

VISUALISASI PENURUNAN KONSENTRASI PEREAKSI TERHADAP WAKTU SEBAGAI MEDIA INTEGRASI KONSEP LAJU REAKSI DAN KALKULUS DASAR

¹Alvian Ikhsanul Fatya, ²Iqbal Haitami

^{1,2}Universitas Islam Negeri Antasari

Email korespondensi: alvian.ikhsanul@gmail.com

Abstrak

Penurunan konsentrasi pereaksi terhadap waktu merupakan konsep fundamental dalam kajian laju reaksi kimia. Secara matematis, fenomena ini sangat erat kaitannya dengan kalkulus dasar, seperti turunan dan integral fungsi. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan pendekatan pembelajaran yang menggabungkan pemodelan visual, konsep laju reaksi dalam kimia, dan prinsip dasar kalkulus. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif berbasis simulasi visual matematis dengan bantuan perangkat lunak GeoGebra. Simulasi dilakukan pada model matematis penurunan konsentrasi pereaksi terhadap waktu untuk reaksi kimia berorde nol, satu, dan dua. Diperoleh grafik untuk masing-masing orde sebagai visualisasi bagi peserta didik, baik di tingkat pendidikan menengah maupun pendidikan tinggi. Terlihat bahwa grafik menunjukkan karakteristik laju reaksi pada masing-masing orde. Konsentrasi pereaksi untuk reaksi orde nol, mengalami penurunan secara linear hingga akhirnya habis pada waktu tertentu. Pada reaksi orde satu, konsentrasi pereaksi menurun eksponensial hingga mendekati nol. Sedangkan untuk reaksi orde dua, terjadi penurunan konsentrasi pereaksi yang cepat di awal waktu, kemudian melambat dan perlahan mendekati nol. Melalui pendekatan ini, peserta didik dapat memahami konsep kinetika kimia sekaligus menerapkan prinsip dasar kalkulus dalam konteks nyata. Simulasi berbasis grafik menjadi sarana yang efektif dalam menyampaikan keterkaitan antar-disiplin, serta memperkuat keterampilan analitis dan interpretatif peserta didik dalam pembelajaran sains terpadu.

Kata Kunci : Laju reaksi, Kalkulus dasar, Visualisasi grafik, GeoGebra, Kinetika kimia

Pendahuluan

Dalam proses pembelajaran kimia, konsep laju reaksi sering kali dipelajari sebagai topik yang berdiri sendiri, padahal secara alamiah ia memiliki hubungan yang erat dengan prinsip-prinsip dasar matematika, khususnya kalkulus. Salah satu aspek terpenting dari laju reaksi adalah bagaimana konsentrasi suatu pereaksi berubah seiring waktu. Perubahan ini biasanya digambarkan dalam bentuk grafik yang menunjukkan penurunan konsentrasi terhadap waktu, sebuah representasi visual yang secara langsung mengandung makna matematis: kemiringan kurva, perubahan nilai terhadap waktu, dan hubungan fungsional antara variabel (Rushton dkk. 2014).

Sayangnya, dalam praktik pembelajaran, keterkaitan ini jarang ditekankan. Kesalahpahaman konsep mengenai grafik orde reaksi dan persamaan laju reaksi masih dialami peserta didik. Oleh karena itu, diperlukan perbaikan dan penekanan khusus pada sub-materi ini agar capaian belajar peserta didik lebih optimal (Widarti dkk. 2022). Peserta didik baik di sekolah maupun perguruan tinggi sering menghafal rumus laju reaksi tanpa memahami bagaimana rumus tersebut diturunkan, atau apa makna grafiknya secara konseptual (Rodriguez, Harrison, dan Becker 2020). Di sisi lain, pembelajaran kalkulus juga sering terlepas dari konteks nyata, menjadikan konsep turunan atau gradien hanya sekadar simbol yang harus dihitung, bukan alat untuk memahami fenomena (Aziza 2020). Padahal, penurunan konsentrasi pereaksi terhadap waktu adalah contoh autentik dari penerapan konsep turunan. Kemiringan grafik pada titik tertentu dapat dimaknai sebagai laju sesaat reaksi, bentuk kurvanya mengindikasikan orde reaksi, dan integral dari laju dapat dikaitkan dengan total konsumsi pereaksi. Ketika peserta didik diajak membaca dan menafsirkan grafik ini, mereka sebenarnya sedang membangun dua kompetensi sekaligus: kemampuan berpikir ilmiah dan berpikir matematis (Orhun 2012).

Kemajuan teknologi seperti GeoGebra memungkinkan visualisasi ini dilakukan secara interaktif. Peserta didik dapat mengubah parameter konsentrasi awal atau konstanta laju, dan langsung melihat bagaimana grafik berubah. Mereka dapat mengamati perbedaan visual antara reaksi orde nol (linear), orde satu (eksponensial), dan orde dua (kurva hiperbolik), serta menghubungkan perubahan tersebut dengan bentuk matematis yang sesuai. Hal ini menjadikan pembelajaran lebih kontekstual, bermakna, dan menyenangkan (Iparraguirre-Villanueva dkk. 2023).

