

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Pengenalan Masalah

Buta warna atau defisiensi penglihatan warna (*color vision deficiency*) adalah kondisi yang menyebabkan seseorang kesulitan membedakan warna tertentu. Kondisi ini umumnya bersifat bawaan sejak lahir (*kongenital*) akibat mutasi genetik yang diwariskan secara turun-temurun. Secara global, buta warna memengaruhi sekitar 8% pria dan 0,5% wanita dari populasi dunia[1]. Selain faktor genetik, defisiensi penglihatan warna juga dapat dipicu oleh cedera mata, paparan bahan kimia, atau efek samping obat-obatan[2]. Tingkat keparahannya bergantung pada jenis dan jumlah sel kerucut di retina yang mengalami disfungsi, sehingga dampaknya dapat bervariasi pada setiap individu.

Dalam konteks nasional, berdasarkan Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) tahun 2007 yang dilakukan oleh Departemen Kesehatan Republik Indonesia, prevalensi buta warna di Indonesia dilaporkan sebesar 0,7% dari populasi (berdasarkan keluhan responden). Beberapa provinsi tercatat memiliki prevalensi di atas angka nasional tersebut, antara lain Nanggroe Aceh Darussalam, Sumatera Barat, Sumatera Selatan, Bangka Belitung, DKI Jakarta, dan Nusa Tenggara Barat[3]. Meskipun data ini sudah cukup lama, hasilnya dapat digunakan sebagai gambaran umum bahwa masalah buta warna juga terjadi pada masyarakat Indonesia, dan penting untuk mendapatkan perhatian.

Dalam kehidupan sehari-hari, penderita buta warna menghadapi berbagai tantangan, terutama dalam aktivitas yang memerlukan identifikasi warna, seperti membaca peta, memilih pakaian, memahami kode warna dalam dokumen atau desain, serta menginterpretasikan sinyal lalu lintas. Kesulitan ini tidak hanya berdampak pada kehidupan sosial mereka, tetapi juga dapat memengaruhi karier profesional. Profesi yang sangat bergantung pada persepsi warna, seperti desain grafis, teknik listrik, dan medis (terutama dalam bidang patologi atau bedah), sering kali menjadi tantangan bagi individu dengan defisiensi penglihatan warna[4].

Dari segi psikologis, penderita buta warna sering kali mengalami perasaan rendah diri dan kurang percaya diri, terutama ketika menghadapi lingkungan sosial yang tidak memahami kondisi mereka. Stigma sosial juga menjadi tantangan tersendiri, di mana penderita sering dianggap "tidak teliti" atau "kurang mampu dalam mengenali warna dengan baik." Hal ini dapat menyebabkan mereka enggan mengakui kondisi mereka dan bahkan mengalami diskriminasi dalam dunia pendidikan maupun pekerjaan.

Lebih lanjut, berdasarkan studi dari Psyence (2024), penderita buta warna menghadapi tantangan psikologis dalam menyesuaikan diri dengan lingkungan yang mengandalkan warna sebagai bentuk komunikasi visual. Mereka sering merasa terpinggirkan ketika harus bergantung pada bantuan orang lain untuk memahami informasi berbasis warna. Hal ini dapat meningkatkan tingkat stres dan kecemasan, terutama dalam situasi yang menuntut pengambilan keputusan cepat berdasarkan persepsi warna[5].

Menurut tinjauan integratif dalam "The Impacts of Abnormal Color Vision on People's Life," dampak buta warna meluas hingga aspek sosial dan ekonomi. Banyak penderita menghadapi keterbatasan dalam pilihan karier, terutama di bidang-bidang yang sangat bergantung pada persepsi warna, seperti desain grafis, kedokteran, teknik listrik, dan pekerjaan di industri kreatif. Beberapa negara bahkan memiliki regulasi yang membatasi individu dengan buta warna dalam profesi tertentu. Akibatnya, banyak penderita yang harus mencari alternatif karier atau mengembangkan strategi kompensasi untuk mengatasi keterbatasan mereka[6]. *Stakeholder* yang terlibat dalam permasalahan ini adalah:

1. Penderita Buta Warna, yang mengalami kesulitan dalam mengenali warna serta menghadapi tantangan dalam kehidupan sehari-hari.
2. Lingkungan Sosial (Keluarga, Teman, Rekan Kerja, dan Masyarakat Umum), yang sering kali tidak menyadari keterbatasan penderita buta warna dan bagaimana mereka dapat berkomunikasi dengan cara yang lebih inklusif.

3. Pengembang Teknologi dan Peneliti, yang berpotensi menciptakan alat atau sistem berbasis teknologi untuk membantu penderita buta warna mengenali warna dengan lebih efektif dan efisien.
4. Institusi Pendidikan & Dunia Kerja, pihak yang dapat menerapkan kebijakan inklusif untuk mendukung penderita buta warna.

Jika permasalahan buta warna dapat diatasi, berbagai manfaat akan dirasakan oleh seluruh pihak yang terlibat. Penderita buta warna akan lebih percaya diri dalam berkomunikasi dan menjalani aktivitas sehari-hari tanpa rasa canggung atau takut salah dalam mengenali warna. Lingkungan sosial akan menjadi lebih inklusif dengan meningkatnya pemahaman masyarakat terhadap kondisi ini, sehingga interaksi sosial dapat berlangsung tanpa hambatan atau diskriminasi. Selain itu, sektor pendidikan dan dunia kerja dapat lebih adaptif dalam menyajikan materi atau sistem yang tidak bergantung sepenuhnya pada warna sebagai elemen komunikasi utama. Dengan adanya perubahan ini, penderita buta warna akan memiliki akses yang lebih setara dalam berbagai aspek kehidupan, meningkatkan kesejahteraan mereka, serta membuka peluang yang lebih luas dalam bidang akademik dan profesional.

1.1.1 Informasi Pendukung

Buta warna adalah gangguan persepsi warna akibat kelainan pada fotopigmen sel kerucut di retina, yaitu L-cone (merah), M-cone (hijau), dan S-cone (biru), yang berfungsi menangkap panjang gelombang cahaya. Ketika satu atau lebih fotopigmen ini tidak berfungsi atau mengalami mutasi, kemampuan membedakan warna terganggu. Kondisi ini dapat diklasifikasikan menjadi tiga kategori utama: trikromatik anomali, dikromatik, dan monokromatik.

1. Trikromatik Anomali

Trikromatik anomali terjadi ketika ketiga jenis sel kerucut masih ada, namun salah satunya mengalami sensitivitas yang terganggu. Ini mencakup:

1. Deuteranomali: Gangguan ini terjadi akibat defisiensi pada M-cone yang bertanggung jawab terhadap persepsi warna hijau. Absorpsi M-cone bergeser ke panjang gelombang yang lebih tinggi, sehingga

individu memerlukan intensitas warna hijau yang lebih kuat untuk menggabungkannya dengan warna kuning dalam spektrum warna normal.

