

## Zentra: Meja Belajar Pintar Portabel Berbasis IoT Untuk Gen Z

### *Zentra: A Portable IoT-Based Smart Study Desk for Generation Z*

<sup>1</sup>Fauhad Ziyad Fakhruddin, <sup>1</sup>Galih Setyawan<sup>\*</sup>,

<sup>1</sup>Universitas Gadjah Mada, 55281, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

<sup>\*</sup>) corresponding email: galih.setyawan@mail.ugm.ac.id

#### Abstrak

Pertumbuhan teknologi membuat perubahan besar pada generasi yang akan lahir, termasuk generasi Z. Generasi ini dikenal sangat bergantung kepada teknologi, terutama dalam aktivitas belajar. Namun, efektivitas belajar sering terganggu oleh faktor lingkungan seperti suhu ruangan, dan pencahayaan yang tidak nyaman, serta keluhan sakit pinggang akibat duduk dengan posisi konstan dalam waktu lama. Penelitian ini bertujuan untuk merancang meja belajar pintar portable yang berbasis *Internet of Things* guna meningkatkan kenyamanan dan produktivitas belajar. Sistem dirancang menggunakan ESP32 yang terhubung dengan beberapa sensor. Sensor FSR402 untuk mendeteksi tekanan lengan pengguna sebagai indikator untuk posisi duduk, DHT22 untuk memantau suhu dan kelembaban, dan LDR untuk memantau kondisi pencahayaan ruangan yang digunakan untuk belajar. Kemudian meja ini juga dilengkapi *cooling fan* yang bisa dikendalikan melalui *smartphone*. Data dari sensor dikirim secara *real-time* ke *platform Blynk* dan dilengkapi dengan sistem notifikasi untuk memberi peringatan kepada pengguna. Pengujian dilakukan terhadap akurasi sensor menggunakan alat pembanding seperti thermo hygrometer dan lux meter, serta analisis efektivitas fitur pendingin laptop. Hasil menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan informasi lingkungan belajar yang akurat dan mendukung kegiatan belajar yang lebih produktif dan efektif. Temuan ini menunjukkan potensi pengembangan lebih lanjut pada perangkat belajar berbasis IoT yang adaptif, dan responsif terhadap kebutuhan pengguna yang modern.

Kata Kunci: *Internet of Things, Meja Belajar Pintar, ESP32, FSR402, DHT22*.

#### Abstract

The advancement of technology has significantly influenced future generations, including Generation Z. This generation is highly dependent on technology, especially in learning activities. However, learning effectiveness is often disrupted by environmental factors such as room temperature, poor lighting, and back pain due to prolonged static sitting posture. This research aims to design a portable smart study desk based on the Internet of Things to improve learning comfort and productivity. The system is developed using an ESP32 microcontroller connected to several sensors. The FSR402 sensor detects arm pressure as an indicator of sitting posture, the DHT22 monitors temperature and humidity, and the LDR senses ambient lighting. Additionally, the desk is equipped with a cooling fan that is controllable via a smartphone. Sensor data is transmitted in real-time to the Blynk platform and supported by a notification system to alert the user. Accuracy testing was conducted using reference tools, such as a thermohygrometer and a luxmeter, to evaluate the effectiveness of the laptop cooling feature. The results demonstrate that the system can provide accurate environmental data, supporting more productive and effective study sessions. These findings highlight the potential for further development of adaptive IoT-based learning tools tailored to modern user needs.

Keywords: *Internet of Things, Smart Study Desk, ESP32, FSR402, DHT22*.

Makalah diterima 02 Mei 2025– makalah direvisi 21 mei 2025– disetujui 16 Juni 2025

Karya ini adalah naskah akses terbuka dengan lisensi [CC BY-SA](#).



## 1 Pendahuluan

Perubahan zaman dan perkembangan teknologi yang sangat pesat telah membawa perubahan yang signifikan dalam cara belajar bagi generasi muda, khususnya untuk generasi Z. Generasi ini dikenal sebagai *digital native* yang sangat bergantung dan mengandalkan seluruh teknologi dalam aktivitas sehari-hari, termasuk dalam kegiatan belajar dan bekerja [1]. Namun, masih banyak permasalahan dan tantangan yang mengganggu kenyamanan serta produktivitas belajar, seperti postur duduk yang konstan dalam jangka waktu terlalu lama, pencahayaan yang tidak memadai, suhu lingkungan dalam kondisi yang tidak optimal, serta perangkat penunjang belajar yang mengalami *overheat*. Postur tubuh yang tidak berubah dalam waktu yang lama dapat menyebabkan kontraksi otot secara terus-menerus yang menyebabkan ketegangan, bahkan risiko kesehatan jangka panjang jika tidak ditangani secara tepat [2]. Pencahayaan yang kurang optimal dan tidak memadai juga bisa berdampak langsung terhadap kenyamanan visual dan konsentrasi pengguna [3]. Kondisi suhu dan kelembaban lingkungan juga terbukti memiliki peran yang sangat penting dalam menunjang fokus belajar.

Lingkungan belajar yang terlalu panas atau lembab dapat menimbulkan rasa tidak nyaman, kantuk, serta menurunnya kadar oksigen, sehingga berdampak pada menurunnya produktivitas, efisiensi, dan performa kognitif seseorang [4]. Beberapa penelitian sebelumnya telah mencoba mengatasi sebagian masalah ini melalui pengembangan meja belajar menggunakan mikrokontroler dengan pendekatan sensor *flex* [5]. Penelitian terkait alarm untuk posisi postur tubuh juga pernah dilakukan [6]. Tetapi, penelitian sebelumnya belum pernah ada yang mengintegrasikan sistem secara menyeluruhan dan berbasis *Internet of Things*.

Pada penelitian ini, dirancang dan dikembangkan sebuah meja belajar pintar portabel yang menggunakan sistem *Internet of Things* berbasis ESP32 dengan mengintegrasikan berbagai sensor untuk mendeteksi suhu dan kelembaban, intensitas cahaya, serta tekanan postur duduk. Sistem juga dilengkapi fitur pendingin laptop menggunakan *cooling fan* untuk menjaga suhu laptop tetap stabil. Seluruh komponen dikontrol dan dimonitor secara *real-time* menggunakan *platform Blynk* yang terkoneksi ke *smartphone* pengguna melalui internet. Sistem IoT juga telah menunjukkan hasil positif dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses praktik pengajaran dan pembelajaran selama krisis, terlebih lagi saat setelah pandemi COVID-19 yang mempercepat adopsi digital dalam pendidikan [7]. Selain itu sistem IoT juga memiliki beberapa kelemahan, terutamanya pada bagian privasi serta pengumpulan data yang dapat diakses secara luas [8]. ESP32 adalah sebuah *board* mikrokontroler yang menggunakan *chip* 2.4 GHz Wi-Fi dan terintegrasi juga dengan *Bluetooth*, didesain khusus menggunakan TSMC's *ultra-low-power technology* [9]. Tipe *board* ini menawarkan beberapa keunggulan, seperti konsumsi daya yang sangat rendah, sudah *include* dengan modul Wi-Fi, dan *dual-mode Bluetooth* dengan kebutuhan daya yang rendah. DHT22 adalah sensor digital kelembaban dan suhu relatif yang menggunakan kapasitor dan thermistor untuk mengukur udara disekitarnya dan mengeluarkan sinyal pada pin data [10]. Penelitian terkait *monitoring* suhu dan kelembaban udara berbasis IoT sudah pernah dilakukan sebelumnya, dengan pendekatan yang hanya pada pemantauan kualitas udara saja [11]. LDR merupakan salah satu komponen elektronika yang dapat berubah nilai resistansinya ketika membaca perubahan intensitas cahaya yang diterimanya, sehingga LDR dapat juga dikatakan sebagai sensor cahaya [12].

