

SIMULASI REAKSI KIMIA BERBASIS ALGORITMA TITRASI MENGGUNAKAN PYTHON Studi Kasus Reaksi Asam-Basa

Czidni Sika Azkia, Claudia Shinta Octa Wibowo✉, Ayu Puspa Wirani

Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang, Indonesia

Email: claudia.shinta@untirta.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.46880/jmika.Vol10No1.pp45-52>

ABSTRACT

Learning acid–base titration concepts in schools is often constrained by limited laboratory facilities, making interactive and accessible digital simulations an effective alternative. This study aims to develop an acid–base titration simulation based on an algorithm implemented using the Python programming language as an innovative learning medium. The simulation focuses on the reaction between a strong acid (HCl) and a strong base (NaOH) with predetermined volume and concentration parameters, displaying pH changes through a titration curve. The research method involves algorithm design based on stoichiometric calculations and simulation development using Python, with visualization supported by the Matplotlib library. The results show that the simulation accurately represents pH changes from acidic conditions to the equivalence point and further into basic conditions, in accordance with analytical chemistry theory. In addition to generating numerical data, the system produces a titration curve as the main output of the simulation. Validation was conducted through theoretical comparison, visualization against standard literature curves, and expert evaluation, resulting in an average score of 3.79 out of 4. These findings indicate that the developed simulation is highly feasible as a learning medium. The simulation not only enhances understanding of titration concepts but also provides an alternative solution for schools with limited laboratory facilities.

Keyword: Chemistry Education, Python, Simulation, Stoichiometry, Acid-Base Titration, pH Visualization.

ABSTRAK

Pembelajaran konsep titrasi asam–basa di sekolah sering terkendala oleh keterbatasan fasilitas laboratorium, sehingga diperlukan alternatif berbasis simulasi digital yang interaktif dan mudah diakses. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan simulasi reaksi titrasi asam–basa berbasis algoritma yang diimplementasikan menggunakan bahasa pemrograman Python sebagai media pembelajaran inovatif. Simulasi difokuskan pada reaksi antara asam kuat (HCl) dan basa kuat (NaOH) dengan parameter volume dan konsentrasi tertentu, serta menampilkan perubahan pH dalam bentuk kurva titrasi. Metode penelitian mencakup perancangan algoritma berbasis perhitungan stoikiometri dan pengembangan simulasi menggunakan Python dengan visualisasi melalui pustaka Matplotlib. Hasil penelitian menunjukkan bahwa simulasi mampu merepresentasikan perubahan pH secara akurat dari kondisi asam menuju titik ekuivalen hingga kondisi basa, sesuai dengan teori kimia analitik. Selain menghasilkan data numerik, sistem juga menghasilkan visualisasi kurva titrasi sebagai representasi utama hasil simulasi. Validasi dilakukan melalui perbandingan teoritis, visualisasi terhadap kurva literatur, serta penilaian ahli dengan skor rata-rata 3,79 dari skala 4. Hasil ini menunjukkan bahwa simulasi yang dikembangkan sangat layak digunakan sebagai media pembelajaran. Simulasi ini tidak hanya meningkatkan pemahaman konsep titrasi, tetapi juga menjadi solusi alternatif bagi sekolah dengan keterbatasan fasilitas laboratorium.

Kata Kunci: Pembelajaran Kimia, Python; Simulasi, Stoikiometri, Titrasi Asam-Basa, Visualisasi pH.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital dan otomasi komputasional dalam dekade terakhir telah memperluas pemanfaatan simulasi ilmiah dalam berbagai bidang, termasuk kimia. Dalam perspektif informatika, perkembangan ini menegaskan pentingnya pemodelan komputasional (*computational modeling*) sebagai pendekatan untuk

merepresentasikan fenomena ilmiah ke dalam model matematis, algoritma, dan sistem digital yang dapat dihitung, diuji, serta divisualisasikan secara sistematis (Ghasem, 2018). Pendekatan tersebut memungkinkan suatu proses kimia tidak hanya diamati melalui eksperimen, tetapi juga dianalisis secara kuantitatif melalui perhitungan numerik yang terstruktur, terukur, dan dapat direplikasi. Dengan demikian, integrasi



antara ilmu kimia dan informatika membuka peluang untuk mengembangkan simulasi ilmiah yang tidak hanya bersifat visual, tetapi juga memiliki dasar logika komputasi yang kuat.