2. Protanomali: Disebabkan oleh kelemahan pada L-cone, yang bertanggung jawab terhadap persepsi warna merah. Akibatnya, individu mengalami kesulitan dalam mengenali warna merah atau membedakannya dengan warna lain. Perubahan ini menyebabkan peningkatan kebutuhan warna merah agar tampak sebanding dengan warna kuning pada individu normal.
3. Tritanomali: Kelainan yang jarang terjadi akibat pergeseran sensitivitas S-cone, yang bertanggung jawab terhadap warna biru. Individu dengan tritanomali mengalami kesulitan dalam membedakan warna biru dari hijau atau kuning, karena panjang gelombang biru tampak lebih menyerupai warna lainnya dalam persepsi mereka.

2. Dikromatik

Dikromatik merupakan kondisi di mana individu hanya memiliki dua jenis fotopigmen kerucut yang berfungsi, sehingga mereka mengalami kesulitan yang lebih signifikan dalam membedakan warna tertentu.



Gambar 1. 1 Penglihatan pada (a) normal, (b) [7]

Jenis-jenis dikromatik meliputi:

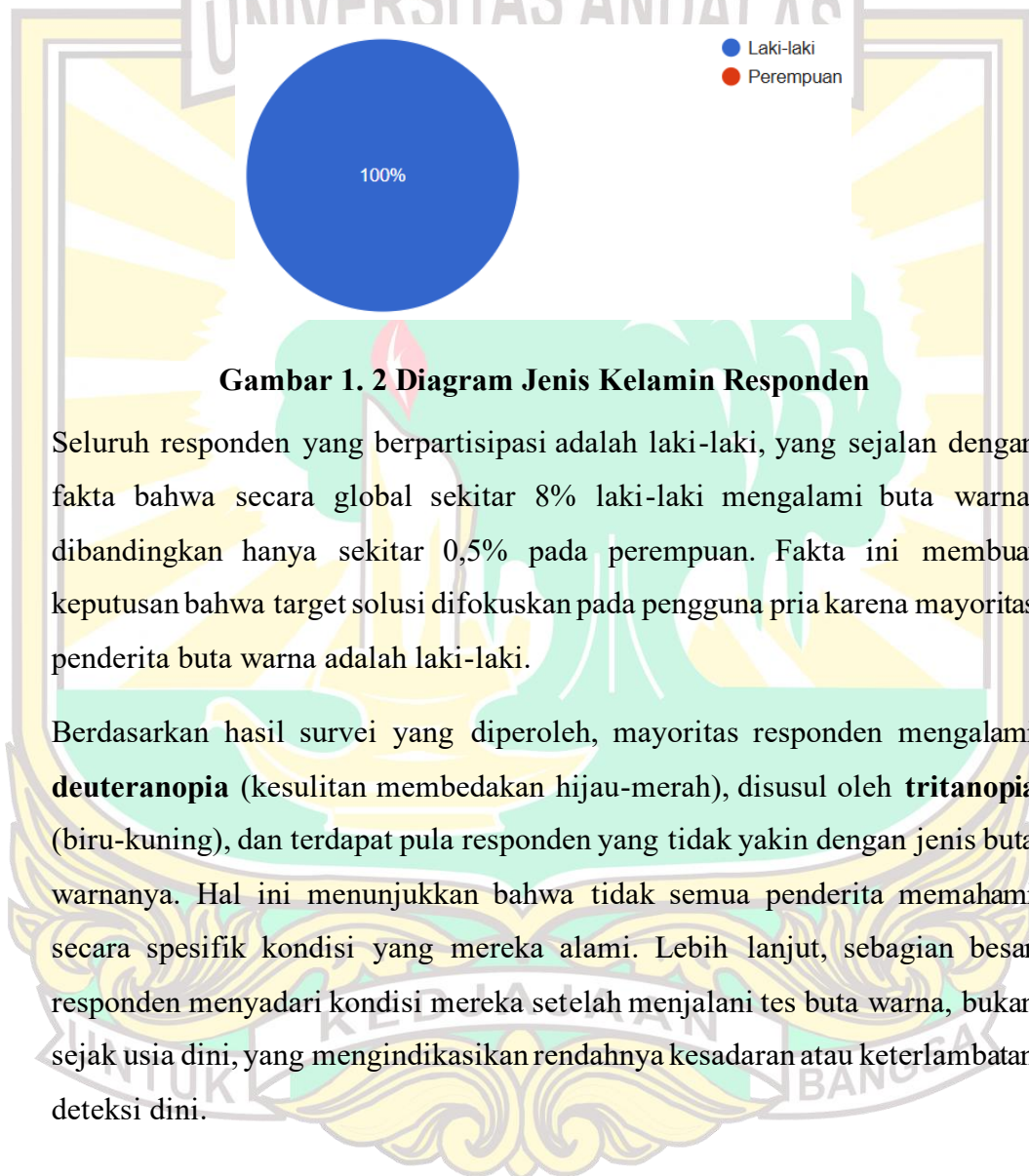
1. Protanopia: Hilangnya L-cone yang menyebabkan ketidakmampuan untuk membedakan warna merah dengan baik. Individu dengan protanopia sering kali melihat warna merah sebagai warna yang lebih gelap atau keabu-abuan, serta kesulitan dalam membedakan warna merah dan hijau.
 2. Deutanopia: Kekurangan M-cone, yang menyebabkan individu tidak dapat mengenali warna hijau dengan baik. Akibatnya, spektrum warna merah-hijau tampak serupa dan sulit dibedakan.
 3. Tritanopia: Kondisi langka di mana S-cone tidak berfungsi, menyebabkan individu kesulitan membedakan warna biru dan kuning.
3. Monokromatik (Akromatopsia)

Monokromatik adalah bentuk buta warna yang paling parah, di mana individu hanya memiliki satu jenis fotopigmen kerucut atau bahkan tidak memiliki sel kerucut yang berfungsi sama sekali. Ini menyebabkan individu hanya dapat melihat dalam skala abu-abu tanpa persepsi warna. Monokromatik terdiri dari dua jenis utama:

1. Monokromatisme Sel Batang (Rod Monochromatism): Disebut juga sebagai akromatopsia, kondisi ini terjadi ketika seluruh sel kerucut tidak berfungsi, sehingga individu hanya bergantung pada sel batang untuk melihat. Gejala umum meliputi fotofobia, penglihatan buram, serta nistagmus. Insidens kondisi ini sekitar 1 dalam 30.000 individu dan diwariskan secara autosomal resesif.
2. Monokromatisme Sel Kerucut (Cone Monochromatism): Individu masih memiliki beberapa sel kerucut yang berfungsi, tetapi hanya satu jenis pigmen yang aktif. Hal ini menyebabkan kesulitan dalam membedakan warna, meskipun penglihatan mereka tidak seburam individu dengan monokromatisme sel batang[7].

