



TEMPLATE

Kinetika Adsorpsi Metilen Biru pada Karbon Aktif

Nama⁸, Nama⁸, Nama⁸,
Nama⁸, Nama⁸

⁸Departemen Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

Dinamika Kimia B

Abstrak (maksimal 250 kata) (Nama - NRP)

Keywords: *Energi, Temperatur, .. (3-5 kata)*

1. Pendahuluan (Nama - NRP)

(Latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat)

2. Tinjauan Pustaka (Nama - NRP)

2.1. Sesuai ketentuan aslab masing2

3. Eksperimental (Nama - NRP)

3.1 Alat

3.2 Bahan

3.3 Metode Eksperimen

3.4 Diagram Alir

4. Hasil dan Pembahasan (Nama - NRP)

4.1 Hasil Eksperimen (menyajikan data hasil percobaan dengan visualisasi data)

4.2 Pembahasan (membahas hasil percobaan sesuai ketentuan aslab masing2)

5. Kesimpulan

(menjawab rumusan masalah)

Referensi [IEEE] (max 15 tahun)

[1] Chang, Raymond. 2010. *Kimia Dasar : Konsep-konsep Inti*. Jakarta: Erlangga.

[2] ...

Lampiran

Berisi diagram alir, laporan sementara, dan dokumentasi

Note :

Jurnal : Bab 1 (Pendahuluan), Bab 2 (Tinjauan Pustaka), Bab 3 (Eksperimental), Referensi

Laporan : Abstrak, Bab 3 (Hasil dan Pembahasan), Bab 4 (Kesimpulan), Lampiran, Referensi

Kertas A4, rata kiri kanan (justify), margin 2,54 cm (kanan, kiri, atas, bawah), spasi 1.15, jika ada gambar/tabel diberikan caption. Font TNR 11



TEMPLATE JOURNAL

Judul Judul

Damar Aditya Nugraha¹, Wafiq Alsa Quelok², Tsania Chandra Kirana³,
Alexa Zerlinda Mahendro⁴, Daris Fakhruudin Wibowo⁵

¹²³⁴⁵Departemen Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

Dinamika Kimia A

1. Pendahuluan

- 1.1 Latar Belakang (Nama - NRP)
- 1.2 Tujuan (Nama - NRP)
- 1.3 Rumusan Masalah (Nama - NRP)
- 1.4 Manfaat (Nama - NRP)

2. Tinjauan Pustaka (Nama - NRP)

- 2.1.
- 2.2
- 2.3
- 2.4

3. Eksperimental





- 3.1 Alat (Nama - NRP)
- 3.2 Bahan (Nama - NRP)
- 3.3 Metode Eksperimen (Nama - NRP)
- 3.4 Diagram Alir (Nama - NRP)

Referensi [IEEE] (max 15 tahun)

- [1]
- [2]
- [3]
- [4]
- [5]
- [6]



JOBDESK

MODUL :  Modul Praktikum Dinamika Kimia 2026.pdf
 JADWAL & KELOMPOK :  Pembagian Kelompok Dinkim 2026.xlsx
 Pengerjaan :  KEL 6 DINAMIKA KIMIA 2026
 LOGO POSTER :  logo.png
 PENGUMPULAN
 JURNAL/LAPORAN :
https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfjDOIE3x5OkofaRXRN7cZsry8_I31GVBX6iFpJ7I9pGeZImQ/viewform
 POSTER :
https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSeZEF82s3JsiY0nOeR0DoFjspOJEjoI_ilXFWth4sJBNKgiqw/viewform

PERCOBAAN	JURNAL				
	Latar Belakang	Rumusan Masalah, Tujuan, Manfaat + Alat & Bahan	Tinjauan Pustaka	Metode Eksperimen	Diagram Alir
P3	ALSA	TSANIA	DARIS	DAMAR	ALEXA
P4	ALEXA	ALSA	TSANIA	DARIS	DAMAR
P5	DAMAR	ALEXA	ALSA	TSANIA	DARIS
P1	DARIS	DAMAR	ALEXA	ALSA	TSANIA
P2	TSANIA	DARIS	DAMAR	ALEXA	ALSA

PERCOBAAN	LAPORAN				
	Hasil (Data, Perhitungan & Grafik)	Pembahasan		Kesimpulan + Lampiran	Abstrak
P3	TSANIA	DARIS	DAMAR	ALSA	ALEXA
P4	ALEXA	TSANIA	DARIS	DAMAR	ALSA
P5	ALSA	ALEXA	TSANIA	DARIS	DAMAR
P1	DAMAR	ALSA	ALEXA	TSANIA	DARIS
P2	DARIS	DAMAR	ALSA	ALEXA	TSANIA

PERCOBAAN	POSTER				
	Latar Belakang	Tujuan, Manfaat, Kesimpulan	Tinjauan Pustaka	Metode	Hasil
P3	DARIS	ALEXA	TSANIA	DAMAR	ALSA
P4	ALSA	DARIS	ALEXA	TSANIA	DAMAR
P5	DAMAR	ALSA	DARIS	ALEXA	TSANIA
P1	TSANIA	DAMAR	ALSA	DARIS	ALEXA
P2	ALEXA	TSANIA	DAMAR	ALSA	DARIS

✓ JURNAL P3

Produksi Gas Hidrogen (H₂) Menggunakan Katalis Logam Al dalam Larutan HCl

Damar Aditya Nugraha¹, Wafiq Alsa Quelok², Tsania Chandra Kirana³,
Alexa Zerlinda Mahendro⁴, Daris Fakhruddin Wibowo⁵

¹²³⁴⁵Departemen Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

Dinamika Kimia A

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang (Wafiq Alsa Quelok - 5004241060)

Kemajuan industri modern tidak terlepas dari peran berbagai proses kimia untuk memproduksi energi dan material yang menunjang kebutuhan masyarakat. Namun, industri saat ini sebagian besar masih bergantung pada sumber energi fosil yang menghasilkan berbagai emisi gas berbahaya. Pada tahun 2023, Dewan Energi Nasional (DEN) menyatakan bahwa bauran energi di Indonesia didominasi oleh energi fosil, yaitu 86,91% dari total bauran energi nasional [1]. Kondisi tersebut mendorong perlunya pengembangan sumber energi yang lebih bersih dan berkelanjutan, seperti gas hidrogen (H₂). Gas Hidrogen berpotensi menjadi sumber energi bersih alternatif pengganti energi fosil [2].

Meskipun berpotensi sebagai sumber energi bersih, proses produksi hidrogen tidak selalu berlangsung secara efisien. Beberapa metode produksi hidrogen membutuhkan energi yang cukup besar atau memerlukan kondisi reaksi tertentu agar dapat berlangsung secara optimal. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk memahami berbagai metode pembentukan hidrogen yang efektif dengan mempelajari faktor-faktor yang dapat memengaruhi proses pembentukannya. Salah satu metode untuk produksi gas hidrogen adalah melalui reaksi antara logam dan larutan asam. Salah satu logam yang dapat mendukung produksi hidrogen adalah Aluminium (Al) yang dapat bereaksi dengan larutan asam klorida (HCl) dan menghasilkan aluminium klorida serta gas hidrogen sesuai dengan reaksi berikut: $2\text{Al(s)} + 6\text{HCl(aq)} \rightarrow 2\text{AlCl}_3\text{(aq)} + 3\text{H}_2\text{(g)}$.

Dalam kinetika kimia, kecepatan suatu reaksi dinyatakan sebagai laju reaksi, yaitu perubahan konsentrasi reaktan atau produk terhadap waktu [3]. Secara umum, laju reaksi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain konsentrasi reaktan, suhu, luas permukaan zat padat, serta keberadaan katalis. Peningkatan konsentrasi reaktan dapat meningkatkan frekuensi tumbukan antar partikel, sedangkan kenaikan suhu dapat meningkatkan energi kinetik partikel sehingga peluang terjadinya tumbukan efektif menjadi lebih besar. Selain itu, pada reaksi yang melibatkan zat padat seperti aluminium, luas permukaan logam juga berperan penting karena semakin luas permukaan yang kontak dengan larutan, semakin banyak partikel yang dapat bereaksi [4].

Sejalan dengan hal tersebut, pada reaksi yang menghasilkan gas, laju reaksi dapat dipantau melalui perubahan volume gas yang terbentuk terhadap waktu. Data perubahan volume gas tersebut kemudian dapat digunakan untuk menentukan laju reaksi serta menganalisis orde reaksi. Oleh karena itu, percobaan ini dilakukan untuk mempelajari pembentukan gas hidrogen dari reaksi antara aluminium dan larutan HCl dengan memvariasikan beberapa kondisi reaksi. Dengan demikian, dapat ditentukan laju reaksi serta orde reaksi dari sistem reaksi tersebut.

1.2 Tujuan (Tsania Chandra Kirana - 5004241077)

Tujuan dari percobaan Produksi Gas Hidrogen (H_2) Menggunakan Katalis Logam Al dalam Larutan HCl adalah untuk menentukan laju dan orde reaksi dari pembentukan gas hidrogen menggunakan katalis logam Al dalam larutan HCl.

1.3 Rumusan Masalah (Tsania Chandra Kirana - 5004241077)

Rumusan masalah pada percobaan ini adalah bagaimana laju reaksi pembentukan gas hidrogen pada reaksi antara logam Al dan larutan HCl serta berapa orde reaksi pada pembentukan gas hidrogen dari reaksi tersebut.

1.4 Manfaat (Tsania Chandra Kirana - 5004241077)

Percobaan ini bermanfaat untuk meningkatkan pemahaman mengenai konsep kinetika reaksi, khususnya dalam menentukan laju reaksi dan orde reaksi pada pembentukan gas hidrogen dari reaksi antara aluminium dan larutan HCl. Selain itu, percobaan ini juga memberikan pemahaman mengenai pengaruh beberapa faktor terhadap laju reaksi, seperti konsentrasi reaktan dan luas permukaan logam. Melalui percobaan ini, praktikan dapat melatih kemampuan dalam melakukan pengamatan serta analisis data perubahan volume gas terhadap waktu, sehingga dapat digunakan untuk mempelajari proses pembentukan hidrogen sebagai salah satu sumber energi yang lebih bersih dan berkelanjutan.

2. Tinjauan Pustaka (Daris Fakhrudin Wibowo - 5004241080)

2.1. Laju Reaksi

Laju reaksi didefinisikan sebagai perubahan konsentrasi reaktan atau produk per satuan waktu, yang dapat diamati melalui dua indikator utama, yaitu berkurangnya konsentrasi pereaksi atau bertambahnya konsentrasi produk seiring berjalannya reaksi. Namun demikian, bagaimana laju reaksi dipengaruhi oleh perubahan konsentrasi pereaksi tidak dapat diprediksi hanya dengan melihat persamaan reaksi keseluruhan, melainkan harus ditentukan melalui percobaan empiris di laboratorium. Hubungan matematis yang menggambarkan ketergantungan laju reaksi terhadap konsentrasi pereaksi ini dikenal sebagai persamaan laju atau hukum laju, di mana terdapat suatu tetapan yang disebut tetapan laju (k) yang nilainya spesifik untuk setiap reaksi pada suhu tertentu. Sepanjang reaksi berlangsung, meskipun konsentrasi pereaksi terus berkurang dan menyebabkan laju reaksi semakin menurun, nilai tetapan laju (k) tetap konstan dan tidak berubah. Dengan demikian, tetapan laju k ini menjadi ukuran yang praktis untuk menyatakan kecepatan suatu reaksi; semakin besar nilai k , maka semakin cepat reaksi tersebut berlangsung, dan sebaliknya, semakin kecil nilai k , semakin lambat pula jalannya reaksi [3].