Salah satu fenomena kimia yang relevan untuk dimodelkan secara komputasional adalah titrasi asam-basa. Titrasi merupakan metode analisis kuantitatif yang digunakan untuk menentukan konsentrasi larutan melalui reaksi netralisasi antara asam dan basa (Analysis, 1971). Proses ini melibatkan perubahan jumlah mol pereaksi, perubahan volume total larutan, serta perubahan konsentrasi ion yang pada akhirnya memengaruhi nilai pH pada setiap tahap penambahan titran. Karakteristik tersebut menjadikan titrasi sebagai kasus yang sesuai untuk dikaji dalam kerangka informatika, karena prosesnya dapat diformalkan ke dalam langkah-langkah algoritmik yang jelas, dihitung secara numerik, dan divisualisasikan dalam bentuk kurva titrasi (Tan et al., 2020; Li et al., 2023).

Berbagai penelitian terdahulu telah mengembangkan simulasi titrasi dan laboratorium virtual, terutama sebagai sarana untuk meningkatkan kualitas visualisasi konsep dan interaktivitas pengguna dalam merepresentasikan proses titrasi asam-basa (Hutama & Hidayah, 2022; Rusdi et al., 2021; Suzerra, 2022). Meskipun demikian, perkembangan pemanfaatan Python dan komputasi numerik dalam kajian titrasi menunjukkan bahwa simulasi tidak hanya dapat difungsikan sebagai media visual, tetapi juga sebagai sistem komputasional yang mampu mengintegrasikan model matematis, algoritma perhitungan, dan representasi data secara lebih terukur dan sistematis (Tan et al., 2020; Li et al., 2023; Marcellos et al., 2021). Berdasarkan kecenderungan tersebut, masih terdapat ruang pengembangan untuk merancang simulasi yang menempatkan logika komputasi dan perhitungan numerik sebagai komponen utama sistem, sehingga simulasi yang dihasilkan tidak sekadar bersifat ilustratif, tetapi juga memiliki dasar algoritmik yang memadai dalam merepresentasikan fenomena titrasi secara kuantitatif.

Dari sudut pandang informatika, sebagian besar pengembangan tersebut masih berfokus pada aspek visualisasi dan interaktivitas, serta belum secara optimal mengintegrasikan perhitungan numerik dan logika algoritmik sebagai inti simulasi. Padahal, dalam sistem komputasi ilmiah, akurasi simulasi sangat bergantung pada model matematis dan algoritma yang digunakan untuk merepresentasikan fenomena yang dikaji. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang tidak hanya menampilkan visualisasi, tetapi juga mengimplementasikan proses perhitungan secara komputasional, sehingga simulasi yang dikembangkan

mampu berfungsi sebagai sistem representasi ilmiah yang valid dan terukur.

Salah satu pendekatan teknis yang semakin menarik dalam pengembangan simulasi titrasi adalah pemanfaatan bahasa pemrograman Python. Bahasa ini menyediakan pustaka numerik dan visualisasi seperti *NumPy* dan *Matplotlib*, yang memungkinkan pengguna menghitung perubahan pH dan menampilkan kurva titrasi secara real-time (Tan et al., 2020). Python juga banyak digunakan dalam pengembangan media pembelajaran interaktif berbasis simulasi karena mendukung eksplorasi konsep sains secara komputasional dan visual (Luciana et al., 2025). Selain itu, beberapa pustaka ilmiah seperti *PyEquilon* dan *pyEQL* telah dikembangkan untuk menghitung kesetimbangan spesiasi ion dalam larutan, sehingga dapat digunakan dalam simulasi titrasi berbasis algoritma (Marcellos et al., 2021). Pendekatan berbasis algoritma memungkinkan simulasi yang tidak hanya menampilkan kurva titrasi, tetapi juga menghitung perubahan pH secara numerik pada setiap tahap penambahan titran dengan mempertimbangkan stoikiometri reaksi dan kondisi kesetimbangan. Implementasi otomatisasi eksperimen titrasi menggunakan Python terbukti efisien dalam mengotomatisasi pengukuran serta mensimulasikan eksperimen virtual (Palamthodi et al., 2021). Dalam konteks ini, simulasi titrasi tidak hanya dipandang sebagai media pembelajaran, tetapi sebagai sistem komputasi ilmiah yang mengintegrasikan model stoikiometri, algoritma perhitungan pH, dan visualisasi data dalam satu kesatuan sistem. Pendekatan ini menempatkan penelitian pada ranah informatika terapan, khususnya dalam pengembangan perangkat lunak simulasi berbasis algoritma untuk merepresentasikan fenomena kimia secara kuantitatif dan dinamis.