Sebagai bagian dari upaya untuk memahami pengalaman langsung dan kebutuhan penderita buta warna, saya telah melakukan survei berjudul "Survei Pengalaman dan Kebutuhan Penderita Buta Warna dalam Mengenali Warna Sehari-hari". Survei ini bertujuan untuk mengidentifikasi tantangan yang

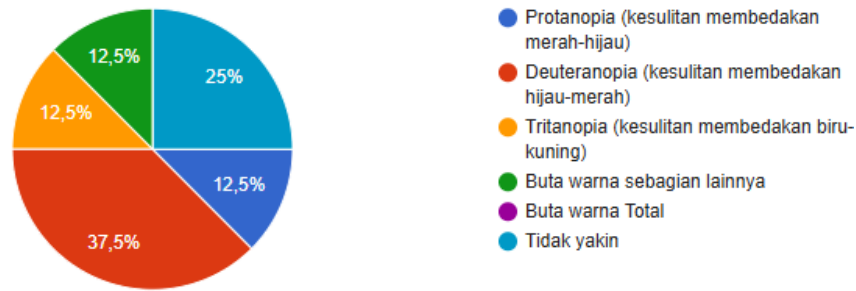
dihadapi penderita dalam aktivitas harian serta mengumpulkan preferensi mereka terhadap solusi teknologi yang dapat dikembangkan. Survei dilakukan secara daring oleh saya sendiri, melibatkan komunitas penderita buta warna di Facebook dan beberapa teman yang mengalami defisiensi penglihatan warna atau buta warna parsial, dari bulan Februari hingga April 2025, dengan total responden sebanyak 8 orang yang mencakup berbagai jenis buta warna.



Gambar 1. 2 Diagram Jenis Kelamin Responden

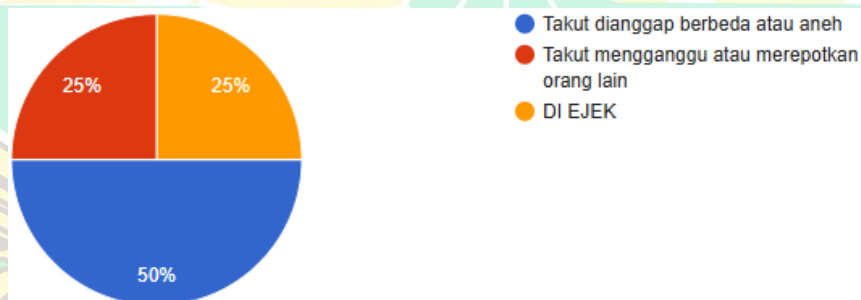
Seluruh responden yang berpartisipasi adalah laki-laki, yang sejalan dengan fakta bahwa secara global sekitar 8% laki-laki mengalami buta warna, dibandingkan hanya sekitar 0,5% pada perempuan. Fakta ini membuat keputusan bahwa target solusi difokuskan pada pengguna pria karena mayoritas penderita buta warna adalah laki-laki.

Berdasarkan hasil survei yang diperoleh, mayoritas responden mengalami **deutanopia** (kesulitan membedakan hijau-merah), disusul oleh **tritanopia** (biru-kuning), dan terdapat pula responden yang tidak yakin dengan jenis buta warnanya. Hal ini menunjukkan bahwa tidak semua penderita memahami secara spesifik kondisi yang mereka alami. Lebih lanjut, sebagian besar responden menyadari kondisi mereka setelah menjalani tes buta warna, bukan sejak usia dini, yang mengindikasikan rendahnya kesadaran atau keterlambatan deteksi dini.



Gambar 1. 3 Diagram Jenis Buta Warna Responden

Dalam kehidupan sehari-hari, lebih dari setengah responden menyatakan sering atau selalu mengalami kesulitan dalam mengenali atau menyebutkan warna, terutama saat memilih pakaian, membaca grafik, menjelaskan warna, serta saat berada di ruang publik. Ketika ditanya mengenai aspek psikologis, beberapa responden mengaku pernah merasa malu atau enggan mengakui kondisi mereka karena takut dianggap berbeda, merepotkan, atau tidak ingin dikasihani. Hal ini memperkuat permasalahan utama dalam Complex Engineering Problem (CEP) yang diangkat, yaitu sulitnya penderita buta warna mengenali dan menyebutkan warna sering menyebabkan kesalahpahaman dalam interaksi sosial sehari-hari, membuat mereka malu atau enggan mengakui kondisinya.



Gambar 1. 4 Diagram Dampak Psikologis yang dirasakan Responden

Terkait solusi, meskipun sebagian responden telah menggunakan metode bantu seperti bantuan orang lain, pola warna, atau aplikasi digital, terdapat pula yang belum menemukan cara yang efektif. Ketertarikan terhadap solusi baru cukup tinggi, mayoritas menyatakan sangat tertarik untuk menggunakan alat bantu jika tersedia solusi yang nyaman dan efektif. Selain itu, preferensi terhadap bentuk alat bantu juga menunjukkan kecenderungan pada perangkat yang tidak

mencolok, nyaman digunakan di tempat umum, dan tetap praktis dalam berbagai situasi, seperti kacamata pintar atau alat tersembunyi dalam pakaian.

Hasil survei ini menegaskan bahwa pengembangan solusi berbasis teknologi, baik melalui pendekatan computer vision, atau wearable system harus memperhatikan aspek teknis (akurasi dan kecepatan identifikasi warna), kenyamanan pemakaian, serta sensitivitas sosial terhadap stigma. Dengan kata lain, solusi yang ditawarkan tidak hanya harus tepat secara fungsional, tetapi juga inklusif dan humanistik dalam mendukung aktivitas harian penderita buta warna.

Berbagai solusi telah dikembangkan untuk membantu penderita buta warna dalam mengenali dan membedakan warna. Salah satu solusi yang paling terkenal adalah kacamata buta warna, seperti EnChroma Glasses.



Gambar 1. 5 Derby Kaca Mata EnChroma [8]

Kacamata ini dirancang untuk meningkatkan persepsi warna bagi penderita buta warna merah-hijau dengan menyaring panjang gelombang tertentu agar warna tampak lebih jelas. Namun, solusi ini memiliki keterbatasan karena hanya efektif untuk penderita buta warna merah-hijau dan tidak membantu penderita buta warna biru-kuning atau monokromatik. Selain itu, harga kacamata EnChroma relatif mahal, sehingga tidak semua penderita dapat mengaksesnya[8].

Beberapa penelitian juga telah dilakukan untuk mengembangkan alat bantu bagi penderita buta warna. Salah satunya adalah penelitian "Rancang Bangun Alat Bantu Deteksi Warna Bagi Penderita Buta Warna Dengan Output Suara Berbasis Internet of sThings (IoT)", yang mengembangkan alat pendeteksi

warna menggunakan sensor warna TCS3200 dan mikrokontroler NodeMCU ESP-8266. Sensor TCS3200 bekerja dengan mengubah intensitas cahaya yang diterima menjadi sinyal frekuensi, yang kemudian diproses oleh mikrokontroler untuk menentukan warna dari objek yang terdeteksi. Namun, solusi ini masih bersifat terbatas karena hanya menyediakan informasi warna secara sederhana tanpa mempertimbangkan faktor lingkungan yang dapat memengaruhi persepsi warna[9].

