

Rendering Dinamis dan Interaksi Pengguna untuk Visualisasi Data Deret Waktu di Realitas X

Muhammad Rafif Fadhil Naufal, Anny Yuniarti, dan Hadziq Fabroyir
Departemen Teknik Informatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: anny@its.ac.id

Abstrak—Visualisasi data deret waktu merupakan salah satu teknik yang dapat digunakan untuk mengeksplorasi dan menganalisis data yang berubah seiring waktu. Namun, visualisasi data deret waktu yang konvensional sering kali kurang menarik dan interaktif bagi pengguna. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah sistem visualisasi data deret waktu yang menggunakan teknologi Realitas X (XR). Sistem ini memungkinkan pengguna untuk melihat dan berinteraksi dengan data deret waktu secara dinamis dan imersif, dengan menggunakan perangkat XR. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pengembangan perangkat lunak, yang meliputi analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi sistem, dan pengujian interaksi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem visualisasi data deret waktu di XR dapat berfungsi dengan baik dan memberikan pengalaman yang menarik dan interaktif bagi pengguna. Sistem ini juga dapat meningkatkan pemahaman dan keterlibatan pengguna terhadap data deret waktu yang ditampilkan dalam ruang XR. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya di bidang visualisasi data dan XR.

Kata Kunci—VR, Grafik, Spreadsheet, XR

I. PENDAHULUAN

DATA deret waktu adalah sekumpulan data yang dikumpulkan secara periodik dan dimanfaatkan untuk menganalisis tren, pola, serta perubahan [1]. Dalam Realitas X (XR), data deret waktu dapat divisualisasikan secara dinamis, memungkinkan pengguna berinteraksi dengan data dalam lingkungan nyata [1]. XR mencakup berbagai realitas imersif seperti VR, AR, AV, MR, dan lainnya, yang memperluas cara kita berinteraksi dengan dunia digital [2]. Penggunaan XR untuk visualisasi data deret waktu menawarkan pengalaman yang lebih imersif dan intuitif bagi pengguna.

Tantangan muncul dalam menyajikan visualisasi data deret waktu yang dinamis dan responsif di XR. Data deret waktu cenderung berukuran besar, memiliki dimensionalitas tinggi, dan memerlukan pembaruan terus-menerus, sehingga membutuhkan teknik rendering dinamis yang dapat menyesuaikan tampilan secara *real-time* sesuai dengan konteks dan preferensi pengguna [3].

Interaksi pengguna dalam XR sangat krusial karena memungkinkan navigasi data deret waktu melalui gerakan fisik, gestur, atau input lain yang telah disesuaikan [1]. Gestur tangan adalah metode interaksi yang memanfaatkan gerakan tangan untuk memberikan perintah atau informasi kepada sistem, sehingga memudahkan pengguna tanpa perlu perangkat tambahan seperti *keyboard* atau *mouse*. Penggunaan gestur tangan meningkatkan keterlibatan dan aksesibilitas pengguna dalam visualisasi data, memungkinkan navigasi yang lebih intuitif dan cepat.

Dengan memanfaatkan rendering dinamis dan gestur tangan, sistem visualisasi data deret waktu di XR diharapkan mampu memberikan pengalaman yang lebih imersif, interaktif, dan informatif bagi pengguna.

II. DASAR TEORI

A. Visualisasi Data Deret Waktu

Visualisasi data adalah alat penting untuk mengubah data mentah menjadi informasi yang dapat dipahami oleh pengambil keputusan [4]. Ini juga efektif untuk mengidentifikasi tren, wawasan, dan anomali dalam data [5].

Time series atau deret waktu adalah data yang diatur berdasarkan urutan waktu, dengan pengamatan dilakukan pada berbagai titik waktu secara berurutan [6]. Visualisasi data deret waktu adalah pengolahan data mentah menjadi informasi yang disusun secara kronologis.

Beberapa jenis visualisasi data deret waktu yang umum digunakan antara lain: 1) line chart, 2) scatter plots, 3) bar graphs. Dalam penelitian ini digunakan line chart, yaitu diagram garis yang menggabungkan titik-titik data dengan garis lurus untuk menggambarkan hubungan numerik secara grafis [7].

B. Konsep Realitas X

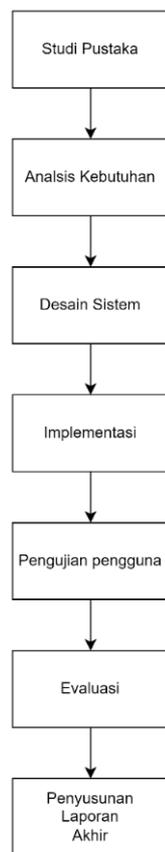
X Reality (XR) mencakup Virtual Reality (VR), Mixed Reality (MR), dan Augmented Reality (AR), yang menggabungkan lingkungan nyata dan virtual melalui teknologi komputer [7]. XR digunakan dalam berbagai bidang seperti museum, perencanaan pesawat, dan pendidikan untuk meningkatkan pengalaman pengguna [8]. XR berpotensi meningkatkan kehidupan kerja dengan memungkinkan skenario yang sebelumnya tidak dapat dijangkau.