2.2 Orde Reaksi

Orde reaksi adalah jumlah dari seluruh eksponen konsentrasi dalam persamaan laju. Apabila laju reaksi kimia hanya bergantung pada konsentrasi satu pereaksi dengan pangkat satu, yaitu $Laju = k[A]$, maka reaksi tersebut disebut reaksi orde pertama. Sementara itu, jika laju berbanding lurus dengan kuadrat konsentrasi satu pereaksi ($Laju = k[A]^2$) atau merupakan hasil kali konsentrasi dua pereaksi dengan masing-masing berpangkat satu ($Laju = k[A][B]$), maka reaksi itu termasuk reaksi orde dua. Selain orde keseluruhan, dikenal juga orde reaksi terhadap masing-masing pereaksi. Misalnya, pada persamaan $Laju = k[A][B]$, reaksi tersebut berorde satu terhadap A dan berorde satu terhadap B, sehingga secara keseluruhan berorde dua. Ada pula kemungkinan suatu reaksi tidak bergantung pada konsentrasi pereaksi tertentu. Sebagai contoh,

dalam reaksi umum $A + B \rightarrow AB$, jika ternyata laju hanya dipengaruhi oleh konsentrasi A (orde satu terhadap A) dan perubahan konsentrasi B tidak memengaruhi laju, maka reaksi itu berorde nol terhadap B. Hal ini dapat dituliskan sebagai: $Laju = k[A][B]^0 = k[A]$. Orde suatu pereaksi tidak dapat diperoleh dari koefisien pereaksi dalam persamaan berimbang [3].

2.3 Katalis

Katalis merupakan senyawa kimia yang berfungsi mempercepat laju reaksi menuju titik kesetimbangan tanpa mengalami perubahan kimia permanen di akhir proses. Meskipun berperan dalam mempercepat reaksi, katalis tidak mengubah nilai kesetimbangan itu sendiri. Cara kerjanya adalah dengan menurunkan energi aktivasi, yaitu energi minimum yang diperlukan agar tumbukan antar partikel dapat menghasilkan reaksi. Dengan menurunnya hambatan energi ini, reaksi dapat berlangsung lebih cepat. Sepanjang proses, katalis tidak terikat atau menyatu dengan produk akhir, melainkan hanya memengaruhi aspek kinetika seperti laju reaksi, energi aktivasi, dan karakteristik keadaan transisi [5].

2.4 Kinetika

Kinetika reaksi adalah salah satu cabang dalam ilmu kimia yang secara khusus mempelajari laju reaksi serta berbagai faktor yang dapat memengaruhinya. Dalam konteks ini, laju atau kecepatan reaksi didefinisikan sebagai perubahan konsentrasi baik dari pereaksi (reaktan) maupun hasil reaksi (produk) dalam setiap satuan waktu tertentu. Dengan kata lain, laju reaksi dapat diamati melalui dua cara, yaitu seberapa cepat konsentrasi suatu pereaksi berkurang atau seberapa cepat konsentrasi suatu produk bertambah seiring berjalannya waktu. Kinetika reaksi juga dapat dipahami sebagai studi kuantitatif yang mengamati perubahan kadar suatu zat dari waktu ke waktu akibat berlangsungnya reaksi kimia. Kecepatan reaksi itu sendiri ditentukan oleh dua hal utama, yakni seberapa cepat produk terbentuk dan seberapa cepat reaktan habis bereaksi. Dalam persamaan laju, dikenal istilah tetapan kecepatan (K), yaitu faktor pembanding yang menunjukkan hubungan proporsional antara kecepatan reaksi dengan konsentrasi reaktan yang terlibat [6].

3. Eksperimental

3.1 Alat (Tsania Chandra Kirana - 5004241077)

Alat yang dibutuhkan untuk percobaan ini adalah 1 sumbat karet padat dengan ukuran diameter 16/21 mm, 1 klem universal dengan kapasitas penjepitan 0 sampai 80 mm, 1 pipet tetes ukuran 150 x 7 mm, 1 *rubber bulbs*, 1 labu ukur 100 mL, 1 labu erlenmeyer 200 mL, 1 *hotplate*, 1 silikon ukuran 50 cm, 1 pipet ukur 5 mL, dan 1 *aluminium foil*.

3.2 Bahan (Tsania Chandra Kirana - 5004241077)

Bahan yang dibutuhkan untuk percobaan ini adalah 1 larutan HCl 2 M dan 1 Aquades 100 mL.

3.3 Metode Eksperimen (Damar Aditya Nugraha - 5004241059)

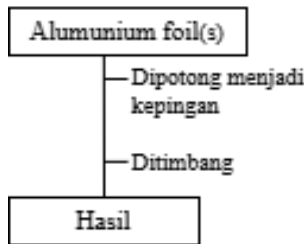
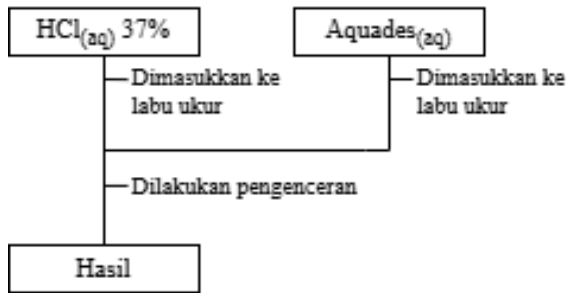
Percobaan produksi gas hidrogen dilakukan dengan mereaksikan *aluminium foil* dengan larutan asam klorida (HCl) menggunakan rangkaian alat berupa labu erlenmeyer 200 mL yang ditutup dengan sumbat karet dan dihubungkan melalui pipa kapiler serta selang silikon menuju pipet ukur 25 mL untuk mengukur volume gas yang terbentuk. Larutan HCl 2 M terlebih dahulu disiapkan dengan mengencerkan HCl 12 M menggunakan aquades hingga volume total 100 mL, kemudian digunakan untuk membuat variasi konsentrasi 0,75 M; 1 M; 1,25 M; dan 1,5 M yang dimasukkan ke dalam erlenmeyer. *Aluminium foil* yang telah dipotong dan dihancurkan kemudian

ditambahkan ke dalam larutan tersebut sehingga terjadi reaksi yang menghasilkan gas hidrogen yang ditandai dengan terbentuknya gelembung gas dan peningkatan volume pada pipet ukur yang diamati setiap selang waktu tertentu. Percobaan juga dilakukan dengan variasi suhu 30°C, 40°C, dan 50°C menggunakan *hotplate* untuk mengamati pengaruh temperatur terhadap laju reaksi, serta variasi ukuran *aluminium foil* 1 × 1 cm, 2 × 2 cm, dan 3 × 3 cm untuk mengkaji pengaruh luas permukaan terhadap pembentukan gas hidrogen, sehingga data perubahan volume gas terhadap waktu dapat digunakan untuk menentukan laju serta orde reaksi sesuai prinsip kinetika reaksi.

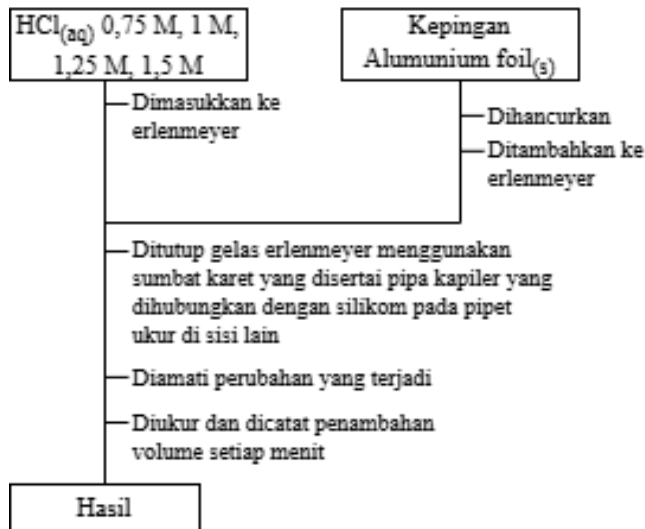
3.4 Diagram Alir (Alexa Zerlinda Mahendro - 5004241079)

Diagram alir pada percobaan ini adalah sebagai berikut.

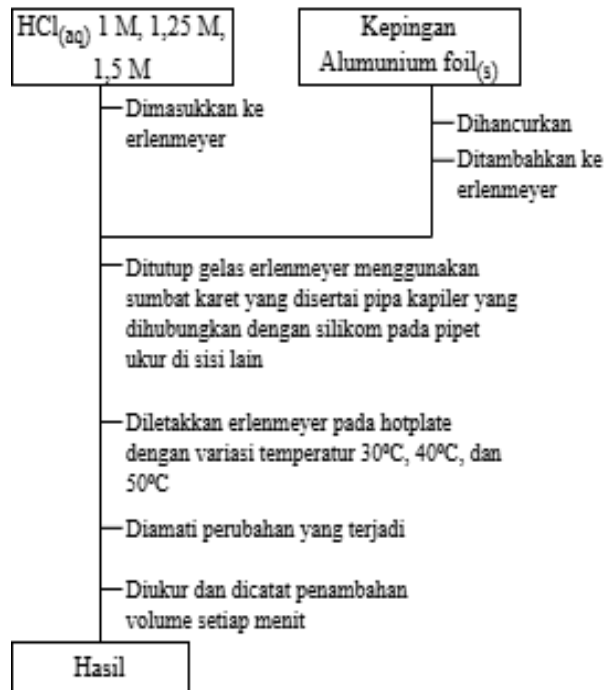
Persiapan



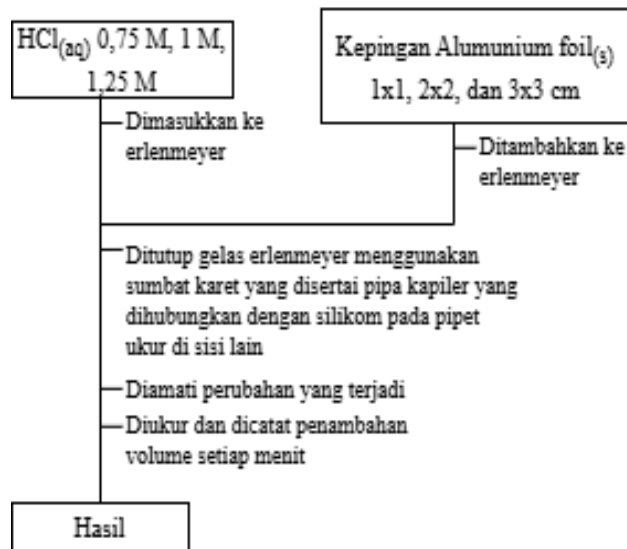
A. Pengaruh Konsentrasi Terhadap Laju Reaksi



B. Pengaruh Suhu Terhadap Laju Reaksi



C. Identifikasi Katalis



Gambar 1. Diagram Alir Percobaan

Referensi

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2024). SIARAN PERS Nomor: 55.Pers/04/SJI/2024, Pemerintah Kejar Tingkatkan Bauran EBT. Diakses pada 12 Maret 2026 pukul 21.08 WIB di <https://www.esdm.go.id/>.
- [2] Muhammad Younas, Sumeer Shafique, Ainy Hafeez, Fahad Javed, Fahad Rehman. (2022). An Overview of Hydrogen Production: Current Status, Potential, and Challenges. *Fuel*, 316.

<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123317>.

[3] Yuda, R. critian, Irdiansyah, & Prihatiningtyas, I. (2017). Studi Kinetika Pengaruh Suhu Terhadap Ekstraksi Minyak Atsiri Dari Kulit Jeruk Nipis Dengan Pelarut Etanol, 01(1), 22–26.

<http://dx.doi.org/10.30872/cmng.v1i1.1135>.

[4] P. Atkins, J. de Paula, and J. Keeler. (2018). Atkins Physical Chemistry, 11th ed. Oxford, UK: Oxford University Press.

[5] Putra, I. G. P. P. M., Iskandar Norman, & Sulardjaka. (2023). Pengaruh Persentase Binder Bentonit Terhadap Densitas Pelet Katalis Zeolit Alam. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 11(1), 44–47.

<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm/article/view/37744>.

[6] Sina, N. W. F., Sukmaria, A. A., & Redjeki, S. (2020). Kinetics Study of Fermentation Reaction from Corn Cobs Cellulose using Cellulase Enzyme at Batch Reactor. *ChemPro Journal*, 1(02), 14–19.

<https://doi.org/10.33005/chempro.v1i02.80>.