Selain itu, penelitian "Analisis Usability Aplikasi Pendeteksi Warna untuk Membantu Penyandang Buta Warna dalam Mendeteksi Warna Pakaian Menggunakan Metode USE Questionnaire" mengevaluasi efektivitas aplikasi pendeteksi warna dalam membantu penderita buta warna dalam kehidupan sehari-hari. Meskipun aplikasi berbasis smartphone memberikan kemudahan akses, pengguna masih harus secara aktif mengarahkan kamera ke objek untuk mengenali warna, yang dapat menjadi kendala dalam situasi tertentu[10].

Teknologi berbasis kecerdasan buatan juga mulai diterapkan dalam deteksi warna. Salah satu pendekatan yang telah dikembangkan adalah penggunaan metode Convolutional Neural Network (CNN) seperti YOLO (You Only Look Once) untuk mengenali warna dalam berbagai kondisi pencahayaan. Teknologi ini telah digunakan dalam penelitian "Deteksi Kematangan Buah Pepaya Menggunakan Algoritma YOLO Berbasis Android", yang menunjukkan potensi CNN dalam mengklasifikasikan objek berdasarkan warna[11].

1.1.2 Analisi Masalah

Berikut pembahasan masalah yang diajukan dalam beberapa aspek:

1. Aspek Kesehatan (Mental): Penderita buta warna sering mengalami kesulitan dalam mengenali dan menyebutkan warna, yang dapat menyebabkan kesalahpahaman dalam interaksi sosial. Hal ini dapat memicu perasaan frustrasi, malu, atau menurunkan rasa percaya diri.
2. Aspek Ekonomi: Buta warna dapat membatasi pilihan profesi, terutama di bidang yang memerlukan akurasi penglihatan warna, seperti desain grafis, teknik listrik, dan penerbangan. Regulasi ketenagakerjaan juga membatasi akses penderita ke beberapa profesi. Selain itu, solusi yang tersedia, seperti kacamata koreksi warna, masih relatif mahal dan sulit dijangkau oleh banyak orang.
3. Aspek Sosial: Kurangnya pemahaman masyarakat tentang buta warna sering menimbulkan stigma dan kesalahpahaman. Penderita mungkin dianggap ceroboh saat salah mengidentifikasi warna.

1.1.3 Kebutuhan yang harus dipenuhi

Kebutuhan yang harus dipenuhi dari solusi yang diajukan adalah sebagai berikut:

1. Solusi harus mampu mengidentifikasi warna dengan akurat, sehingga dapat memberikan informasi yang sesuai dalam berbagai kondisi pencahayaan.
2. Solusi harus praktis dan mudah digunakan, tanpa memerlukan perangkat tambahan yang kompleks agar dapat diterapkan dalam kehidupan sehari-hari.
3. Solusi harus terjangkau dan mudah didapatkan, sehingga dapat diakses oleh lebih banyak penderita buta warna tanpa bergantung pada teknologi yang terlalu mahal.

1.1.4 Tujuan

Berdasarkan analisis masalah dan kebutuhan yang telah diidentifikasi, tujuan dari penyelesaian masalah adalah merumuskan solusi yang dapat membantu penderita buta warna dalam mengenali dan memahami warna secara lebih baik dalam aktivitas sehari-hari, tanpa menimbulkan rasa malu atau ketidaknyamanan dalam interaksi sosial. Solusi yang dikembangkan diharapkan mampu mendeteksi warna secara akurat dan memberikan umpan balik yang intuitif dan mudah dipahami, serta dirancang dengan mempertimbangkan aspek kenyamanan, estetika, dan tidak mencolok secara visual. Metode yang digunakan juga harus mampu beroperasi secara efisien dalam berbagai kondisi pencahayaan dan lingkungan, serta dapat diimplementasikan dalam bentuk perangkat yang praktis dan terjangkau.



1.2 Solusi

1.2.1 Karakteristik Solusi

Berdasarkan permasalahan tersebut, berikut beberapa fitur penting yang perlu ada pada solusi yang ditawarkan.

1. Fitur Dasar

a. *Sensing Capabilities*

Solusi memiliki kemampuan untuk mendeteksi dan mengidentifikasi warna secara akurat dalam berbagai kondisi pencahayaan.

b. *Feedback Mechanism*

Memiliki sistem umpan balik yang jelas kepada pengguna, seperti melalui suara, tampilan visual, atau getaran.

c. *Usability and Practicality*

Memiliki desain yang praktis, ringan, dan mudah digunakan tanpa mengganggu aktivitas sehari-hari.

d. *Data Processing*

Masing masing solusi harus dapat mengolah data sensor secara efisien dan cepat, dengan mempertimbangkan performa sistem seperti waktu respons (delay).

e. *Metode Komputasi*

Masing-masing solusi yang diusulkan harus memiliki metode komputasi yang diperlukan untuk memproses data sensor secara efektif, mengidentifikasi warna, dan menghasilkan umpan balik yang sesuai bagi pengguna.

2. Fitur Tambahan

a. *Low Power Consumption*

Solusi memiliki efisiensi daya yang bagus agar dapat digunakan dalam jangka waktu lama tanpa sering mengisi ulang daya.

b. Low Cost

Sistem yang dikembangkan memiliki batasan biaya produksi di bawah Rp.6.000.000.

c. Device Integration

Memiliki dukungan konektivitas *wireless* untuk meningkatkan pengalaman pengguna.

d. Desain yang Tidak Mencolok

Solusi tidak hanya praktis, tetapi juga menjaga keseimbangan antara fungsionalitas dan penampilan.

e. Completed In Less Than 6 Month

Solusi yang ditawarkan harus dapat diselesaikan dalam waktu kurang dari 6 bulan.

1.2.2 Usulan Solusi

1. Solusi 1: Smart Glasses dengan Sistem Pengenalan Warna Berbasis Computer Vision

Smart glasses dengan sistem pengenalan warna berbasis Computer Vision menggunakan Convolutional Neural Network (CNN) dirancang untuk membantu penderita buta warna dalam mengenali warna di sekitarnya secara real-time. Perangkat ini bekerja dengan menangkap gambar menggunakan kamera mini yang dipasang pada bagian depan bingkaiacamata. [12]

Kamera ini bertugas merekam gambar dari objek di depan pengguna dan mengirimkan data ke unit pengolah utama. Di bagian kanan dan kiri bingkaiacamata, terdapat ruang untuk speaker kecil, sementara bingkai melengkung ke belakang kepala untuk menampung mikrokontroler dan sumber daya, yang mengatur komunikasi antara kamera dan unit pengolah utama. Data gambar dari kamera dikirim tanpa kabel melalui mikrokontroler ke mikrokontroler lain yang terhubung dengan pusat pengolahan data.

