

Implementasi Model CNN U-Net pada *Website* Interaktif sebagai Media Pewarnaan Otomatis untuk Pembelajaran Seni Rupa

Ihda Anisa Ulfa¹, Ari Kurniawan²

Program Studi Manajemen Informatika, Universitas Negeri Surabaya
Jl. Ketintang, Ketintang, Kec. Gayungan, Surabaya, Jawa Timur 60231

¹ihdaanisa.22019@mhs.unesa.ac.id

²arikurniawan@unesa.ac.id

Abstrak - Penelitian ini mengembangkan *website* interaktif Kromora dengan memanfaatkan *Convolutional Neural Network* (CNN) berarsitektur U-Net untuk pewarnaan otomatis pada pembelajaran Seni Rupa materi teori warna. Objek penelitian difokuskan pada pembelajaran Seni Rupa kelas X di SMA Kemala Bhayangkari 1 Surabaya. Sistem diimplementasikan menggunakan Laravel, MySQL, Python-PyTorch, REST API, serta ekstraksi palet warna dominan berbasis *K-Means Clustering*. Pengujian mencakup *black box testing*, evaluasi keluaran model, kuesioner siswa, dan tanggapan guru. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh skenario fungsional berjalan sesuai kebutuhan. Model U-Net mampu memberikan hasil pewarnaan dan menampilkan palet warna dominan yang dapat dimanfaatkan sebagai referensi eksplorasi warna. Uji pengguna terhadap 34 siswa menghasilkan persentase kelayakan 98,24% dengan kategori sangat layak, sedangkan tanggapan guru mencapai 90,00%. Dengan demikian, *website* Kromora dinilai layak digunakan sebagai media pembelajaran visual yang interaktif dan mendukung siswa dalam memahami kombinasi warna secara mandiri.

Kata kunci: *Convolutional Neural Network (CNN) U-Net*, *website* interaktif, pewarnaan otomatis, teori warna, Seni Rupa, media pembelajaran

Abstract - This research developed Kromora, an interactive website that applies a *Convolutional Neural Network (CNN)* with U-Net architecture for automatic colorization in fine arts learning, particularly color theory. The research object was tenth-grade fine arts learning at SMA Kemala Bhayangkari 1 Surabaya. The system was implemented using Laravel, MySQL, Python-PyTorch, REST API, and dominant color palette extraction based on *K-Means Clustering*. The testing process involved black box testing, model output evaluation, student questionnaires, and teacher responses. The findings indicate that all functional scenarios operated as expected. The U-Net model produced automatic colorization results and displayed dominant color palettes that can support color exploration activities. User testing with 34 students obtained a feasibility percentage of 98.24%, categorized as highly feasible, while the teacher response reached 90.00%. Therefore, the Kromora website is considered feasible as an interactive visual learning medium that helps students understand color combinations independently.

Keywords: *CNN U-Net*, *interactive website*, *automatic colorization*, *color theory*, *fine arts*, *learning media*

I. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi digital memberi peluang bagi dunia pendidikan untuk merancang media belajar yang lebih visual, interaktif, dan mudah diakses. Dalam pembelajaran Seni Rupa, khususnya teori warna, siswa tidak cukup hanya membaca penjelasan tertulis. Mereka perlu mengamati, mencoba, serta membandingkan beberapa susunan warna agar konsep harmoni warna dapat dipahami melalui pengalaman visual yang lebih nyata.

Hasil observasi dan wawancara di SMA Kemala Bhayangkari 1 Surabaya menunjukkan bahwa pembelajaran teori warna pada kelas X masih dominan dilakukan melalui penjelasan guru, buku teks, dan praktik manual. Dalam kegiatan tersebut, sebagian siswa masih menunggu arahan guru ketika memilih komposisi warna. Kondisi ini menunjukkan perlunya media digital yang dapat menyajikan contoh kombinasi warna secara cepat dan mendorong latihan eksplorasi secara mandiri.

Media digital interaktif relevan digunakan karena mampu meningkatkan keterlibatan siswa dalam aktivitas belajar [1], [2]. Dari sisi teknologi, proses pewarnaan citra dapat dikembangkan dengan *deep learning*, terutama *Convolutional Neural Network (CNN)*. Arsitektur U-Net banyak dimanfaatkan pada *image colorization* karena susunan *encoder-decoder* dan *skip connection*-nya membantu menjaga struktur visual citra [3], [4]. Sejumlah penelitian juga melaporkan bahwa U-Net beserta variasinya dapat menghasilkan warna yang cukup stabil dan *natural* pada berbagai jenis gambar [4]-[6].

Penelitian ini menghadirkan *website* Kromora sebagai media belajar Seni Rupa yang mengintegrasikan CNN U-Net. Melalui *website* ini, siswa dapat mengunggah gambar *line-art* atau *grayscale*, memperoleh hasil pewarnaan otomatis, melihat palet warna dominan, mempelajari materi digital, mengerjakan kuis, mengikuti forum diskusi, dan menyimpan karya. Kontribusi penelitian terletak pada pemanfaatan *image colorization* berbasis CNN U-Net untuk mendukung pembelajaran teori warna di sekolah, bukan hanya sebagai aplikasi pengolahan citra. Pengembangan *website* Kromora didukung oleh tiga dasar kajian, yaitu media pembelajaran digital interaktif, pewarnaan citra otomatis dengan CNN U-Net, dan ekstraksi palet warna dominan. Media pembelajaran digital dipandang penting karena mampu menghadirkan pengalaman belajar yang tidak hanya berbasis teks, tetapi juga memuat aktivitas visual, eksploratif, dan responsif terhadap tindakan pengguna [1], [2].

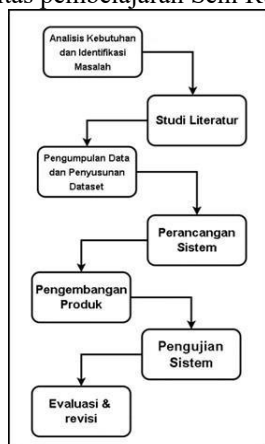
Pada aspek teknologi, pewarnaan otomatis citra dapat dilakukan melalui pendekatan *deep learning*. CNN berperan dalam mempelajari pola visual dari gambar, sedangkan U-Net banyak digunakan pada tugas pemetaan citra karena memiliki jalur *encoder-decoder* yang dilengkapi *skip connection*. Struktur tersebut membantu menjaga detail objek selama pembentukan keluaran. Studi terdahulu menunjukkan bahwa U-Net dan pengembangannya mampu mendukung proses pewarnaan yang stabil, *natural*, dan efektif pada berbagai tipe citra [3]-[6].

Pada aspek pengembangan *web*, media pembelajaran interaktif perlu memperhatikan kemudahan akses, kejelasan navigasi, serta keterpaduan antara materi, praktik, dan evaluasi. Laravel dan REST API memungkinkan antarmuka *website* dipisahkan dari layanan inferensi model, sedangkan PyTorch digunakan untuk menjalankan model pewarnaan. Kombinasi teknologi tersebut membuat proses unggah gambar, inferensi CNN U-Net, dan penyajian hasil pewarnaan dapat dihubungkan dalam satu sistem pembelajaran [12]-[14], [17].

