

Evaluasi Kontras Warna pada Smart LMS Berdasarkan Standar WCAG

Muktibaskara Kusbianto¹, Syahiduz Zaman²

^{1,2}Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

¹muktibaskrakusbianto@gmail.com, ²syahid@ti.uin-malang.ac.id

Abstract

Visual accessibility in Learning Management System (LMS) platforms is critical for digital knowledge transfer. Smart LMS is a local educational platform at Informatics Engineering UIN Malang whose color contrast has not been evaluated. This study audits the color contrast compliance of Smart LMS based on WCAG 2.2 standards (SC 1.4.1, SC 1.4.3, SC 1.4.11). A descriptive quantitative approach with a desk-based technical evaluation was used. Hexadecimal (#HEX) color codes were extracted from 24 visual elements across 6 main pages using a browser Accessibility Inspector. Quantitative results show a global compliance rate of 70.84% (41.67% Level AAA and 29.17% Level AA), while 29.16% of elements failed. Qualitatively, pure dark mode pages achieved a 0% failure rate. However, the assignment detail page was the most critical area with an 80% failure rate, where vital deadline information dropped to a 2.35:1 ratio due to incorrect CSS opacity implementation. These findings demonstrate that modern aesthetics often compromise readability for low-vision users. This study provides design remediation guidelines to create a more inclusive interface.

Keywords: accessibility, color contrast, Smart LMS, WCAG 2.2, evaluation.

Abstrak

Aksesibilitas visual platform Learning Management System (LMS) sangat krusial bagi keberhasilan transfer pengetahuan digital. Smart LMS merupakan platform edukasi lokal di Teknik Informatika UIN Malang yang belum pernah dievaluasi aspek kontras warnanya. Penelitian ini bertujuan mengaudit kepatuhan kontras warna Smart LMS berdasarkan standar WCAG 2.2 (SC 1.4.1, SC 1.4.3, SC 1.4.11). Metode yang digunakan adalah kuantitatif deskriptif melalui pengujian teknis murni (desk-based evaluation). Data kode warna Hexadecimal (#HEX) diekstraksi dari 24 elemen visual di 6 halaman utama menggunakan Accessibility Inspector peramban. Hasil analisis kuantitatif menunjukkan tingkat kepatuhan global mencapai 70,84% (41,67% Level AAA dan 29,17% Level AA), sedangkan 29,16% elemen dinyatakan gagal (Fail). Secara kualitatif, halaman dengan skema dark mode murni berkinerja sempurna (kegagalan 0%). Namun, halaman detail tugas menjadi area paling kritis dengan tingkat kegagalan 80% akibat degradasi kontras informasi tenggat waktu hingga rasio 2.35:1 yang dipicu oleh kesalahan implementasi opasitas CSS. Temuan ini menunjukkan bahwa estetika modern sering kali mengabaikan batas keterbacaan pengguna low vision. Penelitian ini memberikan rekomendasi perbaikan skema warna bagi pengembang untuk menciptakan antarmuka platform yang lebih inklusif.

Kata kunci: aksesibilitas, kontras warna, Smart LMS, WCAG 2.2, evaluasi.

© 2026 Author
Creative Commons Attribution 4.0 International License



1. Pendahuluan

Sistem Manajemen Pembelajaran (Learning Management System/LMS) saat ini telah menjadi komponen integral dalam pendidikan modern, yang memiliki peran vital dalam mendukung penyampaian materi kursus, keterlibatan mahasiswa, serta fungsi administratif [1]. Namun demikian, penggunaan LMS seringkali dihadapkan pada tantangan keterpakaian (usability) dan aksesibilitas yang justru dapat mengalihkan fokus pengguna dari konten pembelajaran itu sendiri karena mereka harus berhadapan dengan kerumitan navigasi sistem [4]. Hak untuk mendapatkan informasi secara setara melalui media digital yang mudah diakses merupakan hak setiap individu, tidak terkecuali bagi penyandang disabilitas [6]. Dalam lingkungan pembelajaran digital, desain antarmuka dan komponen grafis memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap keberhasilan transfer pengetahuan [3].

