

Sistem Deteksi Warna Real-Time Berbasis IoT Menggunakan Sensor RGB dan ESP32 dengan Notifikasi Audio dan Telegram bagi Penyandang Buta Warna Parsial

Nilai Pratiwi^a, Andre Nurdiansah^b

^{a,b}Department of Electrical Engineering, Universitas Cendekia Abditama Tangerang, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received 11 October 2025

Received in revised form

10 November 2025

Accepted 28 November 2025

Available online 30 November 2025

Keywords:

ESP32,

Color sensor TCS3200

DFPlayer Mini

Partial color blindness

Telegram

ABSTRACT

Individuals with partial color blindness frequently experience difficulties in distinguishing specific colors, especially during activities that require high visual accuracy. This condition affects daily life, including education, work performance, and social interactions. The aim of this study is to design and develop a real-time color detection system based on Internet of Things (IoT) technology as an assistive tool to help users identify colors more accurately and interactively. The novelty of this research lies in the integration of three simultaneous outputs: LCD display, audio notification, and Telegram message within one compact and portable device specifically intended for partial color blindness users. The system utilizes the TCS3200 color sensor to capture RGB values, which are then processed by an ESP32 microcontroller using an engineering design method through hardware integration, software development, and system testing. Experimental results demonstrate that the system successfully detects red, green, and blue colors with 100% accuracy at a distance of ± 2 cm, with an average response time of 1.9–2.3 seconds, and all outputs operate synchronously without noticeable delay. However, the system still has limitations regarding the detection range and classification of only primary colors (RGB), suggesting the need for advanced color classification methods and testing in more diverse environments. Therefore, this research provides a promising assistive technology while opening opportunities for further development to achieve broader applicability.

1 Pendahuluan

Warna merupakan elemen visual yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari [1]. Manusia menggunakan warna untuk berbagai keperluan, seperti membedakan objek, memberikan informasi, menyampaikan peringatan, hingga mengekspresikan emosi [2]. Dalam konteks pendidikan, pekerjaan, dan kehidupan sosial, kemampuan untuk membedakan warna sangat membantu dalam meningkatkan kualitas interaksi dan pemahaman terhadap lingkungan sekitar. Namun, tidak semua individu memiliki kemampuan untuk membedakan warna secara normal [3] [4]. Sebagian orang mengalami kondisi yang disebut buta warna, yaitu ketidakmampuan atau keterbatasan dalam membedakan warna tertentu [5], terutama warna-warna dasar seperti merah, hijau, dan biru [6] [7]. Oleh karena itu, dampak dari individu yang mengalami buta warna parsial ialah munculnya rasa ketidakpercayaan diri dalam dirinya [8], terpuruk bahkan malu dengan kondisi yang dialami [9].

Buta warna terbagi menjadi beberapa jenis, salah satunya adalah buta warna parsial, yaitu kondisi di mana seseorang masih dapat melihat warna, namun mengalami kesulitan dalam membedakan warna-warna tertentu [10] [11]. Kondisi ini sering kali tidak disadari oleh penderitanya sampai pada tahap di mana kemampuan mereka untuk beraktivitas terganggu, misalnya dalam membaca grafik berwarna, atau dalam pekerjaan yang membutuhkan ketelitian terhadap warna. Meskipun buta warna parsial tidak termasuk dalam kategori disabilitas berat, namun tetap dapat memberikan dampak signifikan terhadap kualitas hidup seseorang, terutama dalam dunia kerja dan pendidikan. Buta warna parsial menyebabkan ketidaknyamanan pada pengidapnya. Perbedaan perlakuan dan pengurangan hak banyak didapatkan oleh individu buta warna parsial. Misalnya pengidap buta warna parsial tidak mendapatkan kesempatan untuk meraih cita-cita karena berbagai profesi seperti tenaga medis, insinyur, dan abdi negara menetapkan peraturan terkait buta warna parsial. Salah satunya yang dialami seorang calon bintang yang gagal karena dinyatakan buta warna oleh pihak Polda Metro Jaya [8].

Penelitian sebelumnya oleh [12] telah mengembangkan metode pemeriksaan buta warna berbasis *Google Form* yang digunakan untuk melakukan simulasi tes buta warna menggunakan metode *Ishihara* [12] [13]. Aplikasi tersebut dirancang untuk memberikan kemudahan bagi pengguna dalam melakukan tes secara mandiri tanpa perlu mengunjungi dokter

mata. Aplikasi ini hanya menampilkan citra plat Ishihara dan menganalisis jawaban pengguna untuk mendeteksi kemungkinan buta warna parsial maupun total. Namun, pendekatan tersebut masih bersifat pasif, karena hanya sebatas pada pengujian visual tanpa dukungan perangkat keras yang dapat mengenali warna secara nyata di lingkungan fisik pengguna.

Berbeda dengan penelitian tersebut, dila dkk [14] meneliti sistem pendeteksi warna berbasis *Convolutional Neural Network (CNN)* untuk membantu penderita buta warna, namun sistem masih terbatas pada tampilan visual saja dan belum menggunakan output suara atau notifikasi jarak jauh. Hasil implementasi tidak menunjukkan uji coba terhadap subjek penyandang buta warna secara langsung. Tidak ada analisis *user experience*, *usability*, atau tingkat bantuan yang diberikan. Pada penelitian lain, [15] mengembangkan metode koreksi warna untuk penderita buta warna menggunakan algoritma transformasi citra, namun belum memiliki integrasi dengan perangkat *Internet of Things (IoT)*. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan sebuah alat pendeteksi warna fisik yang ditujukan untuk membantu penyandang buta warna parsial dalam mengenali warna objek secara langsung. Alat ini menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sensor warna TCS3200 yang mampu mendeteksi warna dari benda nyata dan mengeluarkan hasilnya melalui layar LCD dan keluaran suara serta fitur konektivitas internet untuk mengirimkan hasil deteksi warna melalui bot Telegram ke perangkat pengguna.