II. METODE PENELITIAN

A. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan pengembangan sistem yang dilaksanakan melalui tahapan analisis kebutuhan, studi literatur, pengumpulan data, penyusunan *dataset* citra, perancangan sistem, pengembangan model CNN U-Net, pembuatan *website*, integrasi model, pengujian, evaluasi, dan revisi. Rangkaian tahapan tersebut digunakan agar produk yang dihasilkan tidak hanya mampu melakukan pewarnaan otomatis, tetapi juga sesuai dengan kebutuhan pembelajaran teori warna di kelas. Setiap tahap saling berkaitan: hasil analisis kebutuhan menjadi dasar perancangan fitur, *dataset* citra digunakan untuk melatih model, sedangkan hasil pengujian dan evaluasi menjadi acuan penyempurnaan sistem. Dengan alur tersebut, pengembangan Kromora diarahkan sebagai media belajar visual yang fungsional, mudah digunakan, dan relevan dengan aktivitas pembelajaran Seni Rupa.



Gambar 1 Tahapan Penelitian

Analisis kebutuhan dilakukan dengan memperhatikan kondisi pembelajaran teori warna di SMA Kemala Bhayangkari 1 Surabaya. Data kebutuhan diperoleh melalui observasi, wawancara dengan guru Seni Budaya, dan pengamatan terhadap aktivitas siswa saat praktik pewarnaan. Informasi yang terkumpul kemudian

dijadikan acuan dalam menentukan fitur dan alur kerja *website*.

B. Data dan Dataset Citra

Objek penelitian berfokus pada pembelajaran Seni Rupa siswa kelas X. *Dataset* utama diperoleh dari karya visual siswa berupa *line-art* atau sketsa yang berhubungan dengan materi teori warna. Seluruh data citra melalui proses praproses untuk menyesuaikan ukuran, format, dan karakteristik *input* model. Pada tahap pelatihan, citra *line-art* digunakan sebagai masukan, sedangkan citra berwarna berperan sebagai target atau *ground truth*.

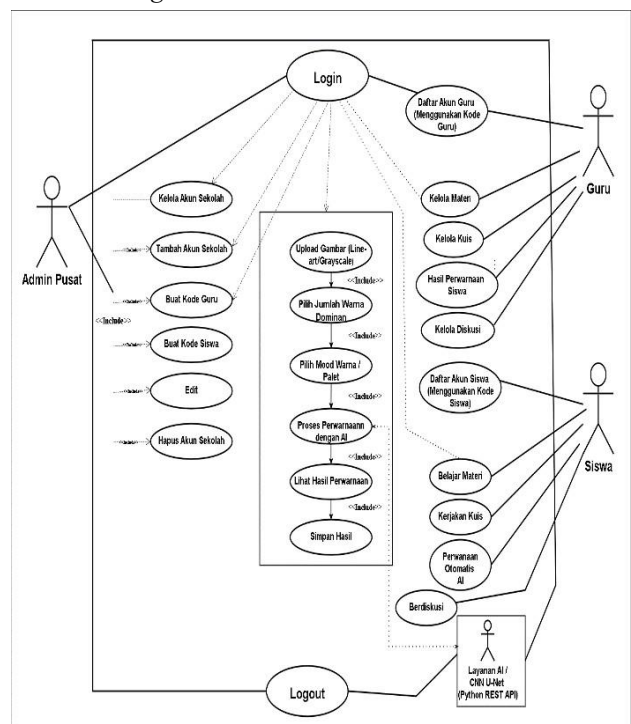
Pemanfaatan karya siswa sebagai *dataset* bertujuan agar model lebih dekat dengan karakter gambar yang muncul dalam kegiatan pembelajaran. *Dataset* tambahan juga digunakan untuk memperkaya variasi bentuk dan warna sehingga model memiliki cakupan visual yang lebih luas.

C. Perancangan dan Implementasi Sistem

Website Kromora disusun dengan empat peran pengguna, yaitu *admin* pusat, *admin* sekolah, guru, dan siswa. Pada sisi siswa, fitur utama mencakup akses materi, kuis, forum diskusi, unggah gambar, pengaturan jumlah warna dominan, pemilihan *mood* warna, pewarnaan otomatis, editor hasil, riwayat penyimpanan, dan ulasan. Pada sisi guru, fitur yang tersedia meliputi pengelolaan materi, submateri, kuis, data siswa, hasil belajar, forum, serta pemantauan aktivitas pewarnaan siswa.

Perancangan sistem divisualisasikan melalui *use case diagram*, *flowchart*, *activity diagram*, dan *class diagram*. Diagram tersebut digunakan untuk memperjelas hubungan aktor, alur proses, pengolahan data, serta struktur penyimpanan yang mendukung *website* Kromora.

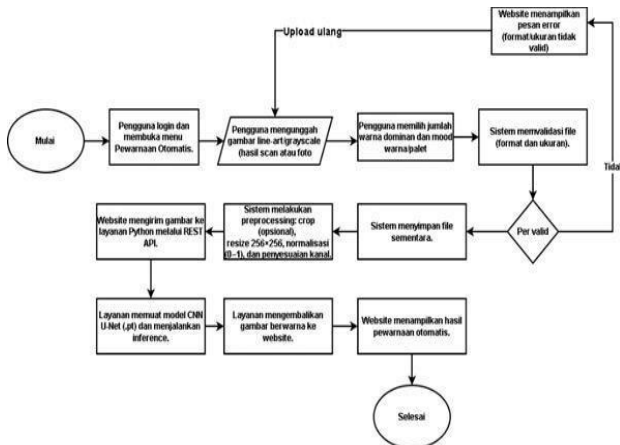
• Use Case Diagram



Gambar 2 Use Case Diagram Website Pewarnaan Otomatis Berbasis AI

Use case diagram pada Gambar 2 memperlihatkan keterlibatan *admin* pusat, guru, siswa, dan layanan AI dalam mengakses fungsi utama sistem, mulai dari autentikasi, pengelolaan akun, pengelolaan materi, kuis, diskusi, hingga proses pewarnaan otomatis.

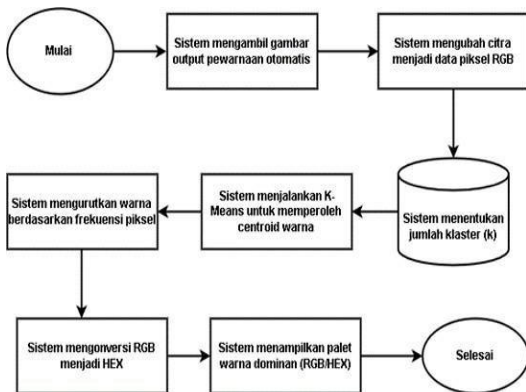
- *Flowchart* Proses Pewarnaan Otomatis



Gambar 3 *Flowchart* Proses Pewarnaan Otomatis Berbasis CNN U-Net

Flowchart pada Gambar 3 menjelaskan alur pewarnaan otomatis. Proses dimulai dari *login*, unggah gambar, validasi format, pemilihan jumlah warna dan *mood* warna, praproses citra, inferensi CNN U-Net, hingga menampilkan hasil pewarnaan pada *website*.

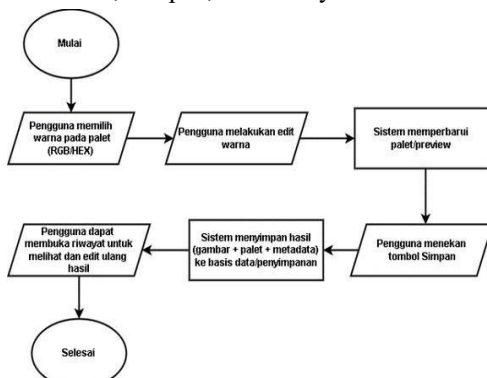
- *Flowchart* Palet Warna Dominan *K-Means Clustering*



Gambar 4 *Flowchart* Palet Warna Dominan *K-Means Clustering*

Gambar 4 menunjukkan proses ekstraksi palet warna dominan. Sistem mengambil citra hasil pewarnaan, mengubahnya menjadi data piksel RGB, menentukan jumlah kluster, menjalankan *K-Means*, mengurutkan warna, lalu mengonversi nilai RGB menjadi kode HEX.

