

ARTCHA: Sistem 3D CAPTCHA Menggunakan Teknologi Augmented Reality Berbasis Web

Dio Hakam Dalu¹, Entik Insanudin², Rio Korio Utoro³

^{1,2,3}Universitas Telkom, Bandung

diohakamdalud@student.telkomuniversity.ac.id¹, insanudin@telkomuniversity.ac.id²,

korioutoro@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart (CAPTCHA) adalah sebuah cara yang dilakukan untuk mencegah adanya intervensi bot pada sistem. Dalam pengembangannya, CAPTCHA dibagi menjadi dua metode yaitu metode *Optical Character Recognition (OCR)* dan metode *non-Optical Character Recognition (non-OCR)*. Perbedaan diantara keduanya adalah jenis pengenalan jawaban yang digunakan. Metode OCR memanfaatkan tulisan yang terdistorsi sehingga tidak bisa dikenali oleh bot, sedangkan metode non-OCR memanfaatkan objek multimedia seperti foto ataupun suara. Maka, pada proyek akhir ini dibuatlah inovasi CAPTCHA menggunakan metode non-OCR dengan memanfaatkan objek 3D sebagai identifikasi jawabannya. CAPTCHA ini diimplementasikan pada web menggunakan *framework* Laravel serta dapat digunakan pada web lainnya dengan basis *framework* yang sama. Hasil akhir dari proyek akhir ini adalah sebuah sistem 3D CAPTCHA menggunakan teknologi Augmented Reality (AR) berbasis web yang diberi nama ARTCHA, merupakan singkatan dari Augmented Reality CAPTCHA. Untuk mengetahui kelayakan dari ARTCHA, maka dilakukan survei berupa kuisisioner pada Google formulir terhadap 25 responden yang terdiri dari 5 pengembang perangkat lunak serta 20 mahasiswa. Hasil dari survei tersebut menyatakan bahwa ARTCHA direkomendasikan sebagai inovasi CAPTCHA menggunakan AR dengan nilai 74% yang dihitung menggunakan skala likert.

Kata Kunci: CAPTCHA, objek 3D, Laravel, Augmented Reality, AR.js.

Abstract

Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart (CAPTCHA) is a way to prevent bots from interfering through the system. By its development, CAPTCHA is divided into two methods, the *Optical Character Recognition (OCR)* method and the *non-Optical Character Recognition (non-OCR)* method. The difference between this two is the type of answer recognition used. The OCR method uses distorted words so that it cannot be recognized by bots, while the non-OCR method uses multimedia objects such as photos or sounds. So, in this final project, a CAPTCHA innovation was made using a non-OCR method by utilizing 3D objects as the identification of the answer. This CAPTCHA is implemented on the web using the Laravel framework and can be used on other websites with the same framework base. The result of this final project is a 3D CAPTCHA system using web-based Augmented Reality (AR) technology called ARTCHA, which stands for Augmented Reality CAPTCHA. To determine the feasibility of ARTCHA, a survey was made using a questionnaire on a Google form given to 25 respondents consisting of 5 software developers and 20 students. The results of the survey show that ARTCHA is recommended as a CAPTCHA innovation using AR with a value of 74% which is calculated using a Likert scale.

Keywords: CAPTCHA, 3D object, Laravel, Augmented Reality, AR.js.

1. Pendahuluan

Registrasi merupakan proses yang krusial pada sebuah web karena menjadi jembatan pertama yang menghubungkan antara pengguna dengan sistem. Oleh karena itu, kevalidan data pengguna yang mendaftar pada saat proses registrasi seringkali disalahgunakan oleh pihak yang tidak bertanggung jawab dengan cara

menggunakan akun *bot* untuk melakukan manipulasi pada sistem dari sebuah laman web.

