

PENERAPAN AUTENTIKASI MANUSIA MELALUI MENGGAMBAR CITRA BINER

Ayman Human Sukma^{1*}, Clara Kresensia Panjaitan², Febrina Suleho³, Hermawan Syahputra⁴

^{1,2,3,4}Universitas Negeri Medan; Jl. Williém Iskandar Psr. V, Medan Estate, Medan 20221; Tel. 061-6613365, Fax. 061-6614002, 6613319

Keywords:

Security; authentication; CAPTCHA; drawing.

Correspondent Email:

ahsukma15@gmail.com

Abstrak. Penelitian ini menjelaskan pengembangan dan implementasi sistem verifikasi manusia berbasis gambar digital, khususnya dengan menggunakan metode gambar piksel biner, untuk memenuhi kebutuhan yang semakin meningkat akan alternatif CAPTCHA yang sederhana namun aman. Sistem ini dirancang dengan antarmuka gambar piksel 64x64 yang intuitif dan aturan dinamis yang beradaptasi berdasarkan warna piksel dominan pada gambar panduan acak. Diimplementasikan dalam Python menggunakan Tkinter dan Pillow, fungsi inti sistem mencakup perhitungan kesamaan real-time antara gambar pengguna dan pola referensi, dengan menggunakan metrik yang menghukum pencilun yang salah dan kelalaian. Hasil eksperimen, termasuk simulasi dengan “bot sempurna” dan “bot acak”, yang membedakan interaksi manusia dari masukan otomatis. Pendekatan ini memanfaatkan kemampuan penalaran spasial dan keterampilan motorik halus manusia, menawarkan solusi yang menjanjikan, adaptif, dan ramah pengguna untuk verifikasi manusia secara online.



JITET is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Abstract. This research details the development and implementation of a digital image-based human verification system, specifically utilizing a binary pixel drawing method, to address the growing need for simple yet secure CAPTCHA alternatives. The system was designed with an intuitive 64x64 pixel drawing interface and dynamic rules that adapt based on the dominant pixel color of randomized guide images. Implemented in Python using Tkinter and Pillow, the core functionality includes real-time similarity calculation between user drawings and the reference pattern, employing a metric that penalizes incorrect shading and omissions. Experimental results, including simulations with “perfect” and “random” bots, that differ with human interaction from automated inputs. This approach leverages inherent human spatial reasoning and fine motor skills, offering a promising, adaptable, and user-friendly solution for online human verification.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi yang pesat dalam dekade terakhir telah mengubah pola interaksi manusia dengan sistem digital di berbagai sektor, termasuk keamanan informasi [1]. Di tengah maraknya penggunaan aplikasi daring dan layanan berbasis web, autentikasi pengguna menjadi elemen krusial dalam menjaga integritas dan privasi data [2].

Metode autentikasi konvensional yang berbasis password telah mengalami berbagai permasalahan, seperti risiko peretasan, penggunaan ulang password, dan serangan brute-force [3]. Penggunaan password sebagai metode autentikasi utama memang masih menjadi pilihan yang umum karena kemudahannya, namun di sisi lain juga memiliki banyak kelemahan yang sudah diketahui luas. Permasalahan lain yang kerap

terjadi adalah phishing dan credential stuffing, di mana kredensial yang bocor dari satu layanan digunakan untuk membobol layanan lain yang menggunakan password serupa. Oleh karena itu, dibutuhkan inovasi dalam metode autentikasi yang lebih aman dan user-friendly, seperti penerapan autentikasi manusia melalui menggambar citra biner, guna meminimalisir risiko-risiko tersebut dan meningkatkan keamanan sistem secara keseluruhan.

Pengolahan citra memiliki peran yang sangat penting, terutama dalam proses pelatihan model yang berkaitan dengan data visual seperti klasifikasi gambar. Hal ini disebabkan karena model pembelajaran mesin secara umum belajar dari pola-pola yang terdapat dalam data. Jika data tersebut mengandung noise atau gangguan lainnya, maka model bisa saja menangkap pola yang tidak penting, yang pada akhirnya menyebabkan penurunan akurasi dalam melakukan prediksi [4]. Citra digital merupakan representasi visual dari suatu objek yang bisa berasal dari sinyal video pada perangkat seperti televisi atau ponsel, maupun dalam bentuk file digital yang disimpan di media seperti hard disk, flashdisk, atau kartu memori. Kualitas citra yang baik menjadi faktor krusial dalam keberhasilan sistem mengenali pola yang ada. Untuk mendapatkan citra yang optimal, diperlukan tahapan awal seperti prapemrosesan citra (image preprocessing). Salah satu langkah penting dalam tahap ini adalah segmentasi citra, yang berfungsi untuk memisahkan antara area objek utama dengan latar belakang, sehingga fitur-fitur yang relevan dapat diolah lebih lanjut secara akurat oleh model [5].