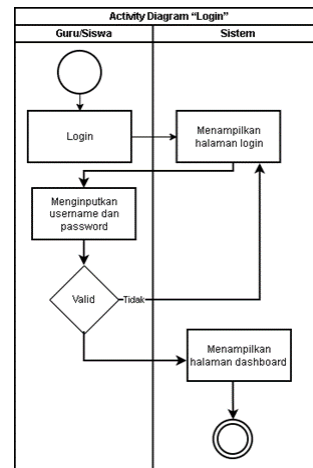
- *Flowchart* Edit, Simpan, dan Riwayat Hasil



Gambar 5 *Flowchart* Edit, Simpan, dan Riwayat Hasil

Gambar 5 menggambarkan alur setelah hasil pewarnaan ditampilkan. Pengguna dapat memilih warna pada palet, melakukan penyuntingan, melihat pratinjau, menyimpan gambar beserta metadata, dan membuka riwayat untuk melihat atau mengedit ulang hasil.

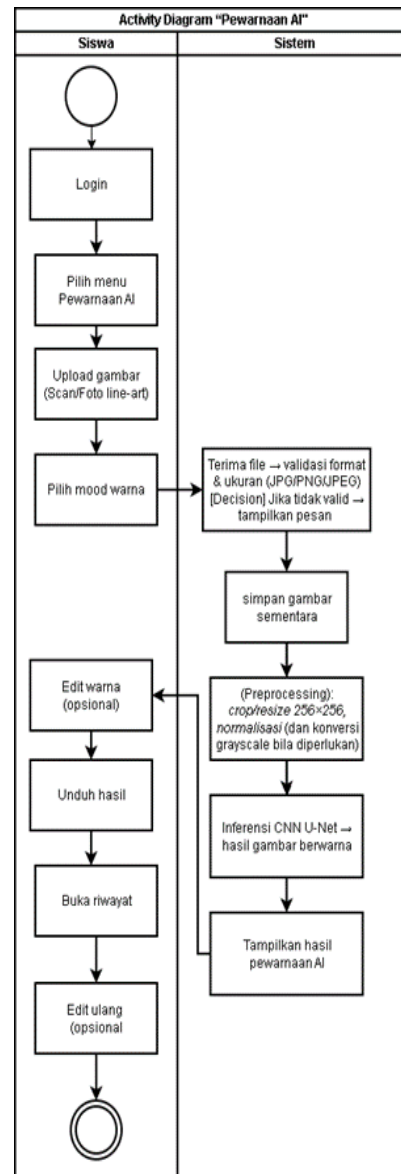
- *Activity Diagram* Login



Gambar 6 *Activity Diagram* Login

Activity diagram login pada Gambar 6 memperlihatkan proses autentikasi guru atau siswa. Sistem menampilkan halaman *login*, memvalidasi *username* dan *password*, lalu mengarahkan pengguna ke *dashboard* apabila data valid.

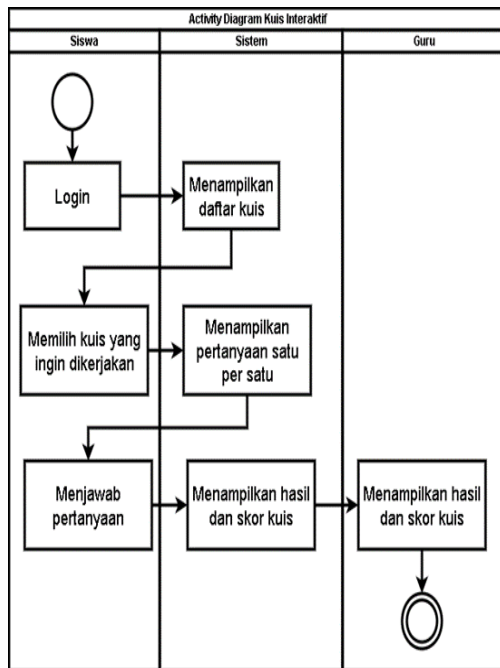
- *Activity Diagram* Pewarnaan AI



Gambar 7 *Activity Diagram* Pewarnaan AI

Gambar 7 menjelaskan aktivitas siswa saat menggunakan fitur pewarnaan AI. Siswa memilih menu pewarnaan, mengunggah gambar, memilih *mood* warna, sistem melakukan validasi dan praproses, kemudian model CNN U-Net menghasilkan gambar berwarna.

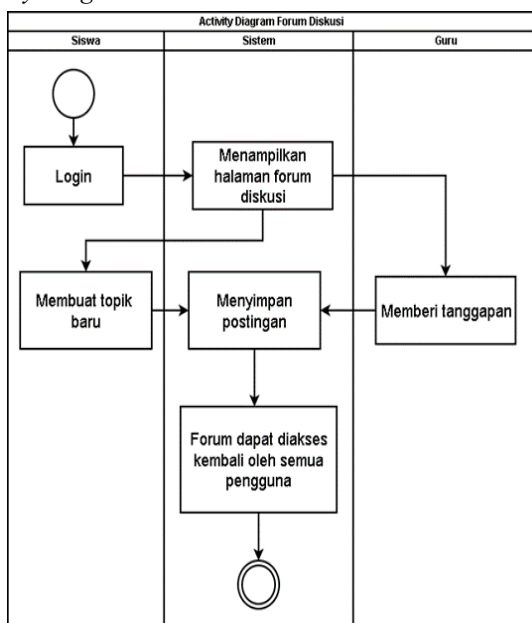
• Activity Diagram Kuis Interaktif



Gambar 8 Activity Diagram Kuis Interaktif

Activity diagram pada Gambar 8 menggambarkan alur kuis interaktif. Siswa memilih kuis, menjawab pertanyaan, sistem menampilkan skor, dan guru dapat melihat hasil kuis sebagai bagian dari evaluasi pembelajaran.

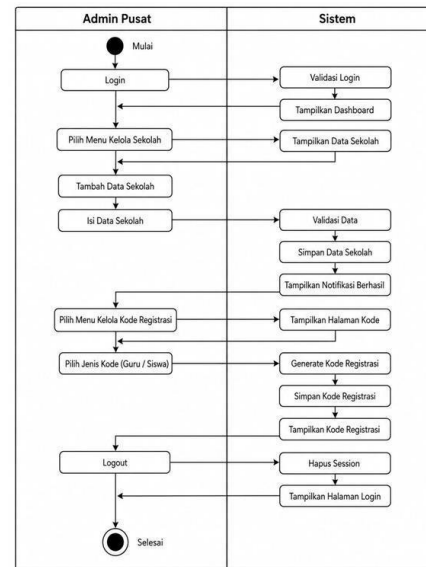
• Activity Diagram Forum Diskusi



Gambar 9 Activity Diagram Forum Diskusi

Gambar 9 menunjukkan proses forum diskusi. Siswa dapat membuat topik baru, sistem menyimpan postingan, guru memberi tanggapan, dan forum dapat diakses kembali oleh pengguna sebagai ruang komunikasi pembelajaran.