Bot diartikan sebagai *Artificial Intelligence (AI)* atau kecerdasan buatan yang bekerja secara otomatis serta dibuat untuk tujuan tertentu. Tentunya, tidak semua bot dibuat dengan tujuan baik. Seringkali ditemukan *bot* yang diciptakan untuk melakukan manipulasi pada algoritma, *automation* ataupun *internet policy* pada sebuah

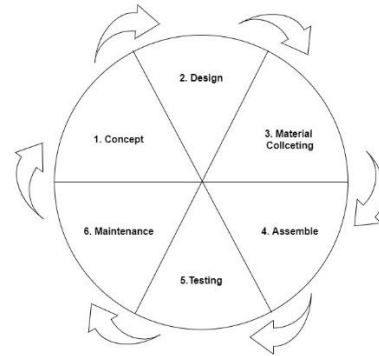
laman web [1]. Hal tersebut terbukti melalui sebuah riset yang dilakukan oleh *Impreva's Research Labs* pada tahun 2019. Dari hasil riset tersebut, diketahui bahwa terdapat ratusan pelaporan intervensi *bot* yang di anonimkan dari ribuan domain [2]. Dengan demikian, perlunya kesadaran akan bahayanya *bad bot*, sudah sewajarnya terlintas dipikiran para pengembang perangkat lunak. Akan tetapi, melakukan deteksi terhadap *bad bot* bukanlah sebuah perkara mudah. Deteksi *bot* sendiri dapat dibedakan menjadi dua cara yaitu *Active Detection* (biasa disebut dengan CAPTCHA); serta *Passive detection* (pendeteksian perilaku pengguna) [3], dimana yang akan dibahas pada proyek kali ini yaitu deteksi secara *active* menggunakan CAPTCHA.

Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart (CAPTCHA) merupakan sebuah mekanisme yang biasa digunakan oleh layanan berbasis web di Internet untuk melakukan pengetesan apakah yang sedang melakukan akses pada laman web adalah manusia dan bukanlah sebuah akun *bot* yang ilegal. Dalam pengembangannya, metode pada CAPTCHA sendiri dibagi menjadi dua, yaitu metode *Optical Character Recognition* (OCR) dan metode *non-Optical Character Recognition* (non-OCR) [4]. Perbedaan diantara kedua metode tersebut terletak pada mekanisme penampilan CAPTCHA-nya, dimana metode OCR hanya memanfaatkan tulisan yang terdistorsi, sedangkan metode non-OCR menggunakan objek multimedia seperti gambar, foto, ataupun suara. Namun, metode non-OCR sendiri terkesan monoton karena keterbatasan jenis instrumen multimedia yang digunakan.

Oleh karena itu, dibuatlah inovasi pembangunan 3D CAPTCHA memanfaatkan teknologi *Augmented Reality* (AR) berbasis web yang diberi nama ARTCHA. Sehingga dengan adanya ARTCHA, diharapkan dapat mencegah adanya akun *bot* yang mengintervensi sistem pada saat proses registrasi. Selain itu juga dapat membuat pengguna merasa bahwa mengisi CAPTCHA bukanlah sebuah kegiatan yang monoton atau membosankan melalui adanya CAPTCHA yang lebih interaktif.

2. Metode Penelitian

Dalam pelaksanaan proyek akhir ini diterapkan metodologi pembangunan perangkat lunak dengan *Modified Multimedia Development Life Cycle* (*Modified MDLC*). Untuk langkah-langkahnya seperti terlihat pada MDLC dibawah ini:



Gambar 2.1 Skema metodologi Modified MDLC

Untuk detail dari setiap tahapannya, dijelaskan melalui poin-poin dibawah ini:

a. Concept

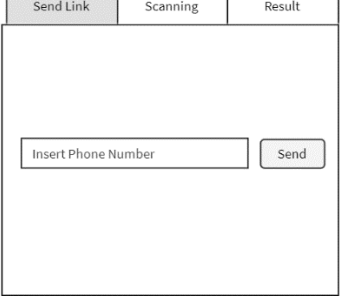
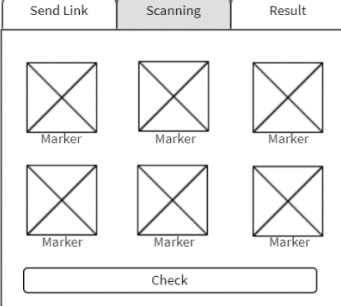
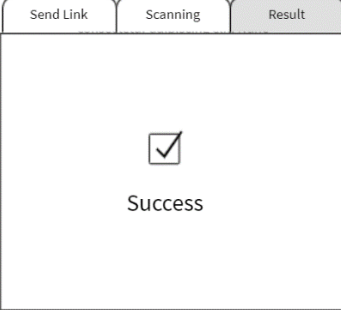
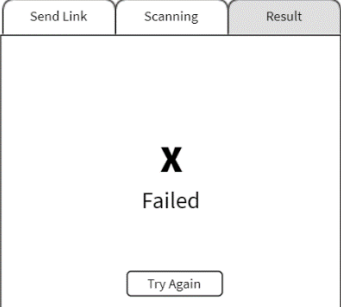
Melakukan analisa guna menentukan tujuan sistem dibuat, kebutuhan pengguna, spesifikasi perangkat dan segala sesuatu yang dibutuhkan nantinya dalam proses *development*.

