

## Pengembangan Media Simulasi Interaktif Spektrometer Massa Berbasis Web (SPEKTRA)

Reza Ruhbani Amarulloh<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Tadris Fisika, Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta

\*Email: [rezaruhbaniamarulloh@uinjkt.ac.id](mailto:rezaruhbaniamarulloh@uinjkt.ac.id)

DOI: <https://doi.org/10.52188/jpfs.v9i01.2172>

Accepted: 7 Mei 2026

Approved: 2 Juni 2026

Published: 3 Juni 2026

### ABSTRAK

Spektrometer massa merupakan alat yang dapat digunakan untuk menentukan massa molekul. Konsep-konsep yang digunakan dalam materi spektrometer massa dalam pembelajaran fisika cukup abstrak karena melibatkan gerak ion, medan listrik, medan magnet, serta konsep rasio massa terhadap muatan atau  $m/z$ . Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan media pembelajaran simulasi interaktif spektrometer massa berbasis web (SPEKTRA). Metode penelitian yang digunakan adalah educational design research sederhana dengan tahapan : 1) Analisis kebutuhan dan kajian konsep, 2) Desain media, 3) Pengembangan produk 4) Validasi ahli, serta 5) Uji penerimaan mahasiswa. Media yang dikembangkan menggunakan Google Apps Script dan HTML agar dapat diakses melalui laptop, tablet dan smartphone. Validasi ahli melibatkan enam ahli media pembelajaran sains dengan menggunakan instrumen *Learning Object Review Instrumen* (LORI) dan diujikan pada 16 mahasiswa perkuliahan pendahuluan fisika nuklir untuk mengetahui penerimaan mahasiswa terhadap media simulasi berdasarkan konstruk *Technology Acceptance Model* (TAM) yaitu *Perceived Usefulness* dan *Perceived Ease of Use*. Hasil validasi ahli menunjukkan persentase kelayakan 86,25% dan termasuk kategori sangat layak. Sedangkan hasil penerimaan mahasiswa menunjukkan persentase 95,24% untuk *Perceived Usefulness* dan 93,90% untuk *Perceived Ease of Use*. Hasil ini menunjukkan bahwa simulasi yang dikembangkan dinyatakan layak digunakan sebagai media pembelajaran dan diterima oleh mahasiswa. Simulasi ini dapat membantu mahasiswa memvisualisasikan gerak ion, memanipulasi parameter fisika, serta menghubungkan representasi matematis dengan prinsip kerja spektrometer massa.

**Kata kunci:** spektrometer massa, simulasi interaktif, media pembelajaran fisika, pembelajaran berbasis web, Technology Acceptance Model

### ABSTRACT

A mass spectrometer is a tool that can be used to determine the mass of molecules. The concepts used in mass spectrometer material in physics learning are quite abstract because they involve ion motion, electric fields, magnetic fields, and the concept of mass to charge ratio or  $m/z$ . The purpose of this study is to develop a web-based interactive simulation learning media for mass spectrometers (SPEKTRA). The research method used is simple educational design research with the following stages: 1) Needs analysis and concept review, 2) Media design, 3) Product development, 4) Expert validation, and 5) Student acceptance test. The media developed uses Google Apps Script and HTML so that it can be accessed via laptops, tablets and smartphones. Expert validation involved six science learning media experts using the Learning Object Review Instrument (LORI) instrument and was tested on 16 students of introductory nuclear physics courses to determine student acceptance of the simulation media based on the Technology Acceptance Model (TAM) construct, namely Perceived Usefulness and Perceived Ease of Use. The results of expert validation showed a feasibility percentage of 86.25% and included in the very feasible category. Meanwhile, student acceptance

results showed a percentage of 95.24% for Perceived Usefulness and 93.90% for Perceived Ease of Use. These results indicate that the developed simulation is suitable for use as a learning medium and is accepted by students. This simulation can help students visualize ion motion, manipulate physical parameters, and connect mathematical representations with the working principles of a mass spectrometer.

**Keywords:** mass spectrometer, interactive simulation, physics learning media, web-based learning, Technology Acceptance Model

@2026 Pendidikan Fisika FKIP Universitas Nahdlatul Ulama Cirebon

## PENDAHULUAN

Spektrometer massa merupakan alat yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan mengukur molekul berdasarkan rasio massa terhadap muatannya ( $m/z$ ). (Owen Bussey Iii, 2025). Instrumen ini bekerja dalam tiga tahap utama: i) Ionisasi, yang merupakan proses mengubah sampel menjadi ion bermuatan, baik bermuatan positif maupun bermuatan negatif; ii) Pemisahan massa, yang merupakan proses percepatan dan pemisahan ion dalam medan elektromagnetik berdasarkan nilai  $m/z$  didalam sebuah penganalisis massa (Lee et al., 2005); serta iii) Proses deteksi oleh perangkat lunak untuk menghasilkan spektrum massa.