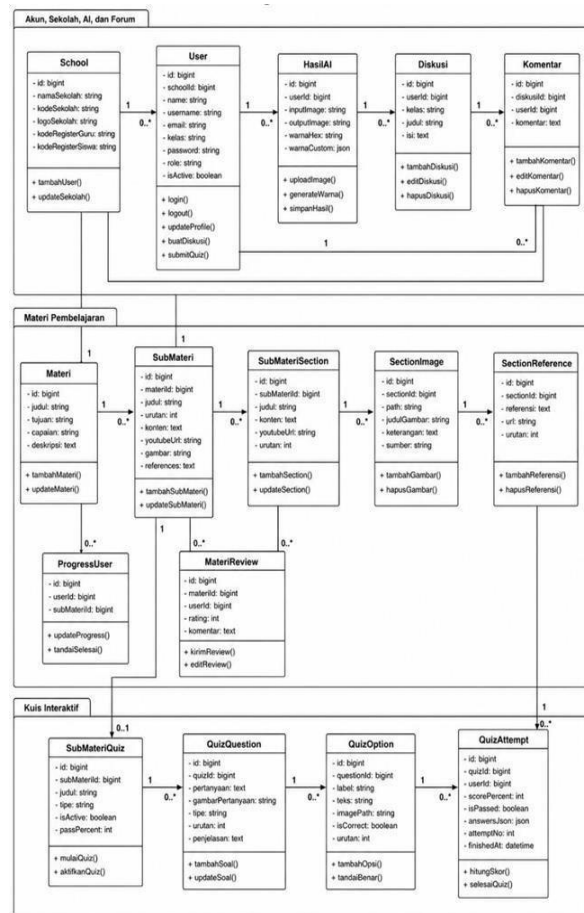
• Activity Diagram Pengelolaan Sekolah dan Kode Registrasi



Gambar 10 Activity Diagram Pengelolaan Sekolah dan Kode Registrasi oleh Admin Pusat

Gambar 10 menjelaskan aktivitas *admin* pusat dalam mengelola data sekolah dan kode registrasi. Proses meliputi *login*, pengisian data sekolah, validasi data, penyimpanan data, pembuatan kode guru atau siswa, serta *logout* dari sistem.

• Class Diagram Sistem Pembelajaran Berbasis Artificial Intelligence



Gambar 12 Class Diagram Sistem Pembelajaran Berbasis Artificial Intelligence

Activity diagram kelola data pada Gambar 11 memperlihatkan hubungan aktivitas *admin* pusat, siswa, sistem, dan guru. Diagram ini memuat proses pengelolaan akun, pengolahan gambar, pengelolaan materi, kuis, forum, serta hasil nilai siswa.

D. Model CNN U-Net dan Ekstraksi Palet

Model CNN U-Net digunakan untuk mengubah citra *line-art* atau *grayscale* menjadi citra berwarna. U-Net memiliki *encoder* untuk mengekstraksi fitur visual dan *decoder* untuk membentuk kembali citra keluaran. *Skip connection* berperan mempertahankan detail garis dan bentuk objek sehingga warna yang dihasilkan tetap mengikuti struktur gambar awal.

Palet warna dominan diperoleh melalui *K-Means Clustering*. Warna pada hasil pewarnaan dikelompokkan ke dalam beberapa kluster sesuai jumlah yang dipilih pengguna, kemudian pusat tiap kluster diubah menjadi kode HEX. Informasi palet tersebut dimanfaatkan sebagai bahan belajar agar siswa dapat mengamati warna utama dan memahami harmoni warna pada karya.

E. Teknik Pengujian

Pengujian sistem dilakukan dengan *black box testing* untuk memeriksa kesesuaian fungsi terhadap kebutuhan pengguna. Evaluasi model menggunakan beberapa metrik, yaitu *accuracy*, *training loss*, *validation loss*, *Mean Absolute Error* (MAE), *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR), *Structural Similarity Index Measure* (SSIM), dan *pixel similarity*.

Kelayakan *website* diukur melalui kuesioner kepada 34 siswa kelas X-5 dan tanggapan dari 1 guru. Persentase kelayakan diperoleh dengan membandingkan total skor hasil penilaian terhadap skor maksimum, kemudian hasilnya diinterpretasikan menggunakan kategori kelayakan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi Website Kromora

Hasil implementasi menunjukkan bahwa *website* Kromora telah menyediakan fitur utama yang mendukung pembelajaran Seni Rupa secara digital. Halaman awal memuat informasi penggunaan sistem, sedangkan halaman autentikasi membedakan akses *admin* pusat, guru, dan siswa. Bagi siswa, fitur unggah sketsa dan pengaturan warna menjadi tahap penting sebelum proses pewarnaan otomatis dijalankan.

Fitur pembelajaran digital terdiri atas materi teori warna, kuis, forum diskusi, penilaian materi, dan riwayat hasil pewarnaan. Dengan fitur tersebut, *website* tidak hanya berperan sebagai alat pewarnaan otomatis, tetapi juga menjadi ruang belajar berbasis *web* yang menghubungkan penyajian materi, praktik visual, dan evaluasi.

B. Hasil Evaluasi Model CNN U-Net

Model U-Net mampu menghasilkan citra berwarna dari *input line-art*. Hasil evaluasi menunjukkan *accuracy* sebesar 53,08%, *training loss* 0,0843, *validation loss* 0,0893, MAE 0,2236, PSNR 15,47 dB, SSIM 0,2537, serta *pixel similarity* sekitar 81%. Kedekatan nilai *training loss* dan *validation loss* menunjukkan bahwa model tidak mengalami *overfitting* secara mencolok.

Temuan tersebut mengindikasikan bahwa model telah mengenali pola dasar pewarnaan, walaupun kemampuan generalisasi dan ketepatan struktur visual masih perlu ditingkatkan. Kinerja model lebih terlihat pada kesesuaian warna secara umum dibandingkan pada rekonstruksi detail objek. Hal ini dapat dipahami karena *dataset* karya siswa memiliki variasi bentuk, garis, dan gaya pewarnaan yang cukup beragam.

TABEL I. RINGKASAN HASIL EVALUASI MODEL DAN SISTEM

Indikator	Nilai / Hasil
<i>Accuracy</i>	53,08%
<i>Loss train/valid</i>	0,0843 / 0,0893
MAE	0,2236
PSNR / SSIM	15,47 dB / 0,2537
<i>Pixel similarity</i>	+81%
<i>Black box</i>	25 skenario berhasil
Palet HEX	Berhasil ditampilkan

C. Hasil Pengujian Fungsional

Pengujian *black box* mencakup 25 skenario, antara lain login, registrasi, unggah gambar *line-art*, pemilihan jumlah warna dominan, pemilihan mood warna, proses pewarnaan AI, penampilan palet warna, penyimpanan riwayat, akses materi, kuis, forum diskusi, serta pengelolaan data oleh admin dan admin pusat. Seluruh skenario memperoleh status berhasil.