2 Studi Literatur

Warna memiliki peran penting dalam persepsi visual manusia dan dapat mempengaruhi psikologi, emosi, dan pengambilan keputusan. Penelitian oleh Syafiqah Nur Fadiah [1] menunjukkan bahwa warna memiliki pengaruh signifikan terhadap daya tarik visual suatu desain, termasuk logo, sehingga keberhasilan komunikasi visual dapat bergantung pada kemampuan memahami warna. Hal ini diperkuat oleh Lourenzo Mourin [2] yang menemukan bahwa pemilihan warna tertentu dapat mempengaruhi kondisi psikologis anak, terutama pada proses pembelajaran di sekolah dasar.

Dalam konteks gangguan penglihatan, A'yun Afrohah [3] melakukan studi kasus terhadap penderita buta warna di Kota Semarang dan menemukan bahwa mayoritas penderita mengalami kesulitan dalam aktivitas sehari-hari yang melibatkan identifikasi warna. Gangguan penglihatan warna juga memiliki

klasifikasi klinis, sebagaimana dijelaskan oleh Trisnayanti Yasa [4] yang membedakan buta warna kongenital dan buta warna didapat berdasarkan proses diagnosis medis.

Penelitian terkait solusi teknologi telah dilakukan untuk membantu penyandang buta warna. Mahendra [6] menguji sensitivitas sensor TCS230 berbasis Arduino UNO untuk pendeteksian warna, namun sistem hanya memiliki satu keluaran berupa tampilan warna visual. Pendekatan serupa juga dilakukan oleh Isnadia [15] yang merancang robot pembeda warna dengan output suara, namun sistem belum mendukung integrasi IoT. Penelitian terbaru oleh Nainggolan [16] menggunakan konsep IoT, tetapi hanya mengirimkan satu jenis output sehingga belum informatif bagi pengguna buta warna parsial.

Selain itu, studi epidemiologi juga telah dilakukan untuk mengetahui prevalensi buta warna di Indonesia. Oktarianti [9] melaporkan bahwa terdapat sejumlah siswa SD di Jember yang terindikasi buta warna dan tidak menyadari kondisinya sejak usia dini. Syahril Saini dkk. [12] juga mengembangkan metode pemeriksaan buta warna menggunakan *google form* berbasis tes Ishihara, sebagai bentuk validasi awal terhadap diagnosis buta warna.

Namun, dari berbagai penelitian terdahulu, belum ada penelitian yang mengintegrasikan tiga bentuk keluaran secara simultan (LCD, audio, dan Telegram) dalam satu perangkat portabel berbasis IoT sebagai alat asistif bagi penyandang buta warna parsial. Hal inilah yang menjadi celah penelitian (*research gap*) dan dasar utama pengembangan sistem pada penelitian ini.

3 Metodologi

Metode penelitian yang digunakan adalah metode rekayasa (*engineering design*) yang meliputi perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem. Komponen utama yang digunakan yaitu sensor warna TCS3200, mikrokontroler ESP32, LCD 16x2, modul DFPlayer Mini [15], speaker mini, dan konektivitas Telegram. Sensor TCS3200 [16] digunakan untuk membaca nilai RGB dari objek, kemudian mikrokontroler ESP32 memproses data dan menampilkan hasil pada LCD serta mengirimkan output suara dan pesan Telegram. Pengujian dilakukan dengan mengukur akurasi dan waktu respon terhadap tiga warna utama (merah, hijau, biru).

Perancangan sistem meliputi integrasi perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras terdiri dari sensor warna TCS3200 untuk membaca nilai RGB, ESP32 sebagai pengolah data, LCD 16x2 untuk menampilkan teks warna, DFPlayer Mini dan speaker untuk output suara, serta koneksi Wifi untuk mengirimkan informasi ke Telegram. Perangkat lunak dibuat menggunakan Arduino IDE dengan bahasa C/C++, yang mengatur pembacaan data warna, klasifikasi berdasarkan nilai ambang batas, serta pengiriman hasil ke tiga jenis output secara sinkron.

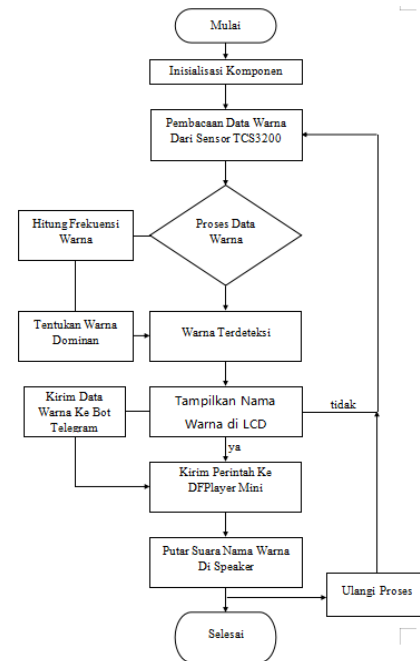
Pengujian dilakukan secara bertahap, dimulai dari pengujian komponen secara individual, integrasi sistem, hingga pengujian akurasi deteksi warna merah, hijau, dan biru. Setiap warna diuji lima kali pada jarak ± 2 cm dari sensor, dengan pencatatan akurasi dan waktu respon. Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif kuantitatif untuk menilai kinerja sistem dan memberikan rekomendasi pengembangan.