C. Rendering Dinamis di Unity

Rendering dinamis memungkinkan perubahan visual secara real-time, penting untuk menciptakan pengalaman interaktif di XR. Teknologi AR dan VR memungkinkan interaksi langsung dengan data deret waktu yang berubah cepat, berbeda dari visualisasi statis yang tetap [9]. Hal ini esensial untuk XR karena memungkinkan pengguna melihat perubahan data secara dinamis, seperti penggunaan AR untuk menampilkan informasi yang cepat berubah.

D. Konversi Data CSV ke Unity

CSV (Comma Separated Values) adalah format file untuk menyimpan data dalam bentuk tabel karena mudah dibaca dan ditulis oleh berbagai aplikasi. Dalam Unity, file CSV dapat dibaca menggunakan TextAsset dan StreamReader, mengonversinya menjadi list Dictionary yang berisi atribut dan nilai untuk digunakan dalam aplikasi.



Gambar 1. Flowchart metode yang digunakan.

Tabel 1. Data per bulan

	2022	2021	2020
JAN	549.852.355.658	534.203.041.525	537.377.961.325
FEB	472.516.198.317	480.481.139.686	498.770.626.983
MAR	597.873.668.987	557.038.916.679	501.775.154.325
APR	584.332.074.073	519.200.104.215	392.532.375.966
MEI	528.283.211.133	486.138.271.026	415.238.154.777
JUN	711.634.136.269	577.616.583.516	558.048.653.937
JUL	583.185.756.794	500.269.222.886	584.353.899.450
AGT	684.398.407.434	542.857.379.575	508.261.559.945
SEPT	730.171.918.451	589.891.860.390	585.129.842.043
OKT	658.319.194.859	597.592.079.100	590.351.971.575
NOV	723.533.375.180	715.640.751.841	773.433.740.390
DES	796.988.837.790	773.251.002.821	620.914.044.500

E. Interpolasi Linear Unity

Interpolasi linear adalah teknik untuk memperkirakan nilai-nilai yang belum diketahui di antara titik-titik yang telah diketahui dalam suatu deret waktu. Metode ini menggunakan garis lurus untuk memperkirakan nilai-nilai antara titik-titik yang ada [10].

Di Unity, interpolasi linear untuk Vector3 dapat dilakukan menggunakan metode Vector3.Lerp. Metode ini membutuhkan tiga parameter: dua Vector3 yang mewakili titik awal dan akhir, serta parameter t, yang merupakan nilai antara 0 dan 1, menentukan posisi interpolasi antara kedua titik tersebut sesuai dengan persamaan berikut:

$$P(t) = (1 - t) \cdot a + t \cdot b$$

Dimana:

P(t) = titik interpolasi pada saat t.

a = titik awal.

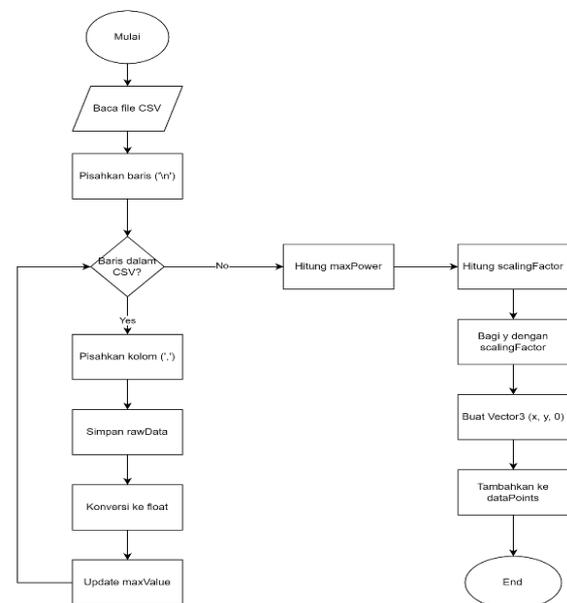
b = titik akhir.

t = parameter interpolasi yang bernilai antara 0 dan 1.

Tabel 2.