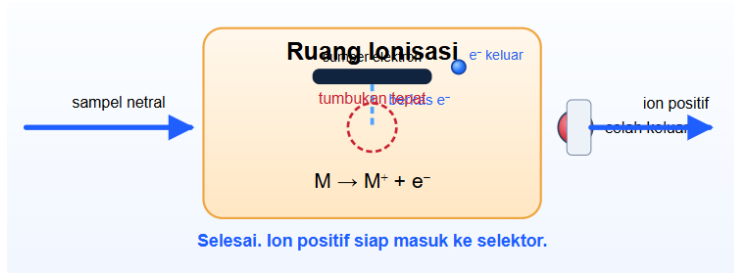
Spektrometer massa merupakan salah satu konsep yang penting dalam pembelajaran fisika, menggabungkan prinsip gaya Lorentz, percepatan ion dalam tegangan, serta gerak melingkar dalam medan magnet. Proses pembelajaran proses spektrometri massa dapat menjadi sebuah tantangan yang unik, terutama karena keterbatasan akses terhadap instrumen spektrometer yang berbiaya tinggi. Pada praktik pembelajaranpun seringkali hanya sebatas demonstrasi saja sehingga mahasiswa mempelajari cara kerja alat secara pasif dengan memperhatikan teknisi yang menjalankan alat (Bingham et al., 2024).

Simulasi komputer dapat menjadi alat pedagogis yang berguna dalam memfasilitasi pembelajaran spektrometer massa. Simulasi dapat menjadi solusi efektif dalam mengatasi keterbatasan akses pada instrumen yang sulit dijangkau serta memungkinkan mahasiswa untuk mendapatkan pengalaman langsung tanpa harus berada dalam laboratorium fisik (Fulmer et al., 2024), memvisualisasikan proses yang abstrak seperti ionisasi, proses pengaruh medan listrik dan medan magnet pada ion, serta pengaruh gaya magnet pada ion saat melintasi analyser, serta memungkinkan mahasiswa untuk melakukan skenario eksperimen yang sulit atau tidak mungkin dilakukan pada eksperimen nyata dengan aman (Palmer & Owens, 2025). Simulasi komputer dalam pembelajaran sains dengan dipadukan dengan instruksi pembelajaran yang tepat dapat mendukung pemahaman konsep (Smetana & Bell, 2012).

Simulasi spektrometer massa yang telah dikembangkan seperti TOFSim (Fulmer et al., 2024) dibuat menggunakan LabVIEW yang eksklusif dan berbayar serta hanya berjalan di komputer dekstop. Begitu juga *Virtual Mass Spectrometry Laboratory* (VMSL) yang kurang responsif di layar smartphone (Mabrouk, 2007). Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah media pembelajaran interaktif berupa simulasi spektrometer massa berbasis web yang mudah digunakan oleh mahasiswa menggunakan smartphone yang memungkinkan memanipulasi variabel tegangan dan medan magnet untuk mengamati lintasan ion pada proses spektrometri massa.

Kebaruan Penelitian ini terletak pada pengembangan simulasi spektrometer massa berbasis web yang dirancang agar responsif ketika digunakan melalui smartphone, tablet, maupun laptop. Yang kedua, karena berbasis web, simulasi yang dikembangkan juga tidak memerlukan proses instalasi sehingga memudahkan penggunaan oleh mahasiswa. Simulasi ini juga bersifat gratis sehingga tidak memerlukan biaya untuk lisensi penggunaan. Pengembangan ini dilakukan sebagai respons terhadap keterbatasan simulasi spektrometer massa yang dikembangkan sebelumnya seperti TOFSim dan *Virtual Mass Spectrometry Laboratory* (VMSL). Pada simulasi ini juga mahasiswa bisa melihat hubungan antara persamaan dan lintasan ion yang pada simulasi lain sering tidak dibuat eksplisit (Carbó et al., 2010a).

Simulasi ini dirancang untuk memberikan visualisasi prinsip-prinsip kerja utama spektrometer massa. Proses dimulai dari ionisasi dan percepatan yang mengubah molekul netral menjadi ion bermuatan ( $q$ ) lalu dipercepat dalam suatu medan listrik sehingga memiliki sejumlah kecepatan dan energi kinetik.



**Gambar 1. Proses ionisasi**

Setelah dipercepat, berkas ion memasuki selektor kecepatan dimana terdapat medan listrik (E) dan medan magnet (B) yang saling tegak lurus sehingga ion mengalami gaya listrik dan gaya magnet secara bersamaan. Pada selektor kecepatan ion akan lolos hanya ketika gaya magnet dan gaya listrik saling meniadakan,

$$F_E = F_B$$

$$qE = qvB$$

$$v = \frac{E}{B} \dots 1)$$

sehingga ion yang dapat lolos hanyalah ion yang memiliki kecepatan  $v = E/B$ .



**Gambar 2. Simulasi selektor kecepatan**

Ion yang terseleksi dari selektor kecepatan memasuki medan magnet seragam (B') yang arahnya tegak lurus terhadap kecepatan gerak sehingga mengalami gaya magnet ( $F_{B'}$ ) yang berperan sebagai gaya sentripetal.