Sistem dari meja belajar pintar ini dioperasikan melalui *smartphone* pengguna menggunakan aplikasi *Blynk*, yang menampilkan semua fungsi kontrol dan hasil pemantauan sensor. Notifikasi akan dikirimkan jika pembacaan sensor berada di luar rentang untuk lingkungan belajar yang optimal. Demikian pula, jika pengguna tetap dalam posisi duduk yang sama dalam jangka waktu yang lama, sensor FSR402 akan mendeteksi ketidakaktifan ini dan mengirimkan peringatan melalui aplikasi *Blynk* secara langsung serta aplikasi *Telegram*. Selain itu, sistem ini juga dilengkapi dengan kipas pendingin yang dirancang untuk mengatur suhu laptop, sehingga meningkatkan lingkungan belajar secara keseluruhan dan berkontribusi pada keawetan dan keandalan perangkat dengan mencegah kerusakan akibat *overheat* [13].

FSR402 didefinisikan sebagai sensor tekanan yang memanfaatkan perubahan nilai resistansi akibat gaya atau berat yang diterapkan pada permukaannya [14]. Akan tetapi, sensor yang digunakan memiliki kelemahan yang hanya memiliki bahan resistif penekuk di tengah, sehingga memerlukan waktu untuk mengembang kembali setelah diberi tekanan, proses tersebut disebut *re-inflasi*. Proses *re-inflasi* sangat bergantung pada berapa lama dan seberapa keras saat diberi tekanan [15].

Seiring meningkatnya penerapan *ambient intelligence* dalam pengembangan furnitur pintar, beberapa penelitian mutakhir menunjukkan arah inovasi berbasis *Internet of Things* untuk meningkatkan kenyamanan dan ergonomi belajar. Odesola et al. (2024) mengulas berbagai pendekatan sistem kursi pintar menggunakan sensor tekanan untuk klasifikasi dan pemantauan postur secara *real-time* [16]. Sementara itu, Luna-Perejón et al. (2021) mengembangkan perangkat IoT dengan sensor FSR dan algoritma *artificial neural networks* yang mampu mengklasifikasikan postur duduk dengan akurasi hingga 81 % [17]. Selain itu, Tavares et al. (2023) merancang sistem kursi pintar berbasis sensor tekanan dan umpan balik visual untuk mengoptimalkan kondisi kerja secara ergonomis [18].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sebuah meja belajar pintar portabel berbasis *Internet of Things* yang terintegrasi dengan berbagai sensor lingkungan dan sensor postur duduk. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi suhu, kelembaban, intensitas cahaya, serta durasi tekanan pada posisi lengan pengguna sebagai indikator postur statis yang berisiko menimbulkan ketidaknyamanan belajar. Notifikasi dikirim secara otomatis melalui aplikasi *Blynk* dan *Telegram* untuk memperingatkan pengguna terhadap kondisi lingkungan yang tidak dalam kondisi maksimal untuk belajar serta kebiasaan duduk yang statis terlalu lama.

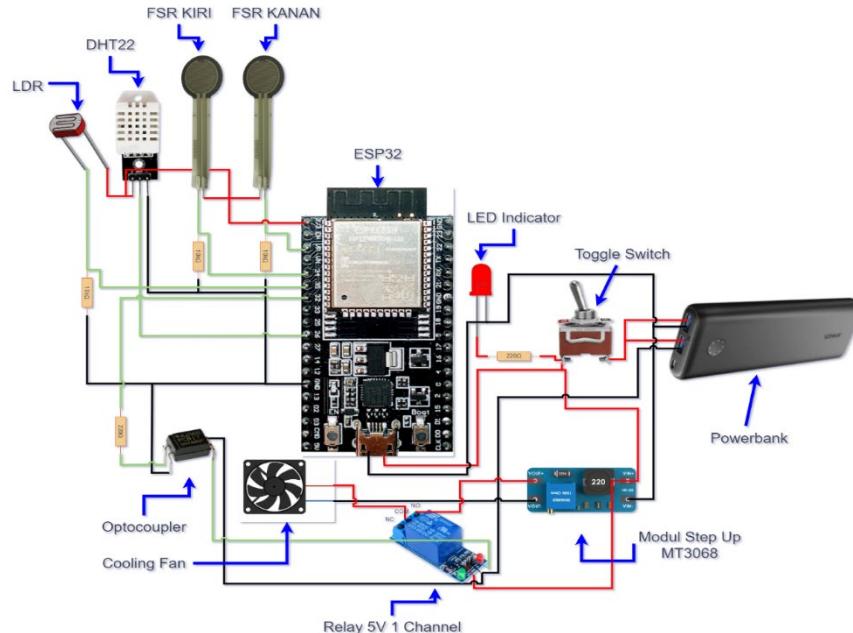
Fokus dari penelitian ini terbatas pada proses pemantauan kondisi lingkungan belajar dan postur pengguna, serta penyampaian umpan balik melalui notifikasi IoT. Sistem ini tidak mencakup pembelajaran mesin, pengenalan gerakan tubuh kompleks, atau otomatisasi intervensi fisik. Keterbaruan sistem ini terletak pada integrasi langsung antara deteksi lingkungan dan koreksi kebiasaan postur secara *real-time* dalam satu perangkat portabel yang dapat digunakan oleh generasi Z, yang cenderung dekat dengan teknologi dan perangkat *mobile*.

## 2 Metode

Pengembangan dan perancangan dari penelitian ini dilakukan melalui tahapan desain *wiring diagram*, desain perangkat lunak, desain perangkat keras, pengujian sensor tekanan, pengujian sensor suhu dan kelembaban, kalibrasi sensor cahaya, pengujian kipas pendingin, dan analisis data hasil pengujian untuk mendapatkan karakteristik dari sistem.

### 2.1 Desain Wiring Diagram

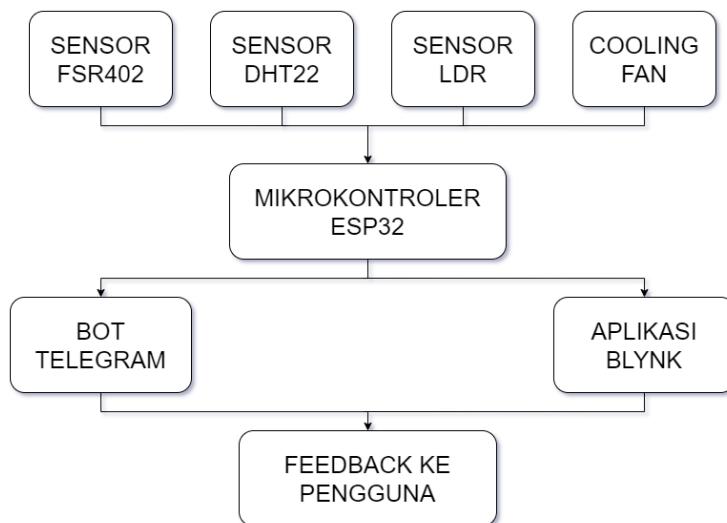
Desain *wiring diagram* ini menyajikan sambungan-sambungan skematis dalam sistem yang dibuat, menggambarkan secara jelas *port* dan *pin* yang digunakan setiap komponen yang terhubung, menampilkan semua komponen yang digunakan, dan rincian konfigurasi dari *power supply* seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram rangkaian yang digunakan dalam penelitian.

### 2.2 Diagram Blok Fungsional Sistem

Untuk menggambarkan alur kerja sistem secara menyeluruh, Gambar 2 memperlihatkan diagram blok fungsi dari sistem meja belajar pintar berbasis IoT.



Gambar 2. Diagram blok fungsi sistem.