Data per dua minggu

	2022	2021	2020
01/01/2019	252.065.004.925	261.491.049.650	225.927.168.450
15/01/2019	210.335.220.433	212.149.958.475	194.555.181.725
29/01/2019	221.674.502.667	240.253.634.650	253.588.329.433
12/02/2019	219.821.172.350	205.681.082.736	223.685.556.250
26/02/2019	235.047.497.162	229.937.887.321	253.130.208.675
12/03/2019	223.203.420.975	232.008.527.316	226.890.629.600
26/03/2019	230.096.646.140	220.840.216.242	159.303.827.850
09/04/2019	320.417.881.683	226.433.096.557	182.443.934.150
23/04/2019	120.206.779.100	225.349.463.958	157.027.736.541
07/05/2019	285.913.854.475	171.368.349.401	224.054.538.052
21/05/2019	236.360.156.658	212.719.801.825	120.117.598.316
04/06/2019	309.860.081.925	273.223.341.175	278.062.750.896
18/06/2019	286.031.513.344	222.816.790.541	210.515.872.075
02/07/2019	266.910.107.973	223.176.844.760	266.727.630.747
16/07/2019	233.206.237.621	177.710.347.526	227.205.094.595
30/07/2019	286.332.179.654	218.550.863.150	225.139.113.758
13/08/2019	245.734.401.840	222.232.587.525	195.418.348.810
27/08/2019	288.655.837.580	247.870.497.316	265.712.504.935
10/09/2019	292.227.617.048	246.758.011.157	257.907.194.225
24/09/2019	302.374.013.479	249.836.085.292	253.017.557.043
08/10/2019	268.676.860.484	247.184.726.958	283.921.908.910
22/10/2019	256.805.121.017	258.110.011.791	229.413.136.530
05/11/2019	309.336.493.818	306.257.889.717	346.904.647.683
19/11/2019	275.840.297.879	298.912.608.470	326.352.451.559
03/12/2019	389.286.554.974	400.703.463.510	312.231.608.675
17/12/2019	250.703.911.141	216.920.057.741	232.375.024.008
31/12/2019	276.088.788.955	237.100.731.375	220.831.822.000



Gambar 2. Flowchart pengolahan data CSV.

F. Bezier Cubic Curve

Kurva Bézier kubik adalah jenis kurva Bézier yang sering digunakan dalam grafis dan komputasi, dibentuk oleh empat titik kontrol dan memiliki persamaan yang spesifik [11].

$$P(t) = (1 - t)^3 P_0 + 3t(1 - t)^2 P_1 + 3t^2(1 - t) P_2 + t^3 P_3$$

Dimana:

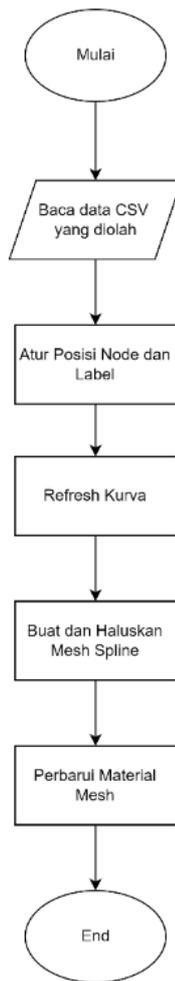
P(t) = titik interpolasi pada saat t.

P₀, P₁, P₂, P₃ = empat titik kontrol.

t = jarak antara titik satu dengan yang lain.

G. Program Unity

Unity adalah platform pengembangan yang digunakan untuk membuat permainan, visualisasi, simulasi, dan pengalaman VR/AR. Mesin 3D real-time Unity memungkinkan kolaborasi dalam menciptakan pengalaman



Gambar 3. Flowchart pengolahan data CSV.

imersif. Unity mendukung rendering dinamis, termasuk shader, pencahayaan, dan efek visual yang dapat diubah selama runtime, sehingga menciptakan lingkungan visual yang dinamis dan menarik.

H. Meta Quest 2

Meta Quest adalah keluarga headset imersif yang menyediakan pengalaman 3D interaktif yang melampaui dunia fisik. Meta Quest 2 menawarkan perangkat keras yang ditingkatkan, sensor lebih presisi, dan pengalaman VR yang lebih imersif, mendukung pengenalan gestur tangan untuk interaksi alami dalam visualisasi data deret waktu.

I. Interaksi pengguna dalam Unity

Dalam penggunaan Unity dengan perangkat Oculus Quest 2, sistem deteksi tangan menggunakan pustaka XR Hands 1.4.0 dan XR Interaction Toolkit untuk mengambil data pose tangan. Pustaka ini menyediakan informasi tentang posisi, orientasi, dan kecepatan dari berbagai titik di tangan pengguna. Data sendi mencakup posisi dan orientasi dasar dari tangan, sementara bentuk jari dibagi menjadi aspek seperti full curl, base curl, dan tip curl. Orientasi tangan mengacu pada arah jari atau telapak tangan. Bentuk dan pose tangan menggabungkan berbagai elemen untuk mengenali gestur tertentu. Skrip Static Hand Gesture mendeteksi gerakan tangan dan mengaktifkan aksi tertentu dalam aplikasi VR. Teknologi ini memungkinkan interaksi yang responsif dan akurat dengan data deret waktu dalam lingkungan VR.