TABEL II. HASIL PENGUJIAN BLACK BOX WEBSITE KROMORA

No.	Skenario dan Keterangan	Status
1	Login pengguna: Pengguna berhasil masuk ke sistem menggunakan akun yang terdaftar	Berhasil
2	Registrasi pengguna: Data pengguna berhasil tersimpan ke <i>database</i>	Berhasil
3	Upload gambar <i>line-art</i> : Gambar berhasil diunggah ke sistem	Berhasil
4	Memilih jumlah warna dominan: Sistem menerima jumlah warna yang dipilih pengguna	Berhasil
5	Memilih <i>mood</i> warna: <i>Mood</i> warna berhasil diproses oleh sistem	Berhasil
6	Menjalankan proses pewarnaan AI: Sistem berhasil menghasilkan gambar berwarna	Berhasil
7	Menampilkan palet warna dominan: Warna dominan berhasil ditampilkan dalam bentuk kode HEX	Berhasil
8	Menyimpan hasil pewarnaan: Hasil pewarnaan berhasil tersimpan pada riwayat	Berhasil
9	Menampilkan riwayat pewarnaan: Data riwayat berhasil ditampilkan	Berhasil
10	Menghapus riwayat pewarnaan: Data riwayat berhasil dihapus	Berhasil
11	Menampilkan materi pembelajaran: Materi dapat diakses oleh pengguna	Berhasil
12	Memberikan <i>rating</i> materi: <i>Rating</i> berhasil tersimpan ke sistem	Berhasil
13	Mengerjakan kuis: Sistem berhasil menampilkan soal dan menerima jawaban	Berhasil
14	Menampilkan hasil kuis: Nilai kuis berhasil ditampilkan kepada pengguna	Berhasil

15	Mengakses forum diskusi: Forum diskusi dapat diakses oleh pengguna	Berhasil
16	Mengirim komentar diskusi: Komentar berhasil tersimpan dan ditampilkan	Berhasil
17	Kelola materi oleh admin: Admin dapat menambah, mengubah, dan menghapus materi	Berhasil
18	Kelola kuis oleh admin: Admin dapat menambah, mengubah, dan menghapus kuis	Berhasil
19	Kelola forum oleh admin: Admin dapat mengelola forum diskusi pengguna	Berhasil
20	Kelola pengguna oleh admin: Admin dapat mengelola data pengguna	Berhasil
21	Menambah data sekolah oleh admin pusat: Data sekolah berhasil ditambahkan dan tersimpan	Berhasil
22	Mengubah data sekolah oleh admin pusat: Data sekolah berhasil diperbarui	Berhasil
23	Membuat kode guru: Kode guru berhasil dibuat dan dapat digunakan saat registrasi	Berhasil
24	Menambahkan akun guru: Data akun guru berhasil tersimpan ke sistem	Berhasil
25	Menambahkan akun siswa: Data akun siswa berhasil tersimpan ke sistem	Berhasil

Berdasarkan Tabel II, keberhasilan seluruh skenario menegaskan bahwa *website* dapat menjalankan fungsi utama sesuai kebutuhan pengguna. Fitur pewarnaan otomatis mampu menerima *input* gambar, memproses citra melalui model CNN U-Net, menampilkan hasil pewarnaan, dan menyajikan palet warna dominan dalam kode HEX.

D. Hasil Uji Pengguna dan Tanggapan Guru

Uji pengguna melibatkan 34 siswa dengan 18 pernyataan yang mencakup tampilan, kemudahan penggunaan, proses *login*, unggah gambar, hasil pewarnaan AI, palet warna, forum diskusi, penilaian materi, kemandirian memilih warna, dan kepuasan pengguna. Seluruh aspek memperoleh rata-rata di atas 4,50. Nilai rata-rata 5,00 muncul pada aspek kemudahan *upload* gambar, proses pewarnaan otomatis, bantuan ide kombinasi warna, dukungan palet warna, kemandirian memilih warna, kesesuaian sebagai media pembelajaran, dan kepuasan keseluruhan.

Persentase kelayakan dari siswa mencapai 98,24% dan termasuk kategori sangat layak. Tanggapan guru memperoleh nilai 90,00% dengan kategori yang sama. Guru menyatakan bahwa *website* memiliki menu yang beragam dan fitur AI pewarna dapat membantu siswa memperoleh referensi warna tanpa perlu menggunakan aplikasi lain. Adapun catatan perbaikan diarahkan pada penyederhanaan alur pengisian submateri dan kuis.

TABEL III. REKAPITULASI KELAYAKAN WEBSITE

Responden	Skor	Kelayakan
Siswa (34)	3006 / 3060	98,24% - sangat layak
Guru (1)	81 / 90	90,00% - sangat layak

Persentase kelayakan dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Persentase Kelayakan} &= (\text{Total Skor Diperoleh} / \text{Skor Maksimum}) \times 100\% \\ &= (3006 / 3060) \times 100\% \\ &= 98,24\%\end{aligned}$$

Keterangan: Berdasarkan hasil perhitungan, persentase kelayakan siswa sebesar 98,24% berada pada rentang 81-100%, sehingga termasuk kategori sangat layak. Oleh karena itu, *website* Kromora dapat dinilai sangat layak sebagai media pembelajaran Seni Rupa berbasis pewarnaan otomatis.

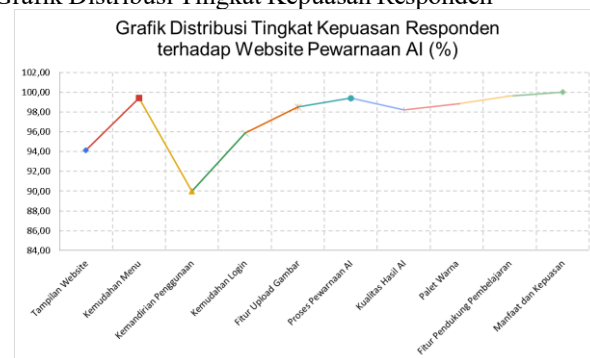
Selain rekapitulasi kelayakan secara keseluruhan, data kuesioner siswa dianalisis menurut indikator penilaian. Ringkasan persentase setiap indikator ditampilkan pada Tabel IV dan divisualisasikan melalui Gambar 13.

TABEL IV. DISTRIBUSI TINGKAT KEPUASAN RESPONDEN TERHADAP WEBSITE PEWARNAAN AI

No.	Indikator	Persentase
1	Tampilan <i>Website</i>	94,12%
2	Kemudahan Menu	99,41%
3	Kemandirian Penggunaan	90,00%
4	Kemudahan <i>Login</i>	95,88%
5	Fitur <i>Upload</i> Gambar	98,53%
6	Proses Pewarnaan AI	99,41%
7	Kualitas Hasil AI	98,24%
8	Palet Warna	98,82%
9	Fitur Pendukung Pembelajaran	99,61%
10	Manfaat dan Kepuasan	100,00%

Berdasarkan Tabel IV, seluruh indikator memperoleh persentase sekurang-kurangnya 90,00%, sehingga masuk kategori sangat layak. Indikator manfaat dan kepuasan memperoleh persentase tertinggi, yaitu 100,00%, sedangkan indikator kemandirian penggunaan memperoleh nilai terendah sebesar 90,00%.

• Grafik Distribusi Tingkat Kepuasan Responden



Gambar 13 Grafik Distribusi Tingkat Kepuasan Responden terhadap Website Pewarnaan AI

Gambar 13 memperlihatkan bahwa tingkat kepuasan responden cenderung tinggi pada hampir semua indikator. Hasil ini memperkuat temuan uji pengguna bahwa fitur utama *website*, terutama pewarnaan AI, palet warna, dan fitur pendukung pembelajaran, diterima dengan baik oleh responden. Temuan tersebut juga menunjukkan bahwa pengembangan berikutnya perlu memberi perhatian pada penyederhanaan alur penggunaan agar siswa dapat mengakses dan memanfaatkan seluruh fitur *website* secara lebih mandiri.