Salah satu aspek visual yang paling krusial dalam menentukan aksesibilitas antarmuka digital adalah tingkat kontras warna [3]. Tingkat kontras pada elemen grafis memainkan peran kunci dalam memastikan visibilitas, keterbacaan, dan pengalaman pengguna yang positif [15]. Rasio kontras yang terlalu rendah dapat menurunkan visibilitas konten secara drastis, sehingga informasi-informasi esensial berisiko terabaikan oleh pelajar [3]. Sebaliknya, penggunaan elemen visual dengan kontras yang terlalu intens dapat memicu beban kognitif (cognitive overload), kelelahan mata, hingga iritasi yang akan menghambat pemrosesan informasi [2].

Lebih lanjut, perhatian terhadap kontras warna menjadi sangat urgen mengingat terdapat lebih dari 300 juta populasi di seluruh dunia yang hidup dengan defisiensi penglihatan warna (Color Vision Deficiency/CVD) atau buta warna, yang secara signifikan membatasi kemampuan mereka dalam berinteraksi dengan antarmuka digital [5]. Kontras warna yang dirancang dengan rasio yang tepat akan memastikan bahwa pengguna dengan penglihatan rendah (low vision) atau defisiensi warna dapat membaca teks dan mengidentifikasi objek grafis dengan jelas tanpa harus bergantung pada teknologi bantu penambah kontras [5], [15].

Meskipun urgensi kontras warna telah diakui dalam standar desain antarmuka, evaluasi secara spesifik pada platform pendidikan digital masih sangat jarang dilakukan [1]. Sebuah tinjauan literatur terhadap situs web LMS dari 30 universitas di Indonesia membuktikan bahwa rasio kontras warna yang rendah antara teks dan latar belakang merupakan masalah aksesibilitas yang paling sering dijumpai [1]. Di samping itu, sebagian besar penelitian terdahulu yang mengevaluasi LMS cenderung hanya berfokus pada keterpakaian secara umum dengan menggunakan kerangka kerja evaluasi heuristik

tunggal [4]. Terdapat celah penelitian (research gap) yang nyata, di mana belum banyak studi yang secara spesifik mengaudit elemen kontras warna pada LMS menggunakan pedoman aksesibilitas global terkini.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian kontras warna pada antarmuka Smart LMS berdasarkan standar Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.2 [19]. Pedoman WCAG 2.2 yang dipublikasikan oleh World Wide Web Consortium (W3C) merupakan standar komprehensif yang dirancang untuk membuat konten web dapat diakses oleh spektrum pengguna disabilitas yang lebih luas [17], [19]. Evaluasi dalam penelitian ini akan difokuskan pada pemenuhan rasio kriteria sukses WCAG, antara lain Kriteria 1.4.3 (Contrast Minimum) yang mensyaratkan rasio 4.5:1 untuk teks reguler [12], [13], Kriteria 1.4.11 (Non-text Contrast) yang mewajibkan rasio minimal 3:1 untuk komponen antarmuka pengguna dan objek grafis [7], [9], serta Kriteria 1.4.1 (Use of Color) untuk memastikan bahwa warna tidak digunakan sebagai satu-satunya cara visual dalam menyampaikan informasi [10].

Kebaruan (novelty) dari penelitian ini terletak pada subjek sistem yang dievaluasi. Smart LMS merupakan sistem platform edukasi lokal, dan sejauh pengetahuan penulis, belum terdapat penelitian yang secara khusus mengevaluasi aksesibilitas kontras warna pada Smart LMS ini. Melalui integrasi pengujian berdasarkan parameter WCAG 2.2, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi desain perbaikan (remediation) untuk menciptakan antarmuka Smart LMS yang tidak hanya fungsional secara visual, tetapi juga nyaman dan inklusif bagi seluruh peserta didik.

2. Metode Penelitian

2.1 Desain Eksperimen

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif berbasis pengujian teknis murni (desk-based evaluation) untuk melakukan rekayasa balik (reverse engineering) terhadap tingkat aksesibilitas visual antarmuka pengguna. Eksperimen dirancang untuk mengevaluasi kemampuan pemenuhan standar kontras warna pada platform Smart LMS yang menggunakan tema gelap (dark mode).