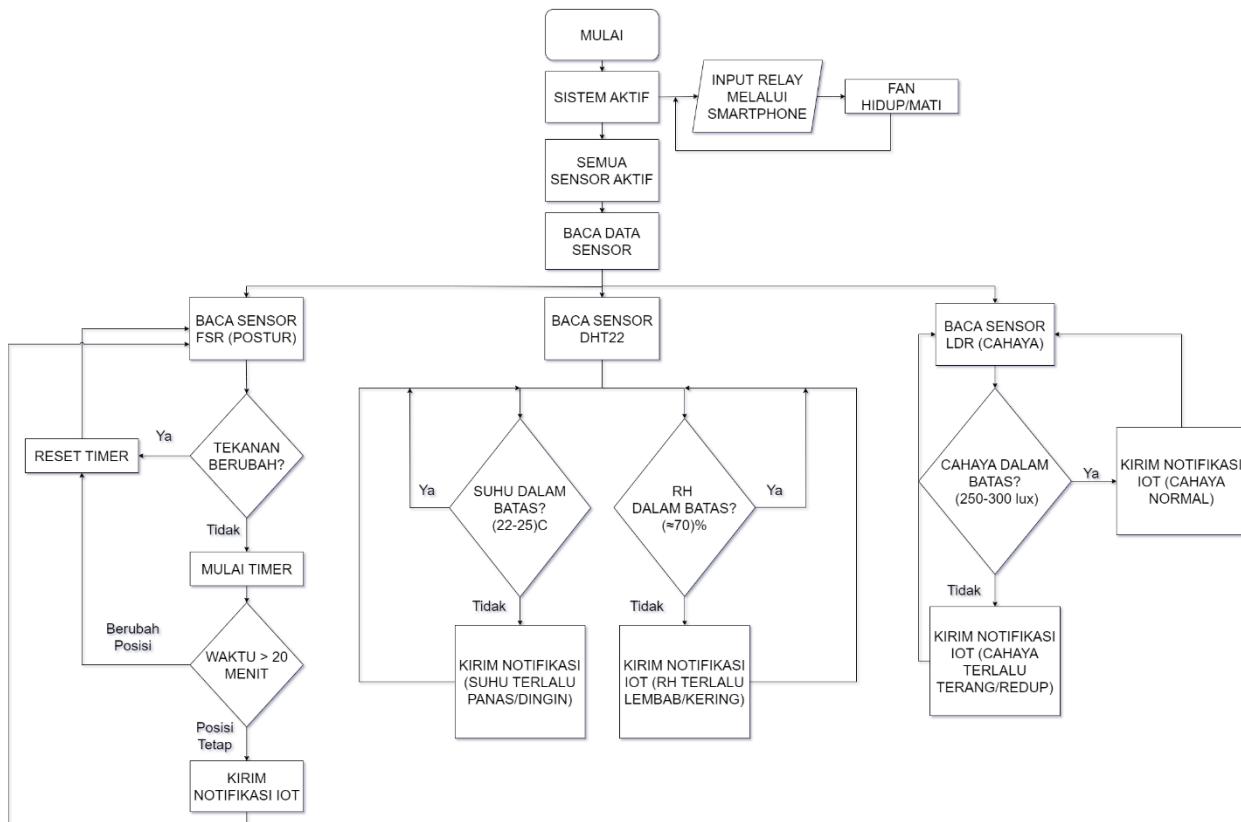
Sistem dimulai dari tiga buah sensor utama, yaitu FSR402, DHT22, dan LDR. Sensor FSR402 digunakan untuk mendeteksi tekanan yang dihasilkan oleh posisi lengan pengguna, sedangkan DHT22 berfungsi memantau suhu dan kelembaban lingkungan. Sensor LDR digunakan untuk mengukur intensitas pencahayaan di sekitar area belajar.

Ketiga sensor ini memberikan data analog maupun digital yang langsung dibaca oleh mikrokontroler ESP32. ESP32 bertindak sebagai pusat kendali utama, yang kemudian memproses sinyal berdasarkan program yang telah ditanam melalui Arduino IDE. Setelah itu, data dikirim secara *real-time* ke platform *Blynk* menggunakan koneksi WiFi yang tertanam pada ESP32. *Blynk* menampilkan pembacaan sensor secara visual melalui antarmuka pengguna (*user interface*) di *smartphone*. Selain itu, sistem juga terhubung dengan layanan Telegram API untuk memberikan notifikasi instan saat parameter melebihi ambang batas kenyamanan belajar.

Arsitektur sistem ini didesain berdasarkan prinsip modular dan *low-power IoT architecture* yang diusulkan dalam dokumentasi ESP32 dan studi sebelumnya terkait sistem monitoring lingkungan berbasis mikrokontroler [9], [11]. Dengan integrasi semacam ini, pengguna dapat menerima umpan balik secara langsung dan segera mengambil tindakan korektif terhadap postur atau kondisi lingkungan saat belajar.

### 2.3 Desain Perangkat Lunak

Pada bagian ini akan menjelaskan keseluruhan pengoperasian dari meja belajar pintar. Seluruh sistem diprogram menggunakan software Arduino IDE untuk mengendalikan mikrokontroler ESP32. Sistem ini mengintegrasikan sensor tekanan FSR402, sensor suhu dan kelembaban DHT22, sensor cahaya LDR, dan sebuah *cooling fan* yang semuanya akan beroperasi secara bersamaan sebagai fitur inti dari meja belajar pintar portabel.

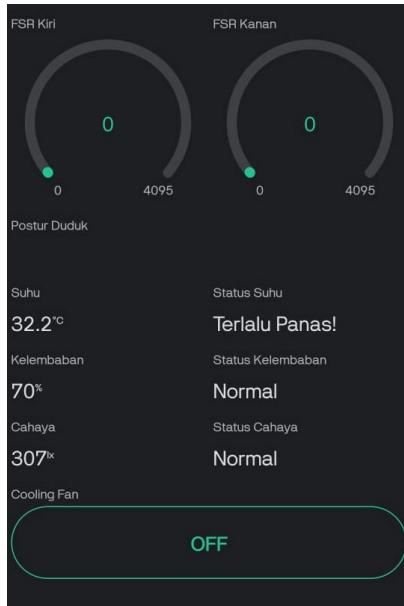


Gambar 3. Diagram alir keseluruhan sistem.

Saat pengguna mengaktifkan sistem dengan mengubah posisi *switch* ke *on*, maka catu daya akan mengaktifkan setiap subsistem FSR402, DHT22, LDR, dan juga *cooling fan*. Kipas pendingin dikendalikan secara manual untuk dinyalakan dan dimatikan melalui antarmuka yang ada pada *smartphone*. Begitu lengan bawah dari pengguna diletakkan di atas meja, sensor FSR402 akan mulai membaca tekanan yang diberikan dan akan mengaktifkan *timer* selama 20 menit. Jika tekanan tetap pada tingkat yang sama selama 20 menit penuh, sistem akan mengeluarkan dua notifikasi, satu melalui aplikasi *Blynk* dan satu melalui bot pada Telegram, yang meminta pengguna untuk mengubah postur dan melakukan peregangan. Pada saat yang bersamaan, sensor DHT22 terus membaca suhu sekitar dan kelembaban relatif, yang nantinya akan dibandingkan dengan ambang

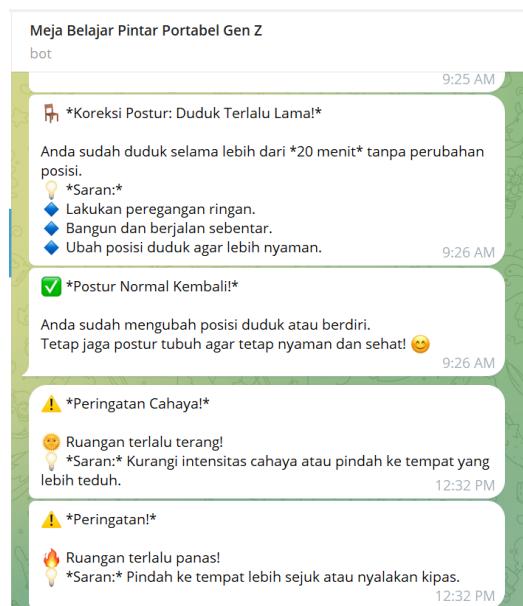
batas lingkungan belajar yang optimal. Berdasarkan rekomendasi dari ASHRAE [19], suhu yang ideal untuk kegiatan belajar berkisar antara  $22^{\circ}\text{C}$  hingga  $25^{\circ}\text{C}$  dan RH sekitar 70%. Secara paralel, sensor LDR akan memantau intensitas cahaya, dengan rentang ideal yang mengacu pada SNI 03-6197-2000 antara 250 lux dan 300 lux[20]. Setiap kali suhu, kelembaban, atau pencahayaan berada di luar rentang optimalnya, sistem secara otomatis mengirimkan peringatan melalui *Blynk* dan Telegram untuk memberitahu pengguna tentang penyimpangan tersebut.