b. Design

Pada tahap ini dilakukan perancangan arsitektur serta desain tampilan ARTCHA. Desain tersebut dibagi menjadi tiga bagian yaitu *mockup* tampilan, desain marker, serta desain objek 3D. Adapun *mockup* atau rancangan desain tampilan dari ARTCHA sendiri dijelaskan melalui tabel dibawah ini:

Tabel 2.1 Mockup ARTCHA

Mockup	Keterangan
	Merupakan tampilan Ketika proses registrasi. Untuk dapat menyelesaikan proses registrasi, maka pengguna diharuskan untuk mengisi ARTCHA dengan cara menekan tombol ARTCHA sesuai dengan gambar di sebelah kiri

	<p>Pada tahapan kedua, pengguna diminta mengisi nomor telepon yang kemudian tautan untuk melakukan scan terhadap marker akan dikirimkan melalui SMS ke nomor tersebut</p>
	<p>Pada tahapan ketiga, pengguna akan melakukan scan terhadap enam buah marker melalui smartphone. Marker yang memunculkan objek 3D adalah jawaban dari CAPTCHA.</p>
	<p>Gambar disamping merupakan tampilan apabila jawaban dari CAPTCHA valid</p>
	<p>Gambar disamping merupakan tampilan apabila jawaban dari CAPTCHA tidak valid. Pengguna dapat menekan tombol <i>try again</i> untuk mencoba kembali</p>

c. Material Collecting

Pada tahap *Material Collecting* dilakukan pengumpulan materi atau aset-aset yang dibutuhkan. Hal tersebut diantaranya adalah melakukan penginstalan Laravel, AR.js, A-

Frame, Nexmo pada komputer. Selain itu juga dilakukan pengumpulan aset seperti logo, marker dan 3D objek.

d. Assemble

Assemble adalah tahapan dimana dilakukan implementasi serta pengintegrasian dari aset-aset yang telah dikumpulkan pada tahap *material collecting* kemudian menambahkan kode program berupa fungsi-fungsi khusus sehingga menjadi sebuah sistem ARTCHA yang utuh.

e. Testing

Pada tahap *testing* dilakukan proses pengujian terhadap ARTCHA yang telah terintegrasi pada tahapan *assemble*. Pengujian dilakukan melalui dua tahapan yaitu *alpha testing* dan *beta testing*. *Alpha testing* merupakan pengujian terhadap fungsionalitas sistem dengan cara *black box testing*. Secara umum, hal yang menjadi pertimbangan uji pada *alpha testing* mencakup fitur pengiriman SMS, fungsi *randomize* jawaban CAPTCHA, serta fungsi kesesuaian jawaban CAPTCHA dengan hasil yang ditampilkan. Sedangkan *beta testing* adalah pengujian dengan cara survei berupa kuisisioner terhadap pengembang perangkat lunak (developer) khususnya dibidang web dan kepada pengguna secara umum dalam hal ini adalah mahasiswa.

f. Maintenance

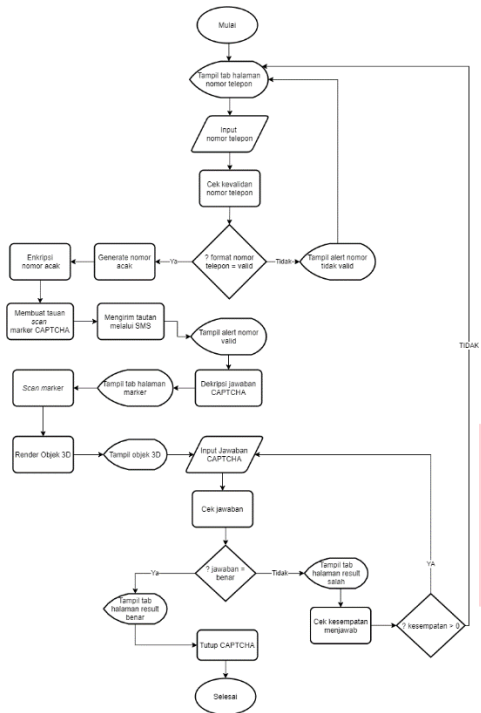
Langkah atau tahapan terakhir dari proyek akhir ini adalah melakukan *maintenance* atau pemeliharaan dari sistem ARTCHA. Sistem ARTCHA yang telah melewati tahapan *testing* sebelumnya, dievaluasi serta dilakukan perbaikan. Apabila terdapat fungsi-fungsi yang berjalan tidak semestinya atau dianggap keliru, maka proses pembangunan sistem akan dikembalikan ke proses awal yaitu *concept*.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil implementasi ARTCHA dijabarkan sesuai dengan tahapan yang terdapat pada metologi penelitian dijabarkan sebagai berikut