Studi kasus yang diangkat dalam penelitian ini adalah titrasi antara asam kuat dan basa kuat, khususnya sistem HCl-NaOH. Reaksi ini dipilih karena memiliki karakteristik perubahan pH yang jelas, terutama lonjakan tajam di sekitar titik ekuivalen, sehingga sesuai digunakan sebagai kasus uji untuk memvalidasi model komputasi, algoritma perhitungan pH, dan tampilan visual kurva titrasi. Melalui simulasi numerik ini, sistem dapat digunakan untuk menganalisis respons perubahan pH terhadap variasi volume dan konsentrasi titran secara terukur dan sistematis.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini menempatkan titrasi asam-basa sebagai objek kajian untuk membangun simulasi berbasis algoritma dalam kerangka informatika. Kontribusi utama penelitian terletak pada perancangan model komputasional untuk

menghitung pH selama proses titrasi, implementasinya dalam perangkat lunak menggunakan bahasa Python, serta penyajian hasil dalam bentuk visual yang mendukung analisis perubahan pH secara kuantitatif dan dinamis (Ghasem, 2018; Li et al., 2023; Hughes & Perry, 2025). Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada bidang informatika, khususnya pada pengembangan simulasi ilmiah, komputasi numerik, dan perangkat lunak berbasis pemodelan.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) merancang algoritma titrasi yang menghitung pH secara numerik selama proses titrasi HCl–NaOH, (2) mengimplementasikan algoritma tersebut dalam perangkat lunak menggunakan bahasa Python dengan antarmuka visual, dan (3) menguji kemampuan sistem simulasi dalam merepresentasikan perubahan pH sesuai prinsip stoikiometri dan teori titrasi asam–basa.

KAJIAN LITERATUR

Penelitian Terkait

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk mengembangkan media pembelajaran pada materi titrasi asam-basa, baik dalam bentuk simulasi maupun laboratorium virtual. Penelitian oleh (Suzerra, 2022) Suzerra yang berjudul *Pengembangan Media Simulasi Titrasi Asam-Basa di SMA Negeri Unggul Darussalam Labuhanhaji* bertujuan mengembangkan media simulasi titrasi sebagai solusi atas keterbatasan alat dan bahan praktikum di sekolah. Media yang dikembangkan melalui tahapan ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*) memperoleh hasil validasi sebesar 94,96% dan respon positif siswa 89,49%, menunjukkan bahwa media tersebut sangat layak digunakan dalam pembelajaran kimia. Selanjutnya, Utama dan Hidayah (2021) mengembangkan *Multimedia Interaktif Berbasis Flash pada Materi Titrasi Asam-Basa* menggunakan metode *Research and Development* (R&D). Hasil penelitian menunjukkan bahwa media yang dihasilkan sangat valid (88,96%), sangat praktis (89,16%), dan efektif dengan ketuntasan klasikal mencapai 100% serta nilai rata-rata siswa 88,34%, yang membuktikan adanya peningkatan signifikan dalam pemahaman konsep titrasi. Selain itu, (Rusdi et al., 2021) Rusdi et al. (2021) dari Universitas Mulawarman mengembangkan *Media Pembelajaran Virtual Lab* menggunakan model pengembangan 4-D (*Define, Design, Develop, Disseminate*). Hasil validasi oleh ahli materi, IT, dan praktisi memperoleh skor rata-rata 3,64 (kategori sangat baik), sementara efektivitasnya ditunjukkan dengan peningkatan keterampilan proses sains siswa

sebesar 71–90% dan nilai N-Gain sebesar 0,71 (kategori sangat efektif).

Berbeda dari penelitian-penelitian sebelumnya yang berfokus pada pengembangan media berbasis Flash atau laboratorium virtual multimedia, penelitian ini mengintegrasikan algoritma numerik menggunakan bahasa Python untuk menghitung perubahan pH secara otomatis dan menampilkan kurva titrasi secara *real-time*. Pendekatan ini menekankan aspek komputasional dan analisis algoritmik dalam pembelajaran kimia, bukan hanya aspek visualisasi.

Penelitian terkini mendukung arah pengembangan ini. Misalnya, studi yang dilakukan (Li et al., 2023) oleh Li et al. (2023) dalam artikel *Application of Python in the Teaching of Acid-Base Titration Analysis* menunjukkan bahwa Python mampu mengotomatisasi perhitungan perubahan pH serta menghasilkan kurva titrasi dinamis dalam media pembelajaran. Selain itu, penelitian oleh Vunguturi et al., (2025) dalam *Utilizing Python for Potentiometric Redox Titrations: A Study on Ferrous Ion Detection with Potassium Permanganate* menegaskan efektivitas Python dalam simulasi reaksi kimia berbasis algoritma, terutama dalam mendukung pengolahan data dan analisis numerik secara efisien. Dengan demikian, penelitian ini menempati posisi yang lebih maju dibandingkan studi sebelumnya karena tidak hanya berfokus pada aspek tampilan atau interaktivitas, tetapi juga pada integrasi perhitungan matematis dan visualisasi ilmiah berbasis pemrograman Python.