Tabel 3.
Data per 10 hari

	2022	2021	2020
01/01/2023	170.296.531.325	166.316.375.600	161.355.388.250
11/01/2023	173.957.305.833	187.753.465.500	163.342.378.825
21/01/2023	130.420.545.200	143.536.606.925	133.520.589.750
31/01/2023	172.825.469.517	170.802.093.950	163.563.300.533
10/02/2023	156.553.602.350	162.896.069.586	191.576.921.550
20/02/2023	139.838.065.080	137.496.142.050	143.863.510.000
02/03/2023	195.051.878.232	180.712.859.221	193.664.355.625
12/03/2023	152.359.209.875	154.736.647.007	178.811.723.800
22/03/2023	150.173.524.850	154.135.837.301	103.227.890.950
01/04/2023	166.828.851.615	177.841.896.500	137.261.338.650
11/04/2023	215.270.052.883	154.625.546.982	114.304.970.200
21/04/2023	209.293.088.675	147.720.243.833	123.287.331.366
01/05/2023	73.409.207.450	184.116.153.401	126.774.076.375
11/05/2023	212.504.647.025	102.823.328.450	166.053.334.852
21/05/2023	159.282.054.658	138.827.315.575	78.575.291.450
31/05/2023	216.322.606.175	193.650.538.075	169.411.512.266
10/06/2023	187.653.048.850	185.388.590.150	190.649.385.646
20/06/2023	228.875.973.094	157.547.868.141	132.872.478.425
30/06/2023	184.116.121.217	167.001.181.110	195.669.551.217
10/07/2023	181.276.494.248	134.258.798.200	181.315.670.630
20/07/2023	174.841.799.279	132.972.834.576	154.135.056.995
30/07/2023	185.959.531.845	143.679.124.850	162.178.942.908
09/08/2023	194.704.579.253	157.759.006.600	134.018.733.950
19/08/2023	165.824.904.735	166.335.843.575	168.210.949.255
29/08/2023	222.406.569.028	172.105.411.691	163.797.381.740
08/09/2023	221.392.676.233	197.011.326.041	217.485.494.125
18/09/2023	196.600.371.626	149.151.173.766	169.281.529.900
28/09/2023	228.435.416.881	199.206.157.917	182.221.686.893
08/10/2023	181.603.464.184	175.736.089.483	218.115.145.710
18/10/2023	189.668.736.784	173.313.315.342	173.855.351.440
28/10/2023	170.700.972.208	198.387.145.124	189.715.712.940
07/11/2023	245.382.967.892	211.441.747.300	217.459.068.933
17/11/2023	199.178.230.125	216.283.824.617	249.472.335.050
27/11/2023	224.484.961.588	240.910.742.670	239.002.657.533
07/12/2023	288.925.995.391	295.095.835.910	211.203.481.751
17/12/2023	174.592.516.358	135.274.499.625	169.179.062.558
27/12/2023	188.457.855.175	167.310.570.091	103.215.082.800

III. METODOLOGI

Pada bab ini dijelaskan mengenai alur metode yang digunakan pada penelitian. Alur metode tertera pada Gambar 1.

A. Analisis Kebutuhan

1) Jenis data

Data yang digunakan untuk prototipe ini disiapkan untuk mendukung pengembangan dan pengujian aplikasi. Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3 merupakan rincian data csv yang digunakan.

