoT pada umumnya [7]. Keterlambatan yang terjadi tidak menyebabkan hilangnya data, melainkan hanya penundaan sementara dalam proses transmisi ke server web.

Temuan ini juga mengindikasikan perlunya mekanisme penyimpanan data sementara secara lokal (offline buffering) sebagai mitigasi terhadap gangguan jaringan, sebagaimana direkomendasikan dalam sistem IoT kesehatan [7]. Implementasi mekanisme tersebut dapat meningkatkan keandalan sistem secara keseluruhan dalam skenario penggunaan di lapangan dengan kualitas jaringan yang bervariasi.

4.5 Analisis Kinerja Sistem Secara Keseluruhan

Secara keseluruhan, sistem scoliometer digital portabel yang dikembangkan mampu: (1) mengukur nilai ATR secara real-time dengan stabilitas data yang ditingkatkan melalui Kalman Filter; (2) menampilkan hasil pengukuran secara langsung pada LCD; (3) menyimpan nilai maksimum pengukuran (peak ATR); (4) mengirimkan data ke sistem berbasis web dengan tingkat keberhasilan 80%; (5) menampilkan identitas pasien sebelum pengukuran; dan (6) mencegah proses

pengukuran apabila sistem belum menerima perintah dari web.

Sistem menunjukkan performa yang stabil dan responsif dalam penggunaan normal. Penggunaan tombol multiposisi untuk pemilihan segmen tulang belakang (thoracic, lumbar, cervical) memberikan fleksibilitas klinis yang relevan. Keterbatasan utama terletak pada ketergantungan terhadap koneksi jaringan WiFi untuk proses pengiriman data ke server. Dibandingkan dengan sistem monitoring kemiringan yang dikembangkan Anggraeni et al. [15] yang menggunakan Google Sheets, sistem ini menawarkan antarmuka web yang lebih terintegrasi dan kemampuan penyimpanan data pasien yang lebih terstruktur.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Sistem scoliometer digital portabel berbasis mikrokontroler ESP32 dan sensor MPU6050 berhasil dirancang dan diimplementasikan sesuai dengan tujuan penelitian.
- Metode Kalman Filter terbukti efektif meningkatkan stabilitas pembacaan nilai ATR dari sensor MPU6050, menghasilkan data yang lebih konsisten pada setiap posisi kemiringan.
- Seluruh komponen sistem (sensor, mikrokontroler, tombol input, LCD, LED, buzzer) berfungsi dengan baik dan terintegrasi secara optimal.
- Sistem mampu mengukur ATR pada empat kondisi kemiringan (0.2° , 3.2° , 7.5° , 10.8°) dengan nilai yang meningkat secara konsisten sesuai sudut kemiringan referensi.
- Pengiriman data ke sistem web melalui WiFi mencapai tingkat keberhasilan 80%, dengan kendala utama berupa keterlambatan saat koneksi jaringan tidak stabil.
- Sistem yang dikembangkan dapat digunakan sebagai alat bantu skrining awal skoliosis yang praktis, portabel, dan berbasis digital, dengan potensi pengembangan lebih lanjut melalui penambahan penyimpanan data offline dan integrasi aplikasi mobile.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing yang telah memberikan dukungan, bimbingan, serta pembiayaan dalam proses penelitian dan publikasi jurnal ini sehingga penelitian dapat terlaksana dengan baik. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada rekan satu tim yang telah berkontribusi dalam pengembangan sistem, khususnya dalam pembuatan dan pengembangan website serta implementasi perangkat lunak berbasis mikrokontroler. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat dan menjadi kontribusi dalam pengembangan teknologi di bidang kesehatan, khususnya dalam deteksi dini skoliosis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. T. Habna, "Hubungan Antara Postur Duduk dengan Terjadinya Skoliosis pada Remaja Pelajar SMP Negeri 4 Alalak," *J. Kesehat. Hesti Wira Sakti*, vol. 13, no. 1, pp. 94–99, 2025, doi: <https://doi.org/10.47794/jkhws.v13i01.116>.