Landasan Teori

Titrasi asam–basa merupakan salah satu teknik analisis volumetri yang paling mendasar dalam bidang kimia analitik. Metode ini digunakan untuk menentukan konsentrasi suatu larutan asam atau basa melalui reaksi netralisasi antara ion H^+ dari asam dan ion OH^- dari basa yang menghasilkan air dan garam. Titik ekuivalen tercapai ketika jumlah mol asam sama dengan jumlah mol basa, dan perubahan pH yang terjadi selama proses titrasi dapat digambarkan dalam bentuk kurva titrasi yang menunjukkan lonjakan tajam di sekitar titik ekuivalen. Visualisasi kurva titrasi ini sangat penting untuk memahami dinamika reaksi netralisasi dan menentukan keakuratan pengukuran konsentrasi larutan (Deucher et al., 2025).

Dalam konteks pembelajaran kimia modern, simulasi komputer telah menjadi media pembelajaran yang efektif dalam menjembatani konsep-konsep abstrak menjadi lebih konkret. Simulasi memungkinkan peserta didik melakukan eksperimen virtual yang aman, interaktif, dan efisien, terutama ketika pelaksanaan praktikum langsung di laboratorium

terkendala oleh keterbatasan alat dan bahan. Rusdi *et al.* (2021) menyatakan bahwa penggunaan laboratorium virtual dapat meningkatkan penguasaan konsep serta keterampilan proses sains siswa secara signifikan. Melalui visualisasi proses titrasi dan perubahan pH secara real-time, peserta didik dapat memahami konsep titik ekuivalen dan hubungan antara volume titran serta perubahan konsentrasi tanpa harus menggunakan alat fisik secara langsung.

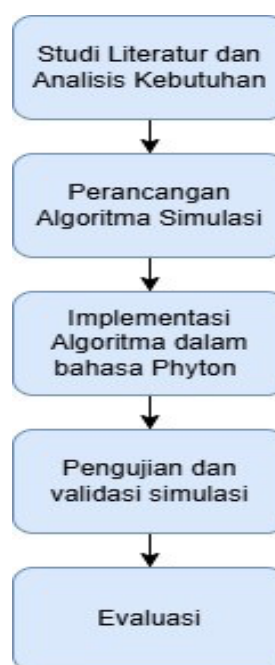
Selain pendekatan berbasis media pembelajaran, perkembangan teknologi pemrograman juga membuka peluang baru dalam pengembangan simulasi ilmiah yang berbasis algoritma. Salah satu bahasa pemrograman yang paling banyak digunakan dalam konteks ini adalah Python, karena sintaksnya sederhana dan memiliki pustaka ilmiah yang sangat luas, seperti *NumPy* untuk komputasi numerik serta *Matplotlib* untuk visualisasi data (Hughes & Perry, 2025). Marcellos *et al.* (2021) memperkenalkan pustaka *PyEquLon*, yaitu modul Python yang dapat digunakan untuk menghitung spesiasi ionik dan pH larutan dalam berbagai kondisi. Hal ini menunjukkan bahwa Python sangat ideal untuk digunakan dalam simulasi reaksi kimia berbasis algoritma, termasuk model titrasi asam-basa. Lebih lanjut, penelitian oleh Li *et al.* (2023) menegaskan bahwa penggunaan Python dalam pembelajaran titrasi asam-basa memungkinkan otomatisasi perhitungan pH dan visualisasi kurva titrasi yang dinamis, meningkatkan interaktivitas serta akurasi simulasi. Pendekatan ini menggabungkan aspek visualisasi dan komputasi numerik secara simultan, sehingga mampu memberikan pengalaman belajar yang lebih mendalam dan kontekstual bagi siswa. Dengan demikian, penerapan Python dalam penelitian ini tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu visualisasi, tetapi juga sebagai sarana simulasi numerik yang memperkuat pendekatan komputasional dalam pembelajaran kimia dan analisis

METODE PENELITIAN

Berdasarkan landasan teori dan penelitian sebelumnya, penelitian ini menggunakan pendekatan perancangan algoritma dan pengembangan simulasi dalam membangun sistem titrasi asam-basa menggunakan bahasa Python. Pendekatan ini mengintegrasikan perhitungan stoikiometri sebagai dasar algoritma dengan implementasinya dalam bentuk simulasi komputasional yang menghasilkan visualisasi kurva titrasi. Tahap awal penelitian adalah perancangan algoritma perhitungan pH berdasarkan data volume dan konsentrasi larutan asam (HCl) dan basa (NaOH). Parameter yang digunakan dalam simulasi mengacu pada skenario pengujian, yaitu volume awal HCl

sebesar 50 mL dengan konsentrasi 0,1 M, serta penambahan NaOH dengan konsentrasi yang sama secara bertahap dari 0 hingga 60 mL. Perhitungan dilakukan secara iteratif untuk memperoleh nilai pH pada setiap penambahan volume titran.