3.1 Tahapan Penelitian

Pada gambar 1 dapat dilihat bahwa proses kerja sistem deteksi warna berbasis sensor TCS3200 dan ESP32 dimulai dengan inisialisasi komponen, yaitu aktivasi sensor, LCD, DFPlayer Mini, dan modul telegram. Setelah semua komponen siap, sistem memulai pembacaan data warna dari sensor TCS3200 secara *real-time*. Selanjutnya, sistem menghitung frekuensi warna masing-masing komponen RGB (*Red, Green, Blue*) yang diterima dari sensor. Data tersebut kemudian diolah pada tahap proses data warna, yang mencakup normalisasi dan kalibrasi nilai RGB agar sesuai dengan ambang batas (*threshold*) yang telah ditentukan. Setelah proses kalibrasi, sistem melakukan penentuan warna dominan berdasarkan nilai RGB terbesar yang terdeteksi. Jika hasil pemrosesan menunjukkan bahwa warna berhasil dikenali, maka dianggap sebagai warna terdeteksi. Jika warna

belum terdeteksi dengan benar, sistem akan mengulangi proses pembacaan sensor untuk mendapatkan data yang lebih akurat.

Apabila warna berhasil dikenali, sistem menampilkan nama warna pada LCD (seperti “MERAH”, “HIJAU”, atau “BIRU”). Secara bersamaan, sistem juga mengirimkan data warna ke Bot Telegram untuk memberikan notifikasi jarak jauh. Kemudian, ESP32 mengirim perintah ke DFPlayer Mini untuk memutar audio berupa suara nama warna melalui speaker. Output suara ini menjadi fitur asistif utama yang membantu penyandang buta warna dalam mengenali warna dengan cepat dan akurat. Setelah seluruh proses selesai, sistem kembali ke langkah awal untuk mengulangi siklus pembacaan warna secara otomatis (*looping*), sehingga alat dapat bekerja terus-menerus tanpa interaksi manual.



Gambar 1. Flowchart tahapan penelitian

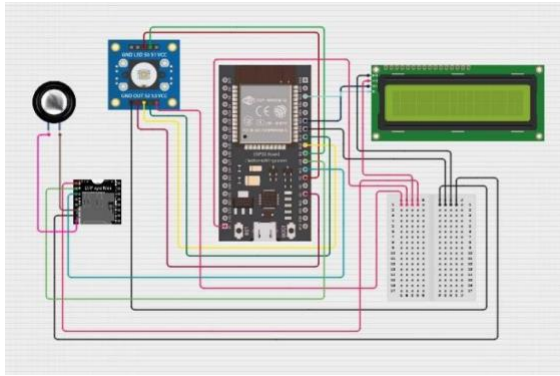
3.2 Desain Sistem

Tahapan ini dilakukan penyusunan konsep desain dan perancangan sistem terhadap solusi dari permasalahan penelitian dengan menggunakan wiring diagram alat pendeteksi warna. Sistem dirancang untuk mendeteksi warna menggunakan sensor warna TCS3200 yang terhubung ke mikrokontroler ESP32. Data warna yang terbaca diproses oleh ESP32 untuk diklasifikasikan, kemudian ditampilkan di layar LCD 16x2, diubah menjadi suara melalui modul audio DFPlayer mini, dan dikirim sebagai notifikasi ke Telegram melalui koneksi Wifi.

Pada Gambar 2, setiap pin pada komponen dihubungkan menggunakan kabel jumper. Perancangan mencakup integrasi perangkat keras dan perangkat lunak agar alat bekerja secara otomatis dan *real time* (dapat dilihat pada tabel 1). Sistem dibuat portabel, sederhana, dan mudah digunakan oleh penyandang buta warna parsial, dengan tiga jenis output: teks, suara, dan pesan digital.

Tabel 1. Spesifikasi perangkat Iot yang digunakan

Hardware	Software
Sensor Warna TCS3200	Arduino IDE
Mikrokontroler ESP 32	Bahasa C
LCD 16 x 2	Telegram
Speaker	Baterai 12 Volt
DFPlayer Mini	



Gambar 2. Wiring diagram alat pendeteksi warna

3.3 Pemrograman

Program ini menggunakan beberapa library penting. Wire.h diperlukan untuk komunikasi I2C, khususnya dengan LCD. LiquidCrystal I2C.h digunakan untuk mengontrol LCD 16x2. Library DFRobot DFPlayer Mini.h mengatur pemutaran suara melalui DFPlayer Mini. Sedangkan SoftwareSerial.h digunakan untuk membuat port serial tambahan untuk komunikasi antara ESP32 dan DFPlayer Mini. Logika pemrograman dirancang secara modular dan *real-time*, sehingga setiap proses mulai dari pembacaan warna, pemutaran suara, hingga pengiriman notifikasi berjalan secara berurutan dan efisien. Penjadwalan logika menggunakan fungsi *loop()* untuk pemrosesan berulang, sedangkan *setup()* untuk inisialisasi awal. Perangkat lunak ini juga dilengkapi dengan fungsi-fungsi pendukung seperti kalibrasi sensor warna dan pemilihan file audio berdasarkan warna tertentu. Salah satu struktur utama dalam program yaitu:

Bagian Inisialisasi Library sebagai berikut:

```
1 #include <Wire.h>
2 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
3 #include <DFRobotDFPlayerMini.h>
4 #include <SoftwareSerial.h>
```