✓ LAPORAN P3

Produksi Gas Hidrogen (H₂) Menggunakan Katalis Logam Al dalam Larutan HCl

Damar Aditya Nugraha¹, Wafiq Alsa Quelok², Tsania Chandra Kirana³,
Alexa Zerlinda Mahendro⁴, Daris Fakhruddin Wibowo⁵

¹²³⁴⁵Departemen Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

Dinamika Kimia A

Abstrak (Alexa Zerlinda Mahendro - 5004241079)

Telah dilakukan percobaan produksi gas hidrogen (H₂) melalui reaksi antara Aluminium (Al) dengan larutan HCl untuk mempelajari kinetika reaksi. Percobaan ini bertujuan menentukan laju dan orde reaksi serta mengetahui pengaruh konsentrasi dan luas permukaan terhadap laju reaksi. Metode yang digunakan adalah mengamati perubahan volume gas hidrogen terhadap waktu pada variasi konsentrasi HCl sebesar 1,5 M serta variasi suhu 30°C, 40°C, 50°C. Hasil percobaan menunjukkan bahwa volume gas H₂ yang dihasilkan meningkat hingga 0,18 mL dalam waktu 540 detik dengan didapat laju reaksi sebesar $1,66 \times 10^{-4}$ mol/s. Laju reaksi meningkat seiring kenaikan konsentrasi dan suhu, dengan laju reaksi pada suhu 30°C, 40°C, dan 50°C berturut-turut sebesar $1,21 \times 10^{-4}$ mol/s, $1,02 \times 10^{-4}$ mol/s, $1,15 \times 10^{-4}$ mol/s. Berdasarkan analisis grafik, diperoleh bahwa reaksi antara Al dan larutan HCl mengikuti orde reaksi 0.

Keywords: Kinetika reaksi, Laju Reaksi, Orde reaksi, Konsentrasi, Suhu

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang (Wafiq Alsa Quelok - 5004241060)

Kemajuan industri modern tidak terlepas dari peran berbagai proses kimia untuk memproduksi energi dan material yang menunjang kebutuhan masyarakat. Namun, industri saat ini sebagian besar masih bergantung pada sumber energi fosil yang menghasilkan berbagai emisi gas berbahaya. Pada tahun 2023, Dewan Energi Nasional (DEN) menyatakan bahwa bauran energi di Indonesia didominasi oleh energi fosil, yaitu 86,91% dari total bauran energi nasional [1]. Kondisi tersebut mendorong perlunya pengembangan sumber energi pengganti fosil, yaitu energi yang lebih bersih dan berkelanjutan seperti gas hidrogen (H₂) [2].

Meskipun berpotensi sebagai sumber energi bersih, proses produksi hidrogen tidak selalu berlangsung secara efisien. Beberapa metode produksi hidrogen membutuhkan energi yang cukup besar atau memerlukan kondisi reaksi tertentu agar dapat berlangsung secara optimal. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk memahami berbagai metode pembentukan hidrogen yang efektif dengan mempelajari faktor-faktor yang dapat memengaruhi proses pembentukannya. Salah satu metode untuk produksi gas hidrogen adalah melalui reaksi antara logam dan larutan asam [3]. Salah satu logam yang dapat mendukung produksi hidrogen adalah Aluminium (Al) yang dapat bereaksi dengan larutan asam klorida (HCl) dan menghasilkan aluminium klorida serta gas hidrogen sesuai dengan reaksi berikut: $2\text{Al(s)} + 6\text{HCl(aq)} \rightarrow 2\text{AlCl}_3\text{(aq)} + 3\text{H}_2\text{(g)}$.

Dalam kinetika kimia, kecepatan suatu reaksi dinyatakan sebagai laju reaksi, yaitu perubahan konsentrasi reaktan atau produk terhadap waktu [4]. Secara umum, laju reaksi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain konsentrasi reaktan, suhu, luas permukaan zat padat, serta keberadaan katalis. Peningkatan konsentrasi reaktan dapat meningkatkan frekuensi tumbukan antar partikel, sedangkan kenaikan suhu dapat meningkatkan energi kinetik partikel sehingga peluang terjadinya tumbukan efektif menjadi lebih besar. Selain itu, pada reaksi yang

melibatkan zat padat seperti aluminium, luas permukaan logam juga berperan penting karena semakin luas permukaan yang kontak dengan larutan, semakin banyak partikel yang dapat bereaksi [5].

Sejalan dengan hal tersebut, pada reaksi yang menghasilkan gas, laju reaksi dapat dipantau melalui perubahan volume gas yang terbentuk terhadap waktu. Data perubahan volume gas tersebut kemudian dapat digunakan untuk menentukan laju reaksi serta menganalisis orde reaksi. Oleh karena itu, percobaan ini dilakukan untuk mempelajari pembentukan gas hidrogen dari reaksi antara aluminium dan larutan HCl dengan memvariasikan beberapa kondisi reaksi. Dengan demikian, dapat ditentukan laju reaksi serta orde reaksi dari sistem reaksi tersebut.

1.2 Tujuan (Tsania Chandra Kirana - 5004241077)

Tujuan dari percobaan Produksi Gas Hidrogen (H_2) Menggunakan Katalis Logam Al dalam Larutan HCl adalah untuk menentukan laju dan orde reaksi dari pembentukan gas hidrogen menggunakan katalis logam Al dalam larutan HCl.

1.3 Rumusan Masalah (Tsania Chandra Kirana - 5004241077)

Rumusan masalah pada percobaan ini adalah bagaimana laju reaksi pembentukan gas hidrogen pada reaksi antara logam Al dan larutan HCl serta berapa orde reaksi pada pembentukan gas hidrogen dari reaksi tersebut.

1.4 Manfaat (Tsania Chandra Kirana - 5004241077)

Percobaan ini bermanfaat untuk meningkatkan pemahaman mengenai konsep kinetika reaksi, khususnya dalam menentukan laju reaksi dan orde reaksi pada pembentukan gas hidrogen dari reaksi antara aluminium dan larutan HCl. Selain itu, percobaan ini juga memberikan pemahaman mengenai pengaruh beberapa faktor terhadap laju reaksi, seperti konsentrasi reaktan dan luas permukaan logam. Melalui percobaan ini, praktikan dapat melatih kemampuan dalam melakukan pengamatan serta analisis data perubahan volume gas terhadap waktu, sehingga dapat digunakan untuk mempelajari proses pembentukan hidrogen sebagai salah satu sumber energi yang lebih bersih dan berkelanjutan.

2. Tinjauan Pustaka (Daris Fakhruddin Wibowo - 5004241080)

2.1. Laju Reaksi

Laju reaksi didefinisikan sebagai perubahan konsentrasi reaktan atau produk per satuan waktu, yang dapat diamati melalui dua indikator utama, yaitu berkurangnya konsentrasi pereaksi atau bertambahnya konsentrasi produk seiring berjalannya reaksi. Namun demikian, bagaimana laju reaksi dipengaruhi oleh perubahan konsentrasi pereaksi tidak dapat diprediksi hanya dengan melihat persamaan reaksi keseluruhan, melainkan harus ditentukan melalui percobaan empiris di laboratorium. Hubungan matematis yang menggambarkan ketergantungan laju reaksi terhadap konsentrasi pereaksi ini dikenal sebagai persamaan laju atau hukum laju, di mana terdapat suatu tetapan yang disebut tetapan laju (k) yang nilainya spesifik untuk setiap reaksi pada suhu tertentu. Sepanjang reaksi berlangsung, meskipun konsentrasi pereaksi terus berkurang dan menyebabkan laju reaksi semakin menurun, nilai tetapan laju (k) tetap konstan dan tidak berubah. Dengan demikian, tetapan laju k ini menjadi ukuran yang praktis untuk menyatakan kecepatan suatu reaksi; semakin besar nilai k , maka semakin cepat reaksi tersebut berlangsung, dan sebaliknya, semakin kecil nilai k , semakin lambat pula jalannya reaksi [4].

2.2 Orde Reaksi

Orde reaksi adalah jumlah dari seluruh eksponen konsentrasi dalam persamaan laju. Apabila laju reaksi kimia hanya bergantung pada konsentrasi satu pereaksi dengan pangkat satu, yaitu

$$\text{Laju} = k[A] \quad (1)$$

maka reaksi tersebut disebut reaksi orde pertama. Sementara itu, jika laju berbanding lurus dengan kuadrat konsentrasi satu pereaksi

$$(\text{Laju} = k[A]^2) \quad (2)$$

atau merupakan hasil kali konsentrasi dua pereaksi dengan masing-masing berpangkat satu

$$(\text{Laju} = k[A][B]) \quad (3)$$

maka reaksi itu termasuk reaksi orde dua. Selain orde keseluruhan, dikenal juga orde reaksi terhadap masing-masing pereaksi. Misalnya, pada persamaan (3) reaksi tersebut berorde satu terhadap A dan berorde satu terhadap B, sehingga secara keseluruhan berorde dua. Ada pula kemungkinan suatu reaksi tidak bergantung pada konsentrasi pereaksi tertentu. Sebagai contoh, dalam reaksi umum $A + B \rightarrow AB$, jika ternyata laju hanya dipengaruhi oleh konsentrasi A (orde satu terhadap A) dan perubahan konsentrasi B tidak memengaruhi laju, maka reaksi itu berorde nol terhadap B. Hal ini dapat dituliskan sebagai:

$$\text{Laju} = k[A][B]^0 = k[A] \quad (4)$$

Orde suatu pereaksi tidak dapat diperoleh dari koefisien pereaksi dalam persamaan berimbang [4].

2.3 Katalis

Katalis merupakan senyawa kimia yang berfungsi mempercepat laju reaksi menuju titik kesetimbangan tanpa mengalami perubahan kimia permanen di akhir proses. Meskipun berperan dalam mempercepat reaksi, katalis tidak mengubah nilai kesetimbangan itu sendiri. Cara kerjanya adalah dengan menurunkan energi aktivasi, yaitu energi minimum yang diperlukan agar tumbukan antar partikel dapat menghasilkan reaksi. Dengan menurunnya hambatan energi ini, reaksi dapat berlangsung lebih cepat. Sepanjang proses, katalis tidak terikat atau menyatu dengan produk akhir, melainkan hanya memengaruhi aspek kinetika seperti laju reaksi, energi aktivasi, dan karakteristik keadaan transisi [6].

2.4 Kinetika

Kinetika reaksi adalah salah satu cabang dalam ilmu kimia yang secara khusus mempelajari laju reaksi serta berbagai faktor yang dapat memengaruhinya. Dalam konteks ini, laju atau kecepatan reaksi didefinisikan sebagai perubahan konsentrasi baik dari pereaksi (reaktan) maupun hasil reaksi (produk) dalam setiap satuan waktu tertentu. Dengan kata lain, laju reaksi dapat diamati melalui dua cara, yaitu seberapa cepat konsentrasi suatu pereaksi berkurang atau seberapa cepat konsentrasi suatu produk bertambah seiring berjalannya waktu. Kinetika reaksi juga dapat dipahami sebagai studi kuantitatif yang mengamati perubahan kadar suatu zat dari waktu ke waktu akibat berlangsungnya reaksi kimia. Kecepatan reaksi itu sendiri ditentukan oleh dua hal utama, yakni seberapa cepat produk terbentuk dan seberapa cepat reaktan habis bereaksi. Dalam persamaan laju, dikenal istilah tetapan kecepatan (K), yaitu faktor pembanding yang menunjukkan hubungan proporsional antara kecepatan reaksi dengan konsentrasi reaktan yang terlibat [7].

3. Eksperimental

3.1 Alat (Tsania Chandra Kirana - 5004241077)

Alat yang dibutuhkan untuk percobaan ini adalah 1 sumbat karet padat dengan ukuran diameter 16/21 mm, 1 klem universal dengan kapasitas penjepitan 0 sampai 80 mm, 1 pipet tetes ukuran 150 x 7 mm, 1 *rubber bulbs*, 1 labu ukur 100 mL, 1 labu erlenmeyer 200 mL, 1 *hotplate*, 1 silikon ukuran 50 cm, 1 pipet ukur 5 mL, dan 1 *aluminium foil*.

3.2 Bahan (Tsania Chandra Kirana - 5004241077)

Bahan yang dibutuhkan untuk percobaan ini adalah 1 larutan HCl 2 M dan 1 Aquades 100 mL.

