

Algoritma Pemilihan Objek pada Interaksi Antarmuka Berbasis Titik Pandang Mata

<http://dx.doi.org/10.28932/jutisi.v5i3.1984>

Herlina ✉^{#1}

[#]*Sistem Informasi, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jl. Babarsari No. 43 Yogyakarta*

¹herlina@uajy.ac.id

Abstract — Eye tracker provides an alternative input modality to control the interactive contents in computers, particularly in assistive technology and public display. Instead of fixational eye movement, smooth pursuit eye movement has been used for object selection in gaze-based interactive applications. However, some previous works did not consider various similarity measures to match the trajectory of eye movement and the presented dynamic stimulus. Furthermore, there was no correction towards the drift of eye movement during object selection. Hence, gaze-based object selection based on smooth pursuit eye movement is still inaccurate and unstable. To fill the research gaps, we proposed a novel approach for accurate gaze-based object selection using linear regression for eye movement's drifting correction. We measured accuracy, success timing, and stability of object selection to validate the performance of the proposed method. From the experimental results, object selection could be performed without the usage of chinrest using Euclidean distance, moving average and linear regression in gaze-based interfaces. The usage of chinrest did not give a significant effect on accuracy, success timing and stability of object selection in gaze-based interfaces. The use of linear regression for predicting gaze points and correcting drift of eye movement has improved the overall performance of object selection. In the future, our results might be used as a guideline for developing more accurate and more stable interactive applications based on smooth pursuit eye movement.

Keywords—eye tracking; object selection; gaze-based interaction; smooth pursuit.

I. PENDAHULUAN

Eye tracker merupakan teknologi yang dapat digunakan untuk melakukan perekaman gerakan dan posisi titik pandang mata terhadap stimulus tertentu. Teknologi ini banyak diimplementasikan di berbagai bidang, beberapa di antaranya adalah sistem yang dirancang secara khusus untuk penderita autisme, aplikasi *consumer neuroscience*, dan aplikasi untuk mengukur tingkat *usability* dari sebuah situs web. Di bidang teknologi informasi, sistem dengan interaksi berbasis pandangan mata (*eye tracking*) banyak diterapkan dengan tujuan agar dapat melakukan interaksi terhadap

konten-konten di dalamnya dengan lebih cepat dan mudah. Hal ini dikarenakan pengguna dapat melakukan interaksi hanya dengan menggunakan pandangan mata terhadap layar sistem, tanpa memerlukan peran perangkat *input* lain seperti *mouse* dan *keyboard*. Dengan demikian, *eye tracking* diharapkan dapat menggantikan peran *mouse* dan *keyboard* pada untuk memilih objek, navigasi, dan modifikasi di berbagai konten multimedia [1, 2, 3].

Saat melakukan interaksi berbasis pandangan mata, terdapat tiga jenis gerakan mata yang dapat digunakan untuk mengendalikan konten, yaitu *fixation*, *saccade*, atau *smooth pursuit* [4]. *Smooth pursuit* banyak digunakan dalam membangun berbagai jenis aplikasi interaktif [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11], salah satu contohnya adalah sebagai alat kendali untuk memilih sebuah objek di antara objek-objek lain yang tersedia. Dalam memilih objek, gerakan mata *smooth pursuit* akan mengukur *similarity* tertinggi di antara lintasan gerakan mata dan stimulus. Objek yang memiliki nilai *similarity* tertinggi menunjukkan bahwa objek tersebut merupakan objek yang paling dekat dengan titik pandang mata, sehingga objek tersebut akan dipilih. Pemilihan objek membutuhkan perekaman titik pandang mata yang akurat dalam waktu singkat serta tingkat stabilitas yang baik. Beberapa kekurangan pada penelitian sebelumnya adalah tidak adanya perbandingan antara berbagai macam metode untuk perhitungan nilai *similarity*. Penelitian-penelitian tersebut hanya menggunakan *Pearson's Product Moment Coefficient* untuk pemilihan objek dan menghasilkan tingkat akurasi yang rendah [7, 8]. Selain itu, penelitian sebelumnya tidak meneliti tentang bagaimana cara menjaga stabilitas titik pandang mata dalam memilih objek saat interaksi.

Berdasarkan permasalahan yang ada pada penelitian sebelumnya, maka penelitian ini dirancang untuk menyelesaikan permasalahan pemilihan objek yang terjadi pada sistem dengan interaksi berbasis pandangan mata. Untuk meningkatkan performa pemilihan objek, algoritma baru diusulkan untuk meningkatkan akurasi dalam pemilihan objek, kecepatan pemilihan objek, dan stabilitas titik pandang mata dalam memilih objek saat pengguna

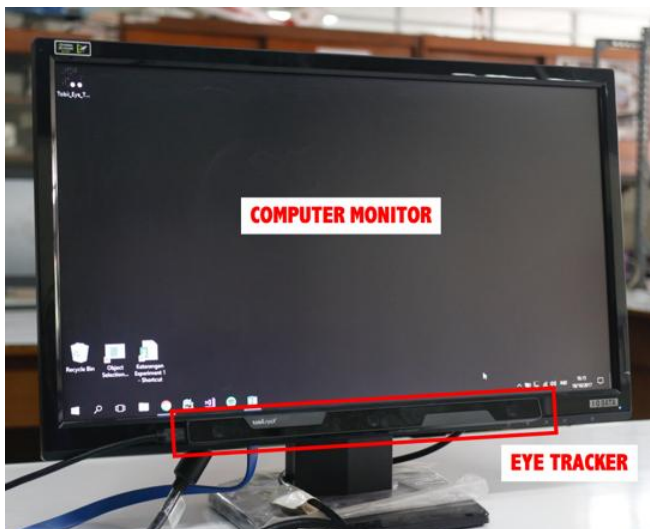
melakukan interaksi. Penelitian ini juga meneliti tentang pengaruh penggunaan *chinrest* (alat yang digunakan untuk menjaga posisi kepala agar stabil) terhadap performa pemilihan objek saat pengguna melakukan interaksi terhadap sistem. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai panduan dalam pembangunan sistem dengan model interaksi berbasis titik pandang mata. Dengan menggunakan algoritma yang diusulkan pada penelitian ini, proses pemilihan objek diharapkan menjadi lebih akurat, cepat, dan stabil.