2) Peralatan

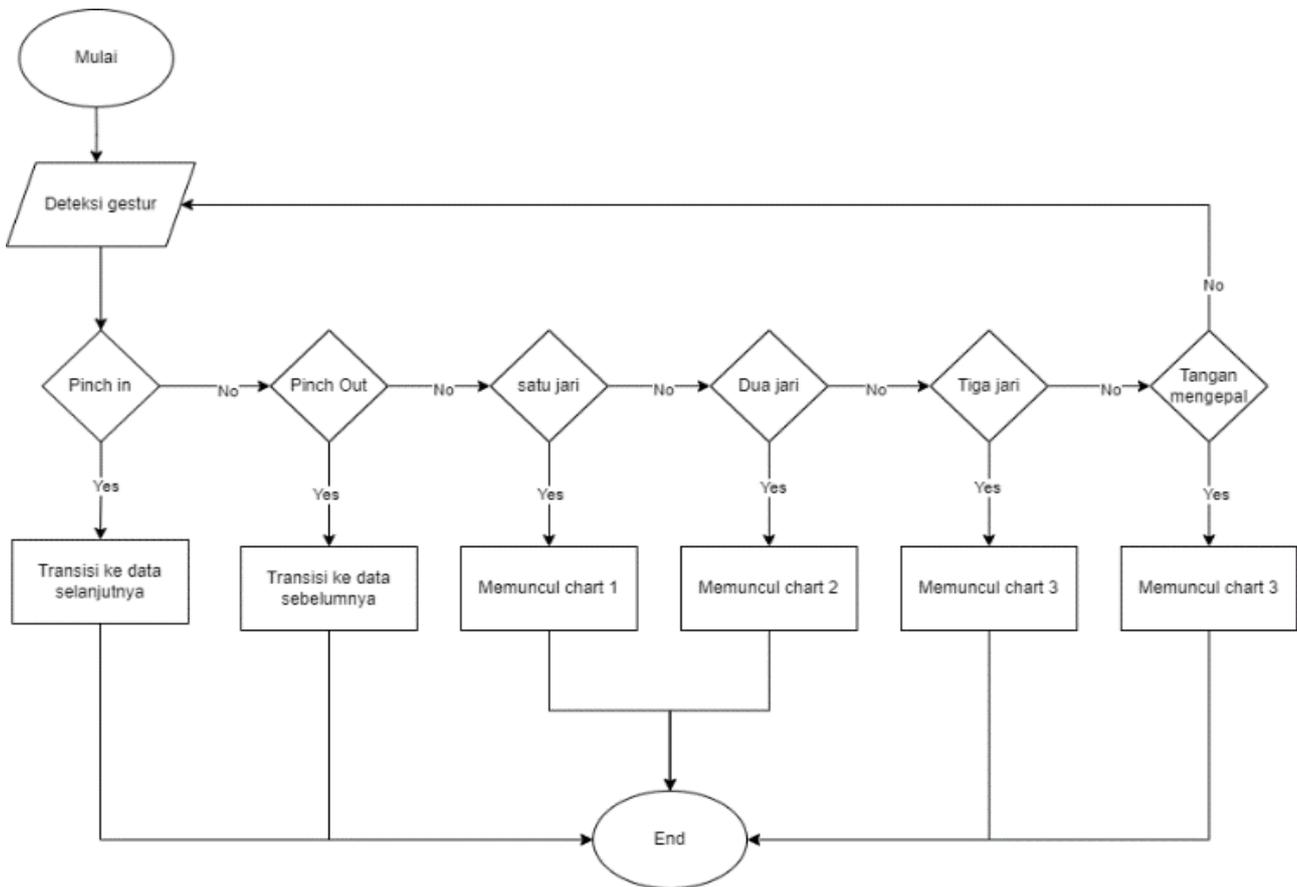
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan untuk mengembangkan dan menguji aplikasi VR:

1. Komputer dengan Spesifikasi Tinggi
2. Headset VR
3. Perangkat Lunak Pengembangan

B. Desain sistem dan Implementasi

1) Pengolahan data CSV

Flowchart Gambar 2 menjelaskan proses membaca dan mengolah data dari file CSV dalam sebuah aplikasi. Proses dimulai dengan membaca file CSV dan memisahkan baris-baris menggunakan pemisah baris baru ('\n'). Setiap baris diperiksa apakah berisi data yang valid, kemudian dipisahkan menjadi kolom-kolom menggunakan pemisah koma (',').



Gambar 4. Flowchart pengolahan data CSV.

Data mentah disimpan dan dikonversi ke dalam tipe float untuk menemukan nilai maksimum. Setelah nilai maksimum ditemukan, faktor skala dihitung berdasarkan nilai maksimum tersebut. Data diolah kembali, di mana nilai 'y' dibagi dengan faktor skala dan diubah menjadi vektor 3D (x, y, 0). Proses ini diulangi hingga semua baris dalam file CSV diproses, dan hasilnya disimpan dalam daftar dataPoints yang akan digunakan untuk visualisasi lebih lanjut.

2) *Implementasi rendering dinamis line chart data deret waktu dengan spline mesh*

Flowchart pada Gambar 3 menggambarkan proses rendering dinamis untuk visualisasi data deret waktu menggunakan spline mesh dalam Unity. Proses dimulai dengan membaca data CSV yang telah diolah, kemudian menetapkan simpul-simpul spline berdasarkan data tersebut. Langkah berikutnya adalah menghitung nilai maksimum dari koordinat y untuk menentukan skala visual. Setelah itu, untuk setiap titik data, jarak x dihitung dan label nilai dibuat serta posisinya diatur. Simpul spline juga diatur berdasarkan posisi data tersebut. Proses ini mencakup penyegaran kurva spline, pembuatan mesh, dan perataan kurva mesh untuk memastikan tampilan yang halus dan akurat.