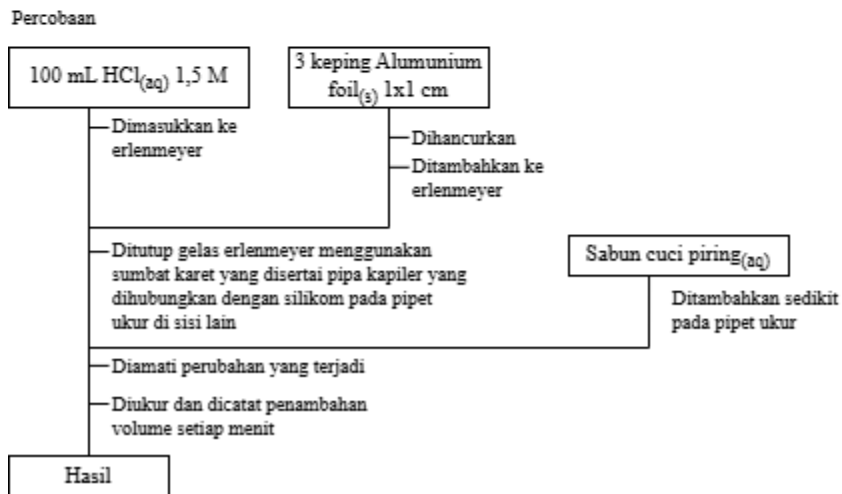
3.3 Metode Eksperimen (Damar Aditya Nugraha - 5004241059)

Percobaan produksi gas hidrogen dilakukan dengan mereaksikan *aluminium foil* dengan larutan asam klorida (HCl) menggunakan rangkaian alat berupa labu erlenmeyer 200 mL yang ditutup dengan sumbat karet dan dihubungkan melalui pipa kapiler serta selang silikon menuju pipet ukur 25 mL untuk mengukur volume gas yang terbentuk. Larutan HCl 2 M terlebih dahulu disiapkan dengan mengencerkan HCl 12 M menggunakan aquades hingga volume total 100 mL, kemudian digunakan untuk membuat variasi konsentrasi 0,75 M; 1 M; 1,25 M; dan 1,5 M yang dimasukkan ke dalam erlenmeyer. *Aluminium foil* yang telah dipotong dan dihancurkan kemudian ditambahkan ke dalam larutan tersebut sehingga terjadi reaksi yang menghasilkan gas hidrogen yang ditandai dengan terbentuknya gelembung gas dan peningkatan volume pada pipet ukur yang diamati setiap selang waktu tertentu. Percobaan juga dilakukan dengan variasi suhu 30°C, 40°C, dan 50°C menggunakan *hotplate* untuk mengamati pengaruh temperatur terhadap laju reaksi, serta variasi ukuran *aluminium foil* 1 × 1 cm, 2 × 2 cm, dan 3 × 3 cm untuk mengkaji pengaruh luas permukaan terhadap pembentukan gas hidrogen, sehingga data perubahan volume gas terhadap waktu dapat digunakan untuk menentukan laju serta orde reaksi sesuai prinsip kinetika reaksi.

3.4 Diagram Alir (Alexa Zerlinda Mahendro - 5004241079)

Diagram alir pada percobaan ini adalah sebagai berikut.





Gambar 1. Diagram Alir Percobaan

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Eksperimen (Tsanja Chandra Kirana - 5004241077)

Dari percobaan yang telah dilakukan, diperoleh data volume dengan pengaruh suhu dan konsentrasi HCl (aq) 1,5 M yang telah digunakan.

4.1.1 Data Hasil Pengamatan Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M

Berikut merupakan data hasil pengamatan Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M terhadap Volume dan waktu.

Tabel 1. Data Pengaruh Konsentrasi terhadap Waktu

No	Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M	
	t (s)	V (mL)
1	60	0
2	120	0,05
3	180	0,10
4	240	0,10
5	300	0,15
6	360	0,17
7	420	0,18
8	480	0,17

9	540	0,18
---	-----	------

4.1.2 Data Hasil Pengamatan Suhu

Berikut merupakan data hasil pengamatan pengaruh suhu dengan variasi 30 C, 40 C, dan 50 C.

Tabel 2. Data Pengaruh Konsentrasi terhadap Suhu

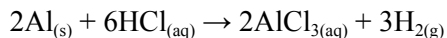
30 C		40 C		50 C	
t (S)	V (mL)	t (S)	V (mL)	t (S)	V (mL)
10	10	10	30	10	50
20	30	20	60	20	100
30	50	30	90	30	150
40	80	40	120	40	200
50	110	50	150	50	250
60	150	60	190	60	290
70	190	70	230	70	320
80	235	80	270	80	340
90	280	90	315	90	350
100	325	100	355	100	355
110	355	110	385	110	355
120	385	120	405	120	355
130	410	130	415	130	355
140	435	140	420	140	355
150	435	150	425	150	355
160	435	160	425	160	355
170	435	170	425	170	355
180	435	180	425	180	355

4.2 Pembahasan

4.2.1 Konsep dan Prinsip Percobaan (Damar Aditya Nugraha - 5004241059)

Percobaan ini berjudul Produksi Gas Hidrogen (H_2) menggunakan logam aluminium dalam larutan HCl yang bertujuan untuk mempelajari laju reaksi pembentukan gas hidrogen melalui reaksi antara logam aluminium dan larutan asam klorida, sekaligus mengkaji pengaruh beberapa faktor seperti konsentrasi, suhu, dan luas permukaan terhadap kecepatan reaksi. Secara umum, percobaan ini dilakukan dengan mereaksikan aluminium foil dengan larutan HCl yang

telah diencerkan dari HCl pekat (12 M) menggunakan aquades untuk memperoleh variasi konsentrasi tertentu. Pengenceran dilakukan agar konsentrasi ion H⁺ dapat dikontrol sehingga pengaruhnya terhadap laju reaksi dapat diamati secara sistematis. Dalam reaksi ini, aluminium berperan sebagai reduktor yang mengalami oksidasi menjadi Al³⁺, sedangkan ion H⁺ dari HCl mengalami reduksi menjadi gas hidrogen (H₂), sesuai reaksi:



Aluminium foil digunakan sebagai sumber logam karena mudah bereaksi dengan asam dan memiliki permukaan yang dapat dimodifikasi; aluminium yang dihancurkan memberikan luas permukaan lebih besar dibandingkan yang utuh sehingga frekuensi tumbukan efektif meningkat dan laju reaksi menjadi lebih cepat. Pemilihan HCl sebagai pereaksi didasarkan pada kemampuannya menyediakan ion H⁺ dalam jumlah besar yang berperan langsung dalam pembentukan gas hidrogen, sehingga semakin tinggi konsentrasi HCl, semakin besar kemungkinan terjadinya tumbukan efektif antar partikel [3].

Selama reaksi berlangsung, aluminium melepaskan elektron yang kemudian digunakan untuk mereduksi ion H⁺ menjadi gas H₂ yang tampak sebagai gelembung pada permukaan logam. Gas yang terbentuk dialirkan melalui rangkaian alat menuju pipet ukur sehingga volumenya dapat diukur sebagai fungsi waktu untuk menentukan laju reaksi. Rangkaian alat disusun sedemikian rupa agar sistem tertutup dan tidak terjadi kebocoran gas, di mana Erlenmeyer berfungsi sebagai tempat berlangsungnya reaksi, sumbat karet menjaga sistem tetap kedap, pipa kapiler dan selang silikon sebagai jalur aliran gas, serta pipet ukur untuk mengukur volume gas hidrogen yang dihasilkan. Variasi perlakuan dilakukan untuk mengkaji faktor-faktor kinetika, yaitu perubahan konsentrasi HCl untuk melihat pengaruh jumlah partikel reaktan, peningkatan suhu menggunakan *hotplate* untuk meningkatkan energi kinetik partikel sehingga tumbukan efektif lebih sering terjadi, serta variasi luas permukaan aluminium untuk memperbesar area kontak reaksi. Melalui pengaturan kondisi tersebut, diharapkan diperoleh hubungan yang jelas antara perubahan kondisi reaksi dengan laju pembentukan gas hidrogen sebagai dasar analisis kinetika reaksi [8].

Selama pelaksanaan praktikum, terdapat perlakuan tambahan berupa penambahan aluminium foil sebanyak 2–3 keping pada saat reaksi berlangsung, yang dilakukan setelah pengamatan awal menunjukkan laju pembentukan gas hidrogen relatif lambat. Penambahan ini dilakukan untuk meningkatkan luas permukaan reaktan sekaligus jumlah situs aktif tempat terjadinya reaksi, sehingga frekuensi tumbukan efektif antara aluminium dan ion H⁺ meningkat. Secara teoritis, semakin besar luas permukaan dan jumlah reaktan yang tersedia, maka laju reaksi akan semakin cepat karena lebih banyak partikel yang dapat berinteraksi dalam satuan waktu. Setelah penambahan aluminium, diamati bahwa pembentukan gelembung gas hidrogen menjadi lebih intens dan volume gas meningkat lebih cepat dibandingkan sebelum penambahan, yang menunjukkan adanya peningkatan laju reaksi. Hal ini sejalan dengan prinsip kinetika bahwa peningkatan jumlah reaktan padat dalam sistem heterogen dapat mempercepat reaksi akibat bertambahnya area kontak [9].

Namun demikian, penambahan aluminium juga berpotensi menyebabkan ketidakkonsistenan data apabila tidak dikontrol dengan baik, terutama dalam perbandingan antar percobaan, karena jumlah reaktan tidak lagi konstan sejak awal. Selain itu, jika penambahan dilakukan di tengah reaksi, maka kurva volume terhadap waktu dapat menunjukkan perubahan kemiringan yang tidak merepresentasikan kondisi awal sistem. Oleh karena itu, perlakuan ini perlu dicatat secara jelas dalam metode dan pembahasan, serta dipertimbangkan dalam

interpretasi hasil. Dalam penelitian terkait produksi hidrogen menggunakan logam aluminium, peningkatan luas permukaan dan jumlah aluminium terbukti secara signifikan meningkatkan laju evolusi gas hidrogen, meskipun harus diimbangi dengan kontrol kondisi eksperimen agar data tetap valid dan dapat dibandingkan secara kuantitatif [10]. Dengan demikian, penambahan aluminium dalam percobaan ini berperan dalam mempercepat laju reaksi, namun juga menjadi salah satu faktor yang perlu diperhatikan dalam analisis hasil.

4.2.2 Analisis Laju Reaksi (Damar Aditya Nugraha - 5004241059)

Secara umum, hubungan antara konsentrasi dan laju reaksi merupakan prinsip dasar dalam kinetika kimia: semakin tinggi konsentrasi reaktan, semakin besar peluang tumbukan efektif. Namun, pada percobaan dengan HCl 1,5 M, data menunjukkan bahwa volume gas hidrogen meningkat secara linear terhadap waktu dengan koefisien determinasi (R^2) tertinggi pada orde 0 (0,8627). Hal ini menandakan bahwa laju reaksi relatif konstan dan tidak bergantung pada konsentrasi reaktan selama periode pengamatan. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh terbentuknya lapisan oksida pasif pada permukaan aluminium yang membatasi laju reaksi, sehingga konsentrasi HCl tidak lagi menjadi faktor dominan. Penelitian lokal juga menegaskan bahwa aluminium dalam larutan asam cenderung menunjukkan perilaku pasifasi yang memengaruhi laju korosi dan evolusi gas hidrogen [11].

Dari sisi suhu, hasil percobaan memperlihatkan tren umum bahwa laju reaksi meningkat dengan kenaikan suhu sesuai teori tumbukan dan persamaan Arrhenius. Namun, terdapat anomali pada suhu 40°C, di mana laju reaksi (2,63 mL/s) lebih rendah dibandingkan pada 30°C (3,03 mL/s). Hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh faktor eksperimental seperti ketidakhomogenan larutan, distribusi gelembung gas yang tidak merata, atau gangguan pada sistem pengukuran. Studi lain mengenai produksi hidrogen dari reaksi aluminium-air juga melaporkan bahwa kondisi reaksi yang tidak stabil dapat menghasilkan deviasi dari tren teoritis [12]. Dengan demikian, meskipun secara teori peningkatan suhu seharusnya mempercepat reaksi, faktor teknis dalam eksperimen dapat menyebabkan hasil yang menyimpang.