II. METODE PENELITIAN

Bahan dan metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

A. Peralatan dan pengaturan eksperimen

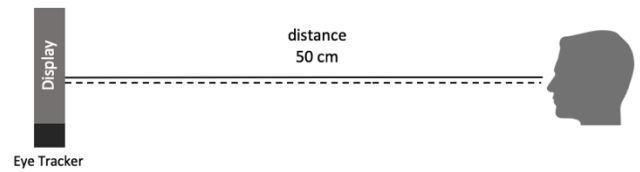
Penelitian ini menggunakan *notebook Acer Aspire E5-475G* dengan spesifikasi: Intel Core i5 2.5 GHz, 4 GB RAM DDR4, dan 22" layar LED *High Definition*. Alat pelacak mata (*eye tracker*) yang digunakan pada penelitian ini adalah Tobii EyeX Controller. *Tobii EyeX Controller* digunakan untuk mengumpulkan data pergerakan mata dengan *sampling rate* sebesar 70 Hz dan dipasang di bawah layar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengaturan eksperimen: eye tracker dipasang di bawah layar

Sebelum eksperimen dimulai, responden diminta untuk duduk di depan layar dengan jarak sekitar 50 cm, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. *Chinrest* yang digunakan pada penelitian ini dirancang khusus untuk mempertahankan posisi kepala responden. Gambar 3 menunjukkan penggunaan *chinrest* saat eksperimen berlangsung. Selain *eye tracker* dan *chinrest*, aplikasi sederhana dibangun dengan bahasa C# dan *framework* .NET digunakan untuk menampilkan stimulus, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Aplikasi akan menampilkan stimulus secara bergantian (Gambar 4) dan secara

bersamaan (Gambar 5) dengan posisi objek stimulus berada di setiap sudut layar.



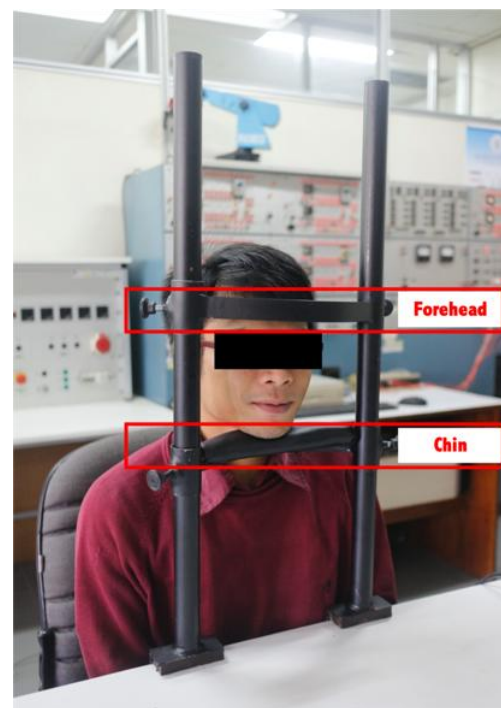
Gambar 2. Pengaturan eksperimen: responden duduk di depan layar dengan jarak sekitar 50 cm

B. Responden eksperimen

Total responden yang berpartisipasi pada eksperimen adalah 23 responden ($N = 23$) yang terdiri dari 12 laki-laki dan 11 perempuan. Usia responden mulai dari 21-40 tahun dengan rata-rata 23.41 tahun dan standar deviasi 4.05 tahun. Rata-rata tinggi badan responden adalah 163.59 cm dengan standar deviasi 9.71 cm.

C. Prosedur eksperimen

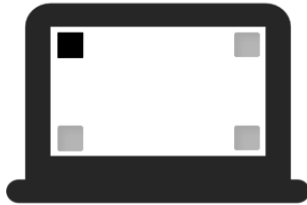
Sebelum memulai eksperimen, responden diminta untuk mengisi data diri, seperti nama, jenis kelamin, usia, tinggi badan, dan status penggunaan kacamata. Setelah mengisi data diri, responden diminta untuk mengikuti sesi *trial* yang akan memberikan gambaran dan latihan singkat tentang eksperimen yang akan dilaksanakan. Prosedur eksperimen ini dirancang sesuai dengan aturan dari WMA Declaration of Helsinki (*Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects*).



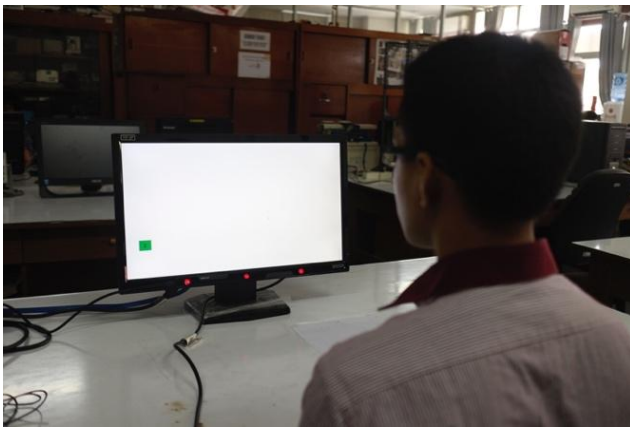
Gambar 3. Pengaturan eksperimen: penggunaan chinrest oleh responden



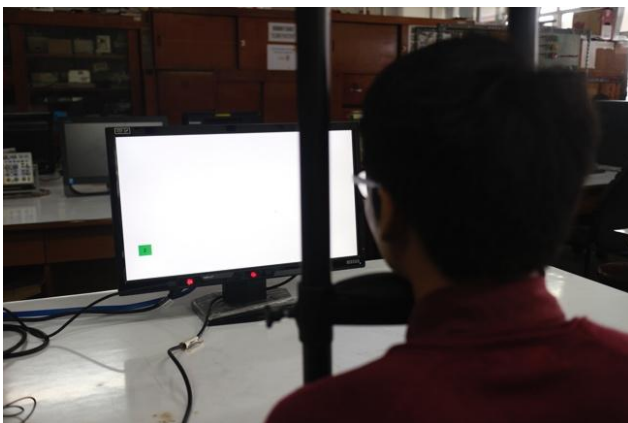
Gambar 4. Aplikasi yang digunakan pada eksperimen sesi pertama yang menampilkan objek stimulus secara bergantian



Gambar 5. Aplikasi yang digunakan pada eksperimen sesi kedua yang menampilkan objek stimulus secara bersamaan dan responden diminta hanya mengikuti objek stimulus yang berwarna hitam saja