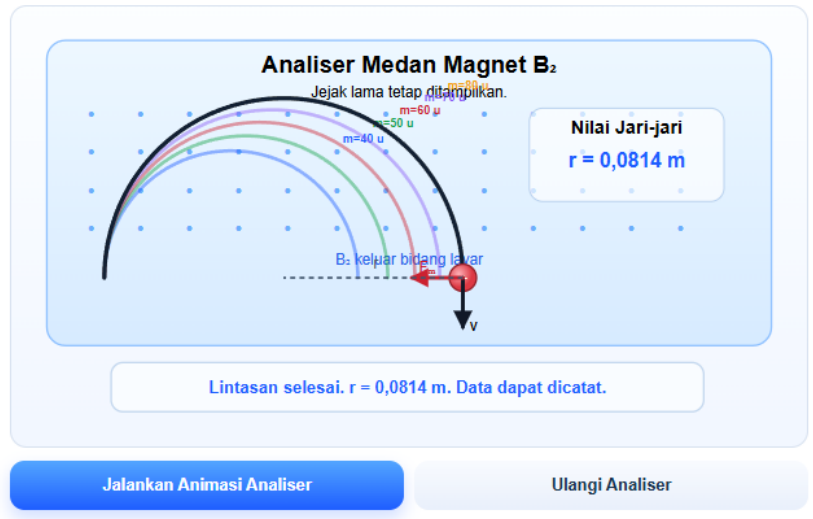
$$F_{B'} = F_{SP}$$

$$qvB' = \frac{mv^2}{R}$$

karena kecepatan ion yang lolos dari selektor kecepatan  $v = E/B$ , maka

$$q \frac{E}{B} B' = \frac{mv^2}{R}$$

$$\frac{m}{q} = \frac{B^2 R}{E} \dots 2)$$



**Gambar 3. Simulasi analiser medan magnet**

Persamaan 2) menunjukkan bahwa jari-jari lintasan ion pada medan magnet  $B'$  bergantung dengan rasio massa terhadap muatan. Spektrometer massa memisahkan dan mendeteksi ion berdasarkan nilai  $m/z$ , dimana  $z$  adalah bilangan muatan.

Simulasi ini dikembangkan sebagai media yang dapat membantu mahasiswa memvisualisasikan langsung lintasan ion baik dalam selektor kecepatan maupun di analizer medan magnet, sesuatu yang pada instrumen nyata lebih bersifat abstrak. Penambahan objek abstrak dalam simulasi secara signifikan meningkatkan pemahaman konseptual siswa (Olympiou et al., 2013). Selain itu dengan mengubah-ubah parameter massa, muatan, medan listrik, dan medan magnet, melalui antar-muka simulasi yang bisa dilakukan di smartphone mahasiswa diberikan kesempatan untuk secara aktif mengeksplorasi dan memanipulasi parameter dalam lingkungan simulasi sehingga penggunaan simulasi menjadi lebih efektif (Smetana & Bell, 2012). Pada simulasi juga adanya fitur pencatatan data secara otomatis dan pembuatan grafik, jika dipadukan dengan konteks pembelajaran penyelidikan dapat mendukung penguatan keterampilan menyimpulkan data dan fakta secara ilmiah.



**Gambar 4. Grafik dari data pengamatan**

**METODE**

Penelitian ini merupakan *educational design research* dengan tahapan penelitian meliputi i) Analisis kebutuhan ii) Desain media iii) Pengembangan simulasi, iv) Validasi ahli, v) Revisi produk, vi) Uji penerimaan mahasiswa serta vii) Analisis data. Proses analisis kebutuhan dilakukan dengan mengidentifikasi masalah pembelajaran dalam materi spektrometernya dan menentukan kebutuhan

fitur media simulasi yang sesuai, proses ini dilaksanakan dengan tinjauan literatur secara ilmiah. Tahap desain media dilakukan dengan merancang struktur isi, alur interaksi, tampilan visual, dan aktivitas pengguna dalam simulasi. Desain media didasarkan pada prinsip kerja utama spektrometer massa mencakup, ionisasi, selektor kecepatan dan juga analisator medan magnet. Setiap bagian dirancang agar mahasiswa dapat melihat keterkaitan antara parameter fisika yang ia ubah dengan perubahan visual yang terjadi pada lintasan ion. Sehingga, mahasiswa tidak hanya mengamati animasi, tetapi juga melakukan eksplorasi variabel.



Gambar 5. Kontrol variabel

Proses pengembangan dilakukan dengan mengubah rancangan media menjadi produk simulasi berbasis web menggunakan Google Apps Script dan HTML. Pemilihan platform berbasis web dilakukan agar media mudah di akses baik melalui laptop, tablet maupun smartphone. Setelah media dikembangkan, dilakukan validasi oleh enam orang dosen ahli media pembelajaran fisika menggunakan instrumen LORI (*Learning Object Review Instrument*) yang diterjemahkan kedalam bahasa Indonesia. Instrumen LORI merupakan alat bantu evaluasi yang dirancang untuk menilai kualitas objek pembelajaran digital, seperti simulasi, video interaktif, atau modul daring (Leacock & Nesbit, 2007). Aspek-aspek yang diukur dalam LORI meliputi kualitas konten, keselarasan tujuan pembelajaran, umpan balik dan adaptasi, motivasi, desain presentasi, kegunaan interaksi, aksesibilitas, dan kepatuhan terhadap standar. Pemilihan LORI didasarkan pada kesesuaiannya dengan karakteristik media yang dikembangkan, yaitu simulasi pembelajaran berbasis web. LORI dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas simulasi pembelajaran interaktif, khususnya pada level desain pedagogis, teknis, dan pengalaman pengguna, selain itu peneliti juga dapat menyesuaikan item jika diperlukan (Singh & Bernard, 2016; Vargo et al., 2003). Pada proses validasi terdapat beberapa saran revisi yang diberikan, beberapa diantaranya terkait dengan keterbacaan dan tampilan visual, tata letak antarmuka, keterkaitan aktivitas dengan keterampilan berpikir tingkat tinggi, serta tambahan petunjuk penggunaan. Revisi dilakukan berdasarkan saran dari ahli tersebut.