Konversi satuan dari mL/s ke mol/s menggunakan persamaan gas ideal yaitu dengan persamaan:

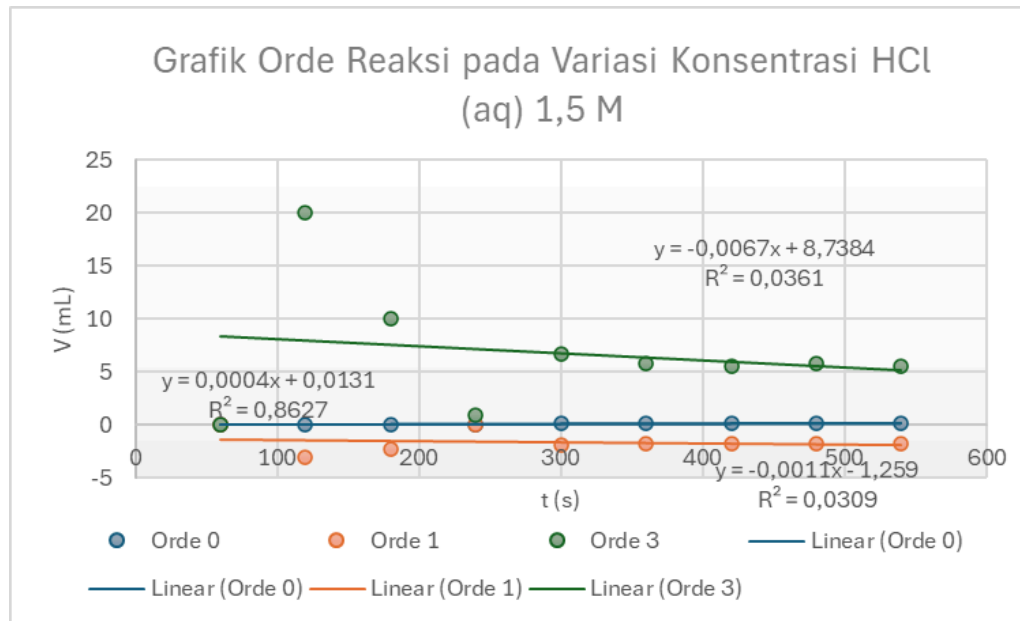
$$P V = n R T \quad (5)$$

menjadi krusial karena memungkinkan data eksperimen dibandingkan langsung dengan literatur kinetika reaksi dan model teoritis. Hasil konversi menunjukkan laju reaksi sebesar $1,21 \times 10^{-4}$ mol/s (30°C), $1,02 \times 10^{-4}$ mol/s (40°C), dan $1,15 \times 10^{-4}$ mol/s (50°C). Nilai ini lebih representatif karena berbasis jumlah mol gas, bukan sekadar volume, sehingga dapat digunakan untuk analisis energi aktivasi, mekanisme reaksi, dan pengaruh luas permukaan aluminium. Oleh karena itu, konversi ini tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga membuka ruang interpretasi ilmiah yang lebih mendalam, mulai dari perbandingan dengan teori Arrhenius hingga evaluasi efisiensi sistem dalam konteks energi dan material. Dengan pendekatan molar basis, hasil eksperimen dapat ditempatkan dalam kerangka ilmiah yang lebih luas dan relevan [11].

4.2.3 Penentuan Orde Reaksi

Penentuan Orde reaksi umumnya menggunakan plot antara konsentrasi larutan dengan waktu, namun dalam percobaan kali ini yang digunakan ialah volume dan waktu. Untuk menentukan orde 0 dapat diplot antara $V_{max} - V$ dengan waktu dalam satuan detik (s). Orde 1 dapat ditentukan dengan plot grafik hubungan $\ln(V_{max} - V)$ dengan waktu dalam satuan detik

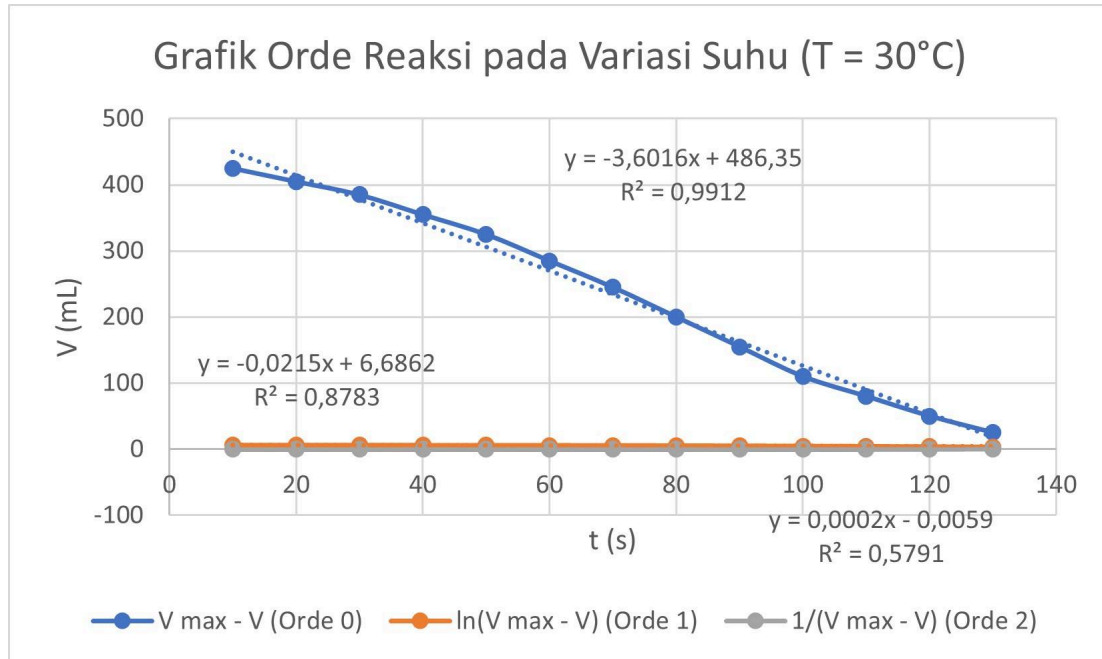
(s) dan orde 2 ditentukan dengan plot hubungan grafik antara $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ dengan waktu dalam satuan detik (s) [5]. Dalam penentuan orde reaksi variasi konsentrasi didapatkan koefisien determinasi sebagai berikut



Gambar 2. Grafik Orde Reaksi pada Variasi Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M

Berdasarkan grafik di atas, orde 0 cenderung lebih linear dan stabil dibandingkan orde 1 dan orde 2 yang sangat terlihat sebagai *outlier* dan koefisien determinasi tertinggi terdapat pada grafik orde 0 dengan nilai 0,8627 yang menandakan terdapat hubungan yang linear antara waktu dengan volume gas. Dapat disimpulkan bahwa orde reaksi yang digunakan adalah reaksi orde 0.

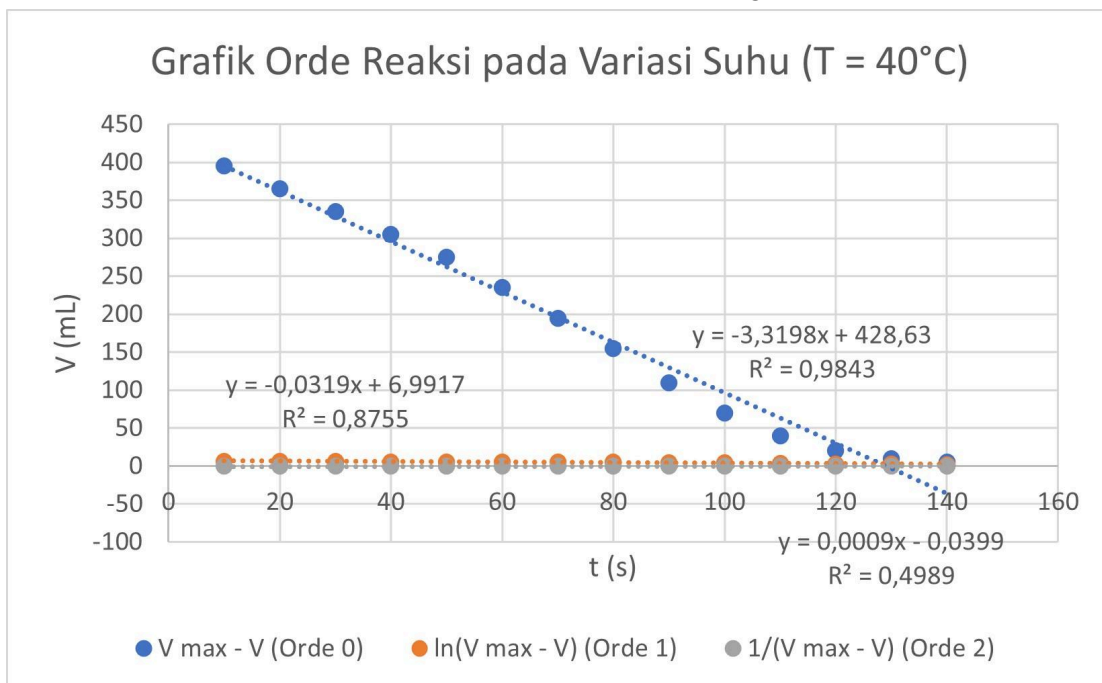
Selanjutnya yaitu menentukan orde reaksi untuk variasi suhu 30°C, 40°C, dan 50°C. Dengan menggunakan plot yang sama seperti variasi konsentrasi, didapatkan grafik dan koefisien determinasi variasi suhu 30°C sebagai berikut



Gambar 3. Grafik Orde Reaksi pada Variasi Suhu 30°C

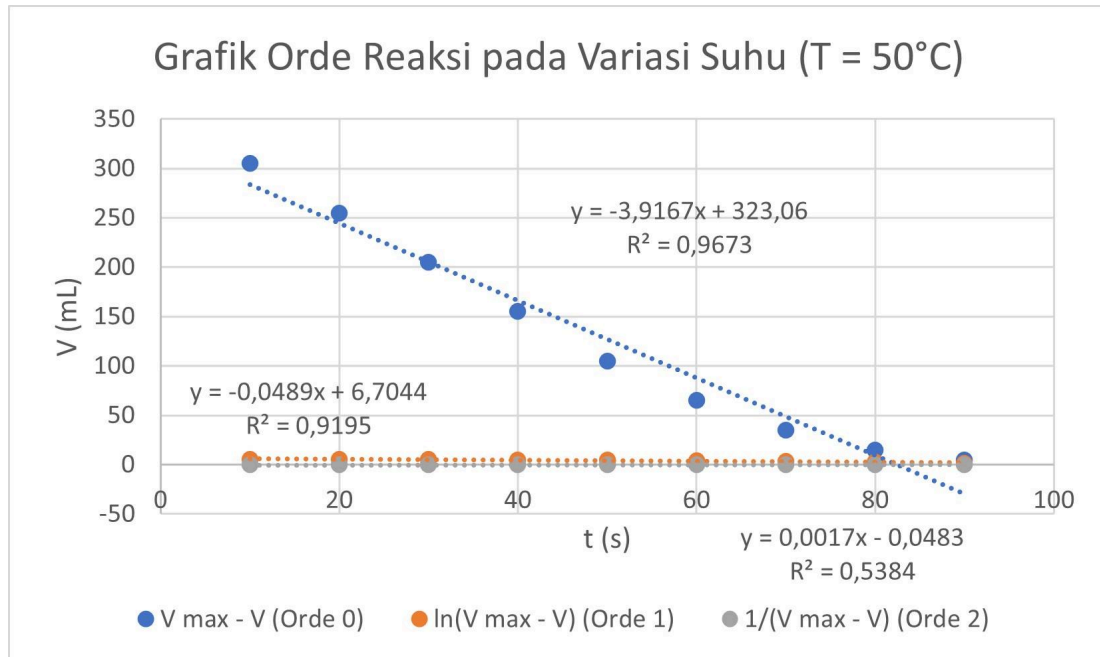
Berdasarkan grafik tersebut, koefisien determinasi tertinggi terdapat pada grafik orde 0 dengan nilai 0,9912 yang menandakan terdapat hubungan yang linear antara waktu dengan volume. Pada Orde 2 nilai koefisien determinasi masih tergolong tinggi tetapi tidak cukup untuk dapat dikatakan sebagai orde reaksi karena masih terdapat nilai koefisien determinasi yang lebih tinggi. Orde 2 sangat jauh dengan nilai 1 yang artinya tidak menunjukkan linearitas antara hubungan volume dengan waktu dan menunjukkan sebagai *outlier*. Dapat disimpulkan bahwa orde reaksi yang digunakan adalah reaksi orde 0.