Untuk membedakan antara pengguna manusia dan program otomatis dalam proses pendaftaran online, para peneliti telah mengembangkan berbagai mekanisme verifikasi. Salah satu metode yang paling umum digunakan hingga saat ini adalah CAPTCHA (Completely Automated Public Turing Test to Tell Computers and Humans Apart). CAPTCHA dirancang untuk mencegah akses dari bot dan hadir dalam berbagai bentuk, seperti teks, gambar, audio, maupun video. Penelitian terkait pengenalan gambar CAPTCHA penting dilakukan untuk menemukan kelemahan sistem yang ada, sehingga dapat menjadi dasar dalam merancang CAPTCHA baru yang lebih kuat dan mampu

meningkatkan keamanan layanan berbasis internet [6].

Pengujian seperti CAPTCHA dirancang agar sulit bagi komputer namun mudah bagi manusia. Bentuknya bisa berupa teks, gambar, atau suara. Penelitian tentang pengenalan gambar membantu menemukan celah keamanan, sehingga pengembang dapat merancang sistem yang lebih aman [7]. Model ini bekerja dengan baik pada citra yang hanya mengandung text, tetapi menghasilkan dekripsi dengan kualitas rendah untuk citra yang mengandung obyek selain teks. Pada praktiknya CAPTCHA dapat berbentuk teks maupun objek lainnya [8].

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Dinh dan Ogiela (2022) membahas pendekatan human-artificial intelligence (HAI) dalam meningkatkan keamanan sistem CAPTCHA. Studi tersebut menyoroti berbagai skema CAPTCHA yang telah berkembang, serta kerentanannya terhadap serangan otomatis maupun human-assisted relay attacks. Mereka juga menekankan pentingnya interaksi manusia-komputer dalam mendesain CAPTCHA yang tidak hanya aman tetapi juga tetap dapat digunakan secara luas. Riset ini memberikan tinjauan menyeluruh terhadap tantangan dan peluang dalam merancang CAPTCHA generasi berikutnya yang lebih adaptif dan tahan terhadap serangan siber yang semakin kompleks [9].

Sistem CAPTCHA (Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart) yang awalnya dirancang untuk membedakan manusia dari mesin kini semakin mudah diatasi oleh algoritma deep learning, sehingga efektivitasnya sebagai pengaman pun menurun. Menanggapi tantangan ini, muncul pendekatan autentikasi berbasis gambar (image-based authentication) yang memanfaatkan kemampuan manusia dalam mengingat dan mengenali gambar lebih baik daripada teks. Pendekatan ini tidak hanya memberikan pengalaman pengguna yang lebih intuitif, tetapi juga meningkatkan ketahanan sistem terhadap berbagai serangan yang umum terjadi pada autentikasi berbasis kata sandi. Untuk memperkuat keamanan, dikembangkan pula metode alternatif yang menggabungkan elemen visual dan interaksi pengguna, seperti graphical password dan drawing CAPTCHA, yang memanfaatkan kemampuan alami

manusia dalam mengenali serta mengingat pola visual sebagai pengganti input berbasis teks, sehingga diharapkan dapat meningkatkan keamanan sekaligus kenyamanan dalam proses autentikasi [10]. Salah satu pendekatan yang menarik adalah penggunaan citra biner sebagai media autentikasi, di mana gambar direpresentasikan dalam bentuk grid sederhana yang hanya terdiri dari nilai biner, yaitu 0 dan 1.

Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan autentikasi manusia melalui interaksi menggambar citra biner. Mengetahui efektivitas verifikasi menggunakan pixel binary dalam membedakan pengguna manusia dan bot. Sistem ini diharapkan dapat menjadi alternatif autentikasi yang aman, mudah digunakan, dan mampu mengurangi risiko pelanggaran keamanan digital.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Autentikasi

Autentikasi adalah proses memvalidasi identitas pengguna menggunakan berbagai macam mekanisme autentikasi. Dalam sistem keamanan, proses autentikasi memeriksa informasi yang diberikan oleh pengguna dengan basis data. Jika informasi tersebut cocok dengan informasi di basis data, pengguna diberikan akses ke sistemnya [11].

2.2 Citra Biner

Citra biner adalah citra digital yang hanya memiliki dua nilai intensitas untuk setiap piksel, yaitu hitam dan putih. Biasanya, piksel yang mewakili objek diberi nilai 1 (putih) dan piksel latar belakang diberi nilai 0 (hitam), atau sebaliknya, tergantung pada konvensi yang digunakan. Pembentukan citra biner umumnya dilakukan melalui proses thresholding dari citra grayscale, di mana setiap piksel diberi label "objek" jika nilai intensitasnya memenuhi kriteria tertentu berdasarkan nilai threshold yang dipilih. Terdapat dua pendekatan thresholding utama, yaitu threshold inside, di mana piksel dianggap objek jika nilainya berada di antara dua nilai threshold, dan threshold outside, yang merupakan kebalikan dari threshold inside. Pemilihan nilai threshold yang tepat merupakan parameter kunci dalam proses ini, dan berbagai metode telah dikembangkan untuk menentukan nilai threshold secara optimal agar citra biner yang dihasilkan dapat merepresentasikan objek dengan akurat [12].

2.3 Captcha

CAPTCHA (Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Human Apart) pada dasarnya adalah suatu program yang sebagian besar manusia dapat melewatinya, akan tetapi komputer tidak dapat melewatinya [13]. Captcha (Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart) merupakan suatu teknik yang digunakan untuk membedakan manusia dan komputer (bots). Captcha diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok berdasarkan pada bagian apa dilakukan distorsi, apakah karakter, gambar, suara, atau video. Metode menggambar untuk membedakan manusia dan komputer dikembangkan dalam Rujukan. Metode ini bagus untuk digunakan pada perangkat yang memiliki keyboard kecil, atau bahkan yang tidak memiliki keyboard. Cara kerja metode ini adalah dengan menggambar banyak titik secara random di layar, beberapa dari titik tersebut dapat dibedakan dari titik-titik yang lain, misalnya dengan membuat lubang di dalam titik atau menggambar titik dengan bentuk kotak atau berlian. Setelah itu akan ditambahkan beberapa noise dalam gambar dan user akan diminta untuk menghubungkan titik-titik yang berbeda [14].