Variabel bebas yang ditetapkan dalam penelitian ini adalah elemen-elemen visual pada 6 halaman utama antarmuka Smart LMS yang memiliki intensitas interaksi tertinggi oleh pengguna. Sementara itu, variabel terikat yang diukur adalah nilai numerik rasio kontras warna dan status kepatuhannya (Pass/Fail) berdasarkan ambang batas minimum standar Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.2 [19]. Penelitian ini dilakukan secara

mandiri tanpa melibatkan partisipan manusia atau penyebaran kuesioner.

2.2 Karakteristik Data dan Objek Antarmuka

Data primer dalam penelitian ini bersumber dari aset visual komponen antarmuka (User Interface) milik platform Smart LMS, sebuah sistem manajemen pembelajaran berbasis web yang dikembangkan di lingkungan Program Studi Teknik Informatika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang. Karakteristik utama dari objek penelitian ini adalah penerapan skema warna tema gelap (dark mode) di seluruh halamannya, sebuah aspek desain yang membutuhkan perhatian khusus pada kontras visual namun belum pernah dievaluasi sebelumnya [2].

Data yang diekstraksi dari setiap halaman berupa nilai kode warna biner berbentuk *Hexadecimal* (#HEX) yang merepresentasikan dua komponen utama:

1. **Foreground Color** (F_c), yang mencakup warna dari teks, label, badge, dan ikon fungsional.
2. **Background Color** (B_c), yang mencakup warna latar belakang langsung tempat elemen grafis tersebut berada.

2.3 Tahapan Analisis Kontras Visual

Proses evaluasi aksesibilitas ini diawali dengan melakukan dokumentasi antarmuka untuk menangkap representasi visual sistem secara aktual, dilanjutkan dengan ekstraksi nilai semantik warna menggunakan alat pengembang peramban (*Browser Developer Tools*). Struktur tahapan penelusuran data dilakukan secara rekursif pada setiap halaman uji. Alur pelaksanaan penelitian secara menyeluruh digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Tahapan Analisis Kontras Visual

Setelah halaman ditentukan dan didokumentasikan, proses dilanjutkan dengan algoritma penelusuran manual pada kode dokumen HTML/CSS melalui DevTools. Nilai #HEX didapatkan secara langsung melalui fitur Styles panel, sementara perhitungan nilai rasio kontras dilakukan menggunakan fitur otomatis Accessibility Inspector bawaan peramban (*built-in browser tools*) [18]. Alat ini menghitung rasio kontras secara real-time berdasarkan rumus standar internasional yang diatur oleh W3C [15], [19]:

$$\text{Rasio} = \frac{L_1 + 0.05}{L_2 + 0.05}$$

Di mana L_1 adalah luminans relatif dari warna yang lebih terang, dan L_2 adalah luminans relatif dari warna yang lebih gelap. Hasil kalkulasi ini akan ditabulasi secara sistematis sebelum ditarik kesimpulan akhirnya.

2.4 Aturan Pemetaan (Mapping Rules) Parameter WCAG

Proses transformasi dari data mentah nilai kontras numerik menjadi status kepatuhan aksesibilitas didasarkan pada aturan pemetaan struktural yang mengacu pada dokumen standar WCAG 2.2 [19]. Pemetaan ini memverifikasi jenis elemen antarmuka dan mencocokkannya dengan kriteria sukses (Success Criteria) Level AA dan Level AAA [17]. Aturan pemetaan yang diimplementasikan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Aturan Pemetaan (Mapping Rules) Parameter WCAG

Kriteria Sukses WCAG 2.2	Fokus Evaluasi	Ambang Batas / Ketentuan Standar
SC 1.4.1 Use of Color (Level A)	Penggunaan Warna	Warna tidak boleh digunakan sebagai satu-satunya cara visual untuk menyampaikan informasi, menunjukkan aksi, atau membedakan elemen visual.
SC 1.4.3 Contrast (Minimum) (Level AA)	Kontras Teks	1. Teks reguler (ukuran < 18pt atau < 14pt tebal) wajib memiliki rasio kontras minimal 4.5:1 terhadap latar belakangnya. 2. Teks besar (ukuran ≥ 18pt atau ≥ 14pt tebal) wajib memiliki rasio kontras minimal 3:1.
SC 1.4.11 Non-Text Contrast (Level AA)	Kontras Non-Teks	Elemen antarmuka grafis (seperti ikon fungsional) dan komponen antarmuka pengguna (seperti batas tombol aktif atau badge) wajib memiliki rasio kontras minimal 3:1 terhadap warna di sekitarnya.