Integrasi antara matematika dan kimia melalui pendekatan grafik penurunan konsentrasi ini bukan hanya memperkuat pemahaman lintas disiplin, tetapi juga mendukung pengembangan pembelajaran berbasis STEM secara utuh. Dengan memanfaatkan simulasi visual sebagai media belajar, peserta didik diajak untuk tidak hanya menghitung, tetapi juga

memahami, dan dari memahami mereka akan lebih siap untuk menerapkan ilmu dalam kehidupan nyata (Ziatdinov dan Valles 2022).

Penggunaan aplikasi GeoGebra ini berpotensi untuk digunakan dalam pembelajaran di sekolah menengah maupun pendidikan tinggi. Keunggulan GeoGebra dibandingkan dengan perangkat lunak sejenis, seperti Desmos, MATLAB, Maple, Mathematica, dan Cabri, antara lain gratis, visual, interaktif, dan cocok untuk semua jenjang pendidikan. Perangkat lunak ini juga belum banyak digunakan terkait hubungannya dengan bidang kimia, khususnya konsep laju reaksi (Etcuban dan Leonard 2025; Putra dkk. 2020; Santoso, Yuliani, dan Arisma 2024; Widyastiti dkk. 2024).

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan pendekatan pembelajaran yang menggabungkan pemodelan visual, konsep laju reaksi dalam kimia, dan prinsip dasar kalkulus. Fokus utama terletak pada bagaimana visualisasi penurunan konsentrasi pereaksi menggunakan bantuan perangkat lunak GeoGebra dapat menjadi jembatan pemahaman antara dua disiplin ilmu yang selama ini sering dipelajari secara terpisah.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif berbasis simulasi visual model matematis laju penurunan konsentrasi pereaksi terhadap waktu untuk reaksi kimia berorde nol, satu, dan dua. Simulasi dilakukan menggunakan beberapa asumsi yang mendukung agar persamaan matematis laju reaksi dapat diselesaikan, seperti penentuan nilai beberapa variabel, yakni waktu reaksi (t), konsentrasi awal pereaksi ($[A]_0$), dan konstanta laju reaksi (k). Penggunaan GeoGebra dilakukan untuk mempresentasikan visual dari masing-masing tipe laju reaksi sebagai bentuk integrasi antara konsep laju reaksi dalam kimia dan fungsi matematika dalam kalkulus dasar.

1. Desain Simulasi

Pemodelan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak GeoGebra Classic secara *online*. Simulasi dilakukan oleh peneliti dengan fokus pada kurva $[A]_t$ terhadap waktu (Plante dan Devroye 2017). Tiga jenis reaksi berikut disimulasikan:

a. Orde nol : $[A]_t = [A]_0 - kt$

b. Orde satu : $[A]_t = [A]_0 \cdot e^{-kt}$

c. Orde dua : $[A]_t = \frac{1}{\frac{1}{[A]_0} + kt}$

2. Visualisasi

Grafik hanya menampilkan kurva penurunan konsentrasi terhadap waktu. Waktu (sumbu x) dibatasi antara $0 \leq t \leq 20$ untuk fokus pada periode reaksi yang signifikan. Setiap jenis orde reaksi ditampilkan dalam grafik yang terpisah maupun dalam grafik komparatif (*overlay*) untuk menunjukkan perbedaan bentuk penurunan konsentrasi.

3. Analisis Simulasi

Analisis dilakukan terhadap bentuk grafik penurunan konsentrasi masing-masing orde reaksi dan hubungan antara bentuk kurva dengan karakteristik reaksi (linear, eksponensial, atau hiperbolik).

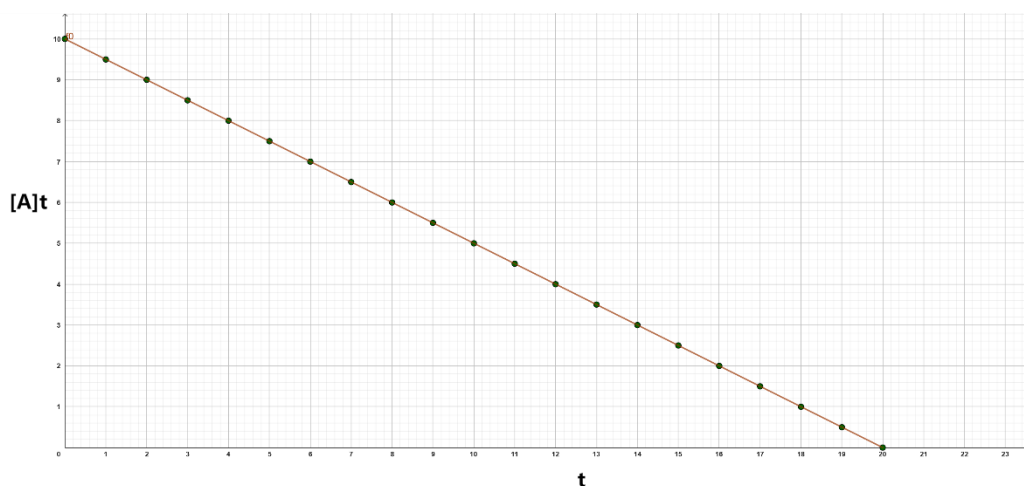
Analisis ini melibatkan interpretasi kualitatif terhadap visualisasi grafik, serta verifikasi dengan data numerik tertentu yang dihasilkan dari simulasi (nilai konsentrasi pada waktu tertentu, seperti $t=20$ s, untuk mengkonfirmasi perilaku matematis).