Desain antarmuka pengguna untuk sistem meja belajar pintar portabel ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Antarmuka sistem meja belajar pintar.

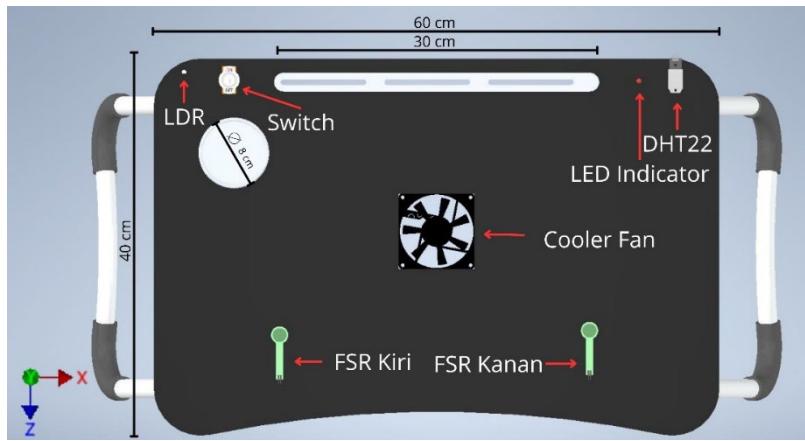
Pada antarmuka di Gambar 4, dikembangkan menggunakan aplikasi *Blynk*, yang memungkinkan interaksi yang mudah saat digunakan dan pengguna bisa melihat pembacaan sensor secara *real-time* melalui *smartphone*. Antarmuka ini mencakup pengukur dan indikator status pembacaan sensor, serta pemberitahuan untuk perubahan dalam sistem. Notifikasi juga dikirim melalui bot Telegram sebagai pengingat ganda bagi pengguna untuk menyesuaikan postur, pencahayaan, atau kondisi lingkungan berdasarkan data sensor seperti terlihat pada Gambar 5. Pendekatan ini memastikan pengalaman yang intuitif bagi pengguna, yang mendukung kondisi belajar yang optimal dan manajemen postur yang baik.



Gambar 5. Notifikasi dikirim melalui bot telegram.

## 2.4 Desain Perangkat Keras

Bagian ini merinci desain perangkat keras dari meja belajar pintar portabel, termasuk penempatan strategis semua sensor dan komponen, untuk memaksimalkan fungsionalitas sekaligus mengutamakan kenyamanan pengguna. Desain tata letak dan posisi komponen ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Desain tata letak dan posisi komponen.

Untuk sensor FSR402 dipasang di bawah setiap sandaran tangan untuk mendeteksi tekanan berkelanjutan secara akurat tanpa menghalangi gerakan lengan alami. Modul DHT22 dan LED indikator dipasang di permukaan atas meja, diposisikan untuk menghindari bayangan atau gangguan aliran udara sambil tetap berada dalam jangkauan visual yang mudah. Sensor LDR diletakkan di permukaan meja dekat area kerja untuk menangkap tingkat cahaya sekitar yang representatif tanpa silau. Kipas pendingin dan modul step up 12 V terletak di tengah bagian bawah meja untuk memberikan aliran udara yang seragam tanpa menghalangi ruang kerja. Semua kabel dan mikrokontroler ESP32 dirutekan ke bagian bawah dalam saluran manajemen kabel yang ringkas, memastikan tampilan yang *clean* dan meminimalkan risiko tersangkut secara tidak sengaja. Secara keseluruhan, pemilihan dan tata letak komponen dipikirkan berdasarkan prinsip-prinsip ergonomis untuk mendukung postur tubuh yang sehat, mengurangi ketegangan, dan mempertahankan sistem yang tidak mencolok namun memiliki fungsi yang utuh.

## 3 Hasil dan Diskusi

Bagian ini akan memaparkan dan menjelaskan hasil pengujian yang didapatkan dalam perancangan dan pembuatan meja belajar pintar portabel yang meliputi pengujian sensor tekanan FSR402 kiri, pengujian sensor tekanan FSR402 kanan, pengujian sensor suhu dan kelembaban DHT22, pengujian sensor cahaya LDR, pengujian efektivitas *cooling fan* untuk mengetahui karakteristik masing-masing fitur dari meja belajar pintar portabel.

Sebelum dilakukan pengujian, perlu ditampilkan spesifikasi teknis dari komponen-komponen utama sistem. Tabel 1 menyajikan detail fungsi, rentang kerja, dan catatan penting dari masing-masing sensor dan aktuator yang digunakan dalam sistem Zentra. Informasi ini diperoleh berdasarkan dokumentasi resmi pabrikan dan studi sebelumnya.

Tabel 1. Spesifikasi komponen sistem zentra

| No | Komponen                | Fungsi Utama                              | Rentang Kerja Teknis                      | Catatan Teknis Sumber Datasheet             |
|----|-------------------------|---|---|---|
| 1. | ESP32-WROOM-32D         | Mikrokontroler utama berbasis Wi-Fi & BLE | 3.0–3.3 VDC; 160 MHz; 240 MHz dual core   | Konsumsi daya rendah, mendukung IoT [9]     |
| 2. | FSR402                  | Deteksi tekanan postur (lengan pengguna)  | 0–10 kg (0–22 lb); output resistansi      | Non-linier, re-inflasi lambat [14]          |
| 3. | DHT22 (AM2302)          | Sensor suhu & kelembaban                  | -40–80 °C; 0–100% RH; akurasi ±0.5 °C     | Output digital, sampling ~2 detik [10]      |
| 4. | LDR 10 mm               | Sensor intensitas pencahayaan             | ~1–1000 lux (tergantung pembagi tegangan) | Sensitivitas tergantung cahaya ambient [12] |
| 5. | Cooling Fan 8x8 cm 12 V | Mendinginkan laptop secara manual         | Tegangan 12 VDC, arus ~0.12 A             | Dikendalikan via relay oleh pengguna        |
| 6. | Relay 5 V 1 channel     | Mengaktifkan fan dari aplikasi            | Tegangan kendali 5 V                      | Aktuasi on/off fan dari Blynk               |

Gambar 7(a) dan 7(b) menunjukkan hasil jadi dan implementasi penggunaan meja belajar pintar portabel secara langsung.



(a)



(b)

Gambar 7. (a) Hasil jadi meja belajar. (b) Implementasi meja pintar.