Setelah proses revisi produk media simulasi kemudian digunakan dalam pembelajaran mata kuliah pendahuluan fisika nuklir pada 16 orang mahasiswa. Kemudian digunakan angket untuk mengetahui bagaimana mahasiswa menerima dan menggunakan media simulasi menggunakan modal TAM (Technology Acceptance Model) yang diterjemahkan ke dalam bahasa Indonesia. Instrumen ini sendiri terdiri dari dua konstruk yaitu Persepsi Kebermanfaatan (Perceived Usefulness/PU) serta Persepsi Kemudahan Penggunaan (Perceived Ease of Use/PEOU) (Zhang, 2010). Persepsi kebermanfaatan (Perceived Usefulness/PU) mengukur sejauh mana mahasiswa percaya bahwa menggunakan simulasi akan meningkatkan kinerjanya dalam mencapai tujuan pembelajaran sedangkan Persepsi Kemudahan Penggunaan (Perceived Ease of Use/PEOU) mengukur sejauh mana mahasiswa merasa media simulasi mudah dinavigasi, dipahami, dan digunakan. Pemilihan TAM didasarkan pada tujuan untuk mengukur penerimaan pengguna terhadap media simulasi yang dikembangkan. Telah banyak studi yang menggunakan TAM untuk mengukur penerimaan terhadap simulasi dan lingkungan virtual. Studi Faizah et al (2023) menunjukkan TAM adalah kerangka yang tepat untuk memahami penerimaan mahasiswa terhadap simulasi PhET. Model TAM komprehensif dan integratif menunjukkan berbagai faktor eksternal berpengaruh kuat pada persepsi kegunaan dan

kemudahan, sehingga cocok untuk menganalisis penerimaan teknologi belajar digital secara luas (Al-Rahmi et al., 2019; Salloum et al., 2019).

Analisis data dilakukan secara kuantitatif yang berasal dari skor validasi ahli menggunakan LORI dan skor angket penerimaan mahasiswa menggunakan TAM. Data validasi ahli dianalisis dengan menghitung rata-rata setiap aspek LORI, persentase kelayakan dan kategori kelayakan. Persentase kelayakan dihitung dengan

$$\text{Persentase kelayakan} = \frac{\text{Skor yang diperoleh}}{\text{Skor maksimum}} \times 100\% \dots 3)$$

Kemudian skor presentase masing-masing di dikategorikan sebagai berikut (Riduwan, 2015)

Persentase (%)	Kategori
0–20	Sangat tidak layak / sangat lemah
21–40	Tidak layak / lemah
41–60	Cukup layak / cukup
61–80	Layak / kuat
81–100	Sangat layak / sangat kuat

Data angket penerimaan mahasiswa dianalisis dengan menghitung rata-rata dan kategori penerimaan untuk setiap konstruk yaitu Persepsi Kebermanfaatan (Perceived Usefulness/PU) serta Persepsi Kemudahan Penggunaan (Perceived Ease of Use/PEOU). Uji penerimaan mahasiswa dilakukan sebagai uji coba terbatas dengan melibatkan 16 mahasiswa yang telah menggunakan media simulasi spektrometer massa berbasis web. Karena jumlah responden relatif kecil data hasil angket TAM tidak dianalisis secara inferensial namun secara deskriptif.

## HASIL

### 1. Hasil analisis kebutuhan

Berdasarkan tinjauan literatur, hal utama yang menghambat dalam pembelajaran spektrometer massa mencakup beberapa hal berikut

- Harga instrumen yang tinggi, sehingga mahasiswa jarang mendapatkan praktik langsung dan hanya menjadi pengamat pasif dalam pembelajaran (Gagnon, 2012; Marty & Beussman, 2013).
- Konsep yang abstrak seperti pergerakan ion dalam medan magnet dan listrik serta rasio massa terhadap muatan (Patrick, 2020)
- Efek "Kotak Hitam" (Black Box Effect) dalam penggunaan spektrometer massa dimana mahasiswa hanya memasukkan sampel dan membaca hasil tanpa memahami prinsip kerja di dalamnya (Roman et al., 2020)
- Putusnya hubungan antar representasi, materi spektrometer massa menuntut adanya multiple representasi sehingga mahasiswa tidak cenderung menghafal rumus seperti  $r = mv / qB$  tanpa mengaitkannya dengan fenomena fisiknya (Rettob et al., 2021; Sarman, 2022).