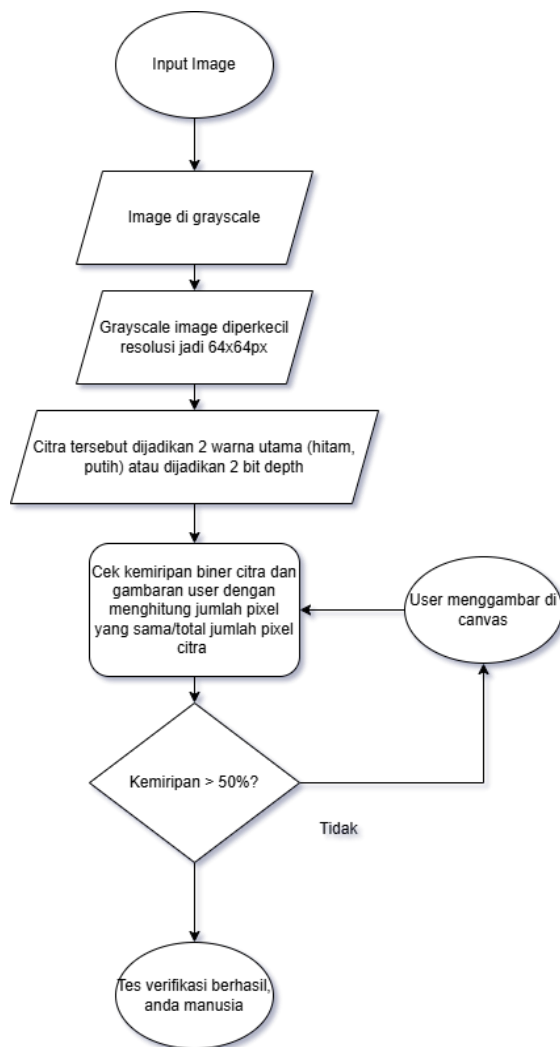
2.4 Citra Digital

Citra digital adalah citra yang dapat diolah oleh komputer dan merupakan citra yang dihasilkan oleh peralatan digital. Citra digital dapat diproses oleh komputer karena terdapat sistem sampling dan kuantisasi di dalam peralatan digital. Citra adalah suatu gambaran atau kemiripan dari suatu objek. Citra analog tidak dapat direpresentasikan dalam komputer, sehingga tidak dapat diproses oleh komputer secara langsung. Agar dapat diproses oleh komputer, citra analog harus dikonversi menjadi citra digital [15].

3. METODE PENELITIAN

Penelitian termasuk dalam kategori pengembangan (Research and Development) yang berfokus pada perancangan dan implementasi sistem verifikasi manusia berbasis citra digital, khususnya melalui metode menggambar pixel binary.

3.1 Pengembangan Sistem



Gambar 1. Flowchart alur program

Penelitian ini menggunakan model Waterfall, karena tahapan pengembangannya bersifat linier dan sistematis, meliputi:

1. Analisis Kebutuhan

- Mengidentifikasi kebutuhan sistem verifikasi sederhana dan aman.
- Menentukan bentuk input (grid pixel), pola yang digunakan, dan proses evaluasi hasil gambar.

2. Desain Sistem

- Merancang antarmuka grid 2-bit (64x64 piksel) tempat pengguna menggambar.
- Menyimpan kumpulan image yang dengan tema beracak sebagai referensi verifikasi.

3. Implementasi

- Menggunakan Python dengan *tools* Tkinter, NumPy, dan Pillow untuk menangani gambar, piksel, dan tampilan halaman.
- Menyimpan pola referensi dalam bentuk array biner.

4. Pengujian

- Menguji apakah sistem dapat membedakan input manusia dari input acak/bot berdasarkan tingkat kemiripan pola.

5. Evaluasi dan Pemeliharaan

- Dilakukan dengan melibatkan beberapa gambar acak untuk menguji fungsionalitas, kemudahan penggunaan, dan efektivitas metode verifikasi.

3.2 Teknik Pengumpulan Data

- **Observasi** terhadap pola interaksi pengguna dengan sistem CAPTCHA saat ini.
- **Wawancara** informal dengan pengguna (mahasiswa) tentang pengalaman menggunakan CAPTCHA.
- **Pengujian Langsung** untuk mengevaluasi efektivitas sistem dalam membedakan input manusia dan input bot.

3.3 Perangkat dan Teknologi

- **Bahasa Pemrograman:** Python
- **Tools yang digunakan:** Tkinter, NumPy, Pillow
- **Platform:** Desktop (offline prototype)
- **Representasi Data:** Array atau matriks biner

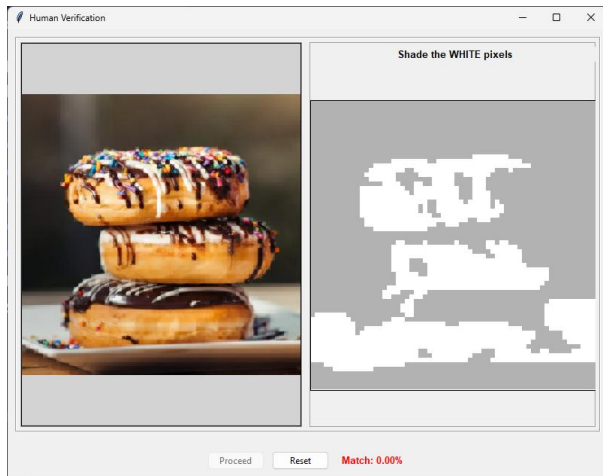
3.4 Prosedur Pengujian

- 1. Uji Fungsionalitas Program**
Menguji apakah pengguna bisa menggambar dengan benar dan apakah sistem mampu mengenali pola dengan tepat.
- 2. Uji Kecocokan Pola (Kemiripan)**
Sistem menghitung persentase kecocokan antara input pengguna dengan pola referensi.
- 3. Uji Pengalaman Pengguna**
Dilakukan dengan mengamati reaksi pengguna terhadap antarmuka dan cara kerja sistem.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil dan Pembahasan Penerapan Program

Sistem yang dikembangkan diimplementasikan menggunakan Python dengan Tkinter dan Pillow, menyediakan antarmuka pengguna untuk verifikasi manusia melalui menggambar.