3.4 Kalibrasi Sensor

Kalibrasi sensor TCS3200 merupakan tahap penting untuk memastikan bahwa pembacaan warna sesuai dengan nilai warna sebenarnya pada objek. Tanpa kalibrasi, sistem dapat mengalami kesalahan pembacaan akibat pengaruh pencahayaan, jarak objek, ataupun sudut sensor terhadap permukaan warna. Kalibrasi sensor TCS3200 dilakukan menggunakan tiga warna standar referensi, yaitu merah, hijau, dan biru. Setiap warna diuji sebanyak lima kali pada jarak tetap ± 2 cm dari sensor. Nilai frekuensi RGB dicatat dan dihitung rata-rata untuk setiap kanal warna sehingga diperoleh nilai acuan (*baseline*). Nilai acuan ini dijadikan *threshold* dalam proses klasifikasi warna pada tahap pengujian. Dengan proses kalibrasi ini, sistem mampu mengurangi kesalahan pembacaan sensor akibat pengaruh pencahayaan dan sudut objek sehingga hasil deteksi warna menjadi lebih akurat.

4. Pembahasan

4.1. Prototipe sistem

Hasil dari pengembangan prototipe dari sistem yang dikerjakan merupakan gambaran dari implementasi semua komponen yang terpasang dengan benar, sistem diuji dengan memberikan sumber daya dari baterai atau adaptor DC. Jika semua komponen telah berfungsi sesuai dengan program yang ditanamkan, maka alat pendeteksi warna siap untuk digunakan. Berikut adalah hasil visual dari rancang bangun alat pendeteksi warna yang dapat dilihat pada Gambar 3.



(3a)

(3b)

Gambar 3a. Tampak depan alat pendeteksi warna; 3b. Tampak samping alat pendeteksi warna

Pada gambar (3a) menunjukkan tampak depan dari alat pendeteksi warna yang telah dirancang dan dibangun. Pada bagian atas terlihat speaker mini sebagai keluaran suara yang akan menyebutkan hasil deteksi warna, sedangkan pada bagian depan terdapat LCD 16x2 yang berfungsi menampilkan informasi warna dalam bentuk teks. Seluruh komponen dirakit dalam sebuah box untuk melindungi rangkaian elektronik di dalamnya sehingga alat menjadi lebih rapi, praktis, dan mudah digunakan. Sedangkan, pada gambar 3b memperlihatkan tampak samping dari alat pendeteksi warna. Pada sisi samping ini terlihat posisi box yang berfungsi sebagai tempat rangkaian utama serta speaker mini di bagian atas. Selain itu, terlihat pula sensor warna TCS3200 yang dipasang menjorok keluar dan dihubungkan dengan kabel ke mikrokontroler di dalam box. Sensor ini berfungsi menangkap warna dari objek uji yang didekatkan, kemudian hasil deteksinya akan diproses dan ditampilkan melalui LCD serta dikeluarkan dalam bentuk suara melalui speaker.

3.5 Pengujian Alat

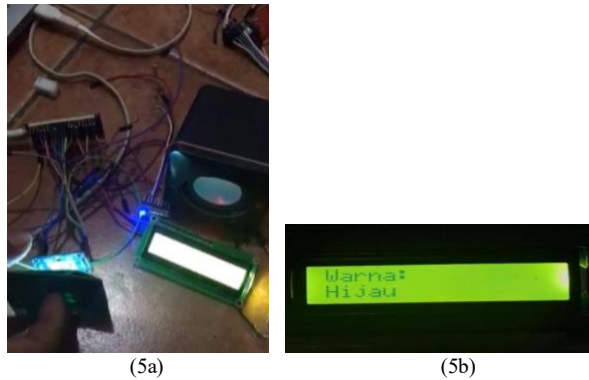
Pada Gambar 4(a) (b), 5(a) (b), 6(a) (b) menunjukkan tampilan LCD ketika alat berhasil mendeteksi objek berwarna merah, hijau dan biru. Informasi hasil deteksi ditampilkan secara visual pada layar LCD dalam bentuk teks dengan format “Warna: Merah”, “Warna: Hijau”, “Warna: Biru”. Tampilan dalam tiga jenis warna ini akan memudahkan pengguna dalam mengetahui warna objek yang sedang diuji, sekaligus menjadi keluaran tambahan selain suara yang diputar melalui speaker. Berikut ini merupakan tampilan alat pendeteksi warna dan cara menghitung akurasi dalam persentase.



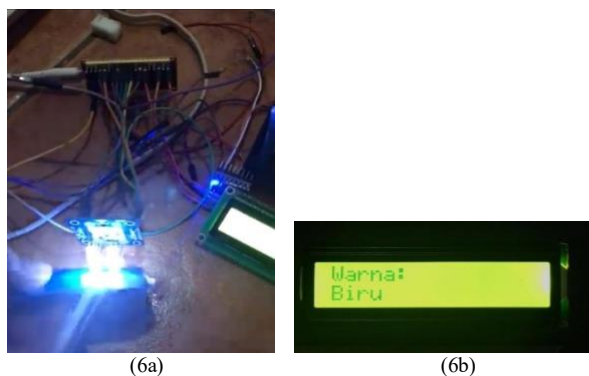
(4a)

(4b)

Gambar 4(a)(b). Alat pendeteksi warna merah



Gambar 5(a)(b). Alat pendeteksi warna hijau



Gambar 6(a)(b). Alat pendeteksi warna biru

Dari hasil percobaan tersebut, dapat dihitung akurasi dari jumlah deteksi warna yang berhasil terbaca dengan benar dibandingkan dengan total percobaan dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{Jumlah Deteksi Benar}}{\text{Jumlah Percobaan Total}} \times 100\%$$