TABEL V. KATEGORI KELAYAKAN WEBSITE

Persentase	Kategori
81–100%	Sangat Layak
61–80%	Layak

41–60%	Cukup Layak
21–40%	Tidak Layak
0–20%	Sangat Tidak Layak

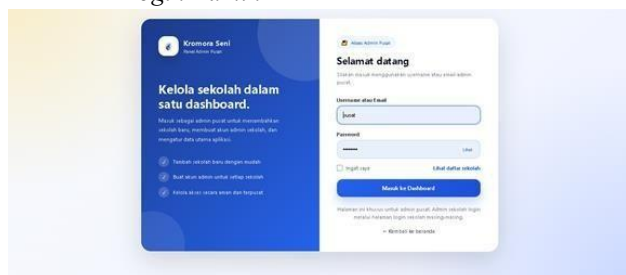
Sumber: Riduwan (2015)

Berdasarkan Tabel V, nilai 98,24% dan 90,00% berada pada rentang 81-100%, sehingga keduanya termasuk kategori sangat layak

E. Tampilan Implementasi Website

Pada implementasi antarmuka, tampilan *website* disusun mengikuti alur akses pengguna agar proses pemakaian sistem mudah dipahami. Urutan tampilan dimulai dari *login admin* pusat, *dashboard admin* pusat, pemilihan sekolah, *login* dan registrasi pengguna sekolah, *dashboard admin* sekolah, halaman *reset password*, *dashboard* siswa, halaman *upload* sketsa dan pengaturan warna, hasil pelatihan serta prediksi model U-Net, hasil pewarnaan AI, hingga hasil pengujian pewarnaan AI. Susunan tersebut menggambarkan alur penggunaan sistem dari pengelolaan awal, akses pengguna, sampai proses pewarnaan otomatis berbasis CNN U-Net.

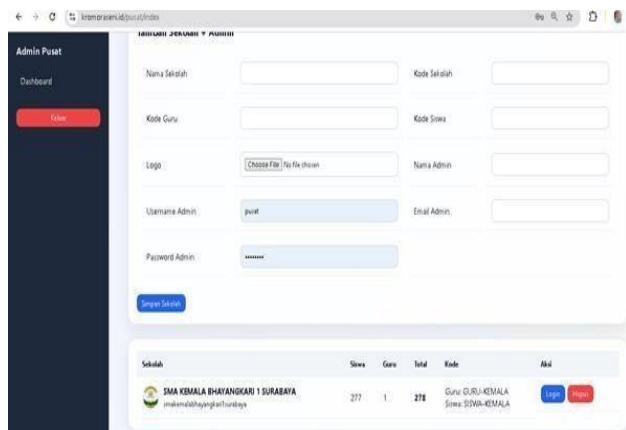
• Halaman *Login Admin* Pusat



Gambar 14 Halaman *Login Admin* Pusat

Gambar 14 menampilkan halaman *login admin* pusat sebagai akses awal menuju *dashboard admin* pusat. Melalui halaman ini, *admin* pusat melakukan autentikasi sebelum mengelola data sekolah dan akun pengguna.

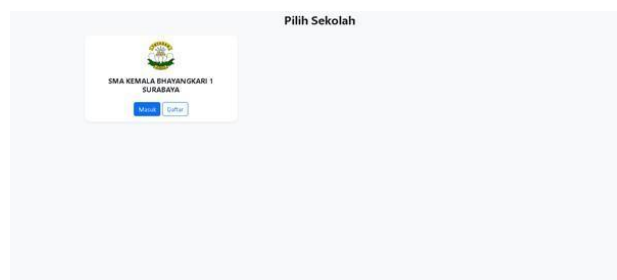
• Halaman *Dashboard Admin* Pusat



Gambar 15 Halaman *Dashboard Admin* Pusat

Gambar 15 memperlihatkan *dashboard admin* pusat yang digunakan untuk menambahkan dan mengelola data sekolah, kode sekolah, kode guru, kode siswa, logo, serta akun *admin* sekolah. Halaman ini menjadi pusat pengelolaan awal sebelum pengguna sekolah mengakses sistem.

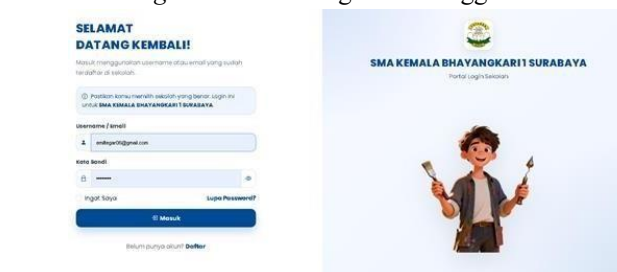
• Halaman *Pilih Sekolah*



Gambar 16 Halaman *Pilih Sekolah*

Gambar 16 menunjukkan halaman pemilihan sekolah. Fitur ini membantu pengguna menentukan lingkungan sekolah yang sesuai sehingga proses *login* dan akses fitur diarahkan pada data sekolah yang tepat.

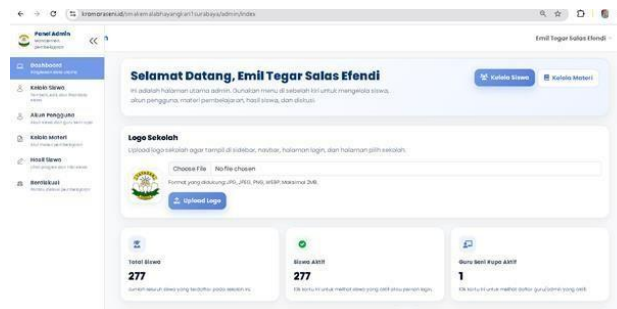
• Halaman *Login* dan Akses Registrasi Pengguna Sekolah



Gambar 17 Halaman *Login* dan Akses Registrasi Pengguna Sekolah

Gambar 17 menampilkan halaman *login* pengguna sekolah untuk guru dan siswa. Pada halaman yang sama tersedia tautan pendaftaran bagi pengguna yang belum memiliki akun.

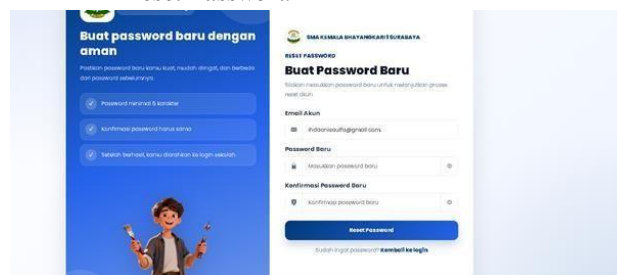
• Halaman *Dashboard Admin* Sekolah



Gambar 18 Halaman *Dashboard Admin* Sekolah

Gambar 18 memperlihatkan *dashboard admin* sekolah atau guru. Halaman ini memuat ringkasan jumlah siswa, siswa aktif, guru Seni Rupa aktif, serta tombol akses cepat untuk mengelola siswa dan materi pembelajaran.

• Halaman *Reset Password*



Gambar 19 Halaman *Reset Password*

Gambar 19 memperlihatkan halaman *reset password* yang membantu pengguna memperbarui kata sandi secara aman ketika mengalami kendala akses akun.

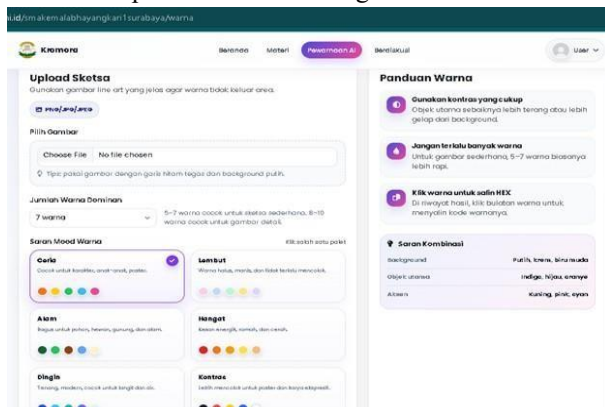
• Halaman *Dashboard* Siswa



Gambar 20 Halaman *Dashboard* Siswa

Gambar 20 menunjukkan *dashboard* siswa sebagai halaman awal setelah siswa berhasil masuk ke sistem. Halaman ini menyediakan akses ke materi, fitur pewarnaan AI, kuis, dan forum diskusi sehingga siswa dapat berpindah ke aktivitas pembelajaran utama dengan lebih mudah.