Gambar 2. Tampilan halaman tes verifikasi manusia

- **4.1.1. Fungsionalitas Sistem**
- **Tampilan halaman:** Pengguna diberikan kotak grid berukuran 64x64 piksel di untuk dapat menggambar menggunakan ukuran arsiran selebar 3 piksel. Gambar yang dibuat ditampilkan secara real-time, mengubah gerakan mouse menjadi piksel hitam yang terisi di kanvas.
- **Feedback real-time:** Persentase “Match” dihitung secara langsung dan ditampilkan di sebelah kanan tombol “Reset”. Persentase ini diperbarui secara real-time saat pengguna menggambar, memberikan umpan balik langsung tentang akurasi gambar mereka. Warna label berubah menjadi hijau ketika persentase match melebihi ambang batas yang telah ditentukan *MATCH_THRESHOLD*, sebaliknya, warna label menjadi merah.



Gambar 3. Dua kemungkinan hubungan persentase kemiripan gambar user



Gambar 4. Tampilan gambaran user

- **Penentuan Rule:** Label yang terletak di atas kanvas gambar secara jelas menyatakan aturan gambar saat ini, memberitahu pengguna apakah mereka perlu “Mengisi piksel GELAP” atau “Mengisi piksel TERANG” dari gambar panduan. Aturan ini ditentukan secara dinamis berdasarkan warna piksel dominan lebih sedikit dari warna lawannya, dari gambar panduan yang telah di-binarisasi.
- **Tombol "Proceed":** Tombol “Proceed” terinisialisasi non-aktif. Tombol ini hanya akan diaktifkan ketika persentase kecocokan *match_percentage* mencapai atau melebihi ambang batas kecocokan *MATCH_THRESHOLD*. Setelah menekan tombol ‘Proceed’ yang telah diaktifkan, teks label rule akan berubah

menjadi “Good to go!” dengan font berwarna hijau, menandakan verifikasi manusia berhasil.

- **Fungsionalitas Pengulangan Tes:** Tombol “Reset” menghapus semua gambar pengguna dari kanvas dan mengatur ulang persentase kecocokan *match_percentage* menjadi 0%. Tombol ini juga memuat gambar acak baru, menentukan ulang aturan gambar, dan menonaktifkan tombol “Proceed”, mempersiapkan sistem untuk upaya verifikasi baru.
- **Pemilihan Image:** Proses pemilihan image secara acak memastikan bahwa warna piksel dominan dari gambar yang dipilih (yang menentukan target gambar bagi pengguna) setidaknya mencakup 20% dari total 64x64 piksel. Hal ini mencegah pemilihan gambar yang hampir kosong atau sepenuhnya terisi, yang mungkin tidak memberikan tantangan menggambar yang berarti.

• 4.1.2. Uji Pencocokan Pola

Inti dari sistem verifikasi terletak pada metrik *compare_images* untuk mengukur tingkat kesamaan antara gambar yang dibuat pengguna dengan target dinamis yang didefinisikan oleh gambar panduan dan aturan saat ini. Metrik ini dirumuskan dengan:

$$\text{Kesamaan} = TP + FP + FN \times 100\%$$

Dimana:

- **True Positives (TP):** Piksel di mana pengguna telah menggambar warna hitam, dan ini sesuai dengan piksel target (hitam jika aturan adalah “Shade BLACK”, atau putih jika aturan adalah “Shade WHITE”). Hal ini menandakan yang benar dan diinginkan oleh pengguna.
- **False Positives (FP):** Piksel di mana pengguna telah menggambar warna hitam, tetapi ini tidak sesuai dengan piksel target (misalnya, menggambar warna hitam di area panduan yang berwarna putih jika aturan adalah “Shade BLACK”, atau menggambar warna hitam di area panduan yang berwarna hitam jika aturan adalah “Shade WHITE”). Hal ini mengurangi nilai kesamaan jika menggambar di luar area yang diizinkan.