2.5 Strategi Resolusi Noise Variasi Visual Antarmuka

Dalam pemrosesan evaluasi antarmuka digital, ekstraksi warna langsung tanpa mekanisme penyaringan sering kali menghasilkan bias data yang tidak konsisten akibat adanya polusi visual dari elemen transisi gaya grafis [3]. Visual noise dalam konteks evaluasi kontras adalah ketidakpastian nilai #HEX yang disebabkan oleh efek anti-aliasing pada piksel tepi teks, penggunaan gradasi warna (gradient background), bayangan komponen (box-shadow), serta perubahan status elemen saat interaksi dinamis seperti kondisi hover atau focus [2].

Untuk mengeliminasi _visual noise_ tersebut secara selektif dan menjaga kebersihan serta keakuratan abstraksi data, penelitian ini menerapkan tiga strategi resolusi:

1. **Penyaringan Kondisi Statis (*Static State Filtering*):** Evaluasi difokuskan secara eksklusif pada kondisi *default* antarmuka pengguna. Kondisi dinamis seperti efek transisi *hover* pada tombol atau animasi transisi hanya akan diuji jika elemen tersebut tidak memiliki kepastian warna dasar yang kontras.
2. **Resolusi Piksel Inti (*Core Pixel Selection*):** Menghindari pengambilan sampel warna pada area pinggir teks yang terkena efek *blur anti-aliasing*. Kode warna #HEX wajib diambil langsung dari core stroke (puncak kurva warna komponen) melalui penelusuran properti CSS asli pada panel *Styles DevTools*, bukan menggunakan alat *color dropper* berbasis piksel layar.
3. **Pemberlakuan Kasus Terburuk (*Worst-Case Scenario*):** Pada komponen yang memiliki latar belakang berupa gradasi warna (*gradient background*), peneliti menetapkan mekanisme pemilihan titik warna latar yang paling dekat atau paling serupa dengan warna *foreground*. Langkah ini diambil untuk menguji kekuatan kontras pada titik paling kritis elemen tersebut.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Kuantitatif

Berdasarkan pengujian teknis murni terhadap elemen antarmuka Smart LMS, pengumpulan data kuantitatif dilakukan secara menyeluruh terhadap 24 elemen visual yang tersebar di 6 halaman utama. Statistik deskriptif dari distribusi tingkat kepatuhan kontras warna terhadap kriteria sukses WCAG 2.2 disajikan secara global pada Tabel 2.

Tabel 2. Distribusi Global Tingkat Kepatuhan Kontras Elemen Smart LMS

Tingkat Kepatuhan	Kuantitas Elemen	Persentase (%)	Status Kelulusan Standar
Pass AAA (Sangat Baik)	10	41,67%	Lolos (Melampaui Target)
Pass AA (Memenuhi Batas)	7	29,17%	Lolos (Memenuhi Target)
Fail (Tidak Lolos)	7	29,17%	Gagal (Butuh Perbaikan)

Secara akumulatif, tingkat kelulusan aksesibilitas kontras pada Smart LMS mencapai 70,84% (gabungan Level AA dan AAA). Walaupun mayoritas elemen telah memenuhi standar, angka kegagalan sebesar 29,16% tetap menjadi temuan yang signifikan karena mencakup hampir sepertiga

dari total komponen antarmuka yang dievaluasi berdasarkan kriteria sukses SC 1.4.3 [13].