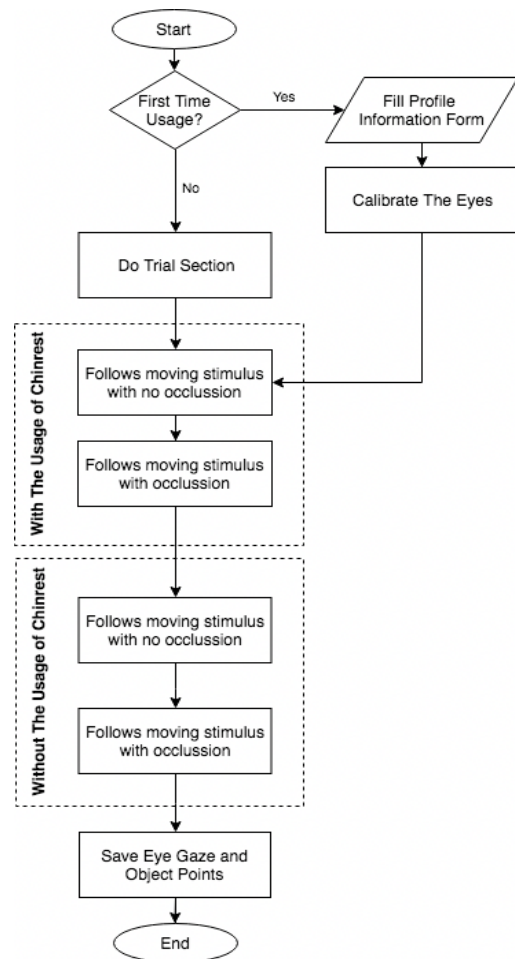
Gambar 6. Eksperimen sesi pertama tanpa penggunaan chinrest



Gambar 7. Eksperimen sesi pertama dengan penggunaan chinrest

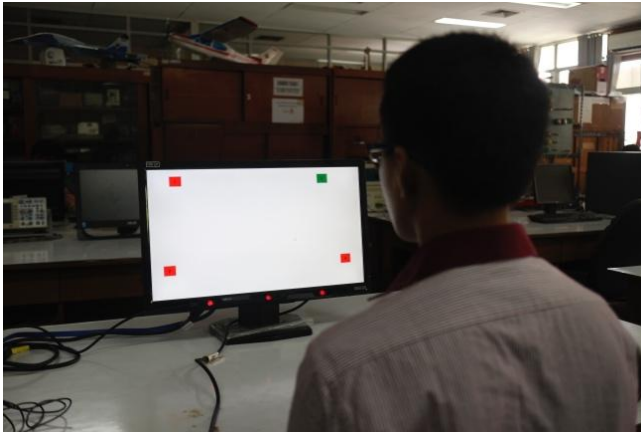
Eksperimen dibagi menjadi 2 sesi, sesi pertama dilakukan dengan menggunakan *chinrest*, sedangkan sesi kedua

dilakukan tanpa menggunakan *chinrest*. Alur eksperimen ditunjukkan pada Gambar 8. Informasi lebih lanjut mengenai pengaturan eksperimen dapat ditemukan di link berikut <http://ugm.id/gazepursuit>. Pada sesi pertama, responden diminta untuk mengikuti objek stimulus yang ditampilkan secara bergantian (tanpa *occlusion*) di posisi yang berbeda pada layar (seperti yang diilustrasikan pada Gambar 4 dan eksperimen yang digambarkan pada Gambar 6 dan Gambar 7), yaitu (i) kiri atas, (ii) kiri bawah, (iii) kanan bawah, dan (iv) kanan atas. Jarak horizontal dan vertikal antara objek stimulus yang berada di kiri atas dengan batas layar adalah 30 pixel. Ukuran objek stimulus adalah sekitar 77 x 66 pixel (lebar x tinggi) yang bergerak pada lintasan yang berukuran ± 79 pixel dengan kecepatan 26,33 pixel per detik. Objek stimulus akan bergerak ke kiri dan ke kanan (arah horizontal) saat objek stimulus berada di posisi atas layar. Sebaliknya, objek akan bergerak ke kanan dan ke kiri (arah vertikal) saat objek stimulus berada di posisi bawah layar.

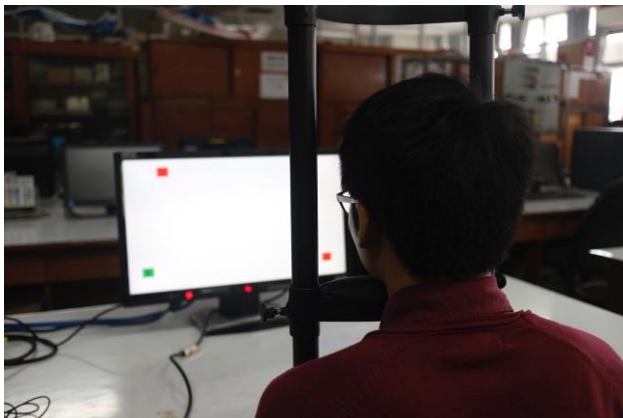


Gambar 8. Alur eksperimen untuk seluruh responden

Pada sesi kedua, empat objek stimulus ditampilkan secara bersamaan (dengan *occlusion*) pada posisi yang ditentukan, seperti yang diilustrasikan pada gambar Gambar 5 dan eksperimen yang digambarkan pada gambar Gambar 9 dan Gambar 10. Posisi objek stimulus di sesi kedua sama dengan posisi objek stimulus pada sesi eksperimen pertama. Objek stimulus yang aktif diberi warna hijau, sedangkan objek stimulus yang tidak aktif diberi warna merah. Urutan aktivasi objek adalah (i) kiri atas, (ii) kiri bawah, (iii) kanan atas, dan (iv) kanan bawah. Pada sesi ini, responden hanya diminta untuk mengikuti objek stimulus yang aktif.



Gambar 9. Eksperimen sesi kedua tanpa menggunakan *chinrest*



Gambar 10. Eksperimen sesi kedua dengan menggunakan *chinrest*

D. Algoritma pemilihan objek

Pada metode pengukuran *similarity* dan *gaze smoothing filter* masih ditemukan permasalahan yang cukup krusial dalam pemilihan objek, yaitu metode tersebut tidak dapat menanggulangi *drift* dari gerakan mata dalam proses pemilihan objek. *Drift* adalah gerakan mata yang menjauh dari titik *fixation*. Oleh karena itu, penelitian ini merancang algoritma pemilihan objek (Gambar 11) dengan menggunakan kombinasi beberapa metode, yaitu metode pengukuran *similarity*, *gaze smoothing filter*, dan regresi liner. Algoritma ini dirancang untuk untuk meningkatkan akurasi, durasi, dan stabilitas dari aktivitas pemilihan objek.