Perbandingan dilakukan baik secara individual untuk setiap orde reaksi maupun secara komparatif antar-orde reaksi (melalui grafik *overlay*) untuk melihat perbedaan dan kesamaan perilaku kinetika. Fokus utama adalah bagaimana bentuk kurva mempresentasikan karakteristik laju reaksi yang berbeda, seperti laju konstan, laju yang bergantung secara eksponensial, atau laju yang bergantung pada kuadrat konsentrasi.

Hasil dan Pembahasan ***Reaksi Orde Nol***

Reaksi kimia orde nol adalah jenis reaksi di mana laju reaksi tidak bergantung pada konsentrasi pereaksinya. Artinya, meskipun konsentrasi pereaksi berubah selama reaksi berlangsung, laju reaksi tetap konstan (Chang dan Goldsby 2015). Hasil simulasi penurunan konsentrasi reaksi orde nol terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 1. Hubungan matematis yang menggambarkan penurunan konsentrasi pereaksi terhadap waktu dalam reaksi orde nol dituliskan sebagai:

$$[A]_t = [A]_0 - kt$$



Gambar 1. Simulasi penurunan konsentrasi reaksi orde nol terhadap waktu

Pada simulasi ini, digunakan nilai konsentrasi awal $[A]_0=10$ M dan konstanta laju reaksi $k = 0,5$. Grafik yang dihasilkan berupa gradien negatif dari konsentrasi awal menuju nol pada $t = 20$ s. Hal ini sesuai dengan persamaan matematis yang menunjukkan bahwa pereaksi akan habis total saat:

$$t = \frac{[A]_0}{k} = \frac{10}{05} = 20$$

Dengan demikian, salah satu ciri khas dari reaksi orde nol adalah bahwa pereaksi benar-benar habis dalam waktu yang terukur dan pasti, tidak seperti reaksi orde satu atau dua yang hanya mendekati nol tanpa pernah benar-benar mencapai nol (Zumdahl dan Zumdahl 2015).

Hasil grafik yang diperoleh dalam simulasi memperlihatkan penurunan konsentrasi secara linier. Hasil ini secara visual sangat membantu peserta didik dalam memahami konsep kemiringan garis (gradien) sebagai representasi laju reaksi. Dalam hal ini, nilai gradien dari grafik adalah konstan dan bernilai $-k = -0,5$ menandakan laju penurunan konsentrasi pereaksi sebesar 0,5 satuan per satuan waktu. Interpretasi ini memberikan integrasi yang kuat dengan konsep dalam matematika, terutama mengenai interpretasi grafik linear, gradien, dan hubungan antar variabel.

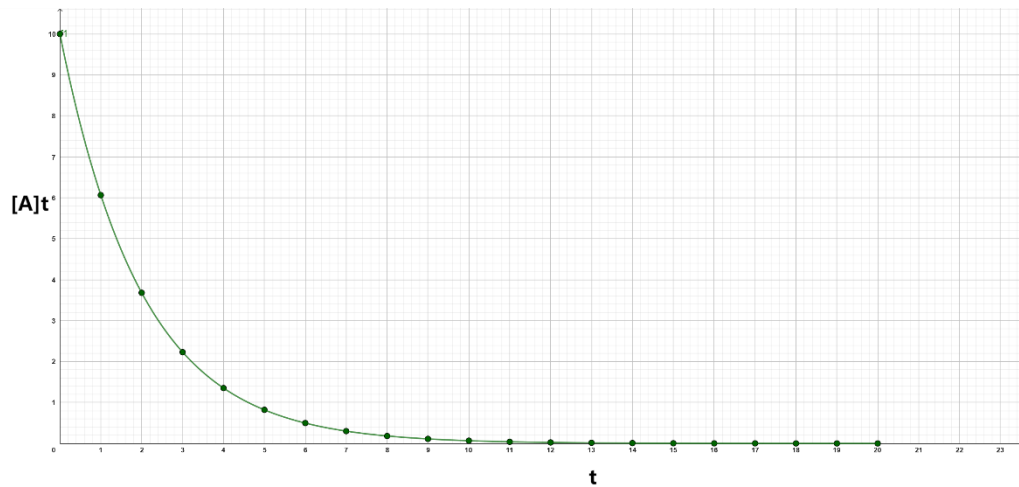
Dari sisi kimia, reaksi orde nol biasanya muncul pada kondisi di mana suatu proses permukaan menjadi jenuh, seperti dalam reaksi fotokatalisis atau degradasi zat warna oleh permukaan padatan (misalnya fotodegradasi dengan TiO_2). Dalam kondisi tersebut, meskipun konsentrasi pereaksi bertambah, laju reaksi tidak berubah karena semua situs aktif sudah terisi penuh—dengan kata lain, sistem berada dalam kondisi kapasitas maksimum (Bain, Rodriguez, dan Towns 2018).