Sedangkan fitur-fitur yang dibutuhkan dalam simulasi interaktif spektrometer massa adalah sebagai berikut

- Visualisasi serempak komponen alat, medan, kecepatan, gaya, lintasan ion, detektor, sehingga mahasiswa dapat memahami sebab akibat dari hukum-hukum fisika dan instrumen tidak dipahami sebagai kotak hitam (Carbó et al., 2010b; Sarman, 2022; Tamba, 2017)
- Simulasi parameter instrumen yang dapat disesuaikan oleh mahasiswa sehingga mereka dapat melihat bahwa perubahan parameter mengubah jari-jari lintasan. (Marty & Beussman, 2013)
- Representasi arah vektor sehingga mengurangi miskonsepsi (Scaife & Heckler, 2010)

- d. Aksesibilitas lintas platform sehingga memudahkan mahasiswa untuk mengikuti kegiatan pembelajaran dan mendukung pembelajaran jarak jauh.(Martinez-Jimenez et al., 2003)

## 2. Karakteristik simulasi yang dikembangkan

Produk yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah simulasi interaktif spektrometer massa berbasis web yang dirancang untuk membantu mahasiswa memahami prinsip kerja spektromeneter massa melalui pengaturan parameter secara interaktif yang dilengkapi dengan visualisasi. Simulasi ini mudah di akses dari perangkat smartphone, tablet maupun laptop karena berbasis web. Adapun fitur fitur yang disajikan dalam simulasi adalah sebagai berikut

Fitur	Fungsi
<b>Kontrol Parameter</b>	Memungkinkan pengguna untuk mengubah massa ion, muatan ion, tegangan percepatan, medan listrik, dan medan magnet
<b>Visualisasi Ionisasi</b>	Menunjukkan proses ionisasi
<b>Visualisasi Selektor kecepatan</b>	Menunjukkan bagaimana gerak ion dipengaruhi oleh medan magnet dan medan listrik, dan hanya partikel dengan kecepatan tertentu yang dapat melewati selektor kecepatan. Disertai vektor gaya, medan magnet, dan medan listrik.
<b>Analisa medan magnet</b>	Menampilkan lintasan melingkar ion setelah melewati selektor kecepatan. Ada jejak lintasan percobaan secara visual yang dapat Membantu mahasiswa membandingkan lintasan dari beberapa percobaan
<b>Tabel data percobaan</b>	Membantu pencatatan dan membandingkan hasil simulasi
<b>Grafik Interaktif</b>	Grafik otomatis dengan variabel sumbu x dan sumbu y yang dapat diganti-ganti sehingga mahasiswa dapat mengamati dan mengambil kesimpulan terkait dengan hubungan antar variabel

Secara umum, media simulasi interaktif yang dikembangkan mengintegrasikan animasi visualisasi, manipulasi variabel, representasi matematis, dan juga pencatatan data.

## 3. Hasil Validasi Ahli

Untuk mengetahui apakah media simulasi yang dikembangkan layak untuk digunakan dalam pembelajaran, maka dilakukan validasi yang melibatkan enam orang ahli media pembelajaran fisika dari program studi fisika dan pendidikan fisika. Penilaian dilakukan dengan menggunakan aspek-aspek yang ada pada instrumen LORI (*Learning Object Review Instrument*) dengan skala minimal 1 poin dan maksimal 5 poin. Sehingga, dengan jumlah validator enam orang, skor maksimum untuk setiap aspek LORI adalah 30. Hasil Rekapitulasi hasil validasi disajikan pada tabel 1

**Tabel 1 Hasil validasi dengan menggunakan LORI**

No	Aspek LORI	Skor Diperoleh	Rata-rata	Persentase	Kategori
1	Kualitas Konten	26	4,33	86,67%	Sangat layak
2	Kesesuaian Tujuan	28	4,67	93,33%	Sangat layak
3	Umpan Balik dan Adaptasi	24	4,00	80,00%	Layak
4	Motivasi	28	4,67	93,33%	Sangat layak
5	Desain Presentasi	23	3,83	76,67%	Layak
6	Kemudahan Interaksi	24	4,00	80,00%	Layak

No	Aspek LORI	Skor Diperoleh	Rata-rata	Persentase	Kategori
7	Aksesibilitas	26	4,33	86,67%	Sangat layak
8	Kepatuhan Standar	28	4,67	93,33%	Sangat layak

#### 4. Hasil Uji Penerimaan Mahasiswa

Uji Penerimaan mahasiswa dilakukan kepada 16 mahasiswa yang telah menggunakan media simulasi inteaktif spektrometer masaa yang dikembangkan dengan menggunakan TAM (*Technological Acceptance Model*) pada konstruk *Perceived Usefulness* dan *Perceived Ease of Use* dengan menggunakan skala 1 hingga 7. Dengan jumlah mahasiswa 16 maka skor maksimum adalah 672. Hasil Uji penerimaan mahasiswa ditunjukkan pada tabel 2

**Tabel 2 Hasil uji penerimaan mahasiswa**

Konstruk	Skor diperoleh	Rerata skala 1-7	Persentase	Kategori
Perceived Usefulness (PU)	640	6,67	95,24%	Sangat kuat
Perceived Ease of Use (PEOU)	631	6,57	93,90%	Sangat kuat
Total TAM	1271	6,62	94,57%	Sangat kuat

#### PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil validasi menggunakan instrumen LORI, dengan skor total validasi ahli 207 dari skor maksimum 240, maka presentase kelayakan keseluruhan adalah  $207/240 \times 100\% = 86,25\%$  sehingga termasuk kategori sangat layak. Validasi ahli merupakan evaluasi formatif tahap awal yang memberikan gambaran tentang aspek-aspek yang perlu disempurnakan sebelum produk diuji secara lebih luas (Valentine & Kopcha, 2013). Aspek dengan skor tertinggi adalah kesesuaian tujuan, motivasi dan kepatuhan standar dengan masing-masing memperoleh skor 93,33%. Hasil ini menunjukkan bahwa media yang dikembangkan selaras dengan tujuan pembelajaran yang merupakan hal yang utama dalam pengembangan simulasi interaktif (Ghatak, 2025), memenuhi standar teknis dasar sebagai objek pembelajaran digital, serta mampu mendorong ketertarikan mahasiswa dalam mengeksplorasi konsep spektrometer massa, Hal ini sesuai dengan penelitian (Takda et al., 2026) penggunaan simulasi interaktif dapat meningkatkan motivasi peserta didik secara signifikan.

Sedangkan aspek dengan skor terendah adalah desain presentasi, yaitu 76,67% meskipun masih adapada kategori layak. Hal ini sesuai dengan beberapa masukan dari validator yang menyoroti adanya font yang kurang terbaca, tampilan yang kurang proporsional dalam beberapa perangkat tertentu, serta pengaturan antarmuka yang masih bisa lebih di optimalkan. Hal ini penting karena desain presentasi multimedia sangat memengaruhi efektivitas kognitif pembelajaran (Münchow & Bannert, 2019)

Hasil analisis terhadap hasil TAM menunjukkan konstruk *Perceived Usefulness* memperoleh persentase 95,24% dengan kategori sangat kuat. Sedangkan untuk konstruk *Perceived Ease of Use* memperoleh persentase 93,90% juga dengan kategori sangat kuat. Secara keseluruhan skor penerimaan mahasiswa mencapai persentase 94,57% dengan kategori sangat kuat. Hasil ini menunjukkan bahwa simulasi diterima oleh mahasiswa karena mahasiswa merasakan

manfaatnya dalam pembelajaran dengan kemudahan penggunaan. Hal ini sesuai dengan temuan penelitian Gagnon (2012) yang menunjukkan simulator spektrometer massa berbasis komputer mampu membantu mahasiswa memahami hukum fisika yang mendasarinya. *Perceived Usefulness* merupakan penjabar paling kuat untuk penerimaan teknologi, sementara *Perceived Ease of Use* juga sering meningkatkan *usefulness* karena sistem yang mudah dipakai akan lebih bermanfaat, keduanya merupakan determinan fundamental yang membentuk penerimaan pengguna terhadap suatu teknologi (Davis, 1989)

Butir dengan nilai tertinggi terdapat pada PU6 (Secara keseluruhan, simulasi ini berguna untuk pembelajaran saya) dan PEOU6 (Secara keseluruhan, simulasi ini mudah digunakan), masing-masing dengan persentase 97,32%. Hal ini menunjukkan bahwa mahasiswa merasakan manfaat simulasi dalam keseluruhan proses mereka, sebagaimana dinyatakan oleh Lau & Woods (2009) bahwa persepsi kegunaan merupakan prediktor terkuat terhadap intensi perilaku. Selain itu mahasiswa menilai bahwa simulasi mudah dioperasikan dan tidak membutuhkan upaya kognitif yang berlebihan, sebagaimana dinyatakan Davis (1989) bahwa semakin mudah penggunaan suatu sistem, semakin besar pula kecenderungan pengguna untuk menerima dan mengadopsinya.

Sedangkan butir dengan nilai terendah terdapat pada PEOU2 (Saya dapat dengan mudah menjalankan simulasi sesuai keinginan saya) dengan persentase 91,07%. disusul PEOU4 (Simulasi ini fleksibel, saya bisa mencoba berbagai pengaturan dengan mudah.) sebesar 91,96%. Walaupun masih dalam kategori sangat kuat, dua butir tersebut masih memiliki ruang untuk peningkatan. Temuan serupa dilaporkan oleh Ari et al., (2022) bahwa mahasiswa mengalami kesulitan dalam aspek fleksibilitas dan presisi ketika menggunakan simulasi online, terutama ketika pengaturan parameter memerlukan ketelitian tertentu untuk mencapai tujuan pembelajaran yang diinginkan. Mahasiswa dapat menghadapi kesulitan membaca dan menginterpretasikan representasi visual yang kompleks dalam simulasi fisika (López & Pintó, 2017). Oleh karena itu meskipun skor PEOU secara keseluruhan sangat tinggi temuan pada PEOU2 dan PEOU4 memberikan indikasi perlunya penyempurnaan lebih lanjut pada aspek interaktivitas dan fleksibilitas kontrol pengguna.

## KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan media simulasi interaktif spektrometer massa berbasis WEB (SPEKTRA). Media ini dirancang untuk membantu mahasiswa memahami prinsip kerja spektrometer massa. Media yang dikembangkan mencakup visualisasi dari proses-proses spektrometri seperti visualisasi ionisasi, selektor kecepatan, analisator medan magnet, kontrol parameter pada besaran-besaran fisika, tabel data percobaan, dan grafik interaktif.