Setelah gambar diterima oleh unit pengolah utama, objek yang ingin diketahui warnanya akan dideteksi menggunakan teknik pembingkai (bounding box), dengan pendekatan pengenalan objek berbasis algoritma deteksi objek yang menggunakan CNN. Pendekatan ini memastikan bahwa analisis warna hanya dilakukan pada area objek yang relevan, bukan pada latar belakang atau elemen lain yang tidak penting.

Setelah bounding box objek terdeteksi, warna dalam kotak tersebut dianalisis dengan mengonversi citra ke format RGB (Merah, Hijau, Biru) sebelum diubah ke model warna HSV (Hue, Saturation, Value). Konversi ke model HSV digunakan karena lebih stabil terhadap perubahan pencahayaan dibandingkan model RGB. Hue (H) dihitung berdasarkan perbedaan nilai R, G, dan B, dengan rumus sebagai berikut:

Jika R adalah nilai maksimum:

$$H = 0^\circ + 60^\circ \times \frac{(G - B)}{(R - G) + (R - B)}$$

Jika G adalah nilai maksimum:

$$H = 120^\circ + 60^\circ \times \frac{(B - R)}{(G - R) + (G - B)}$$

Jika B adalah nilai maksimum:

$$H = 240^\circ + 60^\circ \times \frac{(R - G)}{(B - R) + (B - G)}$$

$$S = \frac{\max - \min}{\max} \times 100\%$$

$$V = \max \times 100\% [13]$$

Di mana max dan min adalah nilai maksimum dan minimum dari kanal warna R, G, dan B. Dengan representasi dalam HSV, sistem lebih mudah mendeteksi warna secara konsisten dalam berbagai kondisi pencahayaan. Setelah citra dikonversi, data warna dianalisis menggunakan model CNN (Convolutional Neural Network) untuk mengklasifikasikan warna berdasarkan dataset warna yang telah dilatih sebelumnya.

Hasil analisis warna ini kemudian dibandingkan dengan tabel referensi untuk menentukan warna dominan pada objek yang terdeteksi. Setelah warna dikenali, informasi warna dikirim kembali ke pengendali komunikasi di kacamata untuk diubah menjadi suara. Proses konversi teks menjadi suara dilakukan melalui Text-to-Speech (TTS), dan suara hasil deteksi kemudian diputar melalui speaker kecil atau earphone yang terintegrasi pada kacamata, sehingga pengguna dapat mendengarkan warna yang dikenali secara langsung.

2. Solusi 2: Gelang Pengenal Warna dengan Sensor Warna dengan Feedback Teks

Solusi ini mengusulkan gelang pintar yang dapat membantu penderita buta warna parsial mengenali warna secara real-time. Gelang ini dilengkapi dengan sebuah pengendali elektronik sebagai inti pengolah, sensor warna kecil untuk membaca warna, dan layar mini untuk menampilkan hasil deteksi. Dengan desain yang sederhana dan praktis, gelang ini dapat digunakan sehari-hari tanpa menarik perhatian atau mengganggu aktivitas pengguna.

Sensor warna yang digunakan memiliki ukuran yang kecil namun mampu mendeteksi spektrum warna dengan cukup akurat. Sensor ini dilengkapi dengan penyaring cahaya inframerah (IR-blocking filter), yang membantu menghasilkan pembacaan warna yang stabil dan tidak terlalu dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan lingkungan sekitar. Sensor ini bekerja dengan membaca intensitas cahaya merah, hijau, biru, dan transparan pada objek, lalu menghitung proporsi nilai R, G, dan B.

Agar hasil yang diperoleh lebih mudah diinterpretasikan, nilai RGB yang terbaca biasanya dikonversi ke dalam format HSV (Hue, Saturation, Value). Konversi ini tidak wajib, tetapi sangat membantu karena nilai Hue secara langsung merepresentasikan spektrum warna, sehingga lebih stabil terhadap perubahan intensitas pencahayaan. Dengan demikian,

sistem dapat mencocokkan nilai Hue dengan rentang warna yang telah didefinisikan, seperti merah, kuning, hijau, biru, dan seterusnya. Beberapa kategori warna berdasarkan nilai Hue adalah sebagai berikut:

$H = 0^\circ - 30^\circ \rightarrow \text{Merah}$, $H = 30^\circ - 90^\circ \rightarrow \text{Kuning}$, $H = 90^\circ - 150^\circ \rightarrow \text{Hijau}$, dst [14]

Cara kerja sistem ini dimulai ketika pengguna mendekatkan sensor gelang ke permukaan objek yang ingin diketahui warnanya. Jarak optimal antara sensor dan objek berkisar antara 5–10 mm. Jika jarak terlalu jauh, intensitas cahaya yang kembali ke sensor akan berkurang, dan cahaya sekitar dapat mengganggu pembacaan warna, sehingga hasilnya menjadi tidak akurat.

Informasi warna yang telah dikenali akan ditampilkan pada LCD kecil, yang memungkinkan pengguna mengetahui warna secara langsung. Tampilan pada layar dapat berupa kode warna RGB, nilai Hue, serta nama warna dalam teks untuk memberikan informasi yang lebih jelas kepada pengguna.

Untuk menjaga agar gelang tetap ringan dan nyaman, pengendali elektronik yang digunakan berukuran mini, hemat daya, dan mudah disembunyikan dalam desain gelang. Daya listrik berasal dari baterai kecil yang bisa diisi ulang, sehingga memungkinkan penggunaan dalam jangka waktu lama tanpa harus sering mengganti baterai.

Keunggulan dari solusi ini terletak pada portabilitas, kepraktisan, dan fleksibilitasnya. Dengan desain yang ringkas, pengguna dapat mengenali warna secara cepat tanpa perlu perangkat tambahan lainnya. Selain itu, solusi ini memungkinkan penggunaan yang lebih natural dalam aktivitas sehari-hari, mengurangi hambatan sosial yang sering dihadapi penderita buta warna dalam interaksi mereka.

3. Solusi 3: Jaket Pendeteksi Warna Berbasis Computer Vision dengan Output Audio

Solusi ini mengusulkan penggunaan jaket dengan sistem pendeteksi warna berbasis computer vision, yang mengintegrasikan kamera mini dan sebuah unit pemrosesan sebagai pusat kendali. Sistem ini dirancang untuk secara otomatis mengenali warna yang berada di depan pengguna, kemudian menyampaikan informasi warna tersebut melalui audio yang terdengar lewat earphone kecil. Dengan demikian, pengguna dapat mengetahui warna yang terdeteksi secara langsung tanpa perlu melihat layar atau perangkat tambahan lainnya, sehingga sistem ini praktis, ringkas, dan tidak mencolok.