Untuk mengidentifikasi sebaran tingkat kepatuhan tersebut pada setiap unit antarmuka, dilakukan tabulasi silang berdasarkan performa halaman yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pemetaan Matriks Kepatuhan Kontras per Halaman Uji

Nama Halaman	Fail	Pass AA	Pass AAA	Total Elemen	Tingkat Kegagalan (%)
Beranda	1	1	2	4	25,00%
Login	2	1	2	5	40,00%
Dashboard	0	2	2	4	0,00%
Daftar Kelas	0	1	2	3	0,00%
Detail Konten	0	1	2	3	0,00%
Detail Tugas	4	1	0	5	80,00%

Data pada Tabel 3. menunjukkan pola sebaran yang timpang. Wilayah internal sistem yang dominan mengimplementasikan skema tema gelap (Dashboard, Daftar Kelas, Detail Konten) mencatatkan tingkat kegagalan 0,00%. Sebaliknya, wilayah fungsional seperti Detail Tugas menunjukkan performa kuantitatif terburuk dengan tingkat kegagalan mencapai 80,00%.

Selanjutnya, untuk melihat performa kuantitatif berdasarkan dimensi tipografi dan komponen visual, data dikelompokkan berdasarkan kategori jenis elemen antarmuka yang disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Komparasi Kontras Berdasarkan Jenis Kategori Elemen UI

Kategori Elemen	Fail	Pass AA	Pass AAA	Total Elemen	Keterangan Performa
Teks Besar (Judul/Heading)	0	2	4	6	100% Lolos standar minimum.
Teks Reguler (Konten/Label)	7	3	6	16	43,75% Mengalami kegagalan kontras.
Non-Teks / Badge (Ikon/Status)	0	2	0	2	100% Lolos (Memanfaatkan kelonggaran batas SC 1.4.11).

3.2 Analisis Kualitatif dan Perbandingan

Melalui perbandingan data kuantitatif pada subbab sebelumnya, analisis kualitatif dilakukan untuk membedah alasan teknis di balik kegagalan elemen dan membandingkan karakteristik antarkomponen antarmuka pengguna pada Smart LMS.

Perbandingan antara Teks Besar dan Teks Reguler menunjukkan perbedaan performa yang sangat kontras. Seluruh komponen Teks Besar (100%)

dinyatakan lolos standar minimum. Hal ini disebabkan secara kualitatif oleh kelonggaran parameter kriteria sukses SC 1.4.3 yang hanya menetapkan ambang batas rasio 3:1 untuk huruf berukuran besar. Dimensi geometri stroke yang lebih tebal pada judul secara alami membantu mempertahankan ketajaman visual meskipun berada di atas warna latar belakang dengan tingkat luminans yang bervariasi.

Sebaliknya, kelompok Teks Reguler menjadi kontributor tunggal terhadap seluruh kegagalan (7 elemen Fail) yang ditemukan di dalam sistem. Fenomena kegagalan kualitatif ini dipicu oleh dua pola kesalahan desain utama:

Pertama, adanya anomali degradasi kontras akibat manipulasi properti opasitas (transparansi) teks pada framework CSS (seperti Tailwind CSS) di Halaman Detail Tugas. Secara kode semantik, teks penunjuk tanggal menggunakan warna putih murni (#FFFFFF) di atas kartu abu-abu gelap (#1E293B) yang secara teoritis sangat kontras. Namun, pemberian kelas opasitas untuk mengejar estetika teks redup (muted text) justru menurunkan nilai luminans asli warna foreground, sehingga merosot tajam menjadi 2.35:1 dan menyulitkan keterbacaan bagi pengguna low vision.

Kedua, adanya kesalahan pemilihan warna aksen interaktif (tombol) dan perangkat minimalis (minimalism trap). Pada halaman Login, label input menggunakan warna abu-abu muda di atas latar putih demi mengejar visual yang bersih (clean design), namun mengorbankan batas kritis keterbacaan teks normal 4.5:1. Di sisi lain, penggunaan warna hijau cerah (#10B981) dan oranye (#F97316) dengan teks putih pada tombol fungsional di halaman Detail Tugas melahirkan paradoks desain. Elemen tersebut terlihat mencolok secara estetika, namun secara matematis gagal memenuhi ambang batas kontras karena tingkat kecerahan latar belakang yang terlalu tinggi justru mengaburkan batas tepi huruf reguler di atasnya.