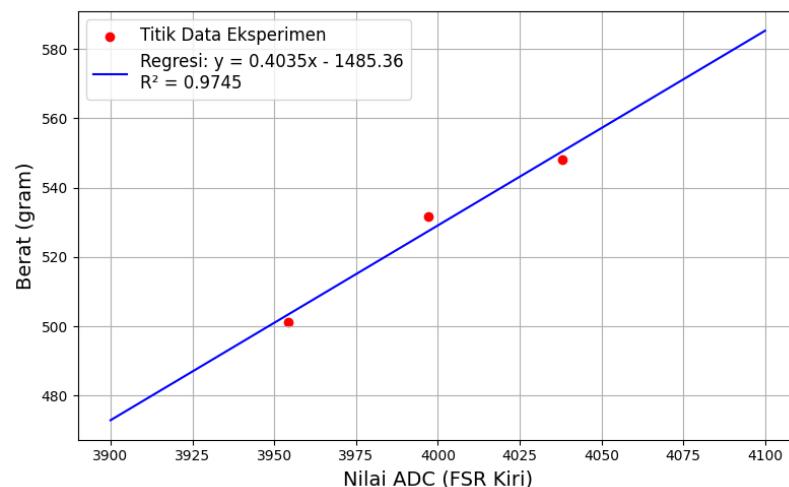
### 3.1 Pengujian Sensor FSR402 Kiri

Dalam pelaksanaan kalibrasi ini, pendekatan yang digunakan mengacu pada prinsip pengelolaan alat ukur sesuai ISO 10012:2003, yang menekankan pentingnya keterlacakkan pengukuran terhadap standar internasional [21]. Oleh karena itu, pembanding yang digunakan dalam pengujian berupa anak timbang logam dengan massa terverifikasi, sehingga memenuhi syarat sebagai acuan tertelusur terhadap satuan SI (*Système International*). Pada pengujian kali ini dilakukan dengan menggunakan beban dari 3 buah anak timbang yang masing-masing nilainya adalah 51 g, 100 g, dan 501 g. Pengujian dilakukan dengan menggunakan 3 titik beban aktual yaitu 501 g, 551 g, dan 601 g, dan dilakukan sebanyak 3 perulangan yang kemudian didapatkan 3 buah nilai ADC. Data yang didapatkan tertampil pada Tabel 2.

Tabel 2. Data hasil pengujian sensor FSR402 kiri

| No | Beban Aktual (g) | ADC 1 | ADC 2 | ADC 3 | Rata-Rata ADC (g) | Berat Hasil Regresi | Error (%) | Akurasi (%) |
|----|------------------|-------|-------|-------|-------------------|---------------------|-----------|-------------|
| 1. | 501              | 3941  | 3956  | 3966  | 3954.33           | 501.30              | 0.06      | 99.94       |
| 2. | 551              | 3999  | 4000  | 3992  | 3997.00           | 531.80              | 3.48      | 96.52       |
| 3. | 601              | 4035  | 4029  | 4050  | 4038.00           | 548.20              | 8.77      | 91.23       |

Dari Tabel 2, didapatkan hasil pengolahan data untuk sensor FSR402 kiri yang kemudian akan diolah dengan pendekatan regresi linier untuk mendapatkan nilai konversi ADC ke satuan fisis yang kemudian didapatkan grafik dan persamaan regresi seperti Gambar 8.



Gambar 8. Grafik persamaan regresi linier FSR kiri.

Data-data tersebut menunjukkan bahwa sensor FSR sebelah kiri memiliki akurasi yang sangat tinggi pada beban 501 gram, yaitu sebesar 99.94%. Namun, terjadi penurunan akurasi pada beban yang lebih berat, yaitu sebesar 96.52% pada 551 gram, dan 91.23% pada beban 601 gram. Hal ini menunjukkan bahwa sensor FSR kiri bekerja dengan pembacaan paling akurat pada range beban yang relatif rendah hingga menengah, dan mengalami sedikit deviasi pada beban tinggi. Deviasi dapat disebabkan oleh karakteristik sensor yang bersifat non-linear pada tekanan tinggi, serta sensitivitas sensor terhadap distribusi tekanan yang tidak merata.

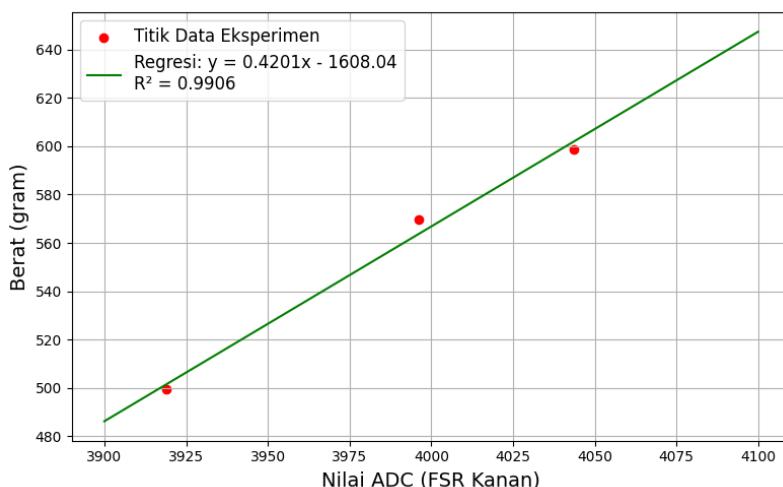
### 3.2 Pengujian Sensor FSR402 Kanan

Pengujian yang dilakukan untuk sensor FSR402 kanan masih sama dengan pengujian sensor FSR402 sebelah kiri dengan menggunakan 3 titik beban aktual yaitu 501 g, 551 g, dan 601 g, dan dilakukan sebanyak 3 perulangan yang kemudian didapatkan 3 buah nilai ADC.

Tabel 3. Data hasil pengujian sensor FSR402 kanan

| No | Beban Aktual (g) | ADC 1 | ADC 2 | ADC 3 | Rata-Rata ADC (g) | Berat Hasil Regresi | Error (%) | Akurasi (%) |
|----|------------------|-------|-------|-------|-------------------|---------------------|-----------|-------------|
| 1. | 501              | 3920  | 3916  | 3921  | 3919.00           | 499.40              | 0.32      | 99.68       |
| 2. | 551              | 3993  | 3999  | 3997  | 3996.33           | 569.50              | 3.36      | 96.64       |
| 3. | 601              | 4039  | 4045  | 4047  | 4043.67           | 598.50              | 0.41      | 99.59       |

Pada sensor FSR sebelah kanan didapatkan grafik dan persamaan regresi seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik persamaan regresi linier FSR kanan.

Dari data-data tersebut didapatkan hasil analisis yang menunjukkan bahwa sensor memiliki performa yang cukup stabil di berbagai variasi beban. Akurasi tertinggi tercatat pada beban 601 gram sebesar 99.59%, diikuti dengan akurasi 99.68% pada beban 501 gram. Namun, pada beban seberat 551 gram, akurasi sedikit mengalami penurunan. Meskipun demikian, sensor FSR kanan menunjukkan performa yang relatif lebih konsisten dan andal pada beban rendah hingga tinggi dibandingkan FSR kiri.

### 3.3 Pengujian Sensor DHT22

Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor DHT22 dengan alat standar *thermohygrometer Extech Instrument 445815*. Pengambilan data dilakukan sebanyak 6 kali dalam interval waktu kurang lebih 5 menit pada setiap pengukuran di ruang laboratorium M205B pada suhu dan kelembaban lingkungan yang relatif stabil. Prosedur ini sejalan dengan prinsip yang diatur dalam ISO/IEC 17025:2017 mengenai *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*, yang mengharuskan pengambilan data dilakukan secara terkendali dan berulang untuk memastikan validitas pengukuran [22]. Pemilihan alat pembanding berupa *thermohygrometer* digital yang telah dikalibrasi juga mendukung keterlacakkan hasil pengukuran terhadap standar internasional, sebagaimana disyaratkan dalam ISO 10012:2003 [21]. Metode pengujian yang digunakan dalam studi ini merujuk pada praktik yang lazim diterapkan di lingkungan industri, khususnya dalam proses kalibrasi alat ukur suhu dan kelembaban. Pendekatan ini diperoleh berdasarkan pengalaman penulis selama mengikuti program magang di salah satu

perusahaan industri farmasi di Indonesia. Dalam praktik tersebut, pengambilan data dilakukan sebanyak 5–6 kali dengan interval waktu lima menit untuk memastikan kestabilan kondisi lingkungan serta memperoleh data pembanding yang konsisten.