Selanjutnya, algoritma yang telah dirancang diimplementasikan ke dalam sistem simulasi menggunakan bahasa pemrograman Python. Proses komputasi numerik dilakukan dengan bantuan pustaka *NumPy*, sedangkan visualisasi hasil simulasi menggunakan *Matplotlib* untuk menghasilkan kurva titrasi. Sistem simulasi yang dikembangkan menghasilkan dua bentuk output, yaitu data numerik pH pada setiap variasi volume titran dan visualisasi grafik kurva titrasi sebagai output utama dari simulasi yang menggambarkan hubungan antara volume NaOH dan perubahan pH secara dinamis. Visualisasi ini merupakan representasi utama dari hasil penelitian yang sesuai dengan tujuan pengembangan simulasi. Alur penelitian dimulai dari studi literatur, perancangan algoritma, implementasi program, pengujian simulasi, hingga validasi hasil terhadap teori kimia analitik. Alur lengkap penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Penelitian ini berhasil menghasilkan simulasi visual berupa kurva titrasi sebagai output utama, yang merepresentasikan perubahan pH secara dinamis selama proses titrasi, selain data numerik yang dihasilkan. Simulasi difokuskan pada reaksi antara

asam kuat (HCl) dan basa kuat (NaOH), di mana volume awal HCl ditetapkan sebesar 50 mL dengan konsentrasi 0,1 M. Titrasi dilakukan dengan menambahkan larutan NaOH berkonsentrasi sama (0,1 M) secara bertahap dari 0 hingga 60 mL.

Hasil simulasi menghasilkan data pH berdasarkan volume titran yang ditambahkan. Tabel 1 menunjukkan perubahan nilai pH pada setiap tahap penambahan NaOH, yang kemudian digunakan untuk membentuk kurva titrasi. Kurva tersebut memperlihatkan peningkatan pH secara bertahap dari kondisi asam ke basa, dengan lonjakan tajam di sekitar volume titran 50 mL yang menunjukkan titik ekuivalen.

Untuk memastikan keakuratan, hasil simulasi dibandingkan dengan perhitungan manual dan kurva teoritis titrasi asam-basa. Hasil perbandingan menunjukkan kesesuaian yang baik antara data simulasi dan teori, di mana nilai pH awal sekitar 1,00 meningkat secara bertahap hingga 12,85 setelah penambahan 60 mL titran. Perubahan signifikan terjadi pada kisaran 48–52 mL, yang menandai terjadinya pergeseran dari kondisi asam ke netral dan kemudian ke basa.

Validasi simulasi dilakukan dengan melibatkan ahli kimia untuk menilai aspek keakuratan, tampilan, serta kelayakan penggunaan dalam pembelajaran. Penilaian dilakukan menggunakan instrumen skala Likert (1–4) dan dianalisis secara deskriptif. Hasil validasi menunjukkan bahwa simulasi ini dinilai layak digunakan sebagai media pembelajaran alternatif, terutama di lingkungan pendidikan dengan keterbatasan fasilitas laboratorium.

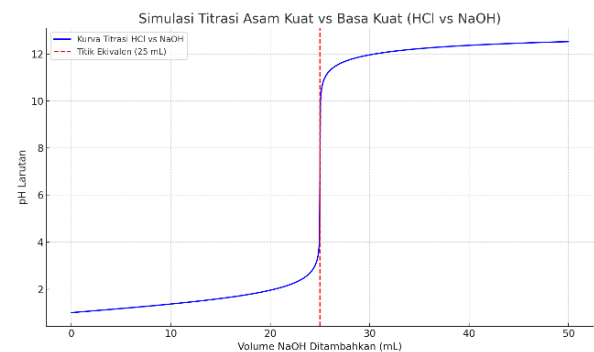
Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memperkuat temuan sebelumnya bahwa penggunaan simulasi komputer menggunakan bahasa Python mampu meningkatkan pemahaman konseptual terhadap reaksi titrasi asam-basa (Rusdi et al., 2021; Marcellos et al., 2021). Visualisasi perubahan pH yang dihasilkan juga memberikan pengalaman belajar yang lebih interaktif dan kontekstual dibandingkan metode pembelajaran konvensional.