Dalam implementasinya, kamera mini dipasang pada bagian depan jaket, tepat di area dada, untuk menangkap gambar objek yang berada di depan pengguna. Kamera akan mengambil gambar secara berkala dan mengirimkannya ke unit pemrosesan yang tertanam di dalam jaket. Proses pemrosesan dilakukan dengan mengubah representasi warna dari model RGB (Red, Green, Blue) ke model HSV (Hue, Saturation, Value). Konversi ini dilakukan karena model HSV lebih sesuai untuk analisis warna, sebab komponen Hue secara langsung merepresentasikan warna pada spektrum cahaya. Nilai Hue dapat dihitung dengan rumus berikut:

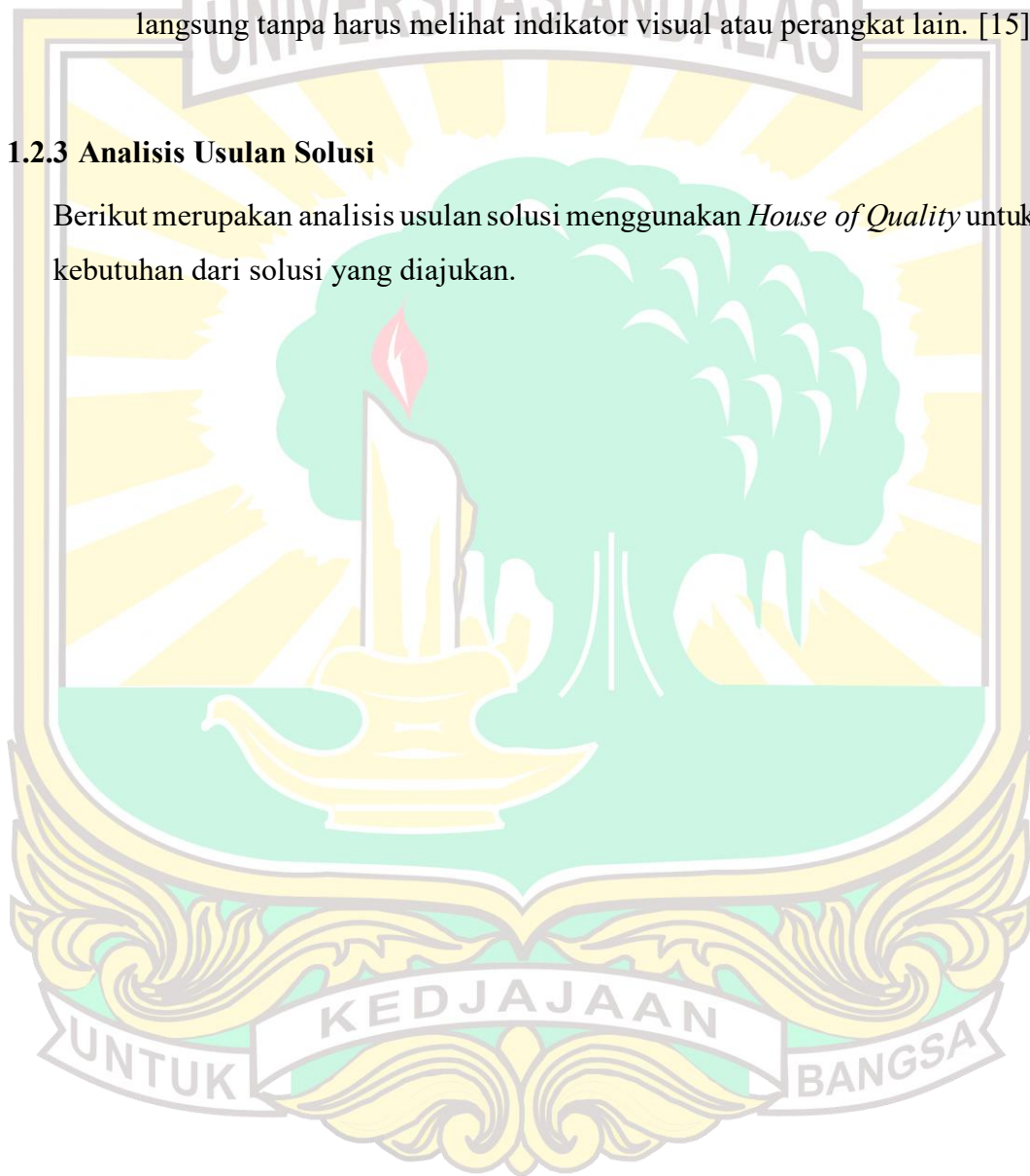
$$H = \begin{cases} 60^\circ \times \frac{(G-B)}{Max-Min} & \text{jika } Max = R \\ 60^\circ \times \left(2 + \frac{(B-R)}{Max-Min}\right) & \text{jika } Max = G \\ 60^\circ \times \left(4 + \frac{(R-G)}{Max-Min}\right) & \text{jika } Max = B \end{cases} \quad [13]$$

di mana Max dan Min merupakan nilai maksimum dan minimum dari komponen R, G, dan B pada gambar yang diambil oleh kamera. Setelah nilai Hue diperoleh, sistem mencocokkannya dengan tabel referensi warna standar untuk menentukan warna dominan dalam gambar.

Setelah warna berhasil diidentifikasi, informasi tersebut diubah menjadi suara melalui text-to-speech engine yang berjalan pada unit pemrosesan. Suara yang dihasilkan menyebutkan warna yang terdeteksi, lalu dikirimkan ke earphone kecil melalui sambungan kabel audio. Dengan cara ini, pengguna dapat mendengar warna yang terdeteksi secara langsung tanpa harus melihat indikator visual atau perangkat lain. [15]

1.2.3 Analisis Usulan Solusi

Berikut merupakan analisis usulan solusi menggunakan *House of Quality* untuk kebutuhan dari solusi yang diajukan.



Tabel 1. 1 House of Quality

House of Quality			↑	↑	↑	↑	↓	
● = Hubungan Kuat (5) ○ = Hubungan Biasa (3) △ = Hubungan Kurang (1) = Tidak Ada Hubungan (0) ↑ = Prioritas ↓ = Tidak Prioritas	Importance a Rating (1 = low, 5 = high)	Percent of Importance Rating	Sensing Capability	Feedback Mechanism	Usability and Practicality	Data Processing	Metode Komputasi	
Low Power Consumption	5	26%	○	●				
Low Cost	3	16%	○	○	△	●		
Device Integreition	2	11%		●		△		
Desain yang tidak mencolok	4	21%	△	△	●			
Completed In Less Than 6 Month	5	26%				●	●	
Importace Rating			28	48	23	42	25	TOTAL
Percent of Importance			17%	29%	14%	25%	15%	100%
Solusi 1			○	○	△	●	●	3.52
Solusi 2			○	○	●	△	○	2.78
Solusi 3			●	●	○	●	●	4.72