Dari pengujian yang dilakukan didapatkan data seperti terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data hasil pengujian sensor DHT22

| No | Waktu Pengujian | Suhu DHT22 (°C) | Suhu Standar (°C) | Error Suhu (%) | RH DHT22 (%) | RH Standar (%) | Error RH (%) |
|----|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|--------------|----------------|--------------|
| 1. | 10.17           | 25.50           | 25.80             | 1.16           | 65.00        | 50.00          | 30.00        |
| 2. | 10.23           | 25.50           | 26.40             | 3.04           | 66.00        | 48.00          | 37.50        |
| 3. | 10.28           | 25.50           | 26.30             | 3.04           | 65.80        | 48.00          | 37.08        |
| 4. | 10.33           | 25.50           | 26.40             | 3.41           | 65.60        | 48.00          | 36.67        |
| 5. | 10.38           | 25.40           | 26.50             | 4.15           | 65.80        | 48.00          | 37.08        |
| 6. | 10.43           | 25.40           | 26.30             | 3.42           | 65.20        | 48.00          | 35.83        |

Berdasarkan data yang diperoleh dari Tabel 4, didapatkan nilai variasi persentase error antara 1.16% hingga 4.15% yang menandakan bahwa sensor DHT22 memiliki akurasi pembacaan suhu sebesar  $\approx$  96.55%, nilai tersebut tergolong cukup baik untuk digunakan dalam sistem *monitoring* suhu lingkungan belajar pada proyek ini. Sedangkan untuk pembacaan kelembaban menunjukkan nilai yang secara konsisten lebih tinggi dibandingkan nilai standar. rentang error yang didapatkan antara 30.00% hingga 37.50%, dari nilai tersebut dapat diketahui bahwa akurasi pembacaan kelembaban sensor DHT22 terhadap nilai standar hanya sebesar  $\approx$  64.37%. Hal ini menunjukkan bahwa sensor DHT22 cenderung *overestimate* atau membaca kelembaban lebih tinggi dari seharusnya.

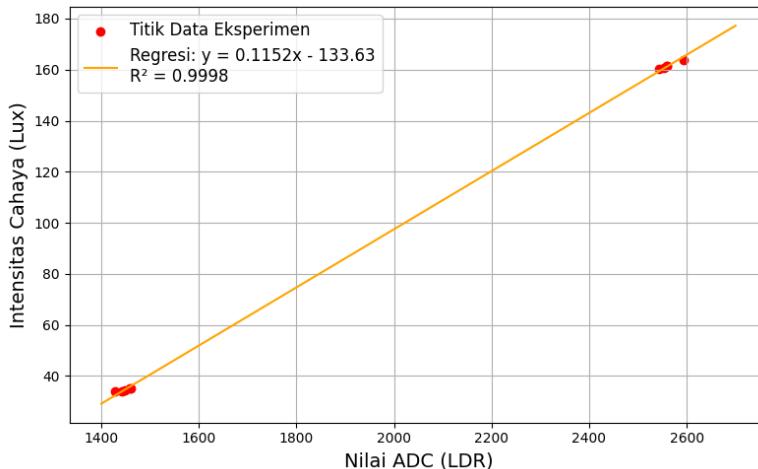
### 3.4 Pengujian Sensor LDR

Pengujian sensor LDR dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi sensor dalam membaca pencahayaan lingkungan belajar. Pengambilan data dilakukan di ruangan laboratorium M205B, pada 2 kondisi, yaitu kondisi lampu ruangan menyala dan tidak menyala dengan 5 kali pengulangan untuk setiap kondisi. Sebagai alat pembanding, digunakan *smart sensor digital luxmeter AS803*. Prosedur pengambilan data ini mengikuti prinsip pengujian pencahayaan sebagaimana dijelaskan dalam SNI ISO 8995-1:2017 tentang Penerangan Ruang Kerja – Bagian 1: Ruang kerja dalam ruangan, yang menyarankan bahwa intensitas pencahayaan di area kerja harus dievaluasi dalam kondisi stabil dan berulang untuk menjamin akurasi pengamatan [23]. Oleh karena itu, pengujian dilakukan dalam lingkungan terkontrol dan dengan alat pembanding yang memiliki keterlacakkan terhadap standar internasional. Data yang didapatkan tertampil pada Tabel 5.

Tabel 5. Data hasil pengujian sensor LDR

| No  | Kondisi Lampu | Nilai ADC LDR | Nilai Regresi Lux LDR | Nilai Pembacaan Standar (lux) | Error (%) |
|-----|---------------|---------------|-----------------------|-------------------------------|-----------|
| 1.  | Menyala       | 2559          | 161.29                | 160.00                        | 0.81      |
| 2.  | Menyala       | 2553          | 160.86                | 160.00                        | 0.54      |
| 3.  | Menyala       | 2544          | 160.22                | 160.00                        | 0.14      |
| 4.  | Menyala       | 2559          | 161.29                | 162.00                        | 0.44      |
| 5.  | Menyala       | 2593          | 163.74                | 165.00                        | 0.76      |
| 6.  | Mati          | 1460          | 35.16                 | 34.00                         | 3.41      |
| 7.  | Mati          | 1443          | 34.01                 | 33.00                         | 3.06      |
| 8.  | Mati          | 1428          | 33.97                 | 35.00                         | 2.94      |
| 9.  | Mati          | 1448          | 34.36                 | 36.00                         | 4.56      |
| 10. | Mati          | 1459          | 35.09                 | 36.00                         | 2.53      |

Berdasarkan hasil observasi yang dilakukan didapatkan data yang menyatakan pembacaan sensor LDR pada 2 kondisi pengujian dengan grafik dan persamaan regresi yang diperoleh seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik persamaan regresi linier LDR.

Pada kondisi lampu menyala didapatkan pembacaan cahaya dari LDR berada di kisaran 2544 hingga 2593, dengan nilai luxmeter antara 160.00 hingga 165.00 lux. Nilai lux hasil dikonversi melalui regresi memiliki rata-rata error yang kecil yaitu sebesar 0.53%. Hal ini menunjukkan bahwa sensor LDR mampu mendeteksi kondisi terang secara akurat dan stabil.

Pada kondisi gelap (lampu dimatikan), hasil ADC LDR berkisar antara 1428 hingga 1460 dengan pembacaan nilai lux pada standar berkisar 33.00 hingga 35.00 lux. Nilai konversi lux pada hasil perhitungan regresi masih menunjukkan error yang rendah, dengan rata-rata sekitar 3.13%. Hal ini menandakan bahwa sensor LDR tetap mampu mendeteksi kondisi pencahayaan rendah secara konsisten, meskipun memiliki sedikit deviasi yang masih dalam batas toleransi pengukuran sistem *monitoring* non-kritisikal (<10%).

### 3.5 Pengujian Cooling Fan

Pengujian *cooling fan* pada proyek ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas kipas dalam membantu menurunkan suhu laptop saat digunakan dalam jangka waktu tertentu. Kondisi dalam percobaan ini disamakan pada setiap pengujian, menggunakan laptop yang sama, software latar belakang yang sama, posisi ventilasi yang sama, serta *monitoring* suhu menggunakan aplikasi HWMonitor.

Pengujian dilakukan di dalam ruangan tertutup dengan suhu lingkungan yang stabil di 23.7°C dan kelembaban 67.7%. Kondisi laptop dihubungkan ke kabel *charger* dan dalam mode mengisi daya untuk mensimulasikan kondisi penggunaan intensif. Pengambilan data dilakukan selama 24 menit dalam interval waktu 2 menit tiap titik uji, dan nilai suhu diukur dalam dua kondisi yaitu dengan *cooling fan* dan tanpa *cooling fan*. Didapatkan data hasil pengujian seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Data hasil pengujian cooling fan.

| No  | Waktu (menit) | Suhu dengan Cooling Fan (°C) | Suhu Tanpa Cooling Fan (°C) |
|-----|---------------|------------------------------|-----------------------------|
| 1.  | 0             | 71.00                        | 71.00                       |
| 2.  | 2             | 59.00                        | 69.00                       |
| 3.  | 4             | 56.00                        | 68.00                       |
| 4.  | 6             | 60.00                        | 68.00                       |
| 5.  | 8             | 58.00                        | 66.00                       |
| 6.  | 10            | 55.00                        | 66.00                       |
| 7.  | 12            | 57.00                        | 66.00                       |
| 8.  | 14            | 58.00                        | 68.00                       |
| 9.  | 16            | 55.00                        | 71.00                       |
| 10. | 18            | 55.00                        | 73.00                       |
| 11. | 20            | 55.00                        | 70.00                       |
| 12. | 22            | 52.00                        | 66.00                       |
| 13. | 24            | 55.00                        | 68.00                       |

Berdasarkan data yang diperoleh pada Tabel 4.6, pada menit ke-0, suhu awal laptop baik dengan maupun tanpa *cooling fan* adalah sama, yaitu 71.00 °C. Hal ini memastikan pengujian dilakukan dan dimulai di suhu yang sama dan titik awal pengukuran setara, sehingga dapat digunakan untuk membandingkan dampak pendinginan kipas secara objektif.