a. Concept

Hasil dari tahapan concept adalah penjabaran cara kerja sistem ARTCHA. Alur tersebut digambarkan menggunakan diagram flowchart dibawah ini:



Gambar 3.1 Diagram Flowchart ARTCHA

Langkah pertama sistem akan memunculkan tab halaman nomor telepon dimana user dapat menginputkan nomor telepon yang berfungsi untuk mengirimkan tautan melalui SMS. Nomor telepon yang telah diinputkan tersebut maka akan dicek terlebih dahulu format serta kevalidannya. Apabila nomor telepon tidak valid maka sistem akan memunculkan kotak dialog alert nomor tidak valid, kemudian proses akan di reset ke awal kembali, sedangkan apabila nomor telepon valid maka sistem akan melakukan inisiasi atau generate nomor acak yang menjadi jawaban dari CAPTCHA. Nomor acak tersebut akan di enkripsi menjadi tautan kemudian tautan tersebut akan dikirimkan menuju smartphone pengguna. Setelah proses pengiriman tautan berhasil, secara bersamaan sistem akan memunculkan kotak dialog alert nomor valid dan tautan berhasil dikirimkan. Selanjutnya sistem akan melakukan dekripsi serta mengolah nomor acak tersebut pada smartphone kemudian secara bersamaan pada web, sistem akan menampilkan tab halaman marker. Dengan menggunakan smartphone, pengguna dapat melakukan scan marker yang ditampilkan pada web. Marker yang sesuai dengan kunci jawaban akan memunculkan objek 3D sehingga pada web, pengguna dapat memilih

marker dengan cara menekan gambar marker, lalu menekan tombol cek untuk penginputan jawaban. Jawaban pengguna ini akan di cek dengan cara mencocokkan dengan kunci jawaban. Apabila jawaban benar, maka sistem akan menampilkan tab halaman result benar lalu modal dialog CAPTCHA akan tertutup, sedangkan apabila jawaban salah maka akan memunculkan tab halaman result salah. Khusus untuk jawaban salah pengguna diberikan beberapa kesempatan. Apabila nilai kesempatan sama dengan nol, maka proses akan dikembalikan ke awal yaitu pengisian nomor telepon dan pengiriman tautan serta kunci jawaban diperbaharui.

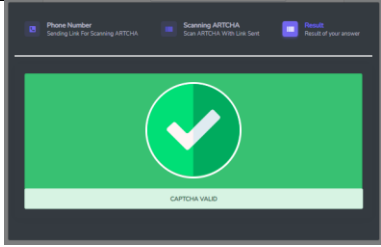
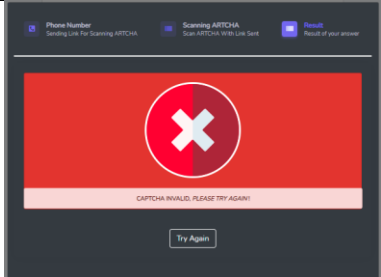
b. Design

Implementasi pada tahapan ini terdiri dari tiga poin utama yaitu:

- 1) Implementasi mockup

Tabel 3.1 Hasil implementasi dari mockup

Tombol modal ARTCHA	
Tab pengiriman SMS	
Tab scan marker	

<p>Hasil valid</p>	
<p>Hasil Invalid</p>	

2) *Marker* dan logo
 Adapun hasil dari *marker* dan logo yang diimplementasikan pada ARTCHA dapat dilihat melalui gambar dibawah ini:



Gambar 3.2 Logo dan marker ARTCHA

3) *Objek 3D*
 Untuk hasil dari desain objek 3D yang dibuat menggunakan aplikasi Blender dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 3.3 Objek 3D yang digunakan pada ARTCHA

c. Material Collecting

Pada tahapan material collecting menghasilkan proyek Laravel beserta aset-aset

yang telah terintegrasi didalamnya, diantaranya yaitu:

- 1) Nexmo / Vonage Developer.
- 2) AR.js.
- 3) A-Frame.
- 4) Serta aset dari hasil desain pada tahapan sebelumnya.

d. Assemble

Pada tahapan *assemble* dilakukan pengintegrasian komponen-komponen yang telah dimasukan pada proyek Laravel serta membuat fungsi khusus agar fitur yang terdapat pada ARTCHA dapat berjalan semestinya. Terdapat tiga fitur utama yang diimplementasikan pada ARTCHA yaitu:

- 1) Pengiriman SMS

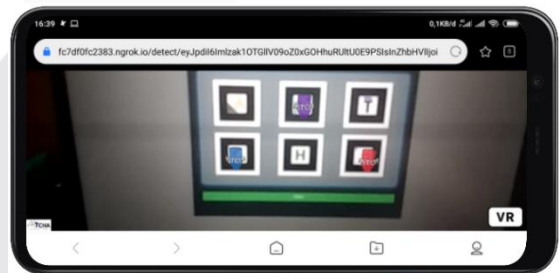
Hasil dari fitur pengiriman SMS dapat dilihat melalui gambar dibawah ini:



Gambar 3.4 Implementasi fitur pengiriman sms

- 2) *Scan marker*

Adapun hasil implementasi dari fitur *scan marker* dapat dilihat melalui gambar dibawah ini:

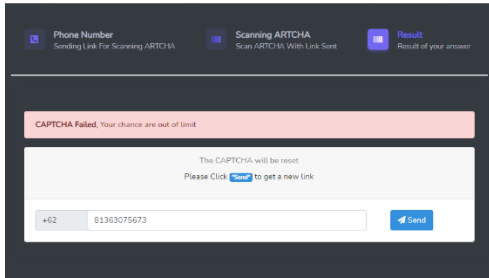


Gambar 3.5 Hasil implementasi fitur scan marker

- 3) Pengecekan jawaban

Dalam pengecekan jawaban CAPTCHA terdapat dua kondisi yaitu jawaban benar dan jawaban salah. Untuk jawaban salah, pengguna memiliki tiga kali kesempatan untuk menjawab CAPTCHA yang sama, apabila telah melebihi kuota kesempatan, maka CAPTCHA akan direset ke proses awal Kembali. Pada saat proses peresetan jawaban, maka dihasilkan tampilan baru

yang dapat dilihat melalui gambar dibawah ini:



Gambar 3.6 Implementasi jawaban salah = 0

e. Testing

Proses *testing* atau pengujian dibagi menjadi dua tahapan yaitu *alpha testing* serta *beta testing*. Masing-masing pengujian tersebut dijelaskan sebagai berikut:

1) *Alpha testing*

Dilakukan dengan cara *black box testing* dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 3.2 Hasil pengujian *black box*

Komponen uji		Skenario yang diharapkan	Hasil
Fitur yang diuji	Kondisi pengujian		
Fitur pengiriman	Nomor telepon yang diinputkan benar dan sesuai format	Tautan terkirim ke nomor telepon tujuan	Valid
	Nomor telepon yang diinputkan salah atau tidak sesuai format	Muncul alert nomor telepon tidak valid	Valid
	Form input nomor telepon kosong	Border form input berubah warna menjadi merah Ketika tombol "send" ditekan	Valid
Fitur scan marker	Marker yang menjadi kunci jawaban	Objek 3D muncul sesuai pada marker	Valid
	Marker yang bukan merupakan kunci jawaban	Objek 3D tidak muncul pada marker	Valid
Fitur pengecekan jawaban	Jawaban benar	Muncul tampilan CAPTCHA valid dan modal dialog ARTCHA	Valid

		tertutup secara otomatis	
	Jawaban salah serta kesempatan > 0	Muncul tampilan CAPTCHA invalid serta dapat mencoba Kembali menjawab CAPTCHA dengan kunci jawaban yang sama	Valid
	Jawaban salah serta kesempatan = 0	Muncul tampilan untuk mengirimkan tautan baru	Valid