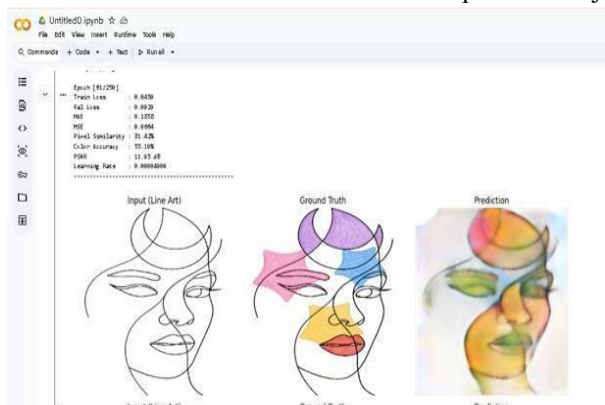
• Halaman Upload Sketsa dan Pengaturan Warna



Gambar 21 Halaman *Upload* Sketsa dan Pengaturan Warna

Gambar 21 memperlihatkan halaman *upload* sketsa yang digunakan siswa untuk memasukkan gambar *line-art* atau *grayscale*. Pada halaman ini, siswa dapat menentukan jumlah warna dominan dan memilih *mood* warna, seperti ceria, lembut, alam, hangat, dingin, atau kontras, sebelum menjalankan pewarnaan otomatis.

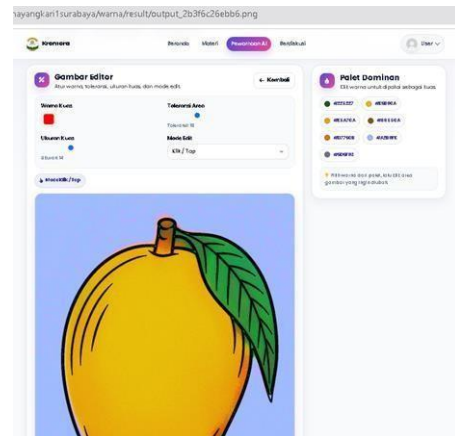
• Hasil Pelatihan dan Prediksi Model U-Net pada Data Uji



Gambar 22 Hasil Pelatihan dan Prediksi Model U-Net pada Data Uji

Gambar 22 menyajikan contoh hasil pengujian model U-Net pada data uji. Tampilan tersebut membandingkan *input line-art*, *ground truth*, dan hasil prediksi model untuk melihat kemampuan model dalam mempertahankan bentuk objek sekaligus menghasilkan warna pada citra keluaran.

• Hasil Pewarnaan AI dan Palet Warna Dominan



Gambar 23 Hasil Pewarnaan AI dan Palet Warna Dominan

Gambar 23 menampilkan hasil pewarnaan AI pada halaman editor gambar. Selain keluaran berwarna, sistem juga menyajikan palet warna dominan dalam kode HEX sebagai referensi pembelajaran teori warna.

• Hasil Pengujian Pewarnaan AI

No	Mood	Gambar Asli	Hasil AI	Warna Dominan	Warna Custom	Aksi
1	0007			#FFD700 #FFA500 #FF69B4 #FF6347 #FF4500 #FF8C00	Berhasil	Uji
2	0008			#FFD700 #FFA500 #FF69B4 #FF6347 #FF4500 #FF8C00	Berhasil	Uji
3	0009			#FFD700 #FFA500 #FF69B4 #FF6347 #FF4500 #FF8C00	Berhasil	Uji
4	0004			#FFD700 #FFA500 #FF69B4 #FF6347 #FF4500 #FF8C00	Berhasil	Uji
5	0002			#FFD700 #FFA500 #FF69B4 #FF6347 #FF4500 #FF8C00	Berhasil	Uji
6	0001			#FFD700 #FFA500 #FF69B4 #FF6347 #FF4500 #FF8C00	Berhasil	Uji

Gambar 24 Hasil Pengujian Pewarnaan AI Berdasarkan *Mood* Warna

Gambar 24 memperlihatkan riwayat pengujian pewarnaan AI berdasarkan beberapa pilihan *mood* warna. Setiap percobaan menghasilkan citra berwarna dan palet warna dominan yang berbeda sesuai karakter warna yang dipilih pengguna. Rincian hasil pengujian pewarnaan AI disajikan pada Tabel VI.

TABEL VI. HASIL PENGUJIAN PEWARNAAN AI

No./Mood	Gambar Output	Palet Dominan dan Status
1 Ceria		#8D7515, #A8ABF5, #C9A6B8, #C5A0E6, #E0C53A, #2993F9, #82B7F8 Status: Berhasil
2 Lembut		#D6D0E1, #91C7FA, #7B8D8A, #D3CCF1, #E4D8B0, #5096FA, #A88B34 Status: Berhasil
3 Alam		#D7CAC9, #3389F9, #D6D3F6, #B36D09, #457D3D, #25250A, #BFC9EE Status: Berhasil
4 Hangat		#A5860A, #C1C1D6, #5A81DE, #859FF3, #C1C7F3, #B8B8A3, #CCD1FF Status: Berhasil
5 Dingin		#1971E6, #ACA8AD, #E1D3EC, #E6D6DD, #355F31, #D7A162, #A5C1E4 Status: Berhasil

6 Kontras		#CA9319, #1C3A01, #D6D4E6, #E7E8F1, #655820, #9D9E95, #1971E6 Status: Berhasil
--------------	---	--

Berdasarkan Tabel VI, seluruh proses pewarnaan AI pada enam pilihan *mood* warna memperoleh status berhasil. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem dapat menghasilkan citra berwarna dan menampilkan palet warna dominan dalam kode HEX untuk setiap variasi *mood* warna yang dipilih pengguna.

F. Pembahasan

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa integrasi CNN U-Net dengan *website* pembelajaran dapat memenuhi kebutuhan media visual pada materi teori warna. Siswa memperoleh contoh warna langsung dari gambar yang mereka unggah, sehingga kegiatan belajar menjadi lebih kontekstual. Palet warna dominan turut memberikan informasi tentang warna utama yang terbentuk dari hasil pewarnaan.

Apabila dibandingkan dengan pewarnaan berbasis *Transformer*, GAN, atau *diffusion model* yang umumnya memerlukan sumber daya komputasi lebih besar [7]-[9], CNN U-Net menjadi pilihan yang lebih ringan untuk diterapkan di lingkungan sekolah. Keterbatasan model masih terlihat pada nilai SSIM dan PSNR, sehingga hasil pewarnaan belum sepenuhnya realistis. Namun, tujuan utama sistem ini bukan menggantikan kreativitas siswa, melainkan menyediakan referensi visual untuk membantu eksplorasi warna secara mandiri.