Setelah 2 menit, perbedaan suhu mulai terlihat signifikan, suhu laptop dengan kipas turun drastis menjadi 59.00 °C, sementara suhu tanpa kipas hanya turun di nilai 69.00 °C. Hal ini menunjukkan bahwa sistem *cooling fan* langsung memberikan efek pendinginan yang lebih cepat dibandingkan dengan kondisi tanpa kipas.

Sepanjang 24 menit pengujian, suhu laptop dengan *cooling fan* menurun dan relatif stabil, memiliki rentang berkisar 52.00 °C hingga 60.00 °C, dengan rata-rata suhu sekitar 56.46 °C. Sebaliknya, suhu laptop tanpa *cooling fan* cenderung tetap tinggi, memiliki range di 66.00 °C hingga 73.00 °C, dengan rata-rata suhu sekitar 68.15 °C. Dari data tersebut, selisih suhu rata-rata antara kedua kondisi adalah sekitar 11.69 °C, menunjukkan efektivitas *cooling fan* dalam mempertahankan suhu operasional laptop di kisaran yang lebih aman.

kenaikan suhu yang tidak biasa pada menit ke-8 meskipun kipas dalam keadaan menyala. Anomali ini kemungkinan disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satu penyebab yang paling masuk akal adalah adanya lonjakan beban prosesor (*CPU usage*) yang terjadi secara mendadak akibat proses latar belakang sistem operasi atau aktivitas perangkat lunak yang berjalan otomatis (misalnya *update background* atau *indexing*).

Selain itu, faktor posisi arah angin dari kipas atau terhalangnya aliran udara sesaat juga dapat menyebabkan pendinginan tidak efektif sementara waktu. Setelah itu, suhu kembali turun secara konsisten, menunjukkan bahwa anomali ini bersifat sementara dan tidak mencerminkan kegagalan sistem.

Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya oleh Salsabila [5], sistem koreksi postur duduk hanya terbatas pada penggunaan sensor flex dan tidak mencakup pemantauan lingkungan belajar seperti suhu atau pencahayaan. Penelitian oleh Dwi dan Wicaksono [6] juga membahas sistem alarm postur berbasis NodeMCU, namun belum mengintegrasikan fitur notifikasi real-time maupun variabel lingkungan lain. Sementara itu, Awaluddin dkk. [11] telah mengembangkan sistem monitoring suhu dan kelembaban berbasis IoT, namun hanya berfokus pada pemantauan lingkungan tanpa keterlibatan aspek ergonomis seperti postur atau interaksi pengguna secara aktif.

Tabel 7. Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sistem Zentra

| No | Referensi             | Fokus Sistem                       | Komponen Utama            | Kelemahan Sistem Sebelumnya                                       | Inovasi Penelitian Zentra                                |
|----|-----------------------|------------------------------------|---------------------------|---|--|
| 1. | Salsabila [5]         | Koreksi Postur Duduk               | Flex Sensor + Arduino Uno | Tidak memantau suhu atau cahaya                                   | Menambahkan pemantauan suhu, RH, cahaya & notifikasi IoT |
| 2. | Dwi dan Wicaksono [6] | Alarm Postur Statis                | NodeMCU + Sensor tekanan  | Tidak ada notifikasi <i>real-time</i> , tidak memantau lingkungan | Tambah Telegram, <i>Blynk</i> & pemantauan suhu/cahaya   |
| 3. | Awaluddin dkk. [11]   | Monitoring suhu & kelembaban (IoT) | DHT22 + ESP8266           | Tidak deteksi postur, tidak ada interaksi aktif pengguna          | Integrasi penuh dengan sensor postur & kontrol aktif     |

Berdasarkan Tabel 7, dapat dilihat bahwa sistem Zentra memiliki cakupan fungsional yang lebih luas dibandingkan tiga penelitian terdahulu yang relevan. Hal ini menegaskan kontribusi sistem dalam mengintegrasikan aspek kenyamanan lingkungan dan postur pengguna secara simultan melalui pendekatan berbasis IoT dan notifikasi *real-time*.

Sistem Zentra dalam penelitian ini menggabungkan keunggulan pendekatan terdahulu dengan melakukan integrasi penuh antara sensor postur (FSR402), lingkungan (DHT22 dan LDR), serta kontrol *cooling fan*. Keseluruhan sistem dikendalikan melalui platform *Blynk* dan Telegram untuk memberikan umpan balik secara *real-time* kepada pengguna. Dengan pendekatan ini, kontribusi Zentra tidak hanya sebatas pada pemantauan pasif, tetapi juga pada tindakan aktif untuk meningkatkan kenyamanan dan efisiensi proses belajar pengguna, terutama pada generasi Z yang sangat responsif terhadap teknologi.

Untuk mendukung pernyataan kontribusi sistem, diperlukan evaluasi kuantitatif terhadap performa masing-masing sensor yang digunakan. Tabel 8 merangkum hasil pengujian dan kalibrasi seluruh sensor, termasuk parameter *error*, akurasi, serta status kelayakan berdasarkan acuan teknis dari datasheet maupun standar umum (seperti ISO dan SNI).

Tabel 8. Ringkasan Hasil Kalibrasi dan Evaluasi Sensor Zentra

| No | Sensor       | Parameter        | Nilai Error | Akurasi | Kriteria Acuan                                    | Status Evaluatif      |
|----|--------------|------------------|-------------|---------|---|-----------------------|
| 1  | FSR Kiri     | Kalibrasi Linear | 4.10%       | 95.90%  | Error < 5.00%                                     | Layak digunakan       |
| 2  | FSR Kanan    | Kalibrasi Linear | 1.36%       | 98.64%  | Error < 5.00%                                     | Layak digunakan       |
| 3  | DHT22 (Suhu) | Δ suhu maksimum  | 0.40 °C     | 98.20%  | Deviasi $\leq \pm 0.50$ °C dari termometer        | Layak digunakan       |
| 4  | DHT22 (RH)   | Δ RH maksimum    | 5.00% RH    | 64.00%  | Toleransi ideal $\leq \pm 2.00\text{--}5.00$ % RH | Perlu kalibrasi ulang |
| 5  | LDR          | Δ Lux maksimum   | 6.50%       | 93.50%  | Error < 10.00 %                                   | Layak digunakan       |

## 4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, sistem meja belajar pintar portabel berbasis IoT bernama Zentra telah berhasil diintegrasikan dengan berbagai sensor, yaitu FSR402, LDR, dan DHT22, yang dirancang untuk mendukung kenyamanan serta efisiensi dalam proses belajar. Sensor FSR402 mampu mendeteksi tekanan lengan pengguna dengan rata-rata akurasi sensor sebelah kiri sebesar 95.90% dan kanan 98.64%, serta memberikan notifikasi saat postur duduk tidak berubah dalam jangka waktu tertentu, untuk mendorong pengguna melakukan peregangan. Sensor LDR memberikan pemantauan pencahayaan ruangan secara *real-time* dengan rata-rata error 0.53% saat lampu menyala dan 3.13% saat lampu mati, sehingga dapat mendeteksi kondisi pencahayaan dengan akurat. Sensor DHT22 menunjukkan performa cukup baik dalam membaca suhu dengan akurasi 96.55%; namun untuk pembacaan kelembaban, akurasinya hanya mencapai 64.37% dan cenderung memberikan hasil *overestimate*, sehingga perlu dilakukan kalibrasi ulang untuk penggunaan yang lebih presisi. Aspek kenyamanan pengguna ditingkatkan melalui pemantauan lingkungan belajar yang responsif, dan dukungan fitur *cooling fan* yang dapat dikendalikan secara manual melalui aplikasi IoT, dengan rata-rata penurunan suhu laptop sebesar 11.69 °C. Efisiensi sistem diperoleh dari integrasi notifikasi *real-time* yang memungkinkan pengguna menyesuaikan kondisi secara cepat dan mandiri. Meskipun sistem telah berjalan dengan baik, penelitian ini masih memiliki potensi yang besar untuk dilakukan pengembangan, antara lain melalui pemanfaatan sensor postur yang lebih kompleks agar tidak terbatas pada tekanan lengan saja, serta peningkatan desain meja yang lebih ergonomis dan estetis untuk mendukung kenyamanan penggunaan secara menyeluruh.