Dari seluruh kombinasi metode yang digunakan, performa algoritma diuji dengan menggunakan tiga komponen parameter, yaitu akurasi, durasi, dan stabilitas pemilihan objek. Akurasi adalah persentase total keberhasilan pemilihan objek yang berhasil dilakukan di seluruh sesi eksperimen. Durasi pemilihan objek adalah durasi yang dibutuhkan oleh responden dalam memilih objek yang telah ditentukan pada seluruh sesi eksperimen. Stabilitas adalah durasi (dalam milidetik) titik pandang mata selama memilih objek yang telah ditentukan.

III. HASIL EKSPERIMEN

A. Pengaruh penggunaan *chinrest* terhadap performa pemilihan objek

Untuk mengetahui pengaruh penggunaan *chinrest* terhadap performa pemilihan objek, maka eksperimen yang sama dilakukan sebanyak 2 kali, yaitu tanpa dan dengan penggunaan *chinrest*. Selanjutnya, analisis dilakukan dengan menggunakan data mentah (*raw*) hasil eksperimen tanpa dilakukan *gaze smoothing*.

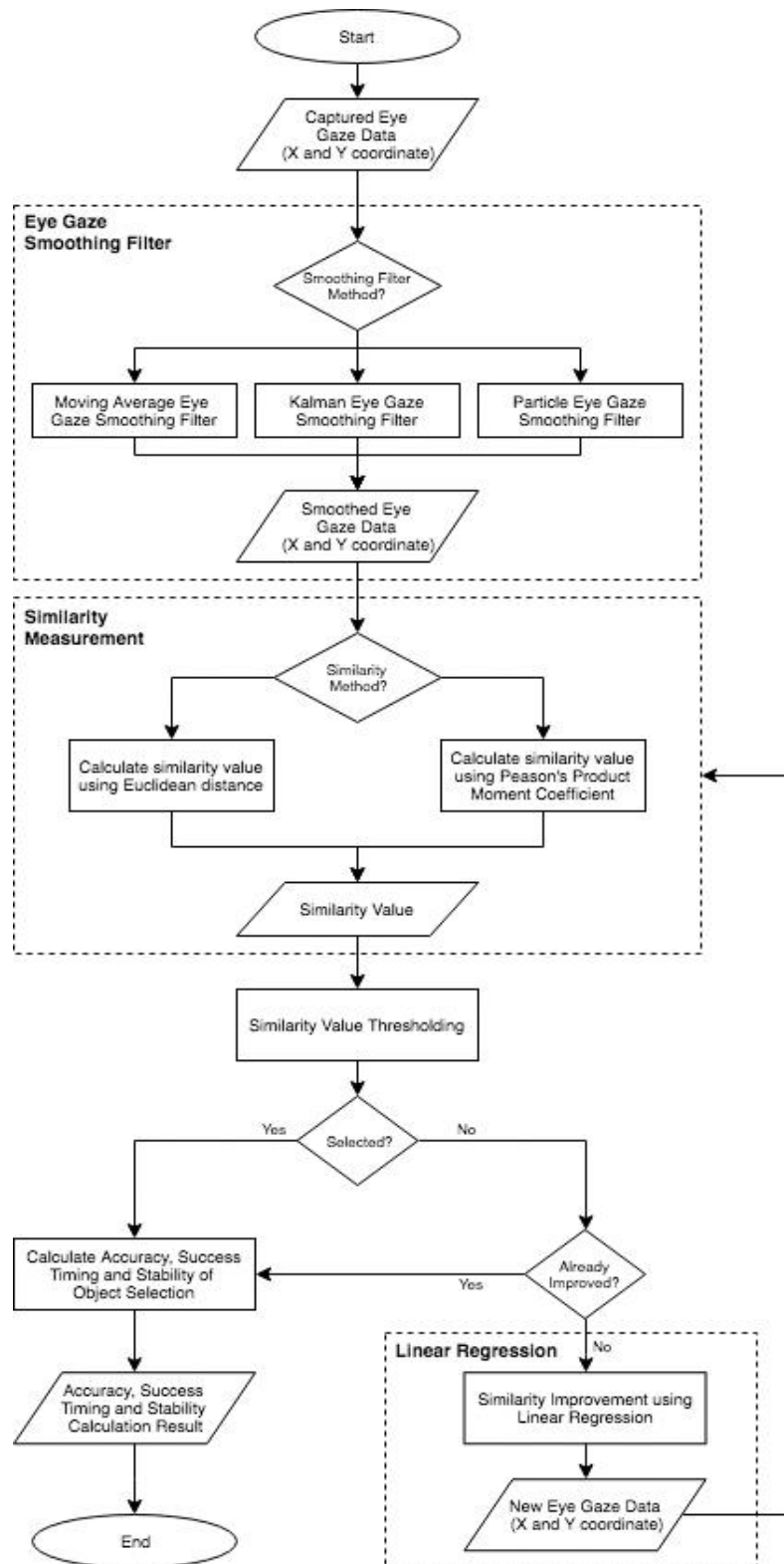
TABEL I dan TABEL II menunjukkan akurasi dari pemilihan objek dengan dan tanpa penggunaan *chinrest* di kedua sesi eksperimen dalam beberapa *threshold*. Tabel I menggunakan metode pengukuran *similarity* dengan Euclidean *distance* (ED), sedangkan tabel TABEL II menggunakan Pearson's Product Moment Coefficient (PPMC). TABEL III dan TABEL IV menunjukkan durasi yang dibutuhkan dari pemilihan objek. Tabel TABEL V dan TABEL VI menunjukkan stabilitas dari pemilihan objek.