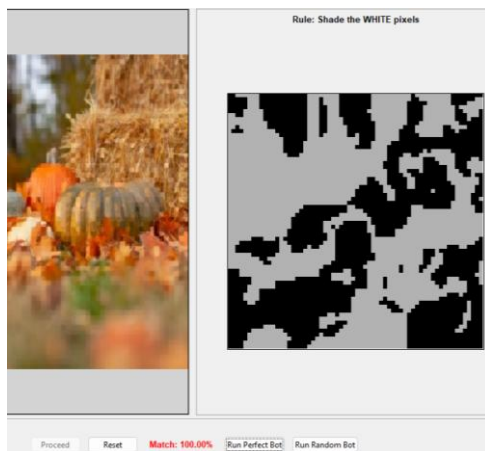
- **False Negatives (FN):** Piksel di mana pengguna tidak menggambar warna hitam, tetapi piksel ini seharusnya menjadi piksel target (misalnya, meninggalkan piksel panduan hitam yang tidak digambar jika aturan adalah “Shade BLACK”, atau meninggalkan piksel panduan putih yang tidak digambar jika aturan adalah “Shade WHITE”). Hal ini mengurangi nilai kesamaan pada bagian yang hilang dari gambar yang diperlukan.
- Pertimbangan FP dan FN dalam pembilang memastikan bahwa metrik ini memperhitungkan baik presisi (tidak menggambar tanda yang tidak perlu) maupun recall (mencakup semua area target yang diperlukan). Persentase awal sebesar 0% diamati saat memuat gambar baru ulang, seperti yang diharapkan, karena kanvas gambar dimulai sebagai putih sepenuhnya, sehingga tidak ada TP.

• 4.1.3. Membedakan Bot dan Manusia

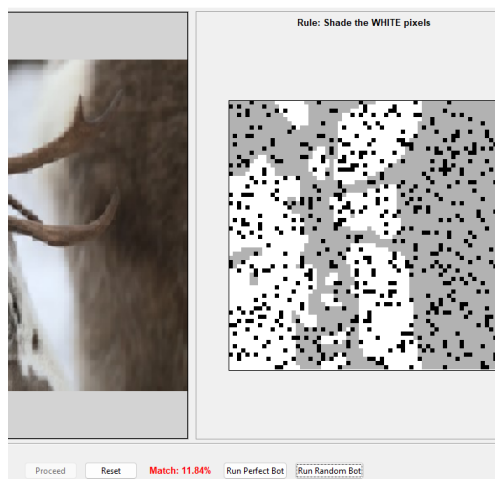
Untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam membedakan antara masukan manusia dan masukan otomatis, dua jenis simulasi bot diimplementasikan:

- **Bot Sempurna:** Simulasi ini secara langsung mengakses gambar panduan yang telah di-binarisasi dan aturan penggambaran dinamis. Kemudian, secara program menggambar piksel hitam tepat pada piksel target yang ditentukan. Saat dijalankan, bot ini secara konsisten mencapai persentase kecocokan mendekati 100% (penyimpangan kecil mungkin terjadi akibat pembulatan selama pemetaan piksel ke grid untuk tampilan, tetapi grid logisnya sempurna), dengan mudah memenuhi ambang batas kecocokan *MATCH_THRESHOLD*. Hal ini menunjukkan batas atas teoretis dari bot dengan informasi lengkap.

- **Bot Acak:** Simulasi ini secara acak mengisi persentase kecil (misalnya, 15%) dari piksel pada kanvas gambar tanpa mengetahui gambar panduan atau aturan. Seperti yang diharapkan, menjalankan bot acak menghasilkan persentase kecocokan yang sangat rendah (biasanya jauh di bawah 10%), secara konsisten gagal memenuhi ambang batas kecocokan (MATCH_THRESHOLD) dan menjaga tombol “Proceed” tetap non-aktif.



Gambar 5. Simulasi bot ‘sempurna’



Gambar 6. Simulasi bot ‘acak’

Perbandingan ini menunjukkan bahwa sistem dapat membedakan antara input yang menunjukkan pemahaman terhadap tugas visual dan aturan (disimulasikan oleh

bot sempurna, yang menunjukkan kecerdasan serupa manusia atau pengetahuan sempurna) dan masukan yang tidak memiliki pemahaman tersebut (disimulasikan oleh bot acak, yang menunjukkan otomatisasi sederhana). Aturan dinamis dan pemilihan gambar acak semakin mempersulit upaya bot dasar yang mungkin mencoba menghitung solusi secara sebelumnya untuk pola tetap.