Tabel 1. Perhitungan pH pada Setiap Volume

Volume NaOH (mL)	Mol Asam Tersisa (mol)	Mol Basa Tersisa (mol)	pH
0	0.0050	0	1.00
10	0.0040	0	1.10
20	0.0030	0	1.22
30	0.0020	0	1.40
40	0.0010	0	1.70
50	0	0	7.00
55	0	0.0005	12.70
60	0	0.0010	12.85

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa pada volume titran 0 mL, larutan bersifat sangat asam dengan pH 1,00, sesuai dengan konsentrasi awal asam. Seiring bertambahnya volume NaOH, nilai pH meningkat secara bertahap karena jumlah mol asam yang bereaksi semakin berkurang. Pada volume 50 mL, titik ekuivalen tercapai dan pH larutan mencapai nilai netral, yaitu 7,00.

Kurva titrasi yang dihasilkan dari simulasi menunjukkan bentuk khas reaksi antara asam kuat dan basa kuat, yakni perubahan pH yang relatif lambat pada awal titrasi, diikuti lonjakan tajam di sekitar titik ekuivalen, kemudian stabil kembali pada kondisi basa. Visualisasi ini dibuat menggunakan pustaka Matplotlib dalam bahasa pemrograman Python, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva Asam Kuat vs Basa Kuat Menggunakan Python

Kurva tersebut memperlihatkan bahwa titik ekuivalen tercapai pada penambahan NaOH sebesar 50 mL, yaitu titik di mana jumlah mol ion H^+ dari HCl sama dengan jumlah mol ion OH^- dari NaOH. Reaksi netralisasi pada titik ini menghasilkan air (H_2O) dan garam (NaCl), sehingga pH larutan menjadi netral.

Untuk mendukung validitas hasil simulasi, perhitungan pH pada setiap tahapan penambahan titran diimplementasikan secara komputasional menggunakan bahasa pemrograman Python. Kode program yang dikembangkan mengintegrasikan logika perhitungan stoikiometri serta konversi konsentrasi ion menjadi nilai pH, dengan mempertimbangkan tiga kondisi utama titrasi, yaitu pra-ekuivalen, titik ekuivalen, dan pasca-ekuivalen. Cuplikan kode sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3 merepresentasikan fungsi inti dari algoritma yang digunakan dalam penelitian ini. Implementasi kode ini memastikan konsistensi hasil perhitungan terhadap model teoritis serta memungkinkan replikasi proses titrasi secara digital.

```

def ph_titrasi(Va, Ma, Vb, Mb):
    nH = Ma * (Va/1000)
    nOH = Mb * (Vb/1000)
    Vtot = (Va + Vb) / 1000

    if abs(nH - nOH) < 1e-15:
        return 7.00
    elif nH > nOH:
        return -math.log10((nH - nOH) / Vtot)
    else:
        return 14 - (-math.log10((nOH - nH) / Vtot))
    
```

Gambar 3. Cuplikan kode algoritma perhitungan pH menggunakan Python

Kode program pada Gambar 3 merepresentasikan fungsi inti dari algoritma perhitungan pH selama proses titrasi asam-basa. Fungsi `ph_titrasi` menerima empat parameter utama, yaitu volume dan konsentrasi larutan asam (V_a , M_a) serta basa (V_b , M_b). Pada tahap awal, algoritma menghitung jumlah mol ion H^+ dan OH^- berdasarkan hubungan $n = M \times V$, di mana M merupakan konsentrasi (mol/L) dan V adalah volume larutan (L). Total volume campuran (V_{tot}) kemudian digunakan untuk menentukan konsentrasi spesies dominan dalam larutan.

Selanjutnya, algoritma mengklasifikasikan tiga kondisi utama dalam reaksi titrasi:

Pra-ekivalen, yaitu ketika jumlah mol H^+ lebih besar dari OH^- ; pada kondisi ini pH ditentukan oleh kelebihan ion H^+ .

Ekivalen, yaitu ketika mol H^+ sama dengan mol OH^- , menghasilkan larutan netral dengan $pH = 7,00$ pada suhu $25\text{ }^\circ\text{C}$.

Pasca-ekivalen, yaitu ketika mol OH^- lebih besar dari H^+ , sehingga pH dihitung berdasarkan kelebihan ion OH^- melalui konversi $pH = 14 - pOH$.

Pendekatan komputasional ini menggabungkan prinsip stoikiometri reaksi netralisasi dengan konsep kesetimbangan ionik, sehingga mampu menggambarkan perubahan pH secara kuantitatif dan sistematis sepanjang proses titrasi. Melalui algoritma ini, perhitungan pH untuk berbagai volume titran dapat dilakukan secara otomatis, akurat, dan konsisten, sekaligus mendukung replikasi digital dari kurva titrasi yang sesuai dengan model teoritis reaksi asam kuat-basa kuat.