## Ucapan Terima kasih

Terimakasih diucapkan kepada Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada yang telah memfasilitasi pelaksanaan riset ini.

## Referensi

- [1] T. Aisyah, Y. R. Ristam, & A. Setiawan, "Prototipe kelas pintar (*smart class*) dengan memanfaatkan teknologi IoT," in Seminar Nasional Teknik Elektro, Indonesia, pp. 83–92, Nov. 2020. [Online]. Available : <https://senter.ee.uinsgd.ac.id/repositori/index.php/prosiding/article/view/senter2020p10>
- [2] Y. R. Yuyun, R. S. Wahyuni, & M. Raharja, "Analisis indikasi risiko postur pengguna desain meja belajar portabel," *J. Konversi Energi dan Manufaktur*, vol. 9 (1), pp. 1–7, 2024. <http://dx.doi.org/10.21009/JKEM.9.1.1>
- [3] A. A. Abdullah & T. Hasanuddin, "Desain meja belajar dengan pengingat waktu belajar berbasis Arduino Uno untuk kenyamanan anak dalam belajar," *J. Inov. Tek. dan Eduk. Tek.*, vol. 1 (11), pp. 823–828, 2021. <https://doi.org/10.17977/um068v1i112021p823-828>
- [4] I.Putri, I. Nurfajriyani, & Q. Fadilatussaniyatun, "Pengaruh suhu ruangan kelas terhadap konsentrasi belajar mahasiswa pendidikan biologi semester VII (B)," *J. Bio Education*, vol. 5 (1), pp. 11–15, 2020. <https://doi.org/10.31949/be.v5i1.1744>
- [5] S. Salsabila, "Rancang bangun alat koreksi postur dan lama waktu duduk dengan flex sensor berbasis Arduino Uno," Skripsi, UIN Syarif Hidayatullah, Jakarta, 2023. [Online]. Available : <https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/bitstream/123456789/73152/1/SHAFA%20SALSABILA-FST.pdf>

- [6] C. D. Setyawan & A. Wicaksono, "Prototype alarm posisi postur tubuh berbasis NodeMCU ESP8266," *J. Teknol. Elektro*, vol. 15 (1), pp. 59–63, 2024. <https://dx.doi.org/10.22441/jte.2024.v15i1.009>
- [7] Z. Mufid and Musafa, "Implementasi penggunaan Internet of Things (IoT) di dunia pendidikan selama masa pandemi COVID-19," *J. Kons. Pendidik. Islam*, vol. 3 (2), pp. 439–446, 2022. <https://doi.org/10.32806/jkpi.v3i2.39>
- [8] F. P.E Putra S. M. Dewi, Maugfiroh, and A. Hamzah, "Privasi dan keamanan penerapan IoT dalam kehidupan sehari-hari: tantangan dan implikasi," *J. Sist. Inf. dan Teknol.*, vol. 5 (2), pp. 26–32, 2023. <https://doi.org/10.37034/isisfotek.v5i2.232>
- [9] M. Zaini, Safrudin, and M. Bachrudin, "Perancangan sistem monitoring tegangan, arus dan frekuensi pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro berbasis IoT," *J. Tek. Elektro TESLA*, vol. 22 (2), pp. 139–150, 2020. <https://doi.org/10.24912/tesla.v0i0.9081>
- [10] F. Puspasari, T.P. Satya, U.Y. Oktiawati, I. Fahrurrozi, H. Prisyanyi "Analisis akurasi sistem sensor DHT22 berbasis Arduino terhadap thermohygrometer standar," *J. Fisika dan Aplikasinya*, vol. 16 (1), pp. 40–45, 2020. <http://dx.doi.org/10.12962%2Fj24604682.v16i1.5776>
- [11] M. Awaluddin, A. Zarkasi, and E. R. Putri, "Rancang bangun prototipe monitoring suhu dan kelembaban udara berbasis IoT pada laboratorium kalibrasi balai pengujian dan sertifikasi mutu barang Samarinda," *Prog. Physics Journal*, vol 3 (1), 2022. <https://doi.org/10.30872/ppj.v3i1.910>
- [12] M. A. Annas., "Karakterisasi sensor cahaya light dependent resistor (LDR)," *J. Pendidik. dan Sains*, vol. 2 (4), pp. 612–622, 2022. <https://doi.org/10.58578/masaliq.v2i4.516>
- [13] F. Hasan, "Apakah berbahaya jika laptop panas?," *Fokus Tekno*, 2025. Accessed 14 Februari 2025, [Online]. Available: <https://fokus.co.id/tekno/apakah-berbahaya-jika-laptop-panas>
- [14] A.-R. Jung, M.-S. Song, H.-S. Shin, and Y.-B. Cho, "A lifelog posture estimation web program using Arduino and FSR402 sensors," *J. Korea Soc. Comput. Inf.*, vol. 29 (11), pp. 251–258, 2024. <http://doi.org/10.9708/jksci.2024.29.11.251>
- [15] A.F. Misbahuddin, "Rancang bangun prototipe pengukur kekuatan tarikan bibir dan pengukur tekanan lidah untuk teknologi kesehatan gigi," Skripsi, Univ. Hasanuddin, Gowa, 2021. [Online]. Available : <https://repository.unhas.ac.id/id/eprint/8904/>
- [16] D. F. Odesola, dkk., "Smart sensing chairs for sitting posture detection, classification, and monitoring: A comprehensive review," *Sensors*, vol. 24 (9), pp. 2940, 2024. <https://doi.org/10.3390/s24092940>
- [17] F. Luna-Perejón, dkk et al., "IoT device for sitting posture classification using artificial neural networks," *Electronics (Basel)*, vol. 10 (15), pp. 1825, 2021, <https://doi.org/10.3390/electronics10151825>
- [18] C. Tavares, dkk., "Smart office chair for working conditions optimization," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 50497–50509, 2023. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3276429>
- [19] ANSI/ASHRAE, *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, Standard 55:2017, ASHRAE, 2017. [Online]. Available : <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-55-thermal-environmental-conditions-for-human-occupancy>
- [20] Badan Standardisasi Nasional, *Konservasi Energi pada Sistem Pencahayaan*, SNI 03-6197-2020, Jakarta, 2020. [Online]. Available : <https://akses-sni.bsn.go.id/dokumen/2020/SNI%206197-2020/>
- [21] ISO, ISO 10012:2003 – Measurement Management Systems—Requirements for Measurement Processes and Measuring Equipment, Geneva: International Organization for Standardization, 2003. [Online]. Available : <https://www.iso.org/standard/26033.html>
- [22] ISO, ISO/IEC 17025:2017 – General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories, Geneva: International Organization for Standardization, 2017. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/66912.html>
- [23] Badan Standardisasi Nasional (BSN), SNI ISO 8995-1:2017 – *Penerangan Ruang Kerja Bagian 1: Ruang Kerja dalam Ruangan*, Jakarta, 2017.