Pembahasan kualitatif ini membuktikan bahwa Smart LMS memiliki konsistensi aksesibilitas yang sangat baik saat mempertahankan arsitektur skema tema gelap murni (dark mode). Namun, kekuatan aksesibilitas tersebut langsung mengalami degradasi parah ketika pengembang mencoba menerapkan kombinasi warna interaktif yang sarat akan visual noise serta efek transparansi teks pada komponen informasi vital.

3.3 Batasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa batasan yang perlu dicatat untuk penelitian selanjutnya. Pertama, evaluasi aksesibilitas kontras warna ini terbatas pada platform Smart LMS versi web dan difokuskan pada 24 elemen visual utama dari 6 halaman perwakilan dengan tingkat interaksi tertinggi, sehingga belum

mencakup seluruh halaman sekunder di dalam sistem. Kedua, penelitian ini hanya mengandalkan pendekatan evaluasi teknis murni (desk-based evaluation) berbasis standar algoritma WCAG 2.2 melalui peramban pengembang, tanpa melibatkan partisipasi langsung dari pengguna penyandang disabilitas penglihatan (seperti defisiensi warna atau low vision) untuk pengujian keterpakaian secara empiris di lapangan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil evaluasi teknis murni yang dilakukan terhadap 24 elemen visual pada 6 halaman utama Smart LMS menggunakan pedoman WCAG 2.2, dapat ditarik beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

1. Secara keseluruhan, tingkat kepatuhan kontras warna pada Smart LMS telah mencapai **70,84%**, yang terdiri dari 41,67% elemen memenuhi Level AAA dan 29,17% elemen memenuhi Level AA. Meskipun mayoritas elemen telah memenuhi standar aksesibilitas visual, terdapat **29,16%** elemen yang berstatus gagal (*Fail*) dan memerlukan perbaikan desain secara terarah.
2. Terdapat ketimpangan performa yang sangat tajam antara skema warna internal sistem dengan halaman fitur khusus. Skema tema gelap murni (*dark mode*) pada halaman *Dashboard*, *Daftar Kelas*, dan *Detail Konten* mencatatkan tingkat kegagalan **0%** akibat optimalnya nilai luminans teks putih di atas latar belakang pekat. Sebaliknya, halaman *Detail Tugas* menjadi area paling kritis dengan tingkat kegagalan mencapai **80%** akibat tidak adanya pemenuhan batas kontras pada elemen instruksi dan tombol aksi.
3. Sumber utama kegagalan aksesibilitas kontras pada Smart LMS dipicu oleh dua faktor teknis: *trap* minimalis pada skema terang yang menggunakan warna abu-abu terlalu muda untuk label input, serta kesalahan implementasi properti opasitas (transparansi) pada *framework* Tailwind CSS yang secara drastis mendegradasi rasio kontras teks informasi penting seperti tenggat waktu (*deadline*) tugas hingga merosot ke angka 2.35:1. Selain itu, penggunaan warna aksen hijau cerah dan *orange* pada tombol interaktif terbukti memicu paradoks desain yang menurunkan keterbacaan stroke huruf reguler di bawah batas kritis 4.5:1.

Hasil penelitian ini merekomendasikan pihak pengembang Smart LMS untuk segera melakukan perbaikan (*remediation*) yang difokuskan pada penghapusan efek transparansi pada teks informasi vital, meningkatkan kepekatan warna elemen teks abu-abu di skema terang, serta mengganti kombinasi warna latar tombol hijau dan oranye cerah dengan variasi warna yang memiliki nilai luminans lebih rendah demi terciptanya platform pembelajaran

digital yang inklusif bagi mahasiswa Teknik Informatika.