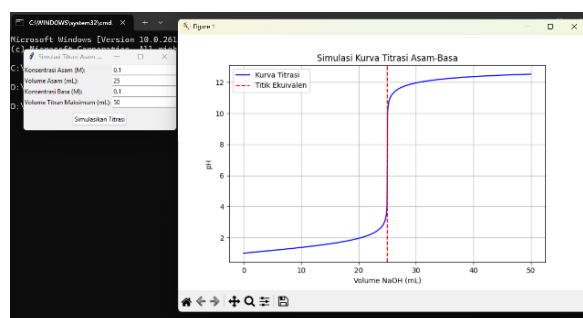
Validasi Model Simulasi

Validasi terhadap simulasi titrasi asam-basa berbasis algoritma Python dilakukan melalui tiga pendekatan utama, yaitu validasi teoritis, validasi visual kurva, dan validasi kesesuaian hasil terhadap konsep analisis kimia kuantitatif.

Pada tahap validasi teoritis, hasil simulasi dibandingkan dengan perhitungan manual menggunakan prinsip stoikiometri reaksi netralisasi. Hasil menunjukkan bahwa pada kondisi awal (0 mL NaOH), pH bernilai 1.00, sesuai dengan pH larutan HCl 0.1 M. Titik ekivalen tercapai pada penambahan 50 mL NaOH, dengan $pH = 7,00$, sesuai teori reaksi antara asam kuat dan basa kuat. Setelah titik ekivalen, pH meningkat drastis hingga mencapai nilai di atas 12, yang menandakan dominasi ion OH^- dalam larutan. Temuan ini membuktikan bahwa model algoritma mampu merepresentasikan perubahan pH secara kuantitatif dan akurat selama proses titrasi.

Selanjutnya, validasi visual kurva dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi menggunakan Python dengan kurva teoritis dari literatur standar. Berdasarkan (Analysis, 1971) Quantitative Chemical Analysis oleh Harris dan Lucy (2020), kurva titrasi antara asam kuat dan basa kuat memiliki bentuk sigmoidal (S-shape) yang khas, ditandai oleh kenaikan pH yang lambat sebelum titik ekivalen, lonjakan tajam di sekitar titik ekivalen, serta kecenderungan melandai pada $pH > 12$ setelah ekivalen tercapai. Hasil kurva yang dihasilkan dari simulasi menunjukkan pola yang identik dengan teori tersebut.

Dengan demikian, hasil validasi baik secara matematis maupun visual menunjukkan bahwa model simulasi yang dikembangkan telah sesuai dengan prinsip-prinsip dasar titrasi asam-basa dan dapat diandalkan sebagai representasi digital proses netralisasi dalam konteks pembelajaran kimia.



Gambar 4. Program Titrasi Asam-Basa Menggunakan Bahasa Python Cuplikasi

Dari hasil simulasi yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa program yang dikembangkan menggunakan bahasa Python berhasil mereplikasi bentuk kurva titrasi eksperimental dengan sangat baik. Rata-rata skor validasi terhadap simulasi yang dikembangkan dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Rata-Rata Skor Validasi Simulasi Titrasi Asam-Basa

Aspek Yang Dinilai	Skor Rata-Rata
Kesesuaian konsep kimia	3.75
Akurasi Hasil Simulasi	3.80
Visualisasi Kurva	3.70
Kemanfaatan Pembelajaran	3.90
Rata-rata Total	3.79 (Sangat Layak)

Validasi terhadap simulasi titrasi ini dilakukan dengan menilai empat aspek utama, yaitu kesesuaian konsep kimia, akurasi hasil simulasi, visualisasi kurva, dan kemanfaatan pembelajaran. Penilaian dilakukan oleh tiga orang ahli menggunakan skala 1–4, di mana 1 berarti “tidak layak” dan 4 berarti “sangat layak”. Hasilnya menunjukkan bahwa aspek kesesuaian konsep memperoleh skor rata-rata 3,75, yang menunjukkan bahwa algoritma simulasi telah sesuai dengan prinsip-prinsip dasar reaksi netralisasi dan perhitungan pH. Akurasi hasil simulasi memperoleh nilai 3,80, menandakan bahwa hasil perhitungan dari program Python sangat dekat dengan nilai teoritis. Sementara itu, visualisasi kurva memperoleh skor 3,70, yang berarti grafik pH terhadap volume titran sudah cukup jelas dan informatif dalam menggambarkan karakteristik titrasi.