Pendekatan berbasis grafik ini tidak hanya memfasilitasi pemahaman visual peserta didik, tetapi juga menjadi jembatan untuk memahami bagaimana model matematika menjelaskan fenomena nyata di dunia kimia. Dengan memanfaatkan grafik linear dari reaksi orde nol, peserta didik dapat mengembangkan pemahaman terhadap konsep perubahan linear, interpretasi kemiringan grafik sebagai nilai tetap, serta makna dari titik potong pada sumbu waktu sebagai waktu habisnya pereaksi. Pendekatan ini menyatukan penguasaan konsep kimia dan matematika secara alami, kontekstual, dan bermakna (Rodriguez dkk. 2019).

Reaksi Orde Satu

Reaksi kimia orde satu merupakan jenis reaksi di mana laju reaksinya sebanding langsung dengan konsentrasi pereaksinya (Chang dan Goldsby 2015). Hasil simulasi penurunan konsentrasi reaksi orde satu terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 2. Hubungan matematis dari konsentrasi terhadap waktu dalam reaksi orde satu diberikan oleh persamaan:

$$[A]_t = [A]_0 \cdot e^{-kt}$$



Gambar 2. Simulasi penurunan konsentrasi reaksi orde satu terhadap waktu

Dalam simulasi yang dilakukan menggunakan GeoGebra, dimodelkan reaksi dengan konsentrasi awal $[A]_0 = 10$ M dan konstanta laju reaksi $k = 0,5$. Hasil grafik menunjukkan bahwa konsentrasi berkurang secara eksponensial terhadap waktu. Pada detik-detik awal, perubahan konsentrasi terjadi cukup signifikan, menunjukkan bahwa laju reaksi masih tinggi karena konsentrasi pereaksi juga tinggi. Namun, seiring berjalannya waktu, laju penurunan konsentrasi melambat. Hal ini disebabkan oleh sifat eksponensial dari fungsi matematika orde satu: ketika nilai t meningkat, nilai e^{-kt} semakin kecil, tetapi tidak pernah mencapai nol.

Dengan demikian, meskipun grafik menunjukkan bahwa konsentrasi semakin mendekati nol, secara matematis, konsentrasi tidak pernah benar-benar habis. Hal ini menjadi pembeda penting antara reaksi orde satu dengan orde nol, di mana dalam orde nol, konsentrasi dapat mencapai nol dalam waktu tertentu. Keadaan ini sangat penting untuk dipahami terutama dalam konteks pelajaran matematika dan kimia, karena memberikan pemahaman tentang perilaku fungsi eksponensial dan bagaimana hal tersebut diterapkan dalam fenomena alamiah seperti reaksi kimia (Rodriguez dkk. 2019).

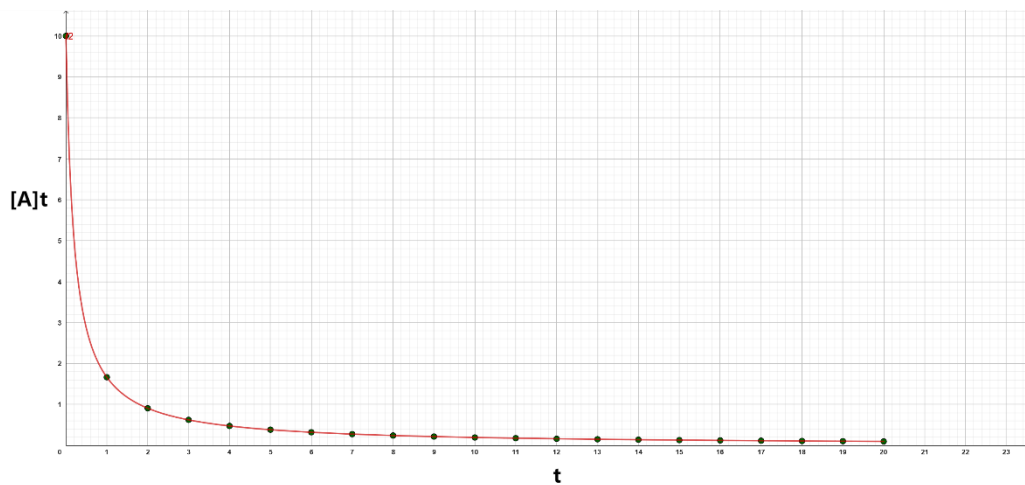
Simulasi ini menunjukkan bahwa pada waktu $t = 20$ s, konsentrasi $[A]_t$ telah turun menjadi sekitar 0,000045. Nilai ini sangat kecil, namun tetap tidak nol, sesuai dengan sifat dari fungsi eksponensial. Melalui hal tersebut, peserta didik dapat memahami bahwa walaupun kurva hampir menyentuh sumbu x (waktu), secara konseptual dan matematis masih ada sisa pereaksi dalam sistem. Hal ini memberikan gambaran yang jelas tentang bagaimana matematika tidak hanya digunakan sebagai alat hitung dalam kimia, tetapi juga sebagai model konseptual yang menjelaskan bagaimana suatu sistem berkembang seiring waktu (Rodriguez dkk. 2019).