TABEL I
AKURASI PEMILIHAN OBJEK DENGAN DAN TANPA PENGGUNAAN CHINREST
MENGUNAKAN EUCLIDEAN DISTANCE (ED) DAN TANPA GAZE
SMOOTHING

Threshold	Section 1		Section 2	
	With Chinrest	Without Chinrest	With Chinrest	Without Chinrest
20	4,48%	4,63%	4,31%	5,61%
40	19,65%	23,25%	19,87%	23,34%
60	43,80%	48,64%	43,69%	47,00%
80	65,74%	68,84%	63,63%	66,28%
100	78,41%	80,21%	76,45%	77,64%

TABEL II
AKURASI PEMILIHAN OBJEK DENGAN DAN TANPA PENGGUNAAN CHINREST
MENGUNAKAN PEARSON'S PRODUCT MOMENT COEFFICIENT (PPMC)
DAN TANPA GAZE SMOOTHING

Threshold	Section 1		Section 2	
	With Chinrest	Without Chinrest	With Chinrest	Without Chinrest
0,1	58,83%	59,41%	60,23%	59,27%
0,2	56,95%	57,54%	58,23%	57,23%
0,3	54,92%	55,52%	56,07%	54,95%
0,4	52,61%	53,25%	53,66%	52,66%
0,5	49,94%	50,30%	50,81%	49,71%



Gambar 11. Algoritma pemilihan objek: penelitian ini menilai performa pemilihan objek dari 4 kondisi titik pandang mata (tanpa *gaze smoothing*, *moving average*, *Kalman filter*, dan *Particle filter*), 2 metode pengukuran *similarity* (*Euclidean distance* dan *Pearson's Product Moment Coefficient*) dan regresi linier untuk meminimalisir *drift* pada gerakan mata

TABEL III
DURASI PEMILIHAN OBJEK DENGAN DAN TANPA PENGGUNAAN CHINREST
MENGUNAKAN EUCLIDEAN DISTANCE (ED) DAN TANPA GAZE
SMOOTHING

Threshold	Section 1		Section 2	
	With Chinrest	Without Chinrest	With Chinrest	Without Chinrest
20	193,37	173,65	146,45	146,60
40	194,07	180,08	145,74	151,77
60	195,38	182,88	150,29	153,31
80	200,57	188,35	146,39	157,16
100	208,27	191,95	151,23	170,18

TABEL IV
DURASI PEMILIHAN OBJEK DENGAN DAN TANPA PENGGUNAAN CHINREST
MENGUNAKAN PEARSON'S PRODUCT MOMENT COEFFICIENT (PPMC)
DAN TANPA GAZE SMOOTHING

Threshold	Section 1		Section 2	
	With Chinrest	Without Chinrest	With Chinrest	Without Chinrest
0,1	127,20	123,88	134,90	131,64
0,2	122,77	119,59	129,89	126,88
0,3	117,89	114,58	124,36	121,25
0,4	112,64	109,05	118,77	115,41
0,5	106,26	102,18	111,85	108,90

TABEL V
STABILITAS PEMILIHAN OBJEK DENGAN DAN TANPA PENGGUNAAN
CHINREST MENGUNAKAN EUCLIDEAN DISTANCE (ED) DAN TANPA GAZE
SMOOTHING

Threshold	Section 1		Section 2	
	With Chinrest	Without Chinrest	With Chinrest	Without Chinrest
20	1.226	1.194	1.816	2.352
40	6.186	7.462	9.890	9.626
60	14.646	16.384	20.020	19.676
80	22.676	23.660	28.428	28.020
100	27.292	23.660	33.514	32.340

TABEL VI
STABILITAS PEMILIHAN OBJEK DENGAN DAN TANPA PENGGUNAAN
CHINREST MENGUNAKAN PEARSON'S PRODUCT MOMENT COEFFICIENT
(PPMC) DAN TANPA GAZE SMOOTHING

Threshold	Section 1		Section 2	
	With Chinrest	Without Chinrest	With Chinrest	Without Chinrest
0,1	18.396	18.676	23.280	21.992
0,2	17.670	17.934	22.204	20.700
0,3	16.918	17.220	20.534	19.824
0,4	16.062	16.332	19.188	18.688
0,5	14.982	15.246	17.696	17.106

T-test dilakukan untuk mengukur nilai signifikan dari penggunaan *chinrest* di setiap sesi eksperimen. Pengukuran menggunakan *confidence level* sebesar 95% yang mencerminkan tingkat signifikan sebesar 0,05. Dari hasil yang dicantumkan pada TABEL I dan TABEL II, tidak ada

perbedaan yang signifikan dalam penggunaan *chinrest* terhadap akurasi pemilihan objek menggunakan ED dan PPMC di kedua sesi eksperimen ($p > 0,05$).

Hal yang sama juga terjadi pada durasi pemilihan objek, tidak ada perbedaan yang signifikan terhadap penggunaan ED dan PPMC di kedua sesi eksperimen ($p > 0,05$). Namun pada sesi pertama penggunaan ED, terdapat perbedaan yang signifikan antara dengan dan tanpa penggunaan *chinrest* terhadap durasi pemilihan objek. Tanpa penggunaan *chinrest* membutuhkan durasi pemilihan objek yang lebih singkat dibandingkan dengan penggunaan *chinrest*. Rata-rata durasi yang dibutuhkan untuk memilih suatu objek adalah 198.33 ± 6.23 ms (dengan penggunaan *chinrest*) dan 183.38 ± 7.14 ms (tanpa penggunaan *chinrest*). Setelah dilakukan pengukuran *t-test*, hal yang sama juga terjadi pada stabilitas pemilihan objek. Dari hasil pengukuran ditemukan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara dengan dan tanpa penggunaan *chinrest* terhadap stabilitas pemilihan objek ($p > 0,05$).

B. Perbandingan performa pemilihan objek dengan menggunakan Euclidean distance (ED) dan Pearson's Product Moment Coefficient

Penelitian ini juga meneliti performa metode yang terbaik untuk pemilihan objek. Pada penelitian ini dibandingkan 2 metode pengukuran *similarity*, yaitu Euclidean distance (ED) dan Pearson's Product Moment Coefficient (PPMC). Data yang digunakan adalah data gerakan mata yang tidak melalui tahapan *gaze smoothing* dan tanpa penggunaan *chinrest*. Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada TABEL I-TABEL VI, maka dilakukan *t-test* untuk mengukur nilai signifikan dari performa pemilihan objek dengan menggunakan ED dan PPMC. Pengukuran menggunakan *confidence level* sebesar 95% yang mencerminkan tingkat signifikan sebesar 0,05.