Warna Merah

Jumlah deteksi benar = 5

$$\text{Akurasi Merah} = \frac{5}{5} \times 100\% = 100\%$$

Warna Hijau

Jumlah deteksi benar = 5

$$\text{Akurasi Hijau} = \frac{5}{5} \times 100\% = 100\%$$

Warna Biru

Jumlah deteksi benar = 5

$$\text{Akurasi Biru} = \frac{5}{5} \times 100\% = 100\%$$

Hasil pengujian akurasi menunjukkan bahwa sensor TCS3200 mampu mendeteksi warna dasar merah, hijau, dan biru dengan tingkat keberhasilan 100% pada seluruh jenis output, yaitu LCD, suara, dan telegram. Pengujian dilakukan sebanyak lima kali untuk setiap warna pada jarak deteksi ± 2 cm di bawah sensor, sehingga total percobaan berjumlah 15 kali. Seluruh sampel berhasil dikenali dengan tepat, menandakan bahwa proses kalibrasi sensor berjalan efektif dan algoritma klasifikasi warna telah bekerja secara optimal.

Selain pengujian terhadap warna dasar (merah, hijau, dan biru), sistem juga diuji untuk mendeteksi warna campuran seperti kuning, ungu, dan cyan, dapat dilihat pada gambar 7, 8, dan 9. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana sistem mampu bekerja secara universal dalam mengenali variasi warna

yang lebih kompleks, menyerupai kondisi nyata pada objek sehari-hari. Warna campuran merupakan hasil dari kombinasi dua kanal RGB dominan, sehingga tingkat akurasi bergantung pada sensitivitas sensor dan kualitas algoritma klasifikasi. Misalnya, warna kuning terbentuk dari dominasi kanal merah (R) dan hijau (G), sedangkan cyan adalah perpaduan hijau (G) dan biru (B). Pada penelitian ini, pengujian dilakukan dengan menempatkan sampel warna campuran pada jarak tetap (± 2 cm), kemudian sistem membaca nilai frekuensi dari sensor TCS3200. Hasil pembacaan dibandingkan dengan *threshold* kalibrasi yang telah ditentukan pada tahap awal. Sistem dinyatakan berhasil mengenali warna apabila kombinasi nilai RGB sesuai dengan karakteristik warna campuran pada persamaan berikut:

$$\text{Kuning} : R > T_r \text{ dan } G > T_g \text{ dan } B < T_b$$

$$\text{Cyan} : G > T_g \text{ dan } B > T_b \text{ dan } R < T_r$$

$$\text{Ungu} : R > T_r \text{ dan } B > T_b \text{ dan } G < T_g$$



Gambar 7. Alat pendeteksi warna kuning



Gambar 8. Alat pendeteksi warna ungu



Gambar 9. Alat mendeteksi warna biru

Pengujian warna campuran dilakukan menggunakan 15 sampel objek warna, yang terdiri dari 5 warna kuning, 5 cyan, dan

5 ungu. Setiap sampel diuji sebanyak 3 kali percobaan, sehingga total percobaan adalah:

$$\text{Total pengujian} = 15 \text{ sampel} \times 3 \text{ percobaan} = 45 \text{ pengujian}$$

Dari 45 pengujian tersebut, sistem berhasil mengidentifikasi 38 kali secara benar, sehingga akurasi dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{Jumlah Deteksi Benar}}{\text{Jumlah Total Pengujian}} \times 100\% = \frac{38}{45} \times 100\% = 84,44\% \approx 85\%$$

Jadi, pengujian warna campuran menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi warna kuning dan cyan dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi, yaitu di atas 85%, namun deteksi warna ungu masih memerlukan optimasi karena pengaruh intensitas cahaya yang berubah-ubah. Dengan adanya pengujian warna campuran ini, sistem terbukti lebih universal dan memiliki potensi untuk diterapkan pada objek dunia nyata yang umumnya tidak hanya terdiri dari warna primer.

Pengujian lanjutan direkomendasikan untuk menambah variasi warna turunan seperti magenta, coklat, dan abu-abu agar klasifikasi warna menjadi lebih komprehensif dan adaptif terhadap berbagai kondisi lingkungan.

3.6 Pengujian Perangkat Keras

Pada Tabel 2 sensor berfungsi menangkap intensitas cahaya RGB dari objek dan mengubahnya menjadi sinyal frekuensi. Pengujian dilakukan dengan menempatkan kertas berwarna merah, hijau, dan biru pada jarak ± 2 cm di bawah sensor.

Tabel 2. Pengujian sensor warna TCS3200

No	Parameter yang Diuji	Metode Pengujian	Hasil Pengujian	Ket
1	Deteksi warna merah	Kertas merah di dekatkan ke sensor	Berhasil 5/5 kali	Output frekuensi stabil
2	Deteksi warna hijau	Kertas hijau di dekatkan ke sensor	Berhasil 5/5 kali	Nilai RGB dominan hijau
3	Deteksi warna biru	Kertas biru di dekatkan ke sensor	Berhasil 5/5 kali	Tidak terjadi kesalahan warna
4	Respon waktu	Hitung waktu dari objek di dekatkan hingga data masuk ESP 32	Rata-rata 0,5 detik	Respon <i>real-time</i>

Pengujian selanjutnya ialah pengujian pada Mikrokontroler ESP32 merupakan pusat pengendali sistem. Komponen ini membaca input dari sensor dan mengatur output ke LCD, suara, serta Telegram. Pada tabel 3 dapat dilihat hasil dari pengujian mikrokontroler ESP32.