Daftar Rujukan

- [1] D. Fithriyaningrum, S. S. Kusumawardani, and S. Wibirama, "Accessibility Analysis of Learning Management System Websites," *IJID (International Journal on Informatics for Development)*, vol. 11, no. 1, 2022.
- [2] G. C. I. Satheno and A. C. Frobenius, "Analysis of User Experience (UX) of Serif and Sans Serif Fonts in Dark Mode Website Display," *Jurnal Sosial dan Teknologi (SOSTECH)*, 2025.
- [3] A. Olejnik-Krugly, A. Lewandowska, M. Dzisko, and J. Jankowski, "Contrast Computation for Improved Visibility and User Experience in Educational Interfaces," *Faculty of Computer Science and Information Technology, West Pomeranian University of Technology*, 2023.
- [4] Z. Maulidati, B. D. Meilani, and A. Sodik, "Evaluating LMS Usability by Integrating Nielsen and Budd Principles," *Journal of Artificial Intelligence and Software Engineering*, vol. 5, no. 3, 2025.
- [5] A. Jamil and G. Denes, "Investigating Color Blind User Interface Accessibility via Simulated Interfaces," *Preprints*, 2024.
- [6] S. R. Henim, I. Muslim, and R. P. Sari, "Penerapan Website Accessibility Conformance Evaluation Methodology (WCAG-EM) Untuk Mengukur Accessibility Website BP3M Politeknik Caltex Riau," *INTECOMS: Journal of Information Technology and Computer Science*, vol. 6, no. 1, 2023.
- [7] W3C, "Understanding Success Criterion 1.4.11: Non-text Contrast," *W3C on GitHub*, 2026.
- [8] W3C, "Understanding Success Criterion 1.4.11: Non-text Contrast," *W3C on GitHub*, 2026.
- [9] W3C, "Understanding Success Criterion 1.4.11: Non-text Contrast," *WAI - W3C*, 2026.
- [10] W3C, "Understanding Success Criterion 1.4.1: Use of Color," *WAI - W3C*, 2025.
- [11] W3C, "Understanding Success Criterion 1.4.3," *Understanding WCAG 2.0 - W3C*, 2023.
- [12] W3C, "Understanding Success Criterion 1.4.3: Contrast (Minimum)," *W3C*, 2023.
- [13] W3C, "Understanding Success Criterion 1.4.3: Contrast (Minimum)," *WAI - W3C*, 2026.
- [14] W3C, "Understanding Success Criterion 1.4.6: Contrast (Enhanced)," *WAI - W3C*, 2026.
- [15] WebAIM, "Understanding WCAG 2 Contrast and Color Requirements," *WebAIM*, 2021.
- [16] Stark Lab, Inc., "WCAG Non-text Contrast Explained," *Stark Framework*, 2026.
- [17] Deque University, "Web Accessibility Checklist, Based on WCAG 2.2 AA," *Deque University*, 2023.
- [18] W3C, "Web Accessibility Evaluation Tools List," *W3C*, 2020.
- [19] W3C, "Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.2," *W3C Recommendation*, 2024.
- [20] A. Jamil and G. Denes, "Investigating Color-Blind User-Interface Accessibility via Simulated Interfaces," *Computers*, vol. 13, no. 2, Art. no. 53, Feb. 2024, doi: 10.3390/computers13020053.
- [21] C. Geddes, E. C. Eggertson, J. Sutton, and G. W. Tigwell, "Designing for Colour Vision Deficiency: A Scoping Review of Resources That Support Designers in Choosing Accessible Colours," in *Proceedings of the 27th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (ASSETS '25)*, Denver, CO, USA, Oct. 2025.
- [22] A. R. Lalitha, "Perceptually-Minimal Color Optimization for Web Accessibility: A Multi-Phase Constrained Approach," *arXiv preprint arXiv:2512.05067*, Dec. 2025.
- [23] A. R. Lalitha, "Context-Adaptive Color Optimization for Web Accessibility: Balancing Perceptual Fidelity and Functional Requirements," *arXiv preprint arXiv:2512.07623*, Dec. 2025.
- [24] T. Kang, Joseph K J, C. Tensmeyer, J. Kil, W. Zhu, M. C. Lin, and V. I. Morariu, "Text-Conditioned Background Generation for Editable Multi-Layer Documents," *arXiv preprint arXiv:2512.17151*, Dec. 2025.