Hasil validasi ahli menggunakan instrumen *Learning Object Review Instrumen* (LORI) menunjukkan bahwa media memperoleh persentase 86,25% dan dikategorikan sangat layak. Aspek dengan skor tertinggi adalah kesesuaian tujuan, motivasi, dan kepatuhan standar. Sedangkan aspek paling rendah adalah desain presentasi. Hasil uji penerimaan mahasiswa menggunakan instrumen *Technology Acceptance Model* (TAM) menunjukkan bahwa media yang dikembangkan diterima oleh mahasiswa dengan aspek persentase 95,24% untuk *Perceived Usefulness* dan 93,90% untuk *Perceived Ease of Use*. Temuan ini menunjukkan bahwa simulasi yang dikembangkan dinilai bermanfaat dan mudah digunakan oleh mahasiswa.

Berdasarkan temuan penelitian, Media simulasi interaktif spektrometer massa (SPEKTRA) dapat digunakan sebagai media pembelajaran pendukung pada materi spektrometri massa, terutama dalam kaitannya memberikan visual terhadap konsep yang sulit diamati secara

langsung pada instrumen yang sebenarnya. Media ini juga memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk memanipulasi variabel pada spektrometri massa sehingga memahami hubungan antara massa ion, tegangan, medan listrik, medan magnet, serta jari-jari lintasan ion. Pengembangan lanjutan dari media ini dapat berfokus pada presisi dalam pengaturan parameter, fleksibilitas kontrol pengguna serta pengujian dalam desain quasi experiment yang lebih ketat sehingga menghasilkan pemahaman yang dapat lebih di generalisasi.

## REFERENSI

- Al-Rahmi, W. M., Yahaya, N., Aldraiweesh, A. A., Alamri, M. M., Aljarboa, N. A., Alturki, U., & Aljeraiwi, A. A. (2019). Integrating Technology Acceptance Model With Innovation Diffusion Theory: An Empirical Investigation on Students' Intention to Use E-Learning Systems. *IEEE Access*, 7, 26797–26809. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2899368>
- Ari, F., Arslan-Ari, I., Abaci, S., & Inan, F. A. (2022). Online simulation for information technology skills training in higher education. *Journal of Computing in Higher Education*, 34(2), 371–395. <https://doi.org/10.1007/s12528-021-09303-0>
- Bingham, N. M., Wright, J. S., Mathias, S. C., Douce, D., & Sears, P. (2024). Atmospheric solids analysis probe mass spectrometry: An easy bolt-on for the synthetic undergraduate teaching laboratory. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 38(5), e9689. <https://doi.org/10.1002/rcm.9689>
- Carbó, A. D., Adelantado, J., & Reig, F. (2010a). Black boxes in analytical chemistry: University students misconceptions of instrumental analysis. *US-China Education Review*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Black-boxes-in-analytical-chemistry%3A-University-of-Carb%C3%B3-Adelantado/34ddf4ce2e28fba40ea418551d0e011fe25e9c04>
- Carbó, A. D., Adelantado, J., & Reig, F. (2010b). Black boxes in analytical chemistry: University students misconceptions of instrumental analysis. *US-China Education Review*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Black-boxes-in-analytical-chemistry%3A-University-of-Carb%C3%B3-Adelantado/34ddf4ce2e28fba40ea418551d0e011fe25e9c04>
- Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340. <https://doi.org/10.2307/249008>
- Faizah, S. N., Dina, L. N. A. B., Kartiko, A., Ma`arif, M. A., & Hasan, M. S. (2023). Student Acceptance Study of PhET Simulation with an Expanded Technology Acceptance Model Approach. *Journal of Applied Engineering and Technological Science (JAETS)*, 5(1), 279–290. <https://doi.org/10.37385/jaets.v5i1.3041>
- Fulmer, B., Duong, A., Palmer, H., & Owens, K. G. (2024). TOFSim: A LabView Based Time-of-Flight Mass Spectrometer Simulation. *Journal of Chemical Education*, 101(4), 1507–1513.
- Gagnon, M. (2012). A Mass Spectrometer Simulator in Your Computer. *The Physics Teacher*, 50(9), 553–556. <https://doi.org/10.1119/1.4767493>
- Ghatak, A. (2025). Optimizing Educational Outcomes Through Simulations: A Systematic Review of Best Practices for Curriculum Integration. In A. Masouras & M. Komodromos (Eds.), *Navigating Simulations in Marketing for Strategic Success* (pp. 175–210). IGI Global Scientific Publishing. <https://doi.org/10.4018/979-8-3373-3141-6.ch007>
- Lau, S., & Woods, P. C. (2009). Understanding learner acceptance of learning objects: The roles of learning object characteristics and individual differences. *British Journal of Educational Technology*, 40(6), 1059–1075. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2008.00893.x>