Berdasarkan hasil *t-test* dapat disimpulkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan dalam penggunaan metode pengukuran *similarity* terhadap akurasi dan stabilitas pemilihan objek di kedua sesi eksperimen ($p > 0,05$). Namun, terdapat perbedaan yang signifikan antara ED dan PPMC terhadap durasi pemilihan objek di kedua sesi eksperimen. Dari TABEL III dan TABEL IV dapat disimpulkan bahwa PPMC memiliki performa durasi pemilihan objek yang lebih baik dibandingkan dengan ED. Pada sesi pertama eksperimen, PPMC membutuhkan durasi pemilihan objek sebesar $113,86 \pm 8,56$ ms, sedangkan ED membutuhkan $182,66 \pm 6,18$ ms. Pada sesi kedua eksperimen, PPMC membutuhkan durasi sebesar $120,81 \pm 9,02$ ms, sedangkan ED membutuhkan $153,20 \pm 4,39$ ms.

C. Pengaruh penggunaan gaze smoothing filter terhadap performa pemilihan objek

One way within-subjects analysis of variance (ANOVA) dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan *gaze smoothing filter* dalam meningkatkan akurasi, durasi, dan stabilitas pemilihan objek. Variabel independen

yang digunakan adalah kondisi *gaze smoothing* yang terdiri dari tanpa *gaze smoothing*, *moving average*, Kalman filter, dan Particle filter. Variabel terikat yang diukur adalah akurasi, durasi, dan stabilitas pemilihan objek. Dari hasil analisis ditemukan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada penggunaan *gaze smoothing filter* terhadap akurasi ($p < 0,001$) dan stabilitas ($p < 0,05$) pemilihan objek. Namun sebaliknya, tidak ada perbedaan yang signifikan pada penggunaan *gaze smoothing filter* terhadap durasi ($p > 0,05$). pemilihan objek.

Dari hasil analisis di atas diketahui bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada penggunaan *gaze smoothing filter* terhadap akurasi dan stabilitas pemilihan objek. Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada tabel TABEL VII, TABEL VIII, dan TABEL IX dapat disimpulkan bahwa *moving average* adalah *gaze smoothing filter* terbaik jika dibandingkan dengan *gaze smoothing filter* lain untuk menghasilkan akurasi yang tinggi dan stabilitas yang baik dalam pemilihan objek. Berbeda dengan akurasi dan stabilitas, durasi pemilihan objek dapat dihasilkan lebih singkat jika menggunakan Particle filter sebagai *gaze smoothing filter* dalam pemilihan objek.

D. Perbandingan performa pemilihan objek dengan dan tanpa menggunakan regresi linier

Akurasi, durasi, dan stabilitas pemilihan objek adalah 3 komponen pengukuran yang dijadikan parameter untuk mengukur performa metode pengukuran *similarity* dan *gaze smoothing filter*. Data gerakan mata yang digunakan untuk mengukur performa adalah data yang dihasilkan dari eksperimen dengan 2 kondisi *chinrest* yang berbeda (dengan dan tanpa penggunaan *chinrest*) dalam 2 sesi eksperimen (dengan dan tanpa *occlusion*). Data tersebut kemudian diuji dengan menggunakan 4 kondisi *gaze smoothing* (tanpa *gaze smoothing*, *moving average*, Kalman filter, dan Particle filter) dan 2 metode pengukuran *similarity* (Euclidean distance dan Pearson's Product Moment Coefficient). Selain itu, dilakukan juga analisis terhadap penggunaan regresi linier untuk meminimalkan *drift* yang terdapat pada gerakan mata. Tabel TABEL VII, TABEL VIII, dan TABEL IX menunjukkan performa pemilihan objek di kedua sesi eksperimen, yaitu dengan dan tanpa penggunaan regresi linier dan dengan menggunakan 4 kondisi *gaze smoothing*.

TABEL VII
AKURASI PEMILIHAN OBJEK TANPA DAN DENGAN REGRESI LINIER – DENGAN 4 KONDISI TITIK PANDANG MATA (TANPA GAZE SMOOTHING FILTER, MOVING AVERAGE, KALMAN FILTER, DAN PARTICLE FILTER)

Condition	Section 1		Section 2	
	Without Linear Regression	With Linear Regression	Without Linear Regression	With Linear Regression
Raw	48,64%	61,71%	47,00%	52,32%
Moving Average	49,26% (7 gaze points)	79,43% (7 gaze points)	47,21% (3 gaze points)	52,61% (3 gaze points)
Kalman Filter	15,52% (Q = 0,2) (R = 0,4)	38,53% (Q = 0,2) (R = 0,4)	16,58% (Q = 0,8) (R = 0,8)	32,64% (Q = 0,8) (R = 0,8)
Particle Filter	43,33% (P = 80) (W = 10)	57,95% (P = 80) (W = 10)	41,79% (P = 100) (W = 10)	48,15% (P = 100) (W = 10)

Tabel VII menunjukkan akurasi dari pemilihan objek. Berdasarkan tabel VII dapat disimpulkan bahwa *moving average* merupakan metode terbaik untuk menghasilkan akurasi yang tinggi dalam pemilihan objek dengan menggunakan $n = 7$ pada sesi pertama eksperimen dan $n = 3$ pada sesi kedua eksperimen. n adalah total titik pandang mata yang digunakan untuk menghasilkan titik pandang mata baru yang lebih akurat. Setelah menggunakan regresi linier untuk meminimalkan *drift* pada gerakan mata, *moving average* menghasilkan tingkat akurasi sebesar 79,43%. Jika dibandingkan dengan akurasi sebelum menggunakan regresi linier, akurasi meningkat sebesar 30,17% pada sesi pertama eksperimen. Sedangkan pada sesi kedua eksperimen, akurasi dengan menggunakan *moving average* meningkat sebesar 5,4% menjadi 52,61%.

Tabel VIII menunjukkan durasi dari pemilihan objek. Particle filter merupakan metode *gaze smoothing* terbaik dalam menghasilkan durasi pemilihan objek yang lebih baik

dibanding dengan *gaze smoothing filter* lain, yaitu dengan menggunakan 20 partikel dan 30 *random walk* pada sesi pertama eksperimen. Namun pada sesi kedua eksperimen, data *raw* (tanpa *gaze smoothing*) menghasilkan durasi pemilihan yang lebih baik dibanding dengan *gaze smoothing filter* lain. Setelah menggunakan regresi linier untuk meminimalkan *drift* pada gerakan mata, Particle filter menghasilkan durasi pemilihan objek sebesar 125,34 ms. Jika dibandingkan dengan akurasi sebelum menggunakan regresi linier, durasi pemilihan objek menjadi lebih singkat, yaitu sebesar 41,77 pada sesi pertama eksperimen. Sedangkan pada sesi kedua eksperimen, durasi pemilihan objek dengan menggunakan data *raw* (tanpa *gaze smoothing*) menjadi lebih singkat sebesar 43,77 ms menjadi 109,54 ms.