3) *Implementasi interaksi pengguna*

Flowchart Gambar 4 menggambarkan proses deteksi dan respons terhadap gestur tangan dalam sebuah aplikasi visualisasi data. Proses dimulai dengan mendeteksi gestur yang dilakukan oleh pengguna. Jika terdeteksi gestur pinch in, aplikasi akan bertransisi ke data selanjutnya. Jika terdeteksi gestur pinch out, aplikasi akan bertransisi ke data sebelumnya. Gestur satu jari, dua jari, dan tiga jari masing-masing akan memunculkan chart 1, chart 2, dan chart 3. Jika

terdeteksi gestur tangan mengepal, aplikasi akan memunculkan semua chart. Setelah respons terhadap gestur selesai, proses kembali ke awal untuk mendeteksi gestur baru.

C. *Pengujian Pengguna*

Pengujian pengguna bertujuan untuk mengevaluasi kemudahan penggunaan dan efektivitas antarmuka gestur dalam VR yang menampilkan data dalam bentuk chart. Proses pengujian melibatkan beberapa langkah sebagai berikut:

1) *Pertanyaan Pre-elementary*

Peserta menjawab beberapa pertanyaan untuk memahami latar belakang penggunaan teknologi mereka:

1. Pengalaman menggunakan aplikasi atau alat dengan data chart.
2. Frekuensi penggunaan perangkat layar sentuh.
3. Pengalaman menggunakan gestur multi-sentuh.
4. Pengalaman menggunakan aplikasi VR.

2) *Pilot testing dan Usability Testing Tasks*

Pilot testing dilakukan untuk memastikan instruksi dan tugas yang diberikan kepada pengguna dapat dilakukan dengan benar dan mengidentifikasi potensi masalah. Setiap penguji diminta memberikan ide atau ekspektasi gestur untuk tiap interaksi.

Pengujian usability mencakup tiga tugas utama. Pertama, mengubah tampilan chart dengan pinch gesture, di mana peserta melakukan gerakan pinch in dan pinch out untuk mengubah tampilan chart dari bulanan menjadi per dua minggu, per 10 hari, dan kembali ke bulanan. Observasi difokuskan pada kemudahan melakukan gerakan, kesesuaian perubahan data, dan adanya kesulitan atau kebingungan.

Tabel 4.
Hasil Observasi Pengujian Pengguna

Task 1	Mengubah Tampilan Chart dengan Pinch Gesture
a. Apakah pengguna dapat melakukan <i>pinch in</i> dan <i>pinch out</i> dengan mudah?	Pilot tester tidak dapat melakukan gerakan <i>pinch in</i> dan <i>pinch out</i> dengan mudah. Menyarankan agar gestur <i>pinch in</i> dan <i>pinch out</i> diperbaiki dan demonstrasi gerak gestur secara langsung sebelum pengguna mencoba.
b. Apakah perubahan tampilan data sesuai dengan yang diharapkan?	Pilot tester merasa bingung karena semua <i>chart</i> warnanya sama walau dalam bulan, dua minggu, dan 10 hari. Menyarankan untuk menambah warna saat pergantian.
c. Apakah ada kesulitan atau kebingungan selama interaksi?	Ketika gestur terdeteksi perubahan data sesuai dengan yang diharapkan, meskipun pilot tester melaporkan keterlambatan dalam respons aplikasi.
Task 2	Memilih Chart dengan Gestur Jari
a. Apakah pengguna dapat dengan mudah menggunakan jumlah jari yang tepat untuk memilih <i>chart</i> yang diinginkan?	Ketiga gestur dapat menggunakan jumlah jari yang tepat untuk memilih <i>chart</i> yang diinginkan dengan mudah, namun beberapa memerlukan beberapa kali percobaan untuk berhasil.
b. Apakah <i>chart</i> yang dipilih muncul dengan benar dan <i>chart</i> lainnya tersembunyi?	<i>Chart</i> yang dipilih muncul dengan benar dan <i>chart</i> lainnya tersembunyi seperti yang diharapkan.
c. Apakah ada kebingungan dalam penggunaan jumlah jari?	Tidak ada, tetapi disarankan untuk memberikan petunjuk yang lebih jelas dalam aplikasi.
Task 3	Memilih Chart dengan Gestur Jari
a. Apakah pengguna dapat melakukan gestur tangan mengepal dengan mudah?	Dapat dilakukan dengan mudah.
b. Apakah semua 3 <i>chart</i> muncul dengan benar?	Semua tiga <i>chart</i> muncul dengan benar setelah melakukan gestur tangan mengepal dan data direset ke bulanan seperti yang diharapkan.
c. Apakah ada kesulitan atau kebingungan saat melakukan gestur tangan mengepal?	Tidak ada kesulitan atau kebingungan yang signifikan dilaporkan oleh pengguna saat melakukan gestur tangan mengepal.

Kedua, memilih chart dengan gestur jari, di mana peserta menggunakan satu, dua, dan tiga jari untuk memilih chart yang diinginkan dan menyembunyikan chart lainnya.