Tabel 3. Pengujian mikrokontroler ESP32

No	Parameter yang Diuji	Metode Pengujian	Hasil Pengujian	Ket
1	Fungsi pin GPIO	Tes input dari sensor dan output ke LCD, DFPlayer	Seluruh pin berjalan normal	Tidak ada konflik pin
2	Koneksi Wifi	ESP32 menghubungkan	Koneksi stabil	Rssi -60 Dbm (sinyal

3	Pengiriman ke telegram	ke jaringan rumah Uji 10 kali deteksi warna lalu cek pesan terkirim	Terkirim semua < 1 detik	cukup kuat) Tidak ada pesan ganda atau gagal Sistem tetap responsif
4	Stabilitas program	Jalankan alat selama 30 menit non stop	Tidak ngehang / error	

Pada Tabel 4. dibawah ini menjelaskan hasil uji modul DFPlayer Mini sebagai media pemutar audio. Setiap perintah dari ESP32 berhasil dijalankan dengan tepat, file suara dapat diputar sesuai warna yang terdeteksi, serta sinkron dengan output dari LCD dan Telegram. Hal ini menunjukkan DFPlayer Mini dapat diandalkan untuk memberikan informasi warna dalam bentuk suara secara *real-time*.

Tabel 4. Pengujian DFPlayer mini

No	Parameter yang Diuji	Metode Pengujian	Hasil Pengujian	Ket
1	Respon serial dari ESP 32	Perintah kirim suara berdasarkan warna terdeteksi	Berhasil semua 5/5	Respon cepat dan akurat
2	Pemutaran file audio	Uji file warna: merah.mp3, hijau.mp3, biru.mp3	Semua diputar sesuai warna	File di akses dari <i>microSD</i>
3	Sinkronisasi	Apakah suara muncul bersamaan dengan LCD dan telegram	Ya, sinkron <i>real-time</i>	Tidak ada <i>delay</i> antar output

Hasil pengujian pada Tabel 5. memperlihatkan bahwa speaker mampu menghasilkan suara dengan kualitas jelas, tidak pecah, dan tetap terdengar baik pada jarak 1–2 meter. Volume suara berada pada level yang sesuai untuk penggunaan dalam ruangan. Dengan demikian, speaker dapat menyampaikan informasi audio dengan efektif tanpa memerlukan perangkat tambahan.

Tabel 5. Pengujian speaker mini

No	Parameter yang Diuji	Metode Pengujian	Hasil Pengujian	Ket
1	Kualitas suara	Dengarkan suara untuk tiap warna	Suara jelas dan tidak pecah	Daya output cukup untuk ruangan
2	Volume suara	Uji dari jarak 1-2 meter	Masih terdengar jelas	Volume diatur pada level 20-25
3	Kompatibilitas	Langsung terhubung ke DFPlayer tanpa <i>driver</i> ke eksternal	Berfungsi baik	tidak butuh komponen tambahan

Pada Tabel 6. dibawah ini, menampilkan pengujian sistem *IoT* melalui Bot Telegram. Setiap hasil deteksi warna berhasil dikirimkan dalam bentuk pesan teks dengan format yang konsisten dan mudah dipahami pengguna. Waktu pengiriman rata-rata kurang dari 1 detik, dan sistem mampu melakukan reconnect otomatis ketika koneksi Wifi terputus. Hal ini membuktikan

bahwa Bot Telegram dapat berfungsi dengan baik sebagai media notifikasi jarak jauh.

Tabel 6. Pengujian bot telegram

No	Parameter yang Diuji	Metode Pengujian	Hasil Pengujian	Ket
1	Pengiriman pesan	Uji 5 kali deteksi dan cek pesan terkirim	5/5 pesan berhasil	Rata-rata waktu < 1 detik
2	Format pesan	Cek apakah pesan sesuai seperti: "warna: merah"	Format benar dan konsisten	Mudah dibaca pengguna
3	Keberlanjutan koneksi	Putus sambung Wifi, lalu uji kembali	Sistem otomatis <i>reconnect</i>	Tidak perlu <i>reset</i> manual

3.7 Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan terhadap tiga warna dasar yaitu merah, hijau, dan biru. Setiap warna diuji sebanyak lima kali dengan jarak deteksi ± 2 cm dari sensor warna TCS3200. Keberhasilan deteksi warna kemudian diukur dari tiga jenis output: tampilan LCD, suara melalui speaker, dan pesan Telegram.

Tabel 7. Hasil pengujian

Warna	Jumlah Uji	Jarak (Cm)	Akurasi LCD (%)	Akurasi Suara (%)	Akurasi Telegram (%)	Rata-Rata Waktu Respon
Merah	5 Kali	2 Cm	100%	100%	100%	2,3 Detik
Hijau	5 Kali	2 Cm	100%	100%	100%	2,1 Detik
Biru	5 Kali	2 Cm	100%	100%	100%	1,9 Detik

Semua warna yang diuji berhasil dideteksi dengan tingkat keberhasilan 100% untuk ketiga jenis output. Ini menunjukkan bahwa sistem sangat responsif dan akurat dalam mendeteksi warna objek pada jarak ± 2 cm dalam kondisi pencahayaan normal.

3.8 Metode Pengujian Kepuasan Pengguna

Selain melakukan pengujian perangkat keras, penelitian ini juga melakukan pengujian kepuasan pengguna dengan tujuan mengetahui tingkat penerimaan dan kenyamanan bagi pengguna buta warna parsial. Metode yang digunakan adalah *skala likert*, dimana responden dimintai menilai pernyataan pada kuesioner yang diberikan dengan empat pilihan jawaban, yaitu: Sangat Setuju (SS) dengan bobot nilai 4, Setuju (S) dengan bobot nilai 3, Netral (N) dengan bobot nilai 2, Tidak Setuju (TS) dengan bobot nilai 1. Berikut adalah tabel hasil kepuasan pengguna.