Penentuan orde reaksi untuk variasi suhu 40°C adalah sebagai berikut.



Gambar 4. Grafik Orde Reaksi pada Variasi Suhu 40°C

Berdasarkan grafik tersebut, orde 0 menunjukkan linearitas tinggi dengan koefisien determinasi 0,9843 hal tersebut juga menunjukkan bahwa orde 0 sangat minim adanya *outlier*. Pada orde 1 nilai koefisien determinasi sebesar 0,8755 yang menandakan terdapat beberapa data yang menyimpang. Orde 2 sangat menunjukkan bahwa linearitas sangat rendah dengan koefisien determinasi sebesar 0,4989. Maka dapat disimpulkan pada variasi suhu 40°C menggunakan reaksi orde 0. Selanjutnya, penentuan orde reaksi untuk variasi suhu 50°C



Gambar 5. Grafik Orde Reaksi pada Variasi Suhu 50°C

Berdasarkan grafik tersebut, orde 0 memiliki koefisien determinasi tertinggi yaitu 0,9673 yang menunjukkan linearitas tinggi antara volume dengan waktu. Orde 1 memiliki koefisien determinasi 0,9195 yang tergolong cukup untuk menunjukkan linearitas sedangkan orde 2 menunjukkan bahwa data sangat menyimpang yang dibuktikan dengan koefisien determinasi sebesar 0,5383. Hal tersebut menunjukkan bahwa tidak adanya linearitas antara volume dengan waktu. Maka pada variasi suhu 50°C menggunakan reaksi orde 0. Dapat disimpulkan variasi konsentrasi dan variasi suhu menggunakan reaksi orde 0.

4.2.4 Analisis Energi Aktivasi (E_a) (Daris Fakhruddin Wibowo - 5004241080)

Energi aktivasi merupakan jumlah energi minimum yang harus dimiliki oleh molekul-molekul pereaksi agar tumbukan antar molekul tersebut dapat menghasilkan sebuah reaksi. Energi aktivasi memiliki hubungan erat dengan laju reaksi dan persamaan Arrhenius. Dalam menentukan energi aktivasi terdapat beberapa metode salah satunya yaitu menggunakan pendekatan persamaan linear. Telah diperoleh persamaan yang didapatkan dari hasil plot yang menghasilkan grafik orde 0 pada masing-masing variasi suhu. Energi aktivasi dapat ditentukan

dengan membuat hubungan grafik antara $\ln k$ dengan $\frac{1}{T}$. Hubungan tersebut diperoleh dari persamaan Arrhenius:

$$k = Ae^{-\frac{Ea}{RT}} \quad (6)$$

$$\ln k = -\frac{Ea}{R} \cdot \frac{1}{T} + \ln A \quad (7)$$

Setelah menghubungkan dengan hasil grafik, didapatkan persamaan linear $y = -397,42x + 2,5528$ dengan koefisien determinasi sebesar 0,2431. Didapatkan nilai slope seperti persamaan diatas lalu dapat dihitung menggunakan rumus:

$$Ea = -m \cdot R \quad (8)$$

Didapatkan energi aktivasi sebesar $3,30 \text{ kJ/mol}$ yang mana nilai tersebut sangat kecil. Hal tersebut disebabkan karena pada suhu 40°C terjadi penurunan nilai konstanta k yang mana seharusnya ketika suhu naik maka laju reaksi akan semakin cepat tetapi pada kenyataannya tidak. Pada suhu tersebut laju reaksi berjalan lebih lambat dari suhu sebelumnya. Hal tersebut juga dapat memengaruhi nilai koefisien determinasi yang sangat jauh atau tidak mendekati nilai satu. Jika nilai koefisien determinasi jauh dari nilai satu maka tidak ada hubungan dengan nilai yang diplot yaitu antara $\ln k$ dengan $\frac{1}{T}$.

4.2.5 Faktor Error (Daris Fakhruhin Wibowo - 5004241080)

Percobaan ini tidak selamanya berjalan lancar karena terdapat beberapa kendala ataupun faktor error yang terjadi. Beberapa kesalahan terjadi disebabkan oleh praktikan yang kurang memahami metode percobaan dan terdapat bahan ataupun alat yang bekerja kurang baik. Error yang pertama disebabkan oleh praktikan yang tidak memasukkan pipa kapiler hingga menyentuh larutan yang menyebabkan gelembung hasil produksi tidak dapat masuk ke dalam pipa kapiler. Terlalu kecil ukuran dari logam Al yaitu berukuran $1 \times 1 \text{ cm}$ yang dapat memengaruhi hasil produksi hidrogen sehingga praktikan menambahkan 2 logam Al dengan ukuran yang lebih besar. Kurangnya produksi hidrogen membuat waktu yang dibutuhkan untuk gelembung naik ke pipa kapiler sangat lama. Hal tersebut menyebabkan data hasil percobaan menjadi sedikit susah untuk diolah dan diplot untuk menentukan orde reaksi serta laju reaksi. Selain itu, kondisi alat dan aluminium foil yang tidak seragam juga dapat memengaruhi hasil eksperimen.

5. Kesimpulan (Wafiq Alsa Quelok - 5004241060)

Berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan, laju pembentukan gas hidrogen pada reaksi antara Al (s) dan larutan HCl (aq) dapat ditentukan melalui perubahan volume gas terhadap waktu. Besar laju reaksi rata-rata yang diperoleh pada variasi suhu sebesar $1,21 \times 10^{-4} \text{ mol/s}$ (30°C), $1,02 \times 10^{-4}$ (40°C), dan $1,15 \times 10^{-4} \text{ mol/s}$ (50°C) serta variasi konsentrasi HCl (aq) 1,5 M sebesar $1,66 \times 10^{-8} \text{ mol/s}$. Laju reaksi seharusnya memiliki kecenderungan meningkat seiring dengan kenaikan suhu, namun secara eksperimental terdapat beberapa ketidakkonsistenan data akibat keterbatasan eksperimen. Selain itu, diperoleh bahwa reaksi antara Al (s) dan larutan HCl (aq) mengikuti orde reaksi 0, yang ditentukan berdasarkan nilai koefisien determinasi (R^2) tertinggi dari grafik hubungan yang diuji, sehingga menunjukkan bahwa laju reaksi tidak bergantung pada

konsentrasi reaktan. Energi aktivasi (E_a) yang diperoleh sebesar $3,30 \text{ kJ/mol}$, dihitung menggunakan persamaan Arrhenius melalui hubungan antara $\ln k$ dan $1/T$. Namun, nilai koefisien determinasi (R^2) yang relatif rendah menunjukkan bahwa hubungan tersebut tidak sepenuhnya linear, sehingga nilai energi aktivasi yang diperoleh kurang akurat. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa suhu mempengaruhi laju reaksi. Ketidakesesuaian data dalam eksperimen ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor kesalahan, seperti ketidakakuratan pengukuran volume gas dan waktu, kebocoran pada sistem alat, serta kondisi permukaan aluminium yang tidak seragam.

Referensi

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2024). SIARAN PERS Nomor: 55.Pers/04/SJI/2024, Pemerintah Kejar Tingkatkan Bauran EBT. Diakses pada 12 Maret 2026 pukul 21.08 WIB di <https://www.esdm.go.id/>.
- [2] Muhammad Younas, Sumeer Shafique, Ainy Hafeez, Fahad Javed, Fahad Rehman. (2022). An Overview of Hydrogen Production: Current Status, Potential, and Challenges. *Fuel*, 316. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123317>.
- [3] Rohendi, D. & Rachmat, Addy & Syarif, Nirwan & Said, Muhammad & Rihsansah, I. (2019). The Production of Hydrogen from Aluminum Waste by Aluminum-Water Methods at Various Conditions. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- [4] Yuda, R. critian, Irdiansyah, & Prihatiningtyas, I. (2017). Studi Kinetika Pengaruh Suhu Terhadap Ekstraksi Minyak Atsiri Dari Kulit Jeruk Nipis Dengan Pelarut Etanol, 01(1), 22–26. <http://dx.doi.org/10.30872/cm.v1i1.1135>.
- [5] P. Atkins, J. de Paula, and J. Keeler. (2018). Atkins Physical Chemistry, 11th ed. Oxford, UK: Oxford University Press.
- [6] Putra, I. G. P. P. M., Iskandar Norman, & Sulardjaka. (2023). Pengaruh Persentase Binder Bentonit Terhadap Densitas Pelet Katalis Zeolit Alam. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 11(1), 44–47. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm/article/view/37744>.
- [7] Sina, N. W. F., Sukmaria, A. A., & Redjeki, S. (2020). Kinetics Study of Fermentation Reaction from Corn Cobs Cellulose using Cellulase Enzyme at Batch Reactor. *ChemPro Journal*, 1(02), 14–19. <https://doi.org/10.33005/chempro.v1i02.80>.
- [8] Ramayanti, F. (2024). Produksi Gas Hidrogen menggunakan Aluminium dari Limbah Kaleng Minuman dengan Katalis Natrium Hidroksida (NaOH). *CHEMTAG Journal of Chemical Engineering*, 5(2), 54. <https://doi.org/10.56444/cjce.v5i2.5293>
- [9] Zhang, L., Wang, H., & Chen, X. (2018). Hydrogen generation from aluminum–water reaction enhanced by additives: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(33), 15645–15660. <https://doi.org/10.1002/er.3953>
- [10] Liu, Y., Sun, X., & Wang, Q. (2020). Enhanced hydrogen production from aluminum in acidic solution by increasing surface area and reaction conditions optimization. *Journal of Alloys and Compounds*, 823, 153750.
- [11] Maulana, M. M. R., dkk. (2022). Pengaruh Larutan Asam Clorida (HCl), Asam Nitrat (HNO₃) dan Natrium Clorida (NaCl) terhadap Laju Korosi Aluminium Alloy 2024. Politeknik Penerbangan Surabaya.
- [12] Taufiqulhakim, M., dkk. (2023). Produksi Hidrogen Menggunakan Reaksi Aluminium-Air dan Elektrolisis dengan Agitasi Gelombang Ultrasonik. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Lampiran

Lampiran A. Laporan Sementara (Wafiq Alsa Quelok - 5004241060)

LAPORAN SEMENTARA
 PERCOBAAN 3
 DINAMIKA KIMIA

Kelompok 6

1. Damar Aditya Nugraha 5004241059
2. Wafiqh Alsa Quelok 5004241060
3. Tsania Chandria Kirana 5004241077
4. Alexa Zerlinda Mahendro 5004241079
5. Daris Fakhrudin Wibowo 5004241080

Tabel 1. Hasil Percobaan

Konsentrasi	Aluminium Foil	Pipa Kapiler		
		Waktu (1 min)	Volume (mL)	Pipet ukur Volume (mL)
HCl _(aq) 1,5 M	Al _(s) 1 x 1 cm (dihancurkan)	1	0	0
		2	0	0
		3	1,7	16,5
		4	0	0,3
		5	0,1	0
		6	0,1	0,5
		7	0	0
		8	0	0,1
		9	0	0
		10	0	0
		11	0	0
HCl _(aq) 1,5 M	Al _(s) 1 x 1 cm (3) + (1) (dihancurkan)	12	0	0
		13	0	0
		14	0	0
		15	0	0
		16	0	0
		17	0	0
		18	0	0
		19	0	0
		20	0	0
		21	0	0
HCl _(aq) 1,5 M	Al _(s) 1 x 1 cm (3) + (1) + (1 tidak dihancurkan)	22	0	0
		23	0	0
		24	0	0,46
		25	0	0,12
		26	0	0
		27	0	1,2
		28	0	0,8

KONSENTRASI	ALUMINIUM f	Waktu ke- (1 min)	VOLUME mL)	VOLUME(mL)	
		29	0	0,2	
		30	0	0,1	
		31	0	0,6	
		32	0	0,2	
		33	0	0,5	
		34	0	0	
		35	0	0,2	
HCl (aq) 1,5 M,	(Al) (s) + (3x3 cm dihancurkan)	36	0	0	
		37	0	0,1	
		38	0	1	
		39	0	0	
		40	0	3,1	
		41	0	0	
		42	0	0,4	
		43	0	0	
		44	0	0,9	
		45	0	0	
		51	0,6	47	0,1
		56	2,0	52	6
		57	1,5	53	2
		58	1,0	54	62
		59	1,0	-	-
		60	0,5	-	-
		61	0,3	-	-
62	0,2	-	-		
63	0,3	-	-		
67	0,2	-	-		

Gambar 6. Laporan Sementara

Lampiran B. Dokumentasi Percobaan (Wafiq Alsa Quelok - 5004241060)

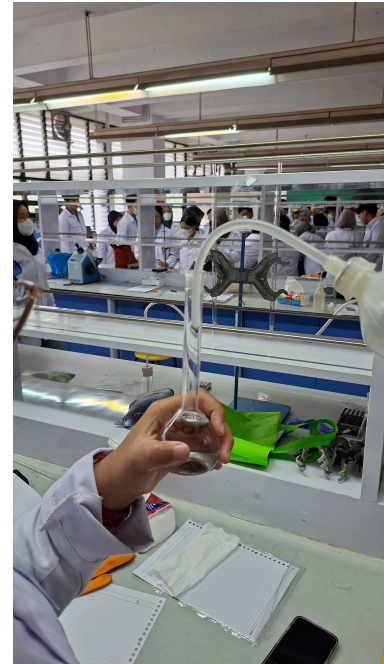
Tabel 3. Dokumentasi Percobaan



Gambar 7. Dimasukkan 75 mL HCl (aq) 2 M ke dalam labu ukur 100 mL.