Tabel IX menunjukkan stabilitas dari pemilihan objek. Berdasarkan tabel IX dapat disimpulkan bahwa *moving average* menghasilkan 20.952 ms setelah proses *drifting correction* dengan menggunakan regresi linier pada sesi

pertama. Angka stabilitas ini meningkat sebesar 4.018 ms dari stabilitas pemilihan objek sebelumnya yang tidak menggunakan regresi linier. Sedangkan pada sesi kedua, *moving average* meningkat sebesar 4.480 ms menjadi 24.424 ms.

TABEL VIII
DURASI PEMILIHAN OBJEK TANPA DAN DENGAN REGRESI LINIER – DENGAN 4 KONDISI TITIK PANDANG MATA (TANPA GAZE SMOOTHING FILTER, MOVING AVERAGE, KALMAN FILTER, DAN PARTICLE FILTER)

Condition	Section 1		Section 2	
	Without Linear Regression	With Linear Regression	Without Linear Regression	With Linear Regression
Raw	182,88 ms	136,84 ms	153,31 ms	109,54 ms
Moving Average	176,77 ms (2 gaze points)	142,17 ms (2 gaze points)	154,55 ms (2 gaze points)	123,08 ms (2 gaze points)
Kalman Filter	172,94 ms (Q = 0,6) (R = 0,8)	148,74 ms (Q = 0,6) (R = 0,8)	136,02 ms (Q = 0,6) (R = 0,4)	112,39 ms (Q = 0,6) (R = 0,4)
Particle Filter	167,11 ms (P = 20) (W = 30)	125,34 ms (P = 20) (W = 30)	131,52 ms (P = 20) (W = 40)	133,62 ms (P = 20) (W = 40)

TABEL IX
STABILITAS PEMILIHAN OBJEK TANPA DAN DENGAN REGRESI LINIER – DENGAN 4 KONDISI TITIK PANDANG MATA (TANPA GAZE SMOOTHING FILTER, MOVING AVERAGE, KALMAN FILTER, DAN PARTICLE FILTER)

Condition	Section 1		Section 2	
	Without Linear Regression	With Linear Regression	Without Linear Regression	With Linear Regression
Raw	16.384 ms	20.212 ms	20.020 ms	23.372 ms
Moving Average	16.934 ms (6 gaze points)	20.952 ms (6 gaze points)	19.944 ms (7 gaze points)	24.424 ms (7 gaze points)
Kalman Filter	4.902 ms (Q = 0,6) (R = 0,2)	10.944 ms (Q = 0,6) (R = 0,2)	6.962 ms (Q = 0,4) (R = 0,8)	12.414 ms (Q = 0,4) (R = 0,8)
Particle Filter	14.516 ms (P = 80) (W = 10)	18.598 ms (P = 80) (W = 10)	17.776 ms (P = 80) (W = 10)	21.432 ms (P = 80) (W = 10)

IV. PEMBAHASAN

Pada hasil bagian pertama dapat disimpulkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan pada penggunaan *chinrest* terhadap akurasi, durasi dan stabilitas dari proses pemilihan objek. Pada dasarnya penggunaan *chinrest* memang dirancang untuk membatasi pergerakan kepala [12]. Meskipun begitu, berdasarkan tabel TABEL I-TABEL VI, penelitian ini membuktikan performa pemilihan objek tanpa penggunaan *chinrest* lebih baik dibanding dengan penggunaan dari tabel TABEL I-TABEL VI. Dibandingkan dengan kalibrasi pelacakan mata berbasis fiksasi, pemilihan objek menggunakan gerakan mata *smooth pursuit* dapat diimplementasikan tanpa membatasi gerakan kepala.

Pada hasil bagian kedua ditemukan bahwa PPMC lebih unggul dalam durasi pemilihan objek dibanding ED. Di sisi lain, Card dkk. [13] telah menunjukkan bahwa psikologi terapan dapat digunakan untuk memperkirakan durasi antara stimulus pada layar dan timbal balik pengguna pada stimulus yang disajikan. Card dkk. menyatakan bahwa waktu reaksi rata-rata pengguna terhadap stimulus adalah sekitar 310 ms, dengan durasi sebesar 130 ms untuk waktu timbal balik tercepat dan 640 ms untuk waktu timbal balik

paling lambat. Dalam penelitian ini disimpulkan bahwa durasi yang dibutuhkan untuk pemilihan objek dengan ED rata-rata 182,88 ms di sesi pertama eksperimen dan 153,31 ms di sesi kedua eksperimen. Oleh karena itu, pemilihan objek dengan Euclidean *distance* (ED) tetap dapat diterapkan untuk aplikasi interaktif yang lebih luas karena memerlukan waktu kurang dari 640 ms untuk memberikan timbal balik kepada stimulus yang disajikan.

Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa PPMC bukan metode terbaik untuk pemilihan objek, meskipun perbedaan antara metode PPMC dan ED tidak signifikan dalam hal pemilihan objek. PPMC memperkirakan *similarity* antara lintasan titik pandangan dan objek yang menjadi fokus pandangan. Pada penelitian ini ditemukan bahwa terdapat kesamaan pola karena ada lebih dari satu objek bergerak ke arah yang sama. Hal ini menyebabkan penurunan akurasi pemilihan objek pada metode PPMC. Hal ini tidak akan menimbulkan masalah jika hanya terdapat satu objek pada layar. Namun jika terdapat lebih dari satu objek di layar dan memiliki gerakan atau arah yang sama atau serupa, maka PPMC tidak dapat digunakan untuk pemilihan objek karena sulit untuk membedakan di antara

kedua objek tersebut. Sementara itu, pada implementasi di lapangan selalu terdapat lebih dari satu objek di layar dan sangat memungkinkan apabila objek-objek tersebut memiliki pola gerakan yang serupa. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa ED adalah metode pengukuran *similarity* terbaik untuk pemilihan objek. Akurasi pemilihan objek berdasarkan pergerakan mata *smooth pursuit* dapat dicapai dengan mempertimbangkan jarak tertentu dari titik pandangan dan stimulus, tanpa memperhitungkan kesamaan lintasan antara titik pandangan dan objek.