Selain itu, reaksi orde satu banyak dijumpai dalam berbagai proses penting, seperti peluruhan radioaktif, metabolisme obat dalam tubuh, dan reaksi fotodegradasi zat warna (D. Tran dkk. 2023). Oleh karena itu, pemahaman tentang bentuk kurva orde satu tidak hanya berguna untuk menyelesaikan soal akademik, tetapi juga penting dalam memahami dunia nyata secara ilmiah. Pendekatan berbasis grafik ini membantu peserta didik mengintegrasikan pemahaman visual, simbolik, dan konseptual, yang merupakan kunci dalam pembelajaran matematika dan kimia secara terpadu (Rodriguez dkk. 2019).

Reaksi Orde Dua

Reaksi kimia orde dua merupakan jenis reaksi di mana laju reaksi sebanding dengan kuadrat konsentrasi pereaksinya (Chang dan Goldsby 2015). Gambar Penurunan konsentrasi orde dua dapat dilihat pada Gambar 3. Secara matematis, hubungan antara konsentrasi dan waktu dalam reaksi orde dua dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$[A]_t = \frac{1}{\frac{1}{[A]_0} + kt}$$



Gambar 3. Simulasi penurunan konsentrasi pereaksi orde dua terhadap waktu

Dalam simulasi yang dilakukan, nilai konsentrasi awal yang digunakan adalah $[A]_0=10$ M dan konstanta laju reaksi $k=0,5$. Grafik yang dihasilkan menunjukkan kurva menurun yang cukup tajam di awal waktu dan semakin melandai seiring bertambahnya waktu. Karakteristik grafik ini mencerminkan bahwa pada awal reaksi (Ketika konsentrasi pereaksi masih tinggi) laju reaksi juga sangat cepat, namun laju tersebut menurun secara signifikan ketika konsentrasi mulai berkurang.

Persamaan reaksi orde dua dapat diubah bentuk matematisnya menjadi:

$$[A]_t = \frac{1}{\frac{1}{[A]_0} + kt}$$

$$[A]_t = \frac{1}{1 + kt[A]_0}$$

$$[A]_t = \frac{[A]_0}{1 + k[A]_0 t}$$

Berbeda dengan reaksi orde nol yang menurun secara linear dan reaksi orde satu yang menurun eksponensial, reaksi orde dua memperlihatkan penurunan yang sangat tajam di awal tetapi lambat mendekati nol di waktu selanjutnya. Ini karena bagian penyebut dari persamaan orde dua, yaitu $1 + k[A]_0 t$, akan terus bertambah seiring waktu, sehingga menyebabkan nilai $[A]_t$ menjadi semakin kecil, tetapi tidak pernah benar-benar nol (Brown dkk. 2013).

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada waktu $t = 20$ s, konsentrasi $[A]_t$ telah turun drastis menjadi:

$$[A]_t = \frac{1}{1 + 0,51020} = \frac{10}{101} \approx 0,099$$

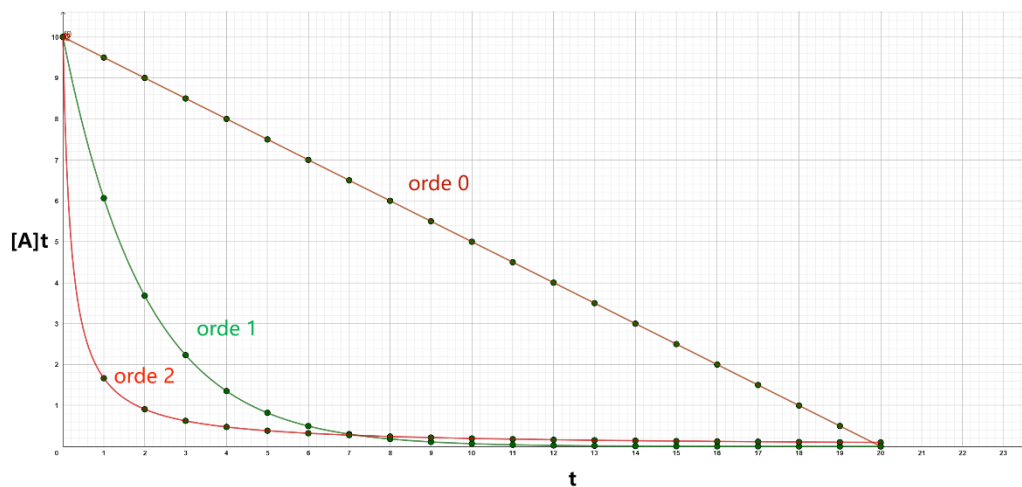
Nilai ini masih jauh dari nol, namun secara visual sudah berada sangat dekat dengan sumbu x. Dalam konteks pembelajaran matematika, bentuk grafik ini memperkaya pemahaman peserta didik terhadap fungsi rasional dan kurva hiperbolik, termasuk pemahaman bahwa perubahan konsentrasi dalam reaksi orde dua tidak konstan dan tidak eksponensial, tetapi mengikuti fungsi pecahan yang memperlihatkan penurunan laju yang dramatis.