- [2] T. B. Grivas *et al.*, "SOSORT consensus paper: school screening for scoliosis . Where are we today?," *Scoliosis*, vol. 2, pp. 1–23, 2007, doi: 10.1186/1748-7161-2-17.
- [3] S. L. Weinstein, L. A. Dolan, J. C. Y. Cheng, A. Danielsson, and J. A. Morcuende, "Adolescent idiopathic scoliosis," *Lancet*, vol. 371, no. 9623, pp. 1527–1537, 2008, doi: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(08\)60658-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(08)60658-3).
- [4] M. W. Dewangga, P. Kinasih, K. L. Farizqi, A. V. Anggraheni, C. I. Safira, and A. Pristianto, "PROGRAM PREVENTIF DAN DETEKSI DINI SKOLIOSIS PADA ORGANISASI SISWA INTRA SEKOLAH DI SMPN 3 SURAKARTA," *Servirisma J. Pengabd. Masy.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–8, 2024, doi: <https://doi.org/10.21460/servirisma.2024.41.43>.
- [5] W. P. Bunnell, "Outcome of spinal screening.," *Spine (Phila. Pa. 1976)*, vol. 18, no. 12, pp. 1572–1580, Sep. 1993, doi: 10.1097/00007632-199309000-00001.
- [6] T. Vendeuvre, A. Tabard-Fougère, S. Armand, and R. Dayer, "Test characteristics of rasterstereography for the early diagnosis of adolescent idiopathic scoliosis," *Bone Joint J.*, vol. 105-B, no. 4, pp. 431–438, 2023, doi: 10.1302/0301-620X.105B4.BJJ-2021-1440.R3.
- [7] S. Abdulmalek *et al.*, "IoT-Based Healthcare-Monitoring System towards Improving Quality of Life: A Review," *Healthcare*, vol. 10, no. 10, p. 1993, 2022, doi: 10.3390/healthcare10101993.
- [8] InvenSense, "MPU-6050 Product Specification Revision 3.4," InvenSense Inc., 2013. [Online]. Available: <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>
- [9] B. A. Pratama, D. P. Caniago, M. A. Masril, L. Hernando, and M. Jufri, "Pengembangan Kontrol Robot Omnidirectional Menggunakan Sensor Gerakan Mpu 6050 Berbasis Internet Of Things (IoT)," *J. Quancam*, vol. 3, no. 1, pp. 38–43, 2025.
- [10] Espressif, "ESP32 Series Datasheet v4.4," Espressif Systems, 2022. [Online]. Available: https://documentation.espressif.com/esp32_datasheet_en.pdf
- [11] R. Setiawan, H. H. Triharminto, and M. Fahrurrozi, "Gesture Control Menggunakan IMU MPU 6050," *Pros. SENASTINDO AAU Yogyakarta*, vol. 3, no. November, pp. 24–25, 2021, doi: 10.54706/senastindo.v3.2021.133.
- [12] R. E. Kalman, "A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems," *J. Basic Eng.*, vol. 82, no. 1, pp. 35–45, Mar. 1960, doi: 10.1115/1.3662552.
- [13] J. Mohd, N. Huda, M. Azuani, S. Zuraidah, and A. Yusop, "Analysis of Inertial Measurement Accuracy using Complementary Filter for MPU 6050 Sensor," *J. Kejuruter.*, vol. 34, no. 5, pp. 959–964, 2022, doi: [https://doi.org/10.17576/jkukm-2022-34\(5\)-24](https://doi.org/10.17576/jkukm-2022-34(5)-24).
- [14] I. Irmayani, E. Nadine, and M. F. Abdillah, "Perancangan dan Implementasi Sistem Monitoring Peminjaman Arsip Berbasis ESP32 Menggunakan Komunikasi LoRa," *SINUSOIDA*, vol. 27, no. 2, pp. 1–11, 2025, doi: <https://doi.org/10.37277/s.v27i2.2606>.
- [15] A. P. Anggraeni, A. Wisaksono, A. H. Falah, and D. H. R. Saputra, "RANCANG BANGUN ALAT MONITORING KEMIRINGAN PADA LANTAI BERBASIS GOOGLE SHEETS," *J. Al Ulum LPPM Univ. Al Washliyah Medan*, vol. 13, no. 2, pp. 188–194, 2025, doi: <https://doi.org/10.47662/alulum.v13i2.1004>.
- [16] M. Nailurrohman, F. Santoso, and A. Baijuri, "Rancang Bangun Sistem Smart Key Pada Sepeda Motor Menggunakan Mikrokontroler Esp32 dan Android Via Bluetooth," *G-Tech J. Teknol. Terap.*, vol. 8, no. 3, pp. 1759–1768, 2024.
- [17] A. Rahman, "Deteksi Jatuh pada Lansia Menggunakan Sensor MPU6050 dan ESP32," *Metodol. Penelit.*, vol. 1, no. 1, 2025, [Online].

Available:

<https://citilabs.telkomuniversity.ac.id/journals/index.php/metlit/article/view/202>