- **4.1.4. User Experience Test**
- **Petunjuk jelas:** Label ‘rule’ dinamis memberikan instruksi yang segera dan jelas.
- **Feedback Real-time:** Perubahan persentase kemiripan secara real-time memberikan kepuasan instan dan panduan, membuat pengguna untuk menyesuaikan upaya menggambar mereka guna meningkatkan skor. Kode warna (merah/hijau) pada persentase secara visual menunjukkan keberhasilan atau kegagalan dengan sekilas.
- **Penggunaan intuitif:** Mekanisme penggambaran (klik dan seret) merupakan fitur standar dan umumnya intuitif bagi sebagian besar pengguna komputer, serta lebih efektif untuk perangkat layar sentuh (*touch-screen*).
- **Tingkat kesulitan:** Tugas visual itu sendiri (mewarnai area tertentu pada gambar yang pudar) memerlukan tingkat penalaran spasial dan kontrol motorik halus yang secara dasar sulit bagi otomatisasi sederhana.

4.2. Diskusi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang diimplementasikan berhasil memenuhi persyaratan inti yang tercantum dalam metodologi, menciptakan program verifikasi manusia ramah pengguna.

Metrik *compare_images* mengukur akurasi penggambaran dengan memberikan pengurangan nilai terhadap arsiran lebih (FP) dan kekurangan arsir (FN) relatif terhadap area target yang ditentukan secara dinamis. Hal ini memastikan skor yang bermakna yang mencerminkan penyelesaian tugas yang sebenarnya. Perbedaan kinerja antara simulasi

bot ‘sempurna’ dan bot ‘acak’ memberikan bukti awal tentang kemampuan sistem untuk membedakan antara input cerdas (seperti manusia) dan input otomatis sederhana. Ambang batas 20% piksel dominan untuk pemilihan gambar memastikan bahwa gambar yang dipilih memiliki detail yang cukup untuk menjadi bermakna, mengurangi tugas yang terlalu mudah atau sulit.

Namun, terdapat beberapa keterbatasan dan area yang perlu dikembangkan di masa depan. Sistem saat ini adalah prototipe berbasis desktop; porting ke platform lain (misalnya, mobile menggunakan Kivy atau BeeWare) memerlukan penyesuaian kerangka kerja antarmuka pengguna. Meskipun efektif melawan bot sederhana, model pembelajaran mesin yang lebih canggih yang dilatih pada jenis gambar atau gaya gambar serupa berpotensi melewati CAPTCHA ini. Selain itu, untuk penerapan di dunia nyata, implementasi validasi di sisi server untuk semua logika pemrosesan dan perbandingan gambar mencegah bypass di sisi client.

Sistem verifikasi manusia berbasis gambar digital yang dipresentasikan di sini menawarkan pendekatan yang menjanjikan dalam desain CAPTCHA, memanfaatkan interpretasi visual dan interaksi presisi untuk membedakan antara manusia dan bot. Aturan dinamis dan umpan balik real-time-nya meningkatkan keamanan dan kegunaan, sekaligus menjadi landasan untuk penelitian dan pengembangan lebih lanjut di bidang ini.

5. KESIMPULAN

- a. Sistem ini secara efektif mengimplementasikan antarmuka gambar dengan aturan dinamis dan umpan balik real-time, terbukti berhasil dalam membedakan input manusia dari upaya bot sederhana berdasarkan metrik kesamaan.
- b. Penentuan dinamis aturan penggambaran (pewarnaan piksel hitam atau putih berdasarkan dominasi gambar) dan pemilihan gambar secara acak secara signifikan meningkatkan tingkat kesulitan bagi sistem otomatis.
- c. Meskipun masih berupa prototipe desktop dengan pengujian pengguna informal, proyek ini membangun dasar untuk solusi CAPTCHA lainnya, dengan potensi integrasi mobile dan metode deteksi bot yang ditingkatkan melalui validasi sisi server.