Berdasarkan analisa dengan menggunakan HoQ dari 3 usulan solusi yang diberikan, didapatkan rincian hasil HoQ sebagai berikut:

Solusi 1:

$$(3 \times 17\%) + (3 \times 29\%) + (1 \times 14\%) + (5 \times 25\%) + (5 \times 15\%) = 3.52$$

Solusi 2:

$$(3 \times 17\%) + (3 \times 29\%) + (5 \times 14\%) + (1 \times 25\%) + (3 \times 15\%) = 2.78$$

Solusi 3:

$$(5 \times 17\%) + (5 \times 29\%) + (3 \times 14\%) + (5 \times 25\%) + (5 \times 15\%) = 4.72$$

Rincian hasil HoQ yang didapatkan dari hubungan kebutuhan sebagai berikut:

- Sensing Capabilities (Panah atas, Prioritas)
- Feedback Mechanism (Panah atas, Prioritas)
- Usability and Practicality (Panah atas, Prioritas)
- Data Processing (Panah atas, Prioritas)
- Metode Komputasi (Panah bawah, Tidak Prioritas)

1. Low Power Comsumtion

- *Sensing Capabilities* (Hubungan Biasa)

Penggunaan sensor yang efisien dapat membantu mengurangi konsumsi daya, namun hal ini tidak menjadi prioritas utama. Solusi harus dapat mendeteksi warna dengan baik tanpa mengorbankan daya. Maka dari itu saya berikan nilai hubungan biasa.

- *Feedback Mechanism* (Hubungan Kuat)

Sistem umpan balik harus memberikan informasi yang jelas tanpa meningkatkan konsumsi daya secara signifikan. Karena umpan balik merupakan komponen penting dalam solusi, hubungan ini diberi hubungan kuat.

- *Usability and Practicality* (Tidak Ada Hubungan)

Penggunaan daya rendah tidak berhubungan langsung dengan kenyamanan atau desain praktis alat. Desain praktis lebih berfokus pada kenyamanan pengguna, tanpa terlalu memprioritaskan konsumsi daya.

- *Data Processing* (Tidak Ada Hubungan)

Pengolahan data untuk deteksi warna tidak terlalu memengaruhi konsumsi daya secara langsung.

- *Metode Komputasi* (Tidak Ada Hubungan)

Metode komputasi tidak memiliki hubungan dengan penggunaan daya rendah karena pengaturan metode komputasi diatur pada saat mengatur program sebelum diupload ke mikrokontroler.

2. Low Cost

- *Sensing Capabilities* (Hubungan Biasa)

Penggunaan sensor yang efisien namun terjangkau menjadi penting agar biaya tetap rendah. Hubungan biasa menunjukkan bahwa biaya rendah memang penting, tetapi efisiensi sensor mendukung biaya rendah.

- *Feedback Mechanism* (Hubungan Biasa)

Sistem umpan balik yang sederhana dan tidak mahal diperlukan untuk menjaga solusi tetap terjangkau. Maka diberi hubungan biasa, karena umpan balik yang murah namun efektif akan membantu menurunkan biaya total.

- *Usability and Practicality* (Hubungan Kurang)

Desain yang sangat praktis dan nyaman untuk penggunaan sehari-hari sedikit berhubungan dengan biaya, tetapi tidak terlalu berdampak

- *Data Processing* (Hubungan Kuat)

Pemrosesan data yang baik dan cepat berhubungan kuat dengan biaya dikarenakan pengolahan data harus dilakukan dengan perangkat yang kuat yang berkemungkinan berbiaya tinggi.

- *Metode Komputasi* (Tidak Ada Hubungan)

Metode komputasi, meskipun penting, tidak terlalu dipengaruhi oleh biaya, tetapi menggunakan metode yang lebih sederhana dan murah dapat membantu menurunkan biaya total.

3. Device Integration

- *Sensing Capabilities* (Tidak Ada Hubungan)

Integrasi perangkat tidak berhubungan langsung dengan kemampuan sensor.

- *Feedback Mechanism* (Hubungan Kuat)

Integrasi perangkat yang efektif dengan sistem umpan balik tanpa kabel, memberikan pengalaman pengguna yang lebih baik.

- *Usability and Practicality* (Tidak Ada Hubungan)

Integrasi perangkat tidak berpengaruh langsung pada kenyamanan dan kemudahan penggunaan alat.

- *Data Processing* (Hubungan Kurang)

Pengolahan data untuk mendukung integrasi perangkat sangat dibutuhkan, tetapi tidak menjadi prioritas utama karena lebih fokus pada aspek efisien.

- *Metode Komputasi* (Tidak Ada Hubungan)

Metode komputasi tidak berhubungan langsung dengan integrasi perangkat.

4. Desain yang Tidak Mencolok

- *Sensing Capabilities* (Hubungan Kurang)

Sensor yang digunakan dalam solusi ini harus kecil dan efisien, namun desain non-mencolok lebih penting daripada kemampuan sensor itu sendiri.

- *Feedback Mechanism* (Hubungan Kurang)

Umpan balik yang diberikan juga harus disesuaikan agar tidak mencolok, namun sistem umpan balik memiliki panah atas atau prioritas.

- *Usability and Practicality* (Hubungan Kuat)

Desain yang tidak mencolok sangat penting agar pengguna merasa nyaman tanpa stigma sosial. Ini mendapat hubungan kuat dan panah ke atas, yang menunjukkan bahwa kenyamanan dan kegunaan desain menjadi prioritas tinggi.

- *Data Processing* (Tidak Ada Hubungan)

Pengolahan data tidak mempengaruhi desain non-mencolok secara langsung.

- *Metode Komputasi* (Tidak Ada Hubungan)

Pemilihan metode komputasi tidak berhubungan langsung dengan desain alat yang tidak mencolok.

5. Completed In Less Than 6 Month

- *Sensing Capabilities* (Tidak Ada Hubungan)

Jenis dari sensor yang efisien tidak langsung mempengaruhi waktu pengembangan solusi dalam enam bulan.

- *Feedback Mechanism* (Tidak Ada Hubungan)

Sistem umpan balik tidak berhubungan langsung dengan durasi pengembangan.

- *Usability and Practicality* (Tidak Ada Hubungan)

Desain yang praktis dan nyaman tidak mempengaruhi waktu penyelesaian proyek secara signifikan.

- *Data Processing* (Hubungan Kuat)

Pengolahan data yang efisien sangat penting agar solusi dapat diselesaikan dalam waktu kurang dari enam bulan. Hubungan kuat ini menunjukkan bahwa pengolahan data harus dilakukan secara efisien agar proyek selesai tepat waktu.

- *Metode Komputasi* (Hubungan Kuat)

Metode komputasi yang efisien dan ringan sangat penting untuk menyelesaikan proyek dalam waktu singkat, dengan fokus pada penggunaan metode yang sederhana namun efektif.