Dari perspektif kimia, reaksi orde dua banyak ditemukan dalam reaksi antar dua molekul (bimolekuler), seperti reaksi antara ion iodida dengan ion hipoklorit, atau reaksi homodimerisasi (Hubbe, Azizian, dan Douven 2019). Konsep ini juga relevan dalam proses-proses lingkungan dan industri, di mana dua spesies harus bertemu dalam jumlah tertentu untuk reaksi dapat berlangsung (Afandy dan Sawali 2024).

Simulasi ini sangat membantu dalam menjembatani konsep matematis dan fenomena kimia. Peserta didik dapat belajar bahwa pada reaksi orde dua, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai konsentrasi sangat rendah bergantung secara nonlinier terhadap konsentrasi awal dan konstanta laju. Pemahaman terhadap fungsi matematika ini membantu mereka tidak hanya dalam menyelesaikan soal, tetapi juga dalam membentuk intuisi saintifik tentang bagaimana reaksi berlangsung di alam. Dengan demikian, pendekatan grafik ini mengintegrasikan keterampilan membaca dan menafsirkan grafik matematika dengan pemahaman kimia konseptual, serta menanamkan pengertian mendalam tentang bagaimana bentuk grafik menginformasikan perilaku sistem kimia yang sesungguhnya (Rodriguez dkk. 2019).

Perbandingan Penurunan Konsentrasi Orde Nol, Satu, dan Dua

Simulasi grafik gabungan reaksi kimia orde nol, satu, dan dua memberikan ilustrasi visual yang kuat mengenai perbedaan karakteristik matematis dan kinetika dari masing-masing jenis reaksi. Dengan menggunakan nilai yang sama untuk konsentrasi awal $[A]_0=10$ dan konstanta laju reaksi $k=0,5$, ketiga kurva ditampilkan pada satu bidang koordinat dengan sumbu-x sebagai waktu (t) dan sumbu-y sebagai konsentrasi pereaksi $[A]_t$. Grafik Perbandingan penurunan konsentrasi orde nol, satu, dan dua dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan penurunan konsentrasi orde nol, satu, dan dua

Reaksi orde nol menghasilkan garis lurus menurun, sesuai dengan persamaan:

$$[A]_t = [A]_0 - kt$$

Grafik menunjukkan penurunan konsentrasi yang linear dari 10 hingga 0 dalam waktu 20 satuan. Penurunan ini konstan karena laju reaksi tidak tergantung pada konsentrasi. Pada $t=20$ s, pereaksi benar-benar habis, membentuk garis yang menyentuh sumbu x secara tegas.

Reaksi orde satu menghasilkan kurva eksponensial menurun, mengikuti persamaan:

$$[A]_t = [A]_0 \cdot e^{-kt}$$

Kurva ini lebih tajam di awal dibandingkan reaksi orde nol, namun semakin melandai seiring waktu (Zumdahl dan Zumdahl 2015). Artinya, laju reaksi tinggi pada awal ketika konsentrasi masih besar, lalu menurun

eksponensial. Pada $t=20$ s, konsentrasi belum mencapai nol, tetapi mendekati nilai sangat kecil (sekitar 0,045), memperlihatkan bahwa reaksi tidak pernah benar-benar selesai secara matematis.

Reaksi orde dua mengikuti bentuk kurva rasional menurun, dengan persamaan:

$$[A]_t = \frac{1}{\frac{1}{[A]_0} + kt}$$

Kurva ini menunjukkan penurunan paling drastis pada waktu awal karena pengaruh kuadrat dari konsentrasi. Namun, setelah penurunan cepat tersebut, grafik melandai lebih tajam daripada orde satu. Menariknya, grafik ini awalnya berada di bawah grafik orde satu, tetapi kemudian dipotong dan dilampaui oleh grafik orde dua pada waktu tertentu (sekitar $t=6,2$ s). Nilai t saat grafik orde satu dan orde dua bisa diprediksi dengan perhitungan:

$$[A]_t = \frac{1}{\frac{1}{[A]_0} + kt} \dots (\text{orde 1})$$

$$[A]_t = [A]_0 \cdot e^{-kt} \dots (\text{orde 2})$$

$$[A]_t (\text{orde 2}) = [A]_t (\text{orde 1})$$

$$\frac{1}{\frac{1}{[A]_0} + k2t} = [A]_0 \cdot e^{-k1t}$$

$$\frac{1}{[A]_0} + k2t = \frac{1}{[A]_0 e^{-k1t}}$$

$$\frac{1}{[A]_0} + k2t = \frac{1}{[A]_0} e^{k1t}$$

$$\frac{1 + [A]_0 k2t}{e^{k1t} - [A]_0 k2t} = 1$$

Ketiga grafik memberikan wawasan penting tentang bagaimana jenis reaksi memengaruhi laju konsumsi pereaksi. Secara visual, peserta didik dapat memahami bahwa pada:

- reaksi orde nol, konsentrasi pereaksi habis dalam waktu tertentu dan memiliki penurunan yang stabil;
- reaksi orde satu, laju penurunan lebih fleksibel dan konsentrasi pereaksi tidak pernah benar-benar habis, juga diketahui memiliki laju penurunan tinggi di awal waktu yang kemudian melemah; dan
- reaksi orde dua, laju penurunan sangat cepat di awal waktu (saat konsentrasi tinggi), tetapi kian melambat saat konsentrasi rendah, serta berperilaku unik karena dipengaruhi secara kuadrat oleh konsentrasi.

Analisis grafik gabungan ini sangat bermanfaat untuk pembelajaran terpadu antara kimia dan matematika. Dari sisi matematika, peserta didik berhadapan dengan grafik linear, eksponensial, dan tiga bentuk fungsi yang fundamental matematika. Sementara dari sisi kimia, peserta didik dapat

menanamkan intuisi bagaimana reaksi kimia berlangsung dalam berbagai kondisi kinetika (Orhun 2012).

Secara konseptual, grafik gabungan ini juga membuka ruang diskusi untuk memahami reaksi di kehidupan nyata. Sebagai contoh, fotodegradasi zat warna di permukaan katalis sering menunjukkan karakter orde nol karena keterbatasan situs aktif, sementara peluruhan radioaktif atau reaksi metabolik mengikuti orde satu, dan reaksi bimolekuler sering bersifat orde dua. Oleh karena itu, memahami perbedaan bentuk grafik ini tidak hanya mendukung penyelesaian soal, tetapi juga memberi kerangka berpikir saintifik yang mendalam dan aplikatif (Orhun 2012).

Kesimpulan

Simulasi grafik laju reaksi kimia berdasarkan orde nol, satu, dan dua memberikan gambaran visual yang jelas tentang bagaimana konsentrasi pereaksi berubah terhadap waktu. Reaksi orde nol menunjukkan penurunan konsentrasi secara linear, dengan laju reaksi konstan dan habis tepat pada waktu tertentu. Reaksi orde satu memperlihatkan penurunan eksponensial, mencerminkan peluruhan yang melambat seiring waktu, dan tidak pernah mencapai nol secara eksak. Sementara itu, reaksi orde dua menunjukkan penurunan yang sangat cepat pada awal waktu karena ketergantungannya terhadap kuadrat konsentrasi, namun melambat signifikan pada waktu-waktu selanjutnya. Ketiga grafik memperlihatkan bahwa karakteristik kinetika reaksi sangat bergantung pada orde reaksi, dan pemahaman terhadap bentuk kurva pada topik matematika dasar sangat penting dalam pendidikan kimia. Implikasi simulasi ini dapat menjembatani pemahaman peserta didik terhadap konsep laju reaksi yang abstrak dengan prinsip-prinsip kalkulus dasar. Pendekatan ini tidak hanya memperkaya pemahaman peserta didik terhadap fungsi matematis (linear, eksponensial, rasional) dalam konteks kimia, tetapi juga mengembangkan keterampilan analitis dan interpretatif mereka dalam pembelajaran sains terpadu. Kontribusi baru yang ditawarkan adalah demonstrasi penggunaan GeoGebra sebagai media interaktif yang efektif untuk mengintegrasikan kedua disiplin ilmu ini secara kontekstual dan bermakna, membantu peserta didik memahami bukan hanya cara menghitung, tetapi juga esensi fenomena kimia.

Daftar Pustaka

Afandy, Moh Azhar, dan Fikrah Dian Indrawati Sawali. 2024. "Adsorpsi Kromium Heksavalen Pada Larutan Aqueous Menggunakan Arang Kayu Teraktivasi Asam: Studi Isotherm Dan Kinetika." *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia* 8(1):1–14. doi:10.32493/jitk.v8i1.35315.