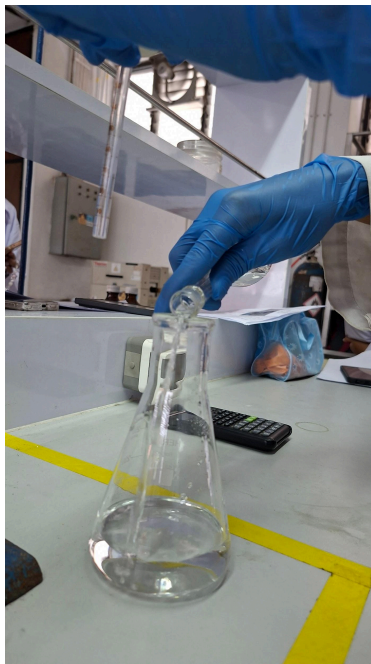
Gambar 8. Ditambahkan Aquades (l) ke dalam labu ukur 100 mL.



Gambar 9. Ditambahkan Aquades (l) ke dalam labu ukur 100 mL tepat hingga garis batas.



Gambar 10. Diencerkan 2 M HCl (aq) menjadi 1,5 M HCl (aq) dengan dikocok dan dicampurkan perlahan.



Gambar 11. Dimasukkan 100 mL HCl (aq) 1,5 M ke dalam erlenmeyer 200 mL.



Gambar 12. Dipotong Aluminium foil (s) sebesar 1x1 cm sebanyak 3 buah kemudian diremas atau dihancurkan.



Gambar 13. Dimasukkan aluminium foil (s) yang sudah



Gambar 14. Ditutup Erlenmeyer 200 mL dengan



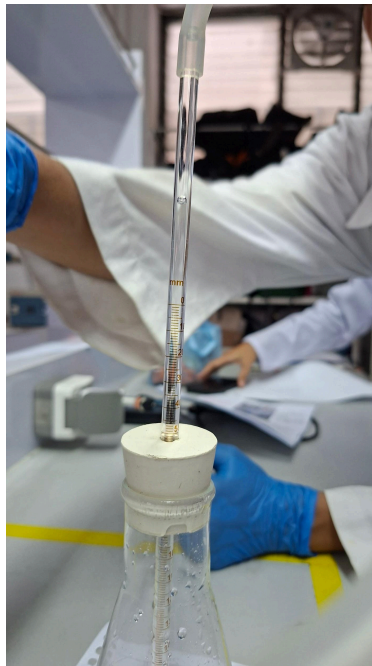
Gambar 15. Dipipet larutan sabun (aq) menggunakan pipet

diremas atau dihancurkan sebanyak 3 buah ke dalam Erlenmeyer 200 mL.



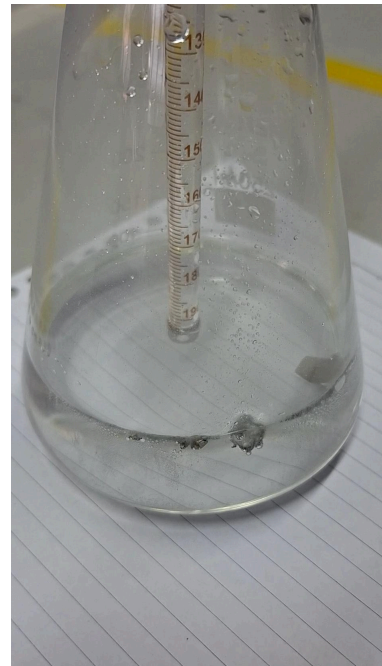
Gambar 16. Dimasukkan 1 tetes larutan sabun (aq) ke dalam pipet ukur 25 mL.

karet sumbat erlenmeyer yang sudah tersambung dengan pipet ukur 5 mL dengan rapat.

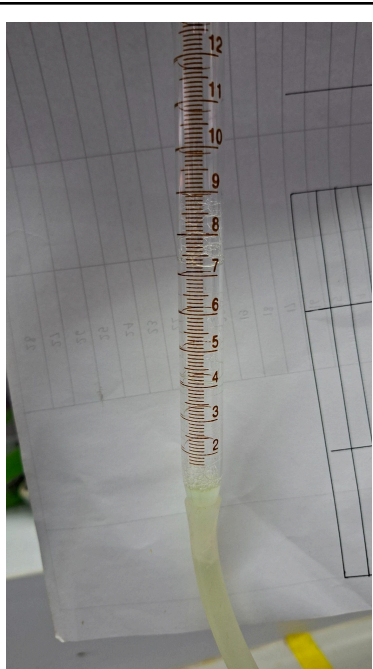


Gambar 17. Diperoleh larutan HCl (aq) naik ke pipet ukur 5 mL hingga selang selama reaksi HCl (aq) dan Al (s) berlangsung.

tetes.



Gambar 18. Diperoleh gelembung gas H₂ (g) di sekitar Al (s) selama reaksi HCl (aq) dan Al (s) berlangsung.



Gambar 19. Diperoleh gelembung gas H_2 (g) di dalam pipet ukur 25 mL selama reaksi HCl (aq) dan Al (s) berlangsung.

Lampiran C. Perhitungan Laju Reaksi

C.1 Perhitungan Laju Reaksi Variasi Konsentrasi (Tsanja Chandra Kirana - 5004241077)

Laju sebuah reaksi dapat ditentukan melalui perbandingan perubahan volume terhadap perubahan waktu.

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (9)$$

$$v = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1} \quad (10)$$

$$\bar{v} = \frac{\Sigma v}{\Sigma n} \quad (11)$$

Tabel 4. Data Percobaan Variasi Konsentrasi

No	Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M	
	t (s)	V (mL)
1	60	0
2	120	0,05

3	180	0,10
4	240	0,10
5	300	0,15
6	360	0,17
7	420	0,18
8	480	0,17
9	540	0,18

Perhitungan:

1. 1 & 2

Diketahui $t_1 = 60$ s, $t_2 = 120$ s, $V_1 = 0$, $V_2 = 0,05$ mL

Ditanya v ?

$$v = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

$$v = \frac{0,05 \text{ mL} - 0 \text{ mL}}{120 \text{ s} - 60 \text{ s}}$$

$$v = 0,00083 \text{ mL/s}$$

2. 2 & 3

Diketahui $t_2 = 120$ s, $t_3 = 180$ s, $V_2 = 0,05$ mL, $V_3 = 0,10$ mL

Ditanya v ?

$$v = \frac{V_3 - V_2}{t_3 - t_2}$$

$$v = \frac{0,10 \text{ mL} - 0,05 \text{ mL}}{180 \text{ s} - 120 \text{ s}}$$

$$v = 0,00083 \text{ mL/s}$$

3. 3 & 4

Diket $t_3 = 180$ s, $t_4 = 240$ s, $V_3 = 0,10$ mL, $V_4 = 0,10$ mL

Dit v ?

$$v = \frac{V_4 - V_3}{t_4 - t_3}$$

$$v = \frac{0,10 \text{ mL} - 0,10 \text{ mL}}{240 \text{ s} - 180 \text{ s}}$$

$$v = 0 \text{ mL/s}$$

4. 4 & 5

Diket $t_4 = 240$ s, $t_5 = 300$ s, $V_4 = 0,10$ mL, $V_5 = 0,15$ mL

Dit v ?

$$v = \frac{V_5 - V_4}{t_5 - t_4}$$

$$v = \frac{0,15 \text{ mL} - 0,10 \text{ mL}}{300 \text{ s} - 240 \text{ s}}$$

$$v = 0,00083 \text{ mL/s}$$

5. 5 & 6

Diket $t_5 = 300 \text{ s}$, $t_6 = 360 \text{ s}$, $V_5 = 0,15 \text{ mL}$, $V_6 = 0,17 \text{ mL}$
Dit v ?

$$v = \frac{V_6 - V_5}{t_6 - t_5}$$

$$v = \frac{0,17 \text{ mL} - 0,15 \text{ mL}}{360 \text{ s} - 300 \text{ s}}$$

$$v = 0,0003 \text{ mL/s}$$

6. 6 & 7

Diket $t_6 = 360 \text{ s}$, $t_7 = 420 \text{ s}$, $V_6 = 0,17 \text{ mL}$, $V_7 = 0,18 \text{ mL}$
Dit v ?

$$v = \frac{V_7 - V_6}{t_7 - t_6}$$

$$v = \frac{0,18 \text{ mL} - 0,17 \text{ mL}}{420 \text{ s} - 360 \text{ s}}$$

$$v = 0,00016 \text{ mL/s}$$

7. 7 & 8

Diket $t_7 = 420 \text{ s}$, $t_8 = 480 \text{ s}$, $V_7 = 0,18 \text{ mL}$, $V_8 = 0,17 \text{ mL}$
Dit v ?

$$v = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

$$v = \frac{0,17 \text{ mL} - 0,18 \text{ mL}}{480 \text{ s} - 420 \text{ s}}$$

$$v = 0,00016 \text{ mL/s}$$

8. 8 & 9

Diket $t_8 = 480 \text{ s}$, $t_9 = 540 \text{ s}$, $V_8 = 0,17 \text{ mL}$, $V_9 = 0,18 \text{ mL}$
Dit v ?

$$v = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

$$v = \frac{0,18 \text{ mL} - 0,17 \text{ mL}}{540 \text{ s} - 480 \text{ s}}$$

$$v = 0,00016 \text{ mL/s}$$

Tabel 5. Data Laju Reaksi Variasi Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M

$v \text{ (mL/s)}$

v_{12}	0,00083
v_{23}	0,00083
v_{34}	0
v_{45}	0,00083
v_{56}	0,0003
v_{67}	0,00016
v_{78}	0,00016
v_{89}	0,00016
$\bar{v} = \frac{\sum v}{\sum n}$	0,000407

Perlu dilakukan konversi laju reaksi agar satuan laju reaksi yang awalnya mL/s menjadi mol/s menggunakan persamaan gas ideal dengan mempertimbangkan suhu dan tekanan sistem.

$$PV = nRT \quad (12)$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{P}{R \cdot T} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (13)$$

Dengan asumsi gas ideal, $P = 1 \text{ atm}$, $R = 0,08206 \text{ L atm/mol K}$, $T = 25^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$
 $\frac{\Delta V}{\Delta t} \approx 0,000407 \text{ mL/s} \approx 0,000000407 \text{ L/s}$ maka besar laju reaksi (v) adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \frac{\Delta n}{\Delta t} &= \frac{P}{R \cdot T} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} \\ \frac{\Delta n}{\Delta t} &= \frac{1 \text{ atm}}{0,08206 \text{ L atm/mol K} \cdot 298 \text{ K}} \cdot 0,000000407 \text{ L/s} \\ \frac{\Delta n}{\Delta t} &= \frac{0,000000407}{24,453} \text{ mol/s} \\ \frac{\Delta n}{\Delta t} &\approx 1,66 \times 10^{-8} \text{ mol/s} \end{aligned}$$

C.2 Perhitungan Laju Reaksi Variasi Suhu (Wafiq Alsa Quelok - 5004241060)

Laju sebuah reaksi dapat ditentukan melalui perbandingan perubahan volume terhadap perubahan waktu.