Pada hasil bagian ketiga dapat disimpulkan bahwa Particle *filter* lebih unggul dalam durasi pemilihan objek dibandingkan metode *gaze smoothing* yang lain. Setelah dilakukan uji statistic didapatkan hasil bahwa tidak ada pengaruh yang signifikan pada *gaze smoothing filter* terhadap durasi pemilihan objek. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa *moving average* masih merupakan metode *gaze smoothing filter* terbaik dalam pemilihan objek. *Moving average* dapat menghasilkan performa terbaik dengan memperhatikan tingkat akurasi, durasi, dan stabilitas dalam pemilihan objek dibandingkan dengan metode lainnya (Kalman *filter* dan Particle *filter*).

Pada hasil bagian keempat menunjukkan bahwa regresi linier dalam pemilihan objek untuk menjaga stabilitas pergerakan mata. Berdasarkan tabel TABEL VII, TABEL VIII, dan TABEL IX dapat disimpulkan bahwa regresi linier dapat digunakan untuk melakukan prediksi terhadap titik pandang mata dan melakukan koreksi terhadap pergeseran pergerakan mata yang diakibatkan oleh *drift* gerakan mata. Regresi linier telah terbukti dapat meningkatkan performa pemilihan objek secara keseluruhan. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa performa pemilihan objek terbaik adalah tanpa menggunakan *chinrest*. Metode terbaik yang digunakan dalam pemilihan objek adalah Euclidean *distance*, *moving average* dan regresi linier. Dengan menggunakan 3 metode tersebut, maka dihasilkan akurasi pemilihan objek sebesar $79,43 \pm 16,89\%$, durasi pemilihan objek sebesar $109,54 \pm 32,03$ ms, dan stabilitas pemilihan objek adalah $24.424 \pm 955,06$ ms.

V. KESIMPULAN

Tantangan utama interaksi dengan menggunakan titik pandang mata adalah bagaimana menghasilkan pemilihan objek yang akurat, cepat, dan stabil. Penelitian ini menggunakan tiga komponen parameter untuk menilai performa pemilihan objek, yaitu akurasi, durasi dan stabilitas. Implementasi metode baru dilakukan untuk menghasilkan akurasi, durasi dan stabilitas pemilihan objek yang lebih baik dari sebelumnya. Berdasarkan hasil dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan *chinrest* tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap akurasi, durasi dan stabilitas pemilihan objek di interaksi antarmuka berbasis titik pandang mata.

Penelitian ini mengusulkan algoritma pemilihan objek yang dapat meningkatkan akurasi, durasi, dan stabilitas pemilihan objek di interaksi antarmuka berbasis tatapan.

Rata-rata akurasi pemilihan objek meningkat 30,17% (dari $49,26 \pm 22,16\%$ menjadi $79,43 \pm 16,89\%$), rata-rata durasi meningkat 43,77 ms (dari $153,31 \pm 37,94$ ms menjadi $109,54 \pm 32,03$ ms), dan rata-rata stabilitas meningkat 4.480 ms (dari $19.944 \pm 1.303,99$ ms menjadi $24.424 \pm 955,06$ ms). Algoritma pemilihan objek novel ini menggabungkan metode pengukuran *similarity*, yaitu Euclidean *distance*, *moving average* sebagai metode *gaze smoothing*, dan regresi linier untuk melakukan prediksi terhadap titik pandang mata dan melakukan koreksi terhadap pergeseran pergerakan mata yang diakibatkan oleh *drift* gerakan mata. Kombinasi metode ini dinilai dapat meningkatkan akurasi, durasi, dan stabilitas pemilihan objek.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Arai & R. Mardiyanto, "Eye-based HCI with full specification of mouse and keyboard using pupil knowledge in the gaze estimation," *Proceedings of The 2011 8th International Conference on Information Technology: New Generations (ITNG)*, Las Vegas USA, 2011, pp. 423-428, 2010.
- [2] M. Porta & A. Ravarelli, "Eye-based user interfaces: Some recent projects," *Proceedings of The 3rd International Conference on Human System Interactions (HSI' 2010)*, Rzeszow Poland, pp. 289-294, 2010.
- [3] C. Kumar, R. Menges, & S. Staab, "Eye-Controlled Interfaces for Multimedia Interaction," *IEEE Multimedia*, vol. 23, no. 4, pp. 6-13, 2016.
- [4] K. Holmqvist, M. Nystrom, R. Andersson, R. Dewhurst, H. Jarodzka, & J. van de Weijer, "Eye Tracking: A Comprehensive Guide to Methods and Measures," *OUP Oxford*, 2011.
- [5] I. Starker & R. A. Bolt, "Gaze-responsive self-disclosing display", *Proceedings of CHI 1990*, New York USA, pp. 3-10, 1990.
- [6] M. C. A. Vidal, A. Bulling, & H. Gellersen, "Pursuits: Spontaneous Interaction with Displays based on Smooth Pursuit Eye Movement and Moving Targets," *Proceedings of the 2013 ACM international Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, pp. 439-448, 2013.
- [7] M. Vidal, K. Pfeuffer, A. Bulling, & H. W. Gellersen, "Pursuits: Eye-based interaction with moving targets," *CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, New York USA, pp. 3147-3150, 2013.
- [8] M. Vidal, A. Bulling, & H. Gellersen, "Pursuits: Spontaneous eye-based interaction for dynamic interfaces", *GetMobile: Mobile Comp. and Comm.*, vol.18, no.4, pp. 8-10, 2015.
- [9] J. Kangas, O. Spakov, P. Isokoski, D. Akkil, J. Rantala, & R. Raisamo, "Feedback for smooth pursuit gaze tracking based control", *Proceedings of the 7th Augmented Human International Conference 2016*, New York USA, pp. 6:1-6:8, 2016.
- [10] M. Khamis, O. Saltuk, A. Hang, K. Stolz, A. Bulling, & F. Alt, "TextPursuits: Using Text for Pursuits-Based Interaction and Calibration on Public Displays," *Proc. 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, New York USA, pp. 274-285, 2016.
- [11] Herlina, S. Wibirama, & I. Ardiyanto, "Similarity measures of object selection in interactive applications based on smooth pursuit eye movements," *2018 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)*, Yogyakarta, 2018, pp. 639-644.
- [12] Z. Zhu & Qiang Ji, "Novel Eye Gaze Tracking Techniques Under Natural Head Movement", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 54, no. 12, pp. 2246-2260, 2007.
- [13] S.K. Card, A. Newell, & T.P. Moran, *The Psychology of Human-Computer Interaction*, CRC Press: Florida, 1983.