1. Solusi 1

- Sensing Capabilities (Hubungan Biasa)

Meskipun sensing capabilities sangat penting untuk mendeteksi warna secara akurat, solusi ini tidak menempatkan prioritas tertinggi pada kemampuan sensing. Prioritas ini diberikan hubungan biasa, karena teknologi pengenalan warna menggunakan kamera mini untuk mendeteksi objek dengan akurasi yang memadai.

- Feedback Mechanism (Hubungan Biasa)

Feedback mechanism melalui suara atau getaran adalah fitur penting dalam solusi ini, namun, tidak menjadi prioritas utama. Sistem umpan balik berupa suara akan digunakan, tetapi hubungan ini mendapat hubungan biasa karena lebih banyak berfokus pada sensing capabilities.

- Usability and Practicality (Hubungan Kurang)

Desain kacamata pintar yang lebih besar dibandingkan dengan solusi lainnya menyebabkan usability sedikit terpengaruh. Oleh karena itu, hubungan dengan usability dan practicality diberi hubungan kurang, karena meskipun fungsional, kacamata ini masih dapat dirasa sedikit mengganggu.

- Data Processing (Hubungan Kuat)

Proses data processing adalah salah satu fitur paling penting dalam solusi ini. Mengingat bahwa sistem menggunakan CNN untuk menganalisis gambar secara real-time, pengolahan data menjadi prioritas yang kritis, oleh karena itu diberi hubungan kuat.

- Metode Komputasi (Hubungan Kuat)

Metode komputasi berbasis computer vision sangat relevan untuk mendeteksi warna secara efisien. Metode ini akan memungkinkan solusi untuk berfungsi dalam waktu nyata dan mendapatkan hasil yang akurat, sehingga mendapat hubungan kuat dalam hal prioritas.

2. Solusi 2

- Sensing Capabilities (Hubungan Biasa)

Sensing capabilities menggunakan sensor warna seperti TCS34725, yang dapat mendeteksi spektrum warna dengan tingkat akurasi tinggi. Meskipun penting, hal ini mendapat hubungan biasa karena solusi ini lebih fokus pada biaya rendah daripada akurasi yang sangat tinggi.

- Feedback Mechanism (Hubungan Biasa)

Umpan balik diberikan dalam bentuk teks pada layar LCD kecil. Meskipun cukup informatif, solusi ini tidak memberikan umpan balik yang lebih baik dari solusi lain, oleh karena itu mendapat hubungan biasa.

- Usability and Practicality (Hubungan Kuat)

Gelang ini memiliki desain yang praktis dan ringan, serta dapat digunakan untuk kegiatan sehari-hari tanpa mengganggu kenyamanan pengguna. Usability mendapat hubungan kuat karena desain yang fungsional dan mudah digunakan.

- Data Processing (Hubungan Kurang)

Pengolahan data dalam solusi ini relatif sederhana, sehingga data processing mendapat hubungan kurang karena pengolahan data tidak terlalu kompleks, mengingat desain yang sederhana dan biaya rendah yang diterapkan.

- Metode Komputasi (Hubungan Biasa)

Menggunakan metode komputasi yang cukup sederhana untuk mengolah data sensor dan memberikan hasil secara cepat dan efisien. Hal ini tidak menjadi prioritas utama, tetapi masih penting untuk mendukung fungsionalitas sistem, oleh karena itu diberikan hubungan biasa.

3. Solusi 3

- Sensing Capabilities (Hubungan Kuat)

Sensing capabilities dalam solusi ini menggunakan kamera mini yang terpasang pada jaket untuk mendeteksi warna dengan tingkat akurasi tinggi. Hal ini mendapatkan hubungan kuat karena deteksi warna yang akurat sangat penting untuk solusi ini.

- Feedback Mechanism (Hubungan Kuat)

Feedback mechanism pada solusi ini sangat penting. Menggunakan output audio untuk menyampaikan warna kepada pengguna melalui sebuah earphone, memberikan informasi warna secara langsung tanpa perlu melihat layar. Oleh karena itu, feedback mechanism mendapat hubungan kuat.

- Usability and Practicality (Hubungan Biasa)

Usability dalam solusi ini sedikit lebih kompleks karena jaket lebih besar dibandingkan dengan gelang atau kaca mata. Namun, desain jaket ini tetap praktis dan memungkinkan pengguna untuk beraktivitas dengan bebas. Oleh karena itu, hubungan dengan usability diberi hubungan biasa

- Data Processing (Hubungan Kuat)

Data processing dalam solusi ini menggunakan computer vision untuk menganalisis gambar secara real-time. Hal ini memastikan bahwa warna dapat dikenali dengan cepat dan akurat. Karena pentingnya pengolahan gambar, hubungan kuat diberikan pada data processing.

- Metode Komputasi (Hubungan Kuat)

Menggunakan metode komputasi yang sangat efisien untuk deteksi objek berbasis warna. Metode ini sangat berperan dalam memastikan bahwa solusi dapat berfungsi dengan baik dan cepat. Oleh karena itu, hubungan kuat diberikan pada metode komputasi.

1.2.4 Solusi yang Dipilih

Setelah dilakukan analisis menggunakan metode House of Quality, diperoleh hasil bahwa Solusi Ketiga merupakan pilihan terbaik dengan nilai tertinggi

dibandingkan dua solusi lainnya. Solusi ini mengusulkan penggunaan jaket dengan sistem pendeteksi warna berbasis computer vision dengan output audio. Sistem ini dirancang untuk membantu penderita buta warna mengenali warna di lingkungan sekitar secara praktis, tidak mencolok, dan tetap nyaman digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

Rancangan sistem terdiri atas jaket yang dilengkapi kamera mini di bagian dada untuk menangkap gambar objek di depan pengguna, serta unit pemrosesan utama yang ditempatkan di bagian dalam jaket. Kamera terhubung langsung ke unit pemrosesan, yang bertugas memproses citra secara lokal dengan menggunakan algoritma untuk menentukan warna objek yang berada di depan pengguna, dikombinasikan dengan pendekatan pengolahan warna menggunakan model HSV melalui sebuah pustaka computer vision (seperti OpenCV). Setelah warna dominan pada citra berhasil diidentifikasi, informasi warna tersebut diubah menjadi audio dengan teknologi text-to-speech (TTS), lalu disalurkan ke pengguna melalui earphone kabel yang terhubung ke port audio pada unit pemrosesan.

Pendekatan ini dipilih karena menawarkan sejumlah keunggulan, di antaranya desain yang tidak mencolok dan nyaman digunakan, kemampuan mendeteksi warna secara real-time dengan tingkat akurasi yang memadai, serta biaya implementasi yang relatif lebih terjangkau dibandingkan solusi lainnya. Penempatan seluruh komponen di dalam jaket juga membantu meminimalkan stigma sosial terhadap pengguna, sehingga tetap menjaga kenyamanan saat berinteraksi dengan orang lain dalam kehidupan sehari-hari.