Refrensi

- [1] Shedriko and M. Firdaus, “Pengenalan Wajah dengan Algoritma Local Binary Pattern Histogram Menggunakan Python,” *Remik: Riset dan E-Jurnal Manajemen Informatika Komputer*, vol. 6, no. 2, pp. 272–281, Apr. 2022. [Online]. Available: <http://doi.org/10.33395/remik.v6i2.11557>
- [2] F. Y. Rahman, “Pendeteksian Citra Wajah Manusia dari Berbagai Posisi Menggunakan Local Binary Pattern (LBP),” *Technologia*, vol. 8, no. 4, pp. 257–266, Okt.–Des. 2017.
- [3] M. Shirali-Shahreza and S. Shirali-Shahreza, “Drawing CAPTCHA,” in *Proceedings of the 28th International Conference on Information Technology Interfaces (ITI 2006)*, Cavtat, Croatia, 2006, pp. 475–480, doi: [10.1109/ITI.2006.1708527](https://doi.org/10.1109/ITI.2006.1708527).
- [4] S. I. Attaqwa, E. Y. Puspaningrum, dan W. S. J. Saputra, “Implementasi Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization dalam Pengolahan Citra pada Algoritma Generative Adversarial Network,” *JITET*, vol. 12, no. 3S1, pp. 4317–4322, Okt. 2024.
- [5] S. F. M. Mar’ah et al., “Penerapan Teknik Binarisasi dan Segmentasi Citra untuk Digitalisasi Tanda Tangan di Matlab,” *Jurnal Minfo Polgan*, vol. 14, no. 1, Mei 2025.
- [6] A. Thobhani, M. Gao, A. Hawbani, S. T. M. Ali, dan A. Abdussalam, “CAPTCHA Recognition Using Deep Learning with Attached Binary Images,” *Electronics*, vol. 9, no. 9, p. 1522, Sep. 2020.
- [7] Z. Derea, B. Zou, A. A. Al-Shargabi, A. Thobhani, dan A. Abdussalam, “Deep Learning Based CAPTCHA Recognition Network with Grouping Strategy,” *Sensors*, vol. 23, p. 9487, 2023.
- [8] N. Dinh dan L. Ogiela, “Human-artificial intelligence approaches for secure analysis in CAPTCHA codes,” *EURASIP J. Inf. Secur.*, vol. 2022, no. 8, 2022.
- [9] S. I. Pella dan H. F. J. Lami, “Implementasi Teknik Kriptografi Visual Pada Citra Keabuan Dan Berwarna Untuk Autentikasi Pengguna Pada Transaksi Online,” *J. Media Elektro*, vol. X, no. 2, pp. 65–70, 2021

- [10] P. R. Shah, "Image Based Authentication System," dalam Proc. Int. Conf. Commun. Technol., Mumbai, India, 2013.
- [11] I. Andriansah, E. S. Pramukantoro, dan K. Amron, "Implementasi Sistem Autentikasi Pada Aplikasi Berbasis Website Menggunakan Data Photoplethysmography (PPG)," J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput., vol. 1, no. 1, Jan. 2017
- [12] I. Pardosi, P. Sirait, M. Oktando, and Wilham, "Pengenalan CAPTCHA dengan Multivalued Image Decomposition dan Vector Space Image Recognition," IJCCS (Indonesian Journal of Computing and Cybernetics Systems), vol. 17, no. 2, pp. 171–180, Oct. 2016.
- [13] S. Bhahri dan Rachmat, "Transformasi Citra Biner Menggunakan Metode Thresholding dan Otsu Thresholding," J. Sist. Inf. dan Teknol. Inf., vol. 7, no. 2, pp. 195–200, Okt. 2018
- [14] J. Wandapranata dan S. Hansun, "Pengembangan Modul Autentikasi Captcha Berbasis Gambar dengan Algoritma Flood Fill," J. Inf. Syst. Eng. Bus. Intell., vol. 3, no. 1, pp. 1–7, Apr. 2017.
- [15] L. Hoki, "Aplikasi Pengenalan Coretan Tanda Tangan Menggunakan Algoritma Euclidean Distance," Jurnal TIMES, vol. XI, no. 2, pp. 40-48, Des. 2022. [Online]. Tersedia: <http://ejournal.stmik-time.ac.id>