Observasi meliputi kemudahan penggunaan jumlah jari, kesesuaian chart yang dipilih, dan adanya kebingungan. Ketiga, menampilkan semua chart dengan gestur tangan mengepal, di mana peserta melakukan gestur fist bump hand untuk menampilkan semua chart dan reset data ke bulanan. Observasi difokuskan pada kemudahan melakukan gestur, kemunculan chart yang benar, dan adanya kesulitan atau kebingungan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pilot testing interaksi pengguna

Hasil *pilot testing* mengidentifikasi beberapa masalah utama dan area perbaikan dalam aplikasi VR untuk interaksi data chart dengan gestur tangan. Pada *Task 1*, pengguna mengalami kesulitan melakukan gestur *pinch in* dan *pinch out*, serta kebingungan karena semua chart memiliki warna yang sama.

Disarankan untuk memperbaiki deteksi gestur, menambah variasi warna, dan meningkatkan respons aplikasi. Pada *Task 2*, meskipun pengguna dapat menggunakan jumlah jari yang tepat, beberapa kali percobaan diperlukan, sehingga disarankan untuk memberikan petunjuk yang lebih jelas. *Task 3* menunjukkan bahwa gestur tangan mengepal dapat dilakukan dengan mudah dan chart muncul dengan benar tanpa kesulitan signifikan. Dengan perbaikan ini, diharapkan *usability testing* hanya menemukan masalah minor. Hasil observasi tertera pada Tabel 4.

B. Pengujian Usability

Berdasarkan hasil observasi dari pertanyaan *pre-eleminary*, mayoritas pengguna telah sering menggunakan aplikasi atau alat yang menampilkan data dalam bentuk chart dan terbiasa dengan perangkat layar sentuh lebih dari 5 jam sehari. Pengguna juga lumayan terbiasa atau sangat ahli dalam menggunakan gestur multi-sentuh seperti *pinch*, *swipe*, atau *tap*. Selain itu, sebagian besar peserta memiliki

pengalaman menggunakan aplikasi VR setidaknya 1-2 kali. Kesimpulannya, para peserta memiliki tingkat kenyamanan dan pengalaman yang memadai dengan teknologi yang diuji, baik dalam penggunaan gestur *multi-sentuh* maupun aplikasi VR, sehingga memberikan dasar yang baik untuk melanjutkan pengujian kemudahan penggunaan dan efektivitas antarmuka gestur dalam aplikasi VR ini.

Berdasarkan hasil observasi mengenai ekspektasi gestur dari para pengguna, terungkap bahwa untuk mengubah tampilan chart dari bulanan menjadi mingguan atau harian, sebagian besar pengguna lebih memilih gestur *swipe* kanan-kiri atau *pinch in* dan *pinch out*. Untuk memilih chart yang diinginkan, mayoritas pengguna merasa gestur *tap* pada chart yang dituju adalah yang paling sesuai, meskipun ada beberapa yang memilih *zoom in* atau *swipe* kanan-kiri. Sedangkan untuk kembali menampilkan tiga chart dan mereset ke data bulanan, pengguna memiliki preferensi yang bervariasi, dengan gestur *fist bump*, *swipe* samping, dan *zoom out* sebagai pilihan yang umum. Kesimpulannya, terdapat preferensi yang berbeda-beda di antara pengguna mengenai gestur yang paling sesuai untuk berbagai interaksi dalam aplikasi, namun secara umum, gestur *swipe* dan *pinch* menjadi pilihan yang paling dominan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengguna mengalami beberapa tantangan dalam menggunakan gestur tangan untuk berinteraksi dengan aplikasi VR yang menampilkan data dalam bentuk chart. Pada *Task 1*, pengguna menghadapi kesulitan dalam melakukan gestur *pinch-in* dan *pinch-out* dengan mudah, terutama karena perlu menahan gestur lebih lama dan mengalami keterlambatan respons aplikasi. Namun, perubahan tampilan data umumnya sesuai dengan yang diharapkan. Pada *Task 2*, pengguna dapat menggunakan jumlah jari yang tepat untuk memilih chart dengan mudah, meskipun ada beberapa kebingungan terkait penggunaan satu jari. *Task 3* menunjukkan bahwa pengguna tidak mengalami kesulitan dalam melakukan gestur tangan mengepal dan semua chart muncul dengan benar. Secara keseluruhan, meskipun ada beberapa area yang perlu diperbaiki seperti deteksi gestur dan respons aplikasi,

interaksi gestur tangan dalam aplikasi VR ini cukup efektif dan mudah digunakan.