Aspek kemanfaatan pembelajaran memperoleh skor tertinggi yaitu 3,90, yang menunjukkan bahwa aplikasi ini dinilai sangat bermanfaat untuk digunakan dalam konteks pendidikan, baik sebagai alat bantu guru maupun media belajar mandiri bagi siswa. Secara keseluruhan, rata-rata skor validasi mencapai 3,79 dan termasuk dalam kategori “sangat layak”. Hasil ini mengindikasikan bahwa simulasi yang dikembangkan tidak hanya akurat secara ilmiah, tetapi juga memiliki nilai edukatif tinggi dan potensial untuk diintegrasikan dalam pembelajaran kimia modern, khususnya pada materi titrasi asam-basa.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan simulasi reaksi titrasi asam-basa berbasis algoritma menggunakan bahasa pemrograman Python yang difokuskan pada reaksi antara asam kuat (HCl) dan basa kuat (NaOH). Simulasi yang dikembangkan menunjukkan hasil yang akurat dalam memvisualisasikan perubahan pH selama proses titrasi, termasuk lonjakan tajam di sekitar titik ekuivalen, sesuai dengan teori kimia analitik. Validasi terhadap model simulasi dilakukan melalui pendekatan teoritis, perbandingan visual dengan kurva literatur, serta penilaian ahli, yang menghasilkan skor rata-rata sebesar 3,79 dari skala 4. Hasil ini menunjukkan bahwa

aplikasi simulasi tergolong sangat layak digunakan sebagai media pembelajaran kimia.

Kontribusi utama dari penelitian ini adalah penyediaan alternatif laboratorium virtual yang interaktif, fleksibel, dan hemat biaya, terutama bagi lingkungan pendidikan dengan keterbatasan sarana praktikum. Selain itu, simulasi ini dapat dikembangkan lebih lanjut untuk berbagai jenis titrasi lainnya. Adapun keterbatasan penelitian ini terletak pada cakupan jenis reaksi yang masih terbatas pada titrasi asam kuat dan basa kuat, serta belum adanya fitur antarmuka grafis (GUI) yang lebih ramah pengguna. Oleh karena itu, pengembangan lanjutan dengan menambahkan GUI dan memperluas cakupan reaksi kimia direkomendasikan untuk penelitian berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Deucher, N. C., Silva de Souza, R., & Borges, E. M. (2025). Teaching Precipitation Titration Methods: a Statistical Comparison of Mohr, Fajans, and Volhard Techniques. *Journal of Chemical Education*, 102(1), 364–371. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c01037>
- Harris, D. C. (1971). Methods in Geochemistry and Geophysics. *Quantitative Chemical Analysis*, 5, 89-142. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-40826-6.50009-1>
- Hughes, D. J., & Perry, S. C. (2025). Modular Integration of Python Programming in Undergraduate Physical Chemistry Experiments. *Journal of Chemical Education*, 102(9), 4005–4016. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5c00677>
- Fitriani, G. (2018). Pengembangan LKPD Berbasis Virtual Lab Chemistry Pada Materi Titrasi Asam Basa Di SMA Negeri 3 Meulaboh. *Universitas Islam Negeri Ar-Raniry*.
- Li, W., Li, X., Jia, S., Bai, H., Zhao, S., Wu, L., Zhang, H., & Fan, C. (2023). Application of Python in the Teaching of Acid-Base Titration Analysis. *Daxue Huaxue*, 0(0), 2306026. <https://doi.org/10.3866/pku.dxxh202306026>
- Luciana, L., Marlina, L., Fathurohman, A., & Luciana, L. (2025). Python-Based Interactive Simulation in STEM E-LKPD to Increase Sustainability Awareness on Global Warming Material. 11(3), 1158–1166. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i3.10644>
- Marcellos, C. F. C., Junior, G. F. da S., Soares, E. do A., Ramos, F., & Barreto, A. G. (2021). *PyEquLon: A Python Package for Automatic Speciation Calculations of Aqueous Electrolyte Solutions*.
- Palamthodi, S., Shimpi, S., & Tungare, K. (2021). *Food Science and Applied Biotechnology*. 4(March), 63–75.
- Rusdi, M. A., Herliani, & Rijai, L. (2021). Pengembangan Media Pembelajaran Virtual Lab

- Untuk Meningkatkan Keterampilan Proses Sains Dan Penguasaan Konsep 2020 / 2021. *Jurnal Zarah*, 9(2), 125–130.
- Suryani, R. (2017). Pengaruh Penggunaan Media Interaktif terhadap Hasil Belajar Siswa pada Materi Asam Basa di MAN 1 Meulaboh Aceh Barat. *Skripsi*. Darussalam, Banda Aceh: Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
- Suzerra, Y. (2022). Pengembangan Media Simulasi Titrasi Asam Basa di SMA Negeri Unggul Darussalam Labuhanhaji. *Pengembangan Media Simulasi Titrasi Asam Basa di SMA Negeri Unggul Darussalam Labuhanhaji*.
- Tan, S., Naraharisetti, P., Chin, S., & Lee, L. (2020). Simple Visual-Aided Automated Titration Using the Python Programming Language. *Journal of Chemical Education*.
<https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00802>