Tabel 8. Hasil Pengujian Kepuasan Pengguna

No	Pertanyaan	Persentase Kepuasan Pengguna	SS	S	N	TS
1	Alat ini mudah digunakan tanpa keahlian khusus	57,1	28,6	14,3	0	
2	Ukuran dan bentuk alat cukup praktis	50	50	0	0	

No	Pertanyaan	Persentase Kepuasan Pengguna	SS	S	N	TS
3	untuk digunakan pada LCD jelas dan mudah dibaca	57,1	42,9	0	0	
4	Suara yang dihasilkan speaker jelas dan mudah dimengerti	50	50	0	0	
5	Notifikasi warna melalui telegram bermanfaat bagi pengguna	35,7	50	14,3	0	
6	Alat ini dapat membantu penyandang buta warna parsial dalam mengenali warna	57,1	42,9	0	0	
7	Informasi yang diberikan alat bermanfaat untuk aktivitas sehari-hari	21,4	71,4	7,1	0	
8	Teknologi ini berpotensi dikembangkan lebih lanjut untuk kebutuhan masyarakat	35,7	57,1	7,1	0	
9	Saya merasa puas dengan alat pendeteksi warna ini	42,9	42,9	14,3	0	

Hasil perhitungan yang didapat ialah:

$$SS = 8 \text{ orang} \rightarrow 8 \times 4 = 32$$

$$S = 5 \text{ orang} \rightarrow 5 \times 3 = 15$$

$$N = 1 \text{ orang} \rightarrow 1 \times 2 = 2$$

$$TS = 0 \text{ orang} \rightarrow 0 \times 1 = 0$$

$$\text{Skor Total} = (\text{Jumlah SS} \times 4) + (\text{Jumlah S} \times 3) + (\text{Jumlah N} \times 2) + (\text{Jumlah TS} \times 1) \\ = 32 + 15 + 2 + 0 = 49$$

$$\text{Skor Maksimum} = \text{Jumlah responden} \times \text{Skor tertinggi} \\ = 14 \times 4 = 56$$

$$\text{Persentase Kepuasan Pengguna} = \frac{\text{Skor Total}}{\text{Skor Maksimum}} \times 100\% \\ = \frac{49}{56} \times 100\% = 87,5\%$$

Dari hasil pengujian yang melibatkan 14 responden, dapat disimpulkan bahwa alat pendeteksi warna berbasis ESP32 dan sensor warna TCS3200 ini mendapat respon yang sangat baik dari pengguna. Mayoritas indikator memperoleh penilaian positif di atas 80%, dengan skor tertinggi pada indikator tampilan LCD dan fungsi utama membantu penyandang buta warna parsial. Sementara itu, indikator dengan skor relatif lebih rendah adalah manfaat informasi untuk aktivitas sehari-hari, meski tetap masuk kategori Baik. Secara keseluruhan, alat ini telah terbukti mudah digunakan, praktis, dan bermanfaat sesuai tujuan penelitian.

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, sistem deteksi warna *real-time* berbasis *Internet of Things (IoT)* ini berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan baik melalui integrasi perangkat keras dan perangkat lunak yang bekerja secara otomatis dan responsif. Sensor warna TCS3200 mampu mendeteksi warna objek secara akurat, sementara mikrokontroler ESP32 berperan sebagai pusat pemrosesan data untuk mengklasifikasikan warna serta mengatur tiga jenis output utama. Hasil deteksi kemudian ditampilkan melalui LCD 16x2, dikeluarkan dalam bentuk audio melalui modul DFPlayer Mini dan speaker mini, serta dikirimkan sebagai pesan teks melalui aplikasi telegram.

Berdasarkan pengujian terhadap tiga warna dasar (merah, hijau, dan biru), sistem menunjukkan akurasi 100% pada seluruh jenis output, dengan respons yang sinkron dan tanpa jeda yang signifikan. Selain itu, integrasi file audio berbahasa Indonesia dalam format MP3 yang disimpan pada microSD memungkinkan penyampaian informasi warna secara jelas dan *real-time*, sehingga sangat membantu penyandang buta warna parsial dalam mengenali warna dengan lebih mudah. Secara keseluruhan, sistem ini telah memenuhi tujuan penelitian dengan menyediakan alat bantu yang efektif, interaktif, dan mudah digunakan untuk mendukung kebutuhan pengguna dengan keterbatasan penglihatan warna.

Meskipun sistem telah menunjukkan kinerja yang sangat baik, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, jarak deteksi optimal hanya pada ± 2 cm, sehingga kurang fleksibel untuk penggunaan jarak jauh atau kondisi lingkungan yang tidak stabil. Kedua, uji kepuasan pengguna masih terbatas pada jumlah responden yang relatif sedikit (hanya 14 responden). Sebagai arah penelitian selanjutnya, sistem ini dapat dikembangkan dengan:

1. Penambahan algoritma klasifikasi warna lanjutan (misalnya HSV atau *machine learning*) agar mampu mendeteksi lebih banyak variasi warna.
2. Peningkatan akurasi sensor dan evaluasi pada berbagai kondisi pencahayaan, baik indoor maupun outdoor.
3. Integrasi aplikasi *mobile* atau *wearable device*, sehingga alat lebih portabel dan mudah digunakan di berbagai situasi.
4. Pengujian dengan jumlah responden yang lebih besar, termasuk penyandang buta warna dari berbagai kategori usia dan tingkat keparahan.