C. Perubahan warna line chart

Dalam diskusi terkait perubahan warna untuk visualisasi data deret waktu pada line chart di Unity, disarankan untuk menggunakan warna biru muda, hijau, dan oranye. Warna biru muda dipilih untuk periode bulanan karena memberikan kesan tenang dan stabil. Warna hijau cocok untuk periode dua mingguan karena kontrasnya yang jelas dengan biru muda dan menggambarkan keseimbangan. Warna oranye digunakan untuk periode sepuluh hari karena bersifat energik dan mudah dibedakan dari dua warna sebelumnya. Pemilihan warna ini didasarkan pada kontras yang baik, asosiasi psikologis, dan konsistensi, sehingga memudahkan pengguna dalam membaca dan memahami data pada grafik.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Pengguna lebih memilih gestur *swipe* kanan-kiri atau *pinch in* dan *pinch out* untuk mengubah tampilan *chart*, dan tap pada *chart* yang diinginkan untuk memilihnya. Untuk *reset* ke data bulanan, mereka memilih gestur *fist bump*, *swipe* samping, atau *zoom out*. Ini menunjukkan variasi preferensi gestur di antara pengguna.

Hasil pengujian *usability* menunjukkan beberapa tantangan dalam menggunakan gestur tangan, terutama dalam melakukan gestur *pinch in* dan *pinch out* dengan mudah dan respons aplikasi yang lambat. Namun, perubahan tampilan data umumnya sesuai dengan yang diharapkan. Pengguna dapat memilih *chart* dengan mudah menggunakan jumlah jari yang tepat dan melakukan gestur tangan mengepal tanpa kesulitan berarti.

Dalam diskusi terkait perubahan warna untuk visualisasi data, disarankan menggunakan warna biru muda untuk bulanan, hijau untuk dua mingguan, dan oranye untuk sepuluh hari. Warna-warna ini dipilih karena kontras yang baik, asosiasi psikologis, dan konsistensi, sehingga memudahkan pengguna dalam membaca dan memahami data pada grafik.

Secara keseluruhan, pengguna memiliki pengalaman yang memadai dengan teknologi yang diuji. Meskipun ada

beberapa tantangan dalam penggunaan gestur tangan, dengan perbaikan pada deteksi gestur, respons aplikasi, dan penggunaan warna, aplikasi VR ini dapat memberikan pengalaman interaktif yang efektif dan intuitif dalam visualisasi data deret waktu.

B. Saran

Berdasarkan pengujian *usability*, disarankan untuk meningkatkan sensitivitas gestur *pinch in* dan *pinch out* agar lebih responsif, mengoptimalkan transisi data agar lebih cepat dan mulus, serta menyediakan tutorial singkat di awal penggunaan aplikasi. Dengan saran-saran ini, aplikasi VR diharapkan memberikan pengalaman yang lebih baik, meningkatkan interaksi dengan data, dan memaksimalkan penggunaan gestur tangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Reski, A. Alissandrakis, and A. Kerren, "Designing a 3D gestural interface to support user interaction with time-oriented data as immersive 3D radar charts," *Virtual Real.*, vol. 28, no. 1, 2024.
- [2] P. Milgram and F. Kishino, "A taxonomy of mixed reality visual displays," *IEICE Trans. Inf. Syst.*, vol. 77, no. 12, pp. 1321--1329, 1994.
- [3] T.-C. Fu, "A review on time series data mining. In Engineering Applications of Artificial Intelligence," *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 24, no. 1, pp. 164--181, 2011.
- [4] C. Perdana, U. A. Rosid, and B. A. Okto, "Visualisasi data aset tidak bergerak menggunakan looker studio Pada PT XYZ," *J. Inform.*, vol. 3, no. 1, pp. 37--44, 2024.
- [5] D. Sugiarto, I. Mardianto, M. Najih, D. a Adrian, and D. A. Pratama, "Perancangan dashboard untuk visualisasi harga dan pasokan beras di pasar induk beras cipinang," *J. Teknol. Ind. Pertan.*, vol. 31, no. 1, pp. 12--19, 2021.
- [6] D. C. Montgomery, C. L. Jennings, and M. Kulahci, *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting*. New York: John Wiley & Sons, 2015. ISBN: 978-1118745113.
- [7] B. Simões, R. De Amicis, I. Barandiaran, and J. Posada, "X-reality system architecture for industry 4.0 processes," *Multimodal Technol. Interact.*, vol. 2, no. 4, 2018.
- [8] X. a Chen, H. a Xie, and Q. Li, "Vision, status, and topics of X reality in education," *Comput. Educ. X Real.*, vol. 1, 2022.
- [9] S. Li and Y. Zhou, "Pipeline 3D modeling based on high-definition rendering intelligent calculation," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2022, no. 1, 2022.
- [10] D. Thera, S. H. Sitorus, and D. M. Midyanti, "Penerapan metode interpolasi linear dan histogram equalization untuk perbesaran dan perbaikan citra," *Coding J. Komput. dan Apl.*, vol. 8, no. 1, 2020.
- [11] E. Siswanah, "Modeling of bond yield curve using cubic bezier curve," *BAREKENG J. Ilmu Mat. dan Terap.*, vol. 16, no. 4, pp. 1505--1514, 2022.