Persentase kelayakan yang tinggi menunjukkan bahwa *website* diterima dengan baik oleh siswa dan guru. Temuan ini mendukung pandangan bahwa media berbasis teknologi dapat meningkatkan daya tarik pembelajaran apabila fitur yang dikembangkan sesuai dengan kebutuhan belajar. *Website* Kromora dapat digunakan sebagai media pendamping guru dalam menjelaskan teori warna, memberi latihan eksplorasi, serta memfasilitasi diskusi dan evaluasi hasil belajar.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Website Kromora berbasis CNN U-Net telah berhasil dikembangkan sebagai media pembelajaran interaktif pada materi teori warna dalam pembelajaran Seni Rupa. Sistem ini menyediakan beberapa fitur utama, yaitu unggah gambar *line-art* atau *grayscale*, pewarnaan otomatis, tampilan palet warna dominan, materi digital, kuis, forum diskusi, editor hasil, riwayat penyimpanan karya, serta pengelolaan hasil belajar siswa. Kehadiran fitur tersebut menunjukkan bahwa *website* tidak hanya berfungsi sebagai alat pewarnaan otomatis, tetapi juga sebagai media belajar berbasis *web* yang menghubungkan materi, praktik visual, dan evaluasi pembelajaran.

Model CNN U-Net yang diterapkan pada *website* mampu menghasilkan pewarnaan otomatis dari *input* gambar *line-art* atau *grayscale*. Selain itu, sistem juga dapat menampilkan palet warna dominan dalam bentuk kode warna yang dapat digunakan siswa sebagai referensi eksplorasi warna. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa model telah mampu mengenali pola dasar pewarnaan dengan nilai *pixel similarity* sekitar 81%. Namun, kualitas struktur visual dan ketepatan detail warna masih perlu

ditingkatkan. Hal ini menunjukkan bahwa model masih berada pada tahap pengembangan awal dan membutuhkan *dataset* yang lebih luas, lebih bervariasi, serta optimasi parameter pelatihan agar hasil pewarnaan menjadi lebih stabil dan sesuai dengan karakter gambar siswa.

Hasil uji kelayakan menunjukkan bahwa *website* Kromora memperoleh persentase sebesar 98,24% dari siswa dan 90,00% dari guru. Kedua hasil tersebut berada pada kategori sangat layak. Dengan demikian, *website* Kromora dinilai layak digunakan sebagai media pembelajaran Seni Rupa, khususnya untuk membantu siswa memahami kombinasi warna secara visual, interaktif, dan mandiri. *Website* ini juga dapat membantu guru menyediakan referensi warna yang lebih cepat, menarik, dan mudah diakses dalam kegiatan pembelajaran teori warna.

B. Saran

Pengembangan selanjutnya disarankan untuk memperluas jumlah dan variasi *dataset* citra agar model CNN U-Net dapat mengenali lebih banyak karakter gambar, bentuk objek, dan gaya pewarnaan. *Dataset* yang lebih beragam dapat membantu model menghasilkan pewarnaan yang lebih stabil, *natural*, dan sesuai dengan konteks gambar.

Penelitian berikutnya dapat membandingkan arsitektur CNN U-Net dengan model *deep learning* lain, seperti U-Net modifikasi, GAN, *Transformer*, atau *diffusion model*. Perbandingan tersebut diperlukan untuk mengetahui model yang paling efektif dalam menghasilkan pewarnaan otomatis pada gambar *line-art* atau *grayscale* yang digunakan dalam pembelajaran Seni Rupa.

Dari sisi sistem, alur pengelolaan materi dan kuis perlu disederhanakan agar guru lebih mudah menambahkan, mengubah, dan mengatur konten pembelajaran. Penyederhanaan ini penting agar *website* tidak hanya mudah digunakan oleh siswa, tetapi juga praktis bagi guru sebagai pengelola pembelajaran.

Pengujian *website* juga dapat diperluas pada lebih banyak kelas atau sekolah agar hasil kelayakan sistem menjadi lebih kuat. Pengujian dengan jumlah responden yang lebih besar dapat memberikan gambaran yang lebih lengkap mengenai efektivitas *website* Kromora sebagai media pembelajaran digital berbasis pewarnaan otomatis.

REFERENSI

- [1] Sciences, S. dkk., "Global Conferences Series: The Practicality and Effectiveness of Web-Based Learning Media," vol. 5, pp. 52-56, 2020.
- [2] H. Balalle, "Exploring student engagement in technology-based education in relation to gamification, online/distance learning, and other factors: A systematic literature review," *Social Sciences & Humanities Open*, vol. 9, p. 100870, 2024, doi: 10.1016/j.ssaho.2024.100870.
- [3] B. Acharya and S. Pokhrel, "Coloring of Gray Scale Image using U-net Architecture," pp. 980-986, 2021.
- [4] Z. Hu, O. Shkurat, and M. Kasner, "Grayscale Image Colorization Method Based on U-Net Network," *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing*, vol. 16, no. 2, pp. 70-82, 2024, doi: 10.5815/ijigsp.2024.02.06.
- [5] H. Q. R. Al Zoubi, "The Application of U-Net and Image Colorfulness Frame for Image Colorization Issue," vol. 72, no. 7, pp. 24-36, 2024.
- [6] M. H. Zayd and R. C. Wihandika, "Image Colorization using U-Net with Skip Connections and Fusion Layer on Landscape Images," in *Proceedings of ACM Conference*, 2022.

- [7] H. Shafiq and B. Lee, "Transforming Color: A Novel Image Colorization Method," *Electronics*, vol. 13, no. 13, pp. 1-11, 2024, doi: 10.3390/electronics13132511.
- [8] M. Xu, "Image colorization based on transformer," *Scientific Reports*, vol. 15, no. 1, pp. 1-14, 2025, doi: 10.1038/s41598-025-05485-0.
- [9] S. Anwar dkk., "Image colorization: A survey and dataset," *Information Fusion*, vol. 114, pp. 1-20, 2025, doi: 10.1016/j.inffus.2024.102720.
- [10] S. More and D. Mishra, "Developments in Image Processing using Deep learning and Reinforcement learning," in *3rd IEEE International Conference on ICT in Business Industry and Government*, 2023, doi: 10.1109/ICTBIG59752.2023.10456257.
- [11] A. Khan dkk., "A survey of the recent architectures of deep convolutional neural networks," *Artificial Intelligence Review*, vol. 53, no. 8, pp. 5455-5516, 2020, doi: 10.1007/s10462-020-09825-6.
- [12] A. Paszke dkk., "PyTorch: An imperative style, high-performance deep learning library," *Advances in Neural Information Processing Systems*, vol. 32, 2021.
- [13] O. Neumann dkk., "EasyMLServe: Easy Deployment of REST Machine Learning Services," pp. 11-30, 2022, doi: 10.58895/ksp/1000151141-2.
- [14] L. Khanna, "Laravel - A Trending PHP Framework," *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, vol. 4, no. 4, pp. 1374-1377, 2020.
- [15] Y. Chang and N. Mukai, "Color Feature Based Dominant Color Extraction," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 93055-93061, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3202632.
- [16] A. Molada-Tebar dkk., "Dominant color extraction with K-means for camera characterization in cultural heritage documentation," *Remote Sensing*, vol. 12, no. 3, 2020, doi: 10.3390/rs12030520.
- [17] Z. Subecz, "Web-development with Laravel framework," *Gradus*, vol. 8, no. 1, pp. 211-218, 2021, doi: 10.47833/2021.1.csc.006.
- [18] J. Olah and J. Yang, "Let There Be Color: Deep Learning Image Colorization," *Stanford CS231n Report*, 2022.
- [19] Riduwan, *Skala Pengukuran Variabel-Variabel Penelitian*. Bandung: Alfabeta, 2015.