2) *Beta testing*

Pengujian beta dilakukan guna mengetahui respon baik dari kalangan *developer* atau pengembang perangkat lunak khususnya di bidang web serta kalangan umum yang pada proyek akhir ini dibatasi pada mahasiswa. Pengujian ini dilakukan dengan cara melukan survei menggunakan kuisioner terdiri dari tiga pertanyaan yang diberikan kepada 5 *developer* serta 20 mahasiswa. Dari hasil kuisioner tersebut maka akan ditarik kesimpulan menggunakan skala likert dengan rumus sebagai berikut:

$$P = \frac{S}{\text{Skor ideal}} \times 100\%$$

Keterangan:

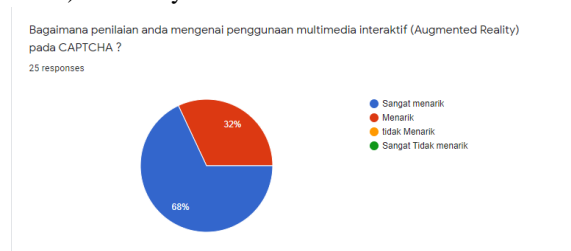
P = persentase hasil.

S = Total hasil kali skor dengan frekuensi jawaban.

Skor ideal = Hasil maksimal S.

Berikut adalah hasil kuisioner dari tiap-tiap pertanyaan yang dihitung menggunakan skala Likert:

1) Pertanyaan 1



Gambar diatas merupakan pertanyaan pertama dari kuisioner yang dilakukan. Hasil dari

data yang diperoleh akan dihitung menggunakan rumus skala *likert* yang dapat dilihat melalui tabel dibawah ini:

Tabel 3.3 Hasil analisa pertanyaan pertama

Jawaban	Skor	Frekuensi	S
Sangat menarik	2	17	34
Menarik	1	8	8
Tidak menarik	-1	0	0
Sangat tidak menarik	-2	0	0
Total			42

$$P = \frac{42}{50} \times 100\%$$

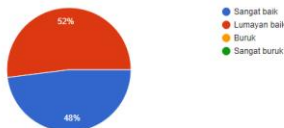
$$P = 84\%$$

Dari persentase diatas dapat disimpulkan bahwa responden mendukung adanya CAPTCHA yang memanfaatkan multimedia interaktif.

2) Pertanyaan 2

Bagaimana tanggapan anda mengenai Desain tampilan, 3D objek, serta marker(gambar) yang diterapkan pada ARTCHA ?

25 responses



Gambar diatas merupakan pertanyaan kedua dari kuisisioner yang dilakukan. Hasil dari data yang diperoleh akan dihitung menggunakan rumus skala *likert* yang dapat dilihat melalui tabel dibawah ini:

Tabel 3.4 Hasil analisa pertanyaan kedua

Jawaban	Skor	Frekuensi	S
Sangat menarik	2	12	24
Menarik	1	13	13
Tidak menarik	-1	0	0
Sangat tidak menarik	-2	0	0
Total			37

$$P = \frac{37}{50} \times 100\%$$

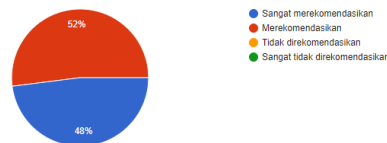
$$P = 74\%$$

Dari persentasi diatas dapat disimpulkan bahwa desain tampilan, marker, serta 3D objek yang diterapkan pada ARTCHA dinilai cukup baik maupun menarik bagi responden.

3) Pertanyaan 3

Menurut anda, apakah ARTCHA layak untuk direkomendasikan sebagai CAPTCHA yang menerapkan multimedia Interaktif ?

25 responses



Gambar diatas merupakan pertanyaan ketiga dari kuisisioner yang dilakukan. Hasil dari data yang diperoleh akan dihitung menggunakan rumus skala *likert* yang dapat dilihat melalui tabel dibawah ini:

Tabel 2.5 Hasil analisa pertanyaan ketiga

Jawaban	Skor	Frekuensi	S
Sangat menarik	2	12	24
Menarik	1	13	13
Tidak menarik	-1	0	0
Sangat tidak menarik	-2	0	0
Total			37

$$P = \frac{37}{50} \times 100\%$$

$$P = 74\%$$

Persentase diatas dapat disimpulkan bahwa ARTCHA cukup direkomendasikan sebagai CAPTCHA yang menerapkan multimedia interaktif.