- Aziza, Mela. 2020. "Relearning the Calculus, Connecting It to Real-Life." *Wahana Matematika Dan Sains: Jurnal Matematika, Sains, Dan Pembelajarannya* 14(1):42–53. doi:10.23887/wms.v14i1.23144.
- Bain, Kinsey, Jon-Marc G. Rodriguez, dan Marcy H. Towns. 2018. "Zero-Order Chemical Kinetics as a Context To Investigate Student Understanding of Catalysts and Half-Life." *Journal of Chemical Education* 95(5):716–25. doi:10.1021/acs.jchemed.7b00974.
- Brown, Theodore L., H. Eugene LeMay Jr, Bruce E. Bursten, Catherine Murphy, Patrick Woodward, Steven Langford, Dalius Sagatys, dan Adrian George. 2013. *Chemistry: The Central Science*. Pearson Higher Education AU.
- Chang, Raymond, dan Kenneth A. Goldsby. 2015. *Chemistry*. McGraw-Hill Education.
- D. Tran, Hai, Dinh Quan Nguyen, Phuong T. Do, dan Uyen N. P. Tran. 2023. "Kinetics of Photocatalytic Degradation of Organic Compounds: A Mini-Review and New Approach." *RSC Advances* 13(25):16915–25. doi:10.1039/D3RA01970E.
- Etcuban, Jonathan Olores, dan Leonard Leonard. 2025. "GeoGebra: Its Effects on Education Students Attitudes, Motivation, and Performance in College Algebra." *Formatif: Jurnal Ilmiah Pendidikan MIPA* 15(1):13–24. doi:10.30998/formatif.v15i1.23138.
- Hubbe, Martin A., Saeid Azizian, dan Sigrid Douven. 2019. "Implications of Apparent Pseudo-Second-Order Adsorption Kinetics onto Cellulosic Materials: A Review." *BioResources* 14(3):7582–7626.
- Iparraguirre-Villanueva, Orlando, Cleoge Paulino-Moreno, Henry Chero-Valdivieso, Karina Espinola-Linares, dan Michael Cabanillas-Carbonell. 2023. "Integration of GeoGebra Calculator 3D with Augmented Reality in Mathematics Education for an Immersive Learning Experience." *14*. doi:10.3991/ijep.v14i3.47323.
- Orhun, Nevin. 2012. "Graphical Understanding in Mathematics Education: Derivative Functions and Students' Difficulties." *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 55:679–84. doi:10.1016/j.sbspro.2012.09.551.
- Plante, Ianik, dan Luc Devroye. 2017. "Considerations for the independent reaction times and step-by-step methods for radiation chemistry

simulations.” *Radiation Physics and Chemistry* 139:157–72. doi:10.1016/j.radphyschem.2017.03.021.

Putra, Aan, M. Hafis, Laswadi Laswadi, dan Mesi Oktafia. 2020. “Gallery of Learning with Geogebra: Does It Affect Students’ Learning Motivation? | Indonesian Journal of Science and Mathematics Education.”

https://ejournal.radenintan.ac.id/index.php/IJSME/article/view/6506?utm_source=chatgpt.com.

Rodriguez, Jon-Marc G., Kinsey Bain, Marcy H. Towns, Maja Elmgren, dan Felix M. Ho. 2019. “Covariational Reasoning and Mathematical Narratives: Investigating Students’ Understanding of Graphs in Chemical Kinetics.” *Chemistry Education Research and Practice* 20(1):107–19. doi:10.1039/C8RP00156A.

Rodriguez, Jon-Marc G., A. Rayford Harrison, dan Nicole M. Becker. 2020. “Analyzing Students’ Construction of Graphical Models: How Does Reaction Rate Change Over Time?” *Journal of Chemical Education* 97(11):3948–56. doi:10.1021/acs.jchemed.0c01036.

Rushton, Gregory T., Brett A. Criswell, Nicole D. McAllister, Samuel J. Polizzi, Lamesha A. Moore, dan Michelle S. Pierre. 2014. “Charting an Alternate Pathway to Reaction Orders and Rate Laws in Introductory Chemistry Courses.” *Journal of Chemical Education* 91(1):66–73. doi:10.1021/ed3006743.

Santoso, Teguh, Deni Yuliani, dan Khusnul Arisma. 2024. “Interactive Learning Using Geogebra Software to Increase Motivation of Native Papuan Students in Learning Mathematics.” *AKSIOMA: Jurnal Program Studi Pendidikan Matematika* 13(4):1228–36. doi:10.24127/ajpm.v13i4.9654.

Widarti, Hayuni Retno, Sri Yamtinah, Mawardi Mawardi, Deni Ainur Rokhim, Ari Syahidul Siddiq, Afis Baghiz Syafruddin, Titin Sriwahyuni, Zalfa Adhya Rachmanita, Elvira Risva Firda Amalia, Allykha Baharsyah, dan Tria Anggraini. 2022. “Analysis Understanding Participant Educate to Theory Rate Reaction.” *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA* 8(6):3027–33. doi:10.29303/jppipa.v8i6.2462.

Widyastiti, Maya, Yusma Yanti, Amar Sumarsa, dan Layla Durrotul Faizah. 2024. “Utilization of Geogebra Application as Learning Media in Learning The Three-Dimensional to Increase Students’ Interest in

Learning.” *Hipotenusa: Journal of Mathematical Society* 6(1):1–11. doi:10.18326/hipotenusa.v6i1.815.

Ziatdinov, Rushan, dan James R. Valles. 2022. “Synthesis of Modeling, Visualization, and Programming in GeoGebra as an Effective Approach for Teaching and Learning STEM Topics.” *Mathematics* 10(3):398. doi:10.3390/math10030398.

Zumdahl, Steven S., dan Susan A. Zumdahl. 2015. *Chemistry: An Atoms First Approach*. Cengage Learning.