- Leacock, T. L., & Nesbit, J. C. (2007). A Framework for Evaluating the Quality of Multimedia Learning Resources. *Educational Technology & Society*, 10(2), 44–59.
- Lee, S., Lee, K.-I., & Kim, J. Y. (2005). Revealing urologic diseases by proteomic techniques. *Journal of Chromatography B*, 815(1–2), 203–213. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2004.11.008>
- López, V., & Pintó, R. (2017). Identifying secondary-school students' difficulties when reading visual representations displayed in physics simulations. *International Journal of Science Education*, 39(10), 1353–1380. <https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1332441>
- Mabrouk, P. A. (Ed.). (2007). *Active Learning: Models from the Analytical Sciences* (Vol. 970). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/bk-2007-0970>
- Martinez-Jimenez, P., Pontes-Pedrajas, A., Polo, J., & Climent-Bellido, M. S. (2003). Learning in Chemistry with Virtual Laboratories. *Journal of Chemical Education*, 80(3), 346.
- Marty, M. T., & Beussman, D. J. (2013). Simulating a Time-of-Flight Mass Spectrometer: A LabView Exercise. *Journal of Chemical Education*, 90(2), 239–243. <https://doi.org/10.1021/ed200158q>
- Münchow, H., & Bannert, M. (2019). Feeling good, learning better? Effectivity of an emotional design procedure in multimedia learning. *Educational Psychology*, 39(4), 530–549. <https://doi.org/10.1080/01443410.2018.1524852>
- Olympiou, G., Zacharias, Z., & deJong, T. (2013). Making the invisible visible: Enhancing students' conceptual understanding by introducing representations of abstract objects in a simulation. *Instructional Science*, 41(3), 575–596. <https://doi.org/10.1007/s11251-012-9245-2>
- Owen Bussey Iii, R. (2025). Ionization Techniques for Mass Spectral Analysis. In N. Gülşah Deniz (Ed.), *Mass Spectrometry—Applications and Recent Advances*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1012623>
- Palmer, H. M., & Owens, K. G. (2025). Use of TOFSim, a LabView-Based Time-of-Flight Mass Spectrometer Simulation, to Model Real Instrument Data. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, 36(3), 534–541. <https://doi.org/10.1021/jasms.4c00406>
- Patrick, A. L. (2020). Instructor's Reference for Integrating Mass Spectrometry into the General Chemistry Classroom. *Journal of Chemical Education*, 97(10), 3595–3602. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00603>
- Rettob, R. J., Poluakan, C., Tulandi, D. A., Mongan, S. W., & Polii, J. (2021). Students learning difficulties in understanding the Lorentz force. *Journal of Physics: Conference Series*, 1968(1), 012041. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1968/1/012041>
- Riduwan. (2015). *Skala pengukuran variabel-variabel penelitian*. Alfabeta.
- Roman, C., Delgado, M. A., & García-Morales, M. (2020). Using process simulators in Chemical Engineering education: Is it possible to minimize the “black box” effect? *Computer Applications in Engineering Education*, 28(5), 1369–1385. <https://doi.org/10.1002/cae.22307>
- Salloum, S. A., Qasim Mohammad Alhamad, A., Al-Emran, M., Abdel Monem, A., & Shaalan, K. (2019). Exploring Students' Acceptance of E-Learning Through the Development of a Comprehensive Technology Acceptance Model. *IEEE Access*, 7, 128445–128462. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2939467>
- Sarman, S. (2022). Simulasi Lintasan Partikel Bermuatan dalam Pengaruh Medan Listrik dan Medan Magnet Menggunakan Spreadsheet Excel. *Science and Physics Education Journal (SPEJ)*, 5(2), 61–70. <https://doi.org/10.31539/spej.v5i2.3554>
- Scaife, T. M., & Heckler, A. F. (2010). Student understanding of the direction of the magnetic force on a charged particle. *American Journal of Physics*, 78(8), 869–876. <https://doi.org/10.1119/1.3386587>

- Singh, R. G., & Bernard, M. A. (2016). Quality Assurance for Reusable Learning Objects on a Peer-To-Peer Network. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 11(10), 4. <https://doi.org/10.3991/ijet.v11i10.5881>
- Smetana, L. K., & Bell, R. L. (2012). Computer Simulations to Support Science Instruction and Learning: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 34(9), 1337–1370. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.605182>
- Takda, A., Yuris, Muh., & Ute, N. (2026). Pengembangan Petunjuk Praktikum Fisika Berbasis PhET Simulation untuk Meningkatkan Motivasi dan Hasil Belajar Fisika Peserta Didik SMA. *JURNAL PENELITIAN PENDIDIKAN FISIKA*, 11(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.36709/jipfi.v11i1.345>
- Tamba, T. M. A. (2017). *Program simulasi eksperimen spektrometer massa untuk menentukan massa isotop*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Program-simulasi-eksperimen-spektrometer-massa-Tamba/948b324c63063fe29bd9f1f652e1636f2e5eb570>
- Valentine, K. D., & Kopcha, T. J. (2013). Conducting educational design research. *Educational Media International*, 50(3), 226–227. <https://doi.org/10.1080/09523987.2013.843832>
- Vargo, J., Nesbit, J. C., Belfer, K., & Archambault, A. (2003). Learning Object Evaluation: Computer-Mediated Collaboration And Inter-Rater Reliability. *International Journal of Computers and Applications*, 25(3), 198–205. <https://doi.org/10.1080/1206212X.2003.11441703>
- Zhang, C. (2010). Technology acceptance in learning settings from a student perspective: A theoretical framework. *Proceedings of the 2010 ACM Conference on Information Technology Education*, 37–42. <https://doi.org/10.1145/1867651.1867663>