4. Kesimpulan

ARTCHA adalah sistem CAPTCHA yang menerapkan metode identifikasi jawaban non-OCR menggunakan objek 3D yang diterapkan menggunakan multimedia interaktif yaitu Augmented Reality berbasis web serta dibangun menggunakan *framework* Laravel dan library AR.js. ARTCHA bertujuan untuk dapat diimplementasikan oleh pengembang perangkat lunak dibidang web dengan basis *framework* yang sama yaitu Laravel. Berdasarkan fungsionalitas, semua fungsi pada ARTCHA dapat berjalan 100%. Selain itu, berdasarkan hasil survei melalui kuisisioner yang dilakukan kepada pengembang perangkat lunak serta mahasiswa, disimpulkan bahwa ARTCHA cukup direkomendasikan sebagai sistem CAPTCHA 3D interaktif dengan nilai 74% yang dihitung menggunakan skala *Likert*.

5. Referensi

- [1] R. Gorwa and D. Guilbeault, "Unpacking the Social Media Bot: A Typology to Guide Research and Policy," *Policy and Internet*, vol. 12, no. 2, pp. 225–248, 2020, doi: 10.1002/poi3.184.
- [2] E. Roberts, "Bad Bot Report 2020: Bad Bots Strike Back," *Imperva*, p. 1, 2020, [Online]. Available: <https://www.imperva.com/blog/bad-bot-report-2020-bad-bots-strike-back/>.
- [3] A. Acien, A. Morales, J. Fierrez, and R. Vera-Rodriguez, "BeCAPTCHA-Mouse: Synthetic mouse trajectories and improved bot detection," *arXiv*, 2020.
- [4] M. Imsamai and S. Phimoltares, "3d captcha: a next generation of the captcha," *Inf. Sci. Appl. (ICISA), 2010 Int. Conf.*, Jan. 2010, doi: 10.1109/ICISA.2010.5480258.
- [5] S. Kim and S. Choi, "DotCHA: A 3D Text-Based Scatter-Type CAPTCHA," 2019, pp. 238–252.
- [6] J. Wandapranata and S. Hansun, "Pengembangan Modul Autentikasi Captcha Berbasis Gambar dengan Algoritma Flood Fill," *J. Inf. Syst. Eng. Bus. Intell.*, vol. 3, no. 1, p. 1, 2017, doi: 10.20473/jisebi.3.1.1-7.
- [7] A. Acien, A. Morales, J. Fierrez, R. Vera-Rodriguez, and I. Bartolome, "BeCAPTCHA: Detecting Human Behavior in Smartphone Interaction using Multiple Inbuilt Sensors," 2020, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2002.00918>.
- [8] X. Li, Y. Chen, R. Patibanda, and F. F. Mueller, "VrCAPTCHA: Exploring CAPTCHA Designs in Virtual Reality," *Conf. Hum. Factors Comput. Syst. - Proc.*, 2021, doi: 10.1145/3411763.3451985.
- [9] K. Ismawan, A. Sularsa, E. Insanudin, F. Ilmu, and T. Universitas, "Penerapan Teknologi Augmented Reality (Ar) Sebagai Media Pembelajaran Aksara Sunda," vol. 6, no. 2, pp. 4283–4290, 2020.
- [10] P. Haryani and J. Triyono, "Augmented Reality (Ar) Sebagai Teknologi Interaktif Dalam Pengenalan Benda Cagar Budaya Kepada Masyarakat," *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 8, no. 2, p. 807, 2017, doi: 10.24176/simet.v8i2.1614.
- [11] E. S. Soegoto, "Implementing Laravel framework website as brand image in higher-education institution," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 407, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/407/1/012066.
- [12] P. A. Christianto, E. B. Susanto, U. Kristen, and D. Wacana, "Penerapan Library Ar . Js Pada Aplikasi E-Label Batik Untuk Mendukung Kejelasan Dan Kecepatan the Implementation of ' Library Ar . Js ' on the Batik E-Label Application To Support the Clarity and Speed of the Emergence of," *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 6, no. 3, pp. 295–300, 2019, doi: 10.25126/jtiik.20196985.
- [13] D. Marcos, K. Ngo, and D. McCurdy, "What is A-Frame?," *A-Frame*. <https://aframe.io/docs/1.2.0/introduction/#what-is-a-frame> (accessed Jul. 14, 2021).