Dengan pengembangan tersebut, sistem deteksi warna ini berpotensi menjadi teknologi asistif yang lebih adaptif, inklusif, dan siap diimplementasikan pada skala yang lebih luas.

1. Kontribusi Penulis

Nila Pratiwi berperan dalam konseptualisasi penelitian, perancangan metodologi, analisis formal, serta supervisi keseluruhan kegiatan penelitian. Andre Nurdiansah berkontribusi pada pengembangan perangkat lunak, pengujian sistem, dan kurasi data hasil eksperimen. Proses validasi dilakukan bersama oleh Nila Pratiwi dan Andre Nurdiansah untuk memastikan keakuratan hasil yang diperoleh. Penulisan draf awal artikel dilakukan oleh Nila Pratiwi, sementara proses peninjauan dan penyuntingan akhir dilakukan bersama. Visualisasi sistem dan implementasi IoT juga dikembangkan oleh Nila Pratiwi dan Andre Nurdiansah.

2. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada program studi Teknik Elektro Universitas Cendekia Abditama atas supportnya sehingga penulis bisa menyelesaikan penelitian ini dengan baik.

3. Referensi

- [1] S. Syafiqah Nur Fadiah, "Peran Warna Dalam Meningkatkan Daya Tarik Visual Logo," *Jurnal Seni Rupa dan Desain*, vol. 3, no. 2, pp. 126-134, 2024.

- [2] A. B. G. M. i. N. A. P. M. A. R. P. E. N. Lourenzo Mourin, "Eksplorasi Pengaruh Warna Terhadap Perkembangan Psikologi dan Mental Anak di SDN Kalirungkut 1 Surabaya," *Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Sosial*, vol. 2, no. 5, pp. 158-161, 2024.
- [3] H. A'yun Afrohah, "Studi Kasus Penderita Buta Warna di Kota Semarang," *Biosains: Jurnal Ilmiah Biologi*, vol. 4, no. 1, pp. 1-5, 2024.
- [4] I. W. M. M. P. M. Y. A. Ni Komang Ayu Trisnayanti Yasa, "Defek Penglihatan Warna: Mengenal Perbedaan Buta Warna Kongenital dan Didapat," *Jurnal Kedokteran Unram*, vol. 11, no. 3, pp. 1021-1027, 2021.
- [5] G. A. Nurahman, "Perspektif Penyandang Buta Warna Parsial Terhadap Kehidupan Sehari-Hari Sebagai Ide Penciptaan Karya Seni Grafis," Institut Seni Indonesia Yogyakarta, Yogyakarta, 2024.
- [6] D. Mahendra, "Uji Sensitivitas Sensor TCS230 Berbasis Arduino UNO Sebagai Alat Pendeteksi Warna Bagi Penderita Buta Warna," *Inovasi Fisika Indonesia*, pp. 43-51, 2021.
- [7] T. P. RSST, "Kenali Gejala dan Tipe Buta Warna," 7 Oktober 2021. [Online]. Available: <https://rsupsoeradji.id/kenali-gejala-dan-tipe-buta-warna/>. [Diakses 7 Oktober 2021].
- [8] D. News, "Fahri 'Gagal Bintang' karena Buta Warna, Kapolda Metro: Akan Dievaluasi," 01 Juni 2022.
- [9] L. A. E. T. U. Rike Oktarianti, "Color Blind Prevalence of Elementary Student in Sumbersari Subdistrict, Jember," *Bio Edukasi*, vol. 20, no. 1, pp. 36-41, 2022.
- [10] F. A. F. D. A. W. K. Anggara Permana Putra, "Penerapan Koreksi Warna Pada Citra Bagi Penyandang Buta Warna Parsial," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 8, no. 1, pp. 1-4, 2021.
- [11] T. Huwaida, "Optimisme pada Mahasiswa Laki-Laki Buta Warna Parsial," *Character: Jurnal Penelitian Psikologi*, vol. 10, no. 02, pp. 306-328, 2023.
- [12] E. F. D. I. S. Syahril Saini, "Evaluasi Pemeriksaan Tes Buta Warna Menggunakan Metode Ishihara Berbasis Google Form Menggunakan Buku Ishihara," *Indonesian Journal of Pharmaceutical Education (e-Journal)*, vol. 2, no. 1, pp. 42-51, 2022.
- [13] W. Ramadhani, Sistem Diagnosis Penyakit Buta Warna Menggunakan Metode Ishihara dan Cambridge dengan Algoritma Cosine Similarity Berbasis Multiplatform, Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, 2023.
- [14] A. P. Dila, "Implementasi Metode Convolution Neural Network (CNN) Untuk Deteksi Warna Objek Real-Time Sebagai Solusi Bagi Penyandang Buta Warna," ITERA, Bandar Lampung, 2025.
- [15] A. P. Adyani, "Koreksi Warna Pada Citra untuk Penderita Buta Warna Menggunakan Representasi Warna LMS dan CNN," UPN Veteran Jawa Timur, Surabaya, 2025.
- [16] D. A. A. W. N. D. M. V. Yusi Isnadia, "Robot Pembeda Warna Otomatis Berbasis Arduino Dengan Output Suara," *Journal Innovation Informatics*, vol. 1, no. 1, pp. 56-65, 2021.
- [17] J. E. C. Maranti Nainggolan, "Rancang Bangun Alat Bantu Deteksi Warna Bagi Penderita Buta Warna Dengan Output Suara Berbasis Internet of Things (IoT)," *Jurnal Quancam*, vol. 1, no. 2, pp. 21-26, 2023.

Halaman ini sengaja dikosongkan