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (14)$$

$$v = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1} \quad (15)$$

$$\bar{v} = \frac{\sum v}{\sum n} \quad (16)$$

Tabel 6. Data Percobaan Variasi Suhu

No	30°C		40°C		50°C	
	t (s)	V (mL)	t (s)	V (mL)	t (s)	V (mL)
1	10	10	10	30	10	50
2	20	30	20	60	20	100
3	30	50	30	90	30	150
4	40	80	40	120	40	200
5	50	110	50	150	50	250
6	60	150	60	190	60	290
7	70	190	70	230	70	320
8	80	235	80	270	80	340
9	90	280	90	315	90	350
10	100	325	100	355	100	355
11	110	355	110	385	110	355
12	120	385	120	405	120	355
13	130	410	130	415	130	355
14	140	435	140	420	140	355
15	150	435	150	425	150	355
16	160	435	160	425	160	355
17	170	435	170	425	170	355
18	180	435	180	425	180	355

1. Variasi Suhu 30°C

1) 1 & 2

Diketahui : $t_1 = 10 \text{ s}, t_2 = 20 \text{ s}, V_1 = 10 \text{ mL}, V_2 = 30 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL} - 10 \text{ mL}}{20 \text{ s} - 10 \text{ s}}$$

$$v = \frac{20 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 2 \text{ mL/s}$$

2) 2 & 3

Diketahui : $t_2 = 20 \text{ s}, t_3 = 30 \text{ s}, V_2 = 30 \text{ mL}, V_3 = 50 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_3 - V_2}{t_3 - t_2}$$

$$v = \frac{50 \text{ mL} - 30 \text{ mL}}{30 \text{ s} - 20 \text{ s}}$$

$$v = \frac{20 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 2 \text{ mL/s}$$

3) 3 & 4

Diketahui : $t_4 = 40 \text{ s}, t_3 = 30 \text{ s}, V_4 = 80 \text{ mL}, V_3 = 50 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_4 - V_3}{t_4 - t_3}$$

$$v = \frac{80 \text{ mL} - 50 \text{ mL}}{40 \text{ s} - 30 \text{ s}}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 3 \text{ mL/s}$$

4) 4 & 5

Diketahui : $t_4 = 40 \text{ s}, t_5 = 50 \text{ s}, V_4 = 80 \text{ mL}, V_5 = 110 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_5 - V_4}{t_5 - t_4}$$

$$v = \frac{110 \text{ mL} - 80 \text{ mL}}{50 \text{ s} - 40 \text{ s}}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 3 \text{ mL/s}$$

5) 5 & 6

Diketahui : $t_6 = 60 \text{ s}, t_5 = 50 \text{ s}, V_6 = 150 \text{ mL}, V_5 = 110 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_6 - V_5}{t_6 - t_5}$$

$$v = \frac{150 \text{ mL} - 110 \text{ mL}}{60 \text{ s} - 50 \text{ s}}$$

$$v = \frac{40 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 4 \text{ mL/s}$$

6) 6 & 7

Diketahui : $t_6 = 60 \text{ s}, t_7 = 70 \text{ s}, V_6 = 150 \text{ mL}, V_7 = 190 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_7 - V_6}{t_7 - t_6}$$

$$v = \frac{190 \text{ mL} - 150 \text{ mL}}{70 \text{ s} - 60 \text{ s}}$$

$$v = \frac{40 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 4 \text{ mL/s}$$

7) 7 & 8

Diketahui : $t_8 = 80 \text{ s}, t_7 = 70 \text{ s}, V_8 = 235 \text{ mL}, V_7 = 190 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_8 - V_7}{t_8 - t_7}$$

$$v = \frac{235 \text{ mL} - 190 \text{ mL}}{80 \text{ s} - 70 \text{ s}}$$

$$v = \frac{45 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 4,5 \text{ mL/s}$$

8) 8 & 9

Diketahui : $t_8 = 80 \text{ s}, t_9 = 90 \text{ s}, V_8 = 235 \text{ mL}, V_9 = 280 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_9 - V_8}{t_9 - t_8}$$

$$v = \frac{280 \text{ mL} - 235 \text{ mL}}{90 \text{ s} - 80 \text{ s}}$$

$$v = \frac{45 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 4,5 \text{ mL/s}$$

9) 9 & 10

Diketahui : $t_{10} = 100 \text{ s}, t_9 = 90 \text{ s}, V_{10} = 325 \text{ mL}, V_9 = 280 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{10} - V_9}{t_{10} - t_9}$$

$$v = \frac{325 \text{ mL} - 280 \text{ mL}}{100 \text{ s} - 90 \text{ s}}$$

$$v = \frac{45 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 4,5 \text{ mL/s}$$

10) 10 & 11

Diketahui : $t_{10} = 100 \text{ s}, t_{11} = 110 \text{ s}, V_{10} = 325 \text{ mL}, V_{11} = 355 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{11} - V_{10}}{t_{11} - t_{10}}$$

$$v = \frac{355 \text{ mL} - 325 \text{ mL}}{110 \text{ s} - 100 \text{ s}}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 3 \text{ mL/s}$$

11) 11 & 12

Diketahui : $t_{12} = 120 \text{ s}, t_{11} = 110 \text{ s}, V_{12} = 385 \text{ mL}, V_{11} = 355 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{12} - V_{11}}{t_{12} - t_{11}}$$

$$v = \frac{385 \text{ mL} - 355 \text{ mL}}{120 \text{ s} - 110 \text{ s}}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 3 \text{ mL/s}$$

12) 12 & 13

Diketahui : $t_{12} = 120 \text{ s}, t_{13} = 130 \text{ s}, V_{12} = 385 \text{ mL}, V_{13} = 410 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{13} - V_{12}}{t_{13} - t_{12}}$$

$$v = \frac{410 \text{ mL} - 385 \text{ mL}}{130 \text{ s} - 120 \text{ s}}$$

$$v = \frac{25 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 2,5 \text{ mL/s}$$

13) 13 & 14

Diketahui : $t_{14} = 140 \text{ s}$, $t_{13} = 130 \text{ s}$, $V_{14} = 435 \text{ mL}$, $V_{13} = 410 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{14} - V_{13}}{t_{14} - t_{13}}$$

$$v = \frac{435 \text{ mL} - 410 \text{ mL}}{140 \text{ s} - 130 \text{ s}}$$

$$v = \frac{25 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 2,5 \text{ mL/s}$$

14) 14 & 15

Diketahui : $t_{14} = 140 \text{ s}$, $t_{15} = 150 \text{ s}$, $V_{14} = 435 \text{ mL}$, $V_{15} = 435 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{15} - V_{14}}{t_{15} - t_{14}}$$

$$v = \frac{435 \text{ mL} - 435 \text{ mL}}{150 \text{ s} - 140 \text{ s}}$$

$$v = \frac{0 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 0 \text{ mL/s}$$

Tabel 7. Data Laju Reaksi Variasi Suhu ($T = 30^\circ\text{C}$)

$v \text{ (mL/s)}$	
v_{12}	2
v_{23}	2
v_{34}	3
v_{45}	3
v_{56}	4

v_{67}	4
v_{78}	4,5
v_{89}	4,5
v_{910}	4,5
v_{1011}	3
v_{1112}	3
v_{1213}	2,5
v_{1314}	2,5
v_{1415}	0
$\bar{v} = \frac{\sum v}{\sum n}$	3,03

Laju reaksi hasil percobaan dinyatakan dalam satuan mL/s karena didasarkan pada perubahan volume gas terhadap waktu. Namun, secara teoritis laju reaksi dinyatakan dalam satuan mol/s . Oleh karena itu, dilakukan konversi satuan dari mL/s ke mol/s menggunakan persamaan gas ideal dengan mempertimbangkan suhu dan tekanan sistem.

$$PV = nRT \quad (17)$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{P}{R \cdot T} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (18)$$

Dengan asumsi gas ideal,

$$P = 1 \text{ atm}, R = 0,08206 \text{ L atm/mol K}, T = 30^\circ\text{C} = 303 \text{ K}$$

$\frac{\Delta V}{\Delta t} \approx 3,03 \text{ mL/s} \approx 0,00303 \text{ L/s}$ maka besar laju reaksi (v) adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \frac{\Delta n}{\Delta t} &= \frac{P}{R \cdot T} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} \\ \frac{\Delta n}{\Delta t} &= \frac{1 \text{ atm}}{0,08206 \text{ L atm/mol K} \cdot 303 \text{ K}} \cdot 0,00303 \text{ L/s} \\ \frac{\Delta n}{\Delta t} &= \frac{0,00303}{24,87} \text{ mol/s} \\ \frac{\Delta n}{\Delta t} &\approx 0,000121 \text{ mol/s} \\ \frac{\Delta n}{\Delta t} &\approx 1,21 \times 10^{-4} \text{ mol/s} \end{aligned}$$

2. Variasi Suhu 40°C

1) 1 & 2

Diketahui : $t_1 = 10 \text{ s}, t_2 = 20 \text{ s}, V_1 = 30 \text{ mL}, V_2 = 60 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

$$v = \frac{60 \text{ mL} - 30 \text{ mL}}{20 \text{ s} - 10 \text{ s}}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 3 \text{ mL/s}$$

2) 2 & 3

Diketahui : $t_2 = 20 \text{ s}, t_3 = 30 \text{ s}, V_2 = 60 \text{ mL}, V_3 = 90 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_3 - V_2}{t_3 - t_2}$$

$$v = \frac{90 \text{ mL} - 60 \text{ mL}}{30 \text{ s} - 20 \text{ s}}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 3 \text{ mL/s}$$

3) 3 & 4

Diketahui : $t_4 = 40 \text{ s}, t_3 = 30 \text{ s}, V_4 = 120 \text{ mL}, V_3 = 90 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_4 - V_3}{t_4 - t_3}$$

$$v = \frac{120 \text{ mL} - 90 \text{ mL}}{40 \text{ s} - 30 \text{ s}}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 3 \text{ mL/s}$$

4) 4 & 5

Diketahui : $t_4 = 40 \text{ s}, t_5 = 50 \text{ s}, V_4 = 120 \text{ mL}, V_5 = 150 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_5 - V_4}{t_5 - t_4}$$

$$v = \frac{150 \text{ mL} - 120 \text{ mL}}{50 \text{ s} - 40 \text{ s}}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 3 \text{ mL/s}$$

5) 5 & 6

Diketahui : $t_6 = 60 \text{ s}, t_5 = 50 \text{ s}, V_6 = 190 \text{ mL}, V_5 = 150 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$
$$v = \frac{V_6 - V_5}{t_6 - t_5}$$
$$v = \frac{190 \text{ mL} - 150 \text{ mL}}{60 \text{ s} - 50 \text{ s}}$$
$$v = \frac{40 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$
$$v = 4 \text{ mL/s}$$

6) 6 & 7

Diketahui : $t_6 = 60 \text{ s}, t_7 = 70 \text{ s}, V_6 = 190 \text{ mL}, V_7 = 230 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$
$$v = \frac{V_7 - V_6}{t_7 - t_6}$$
$$v = \frac{230 \text{ mL} - 190 \text{ mL}}{70 \text{ s} - 60 \text{ s}}$$
$$v = \frac{40 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$
$$v = 4 \text{ mL/s}$$

7) 7 & 8

Diketahui : $t_8 = 80 \text{ s}, t_7 = 70 \text{ s}, V_8 = 270 \text{ mL}, V_7 = 230 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$
$$v = \frac{V_8 - V_7}{t_8 - t_7}$$
$$v = \frac{270 \text{ mL} - 230 \text{ mL}}{80 \text{ s} - 70 \text{ s}}$$
$$v = \frac{40 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$
$$v = 4 \text{ mL/s}$$

8) 8 & 9

Diketahui : $t_8 = 80 \text{ s}, t_9 = 90 \text{ s}, V_8 = 270 \text{ mL}, V_9 = 315 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$
$$v = \frac{V_9 - V_8}{t_9 - t_8}$$
$$v = \frac{315 \text{ mL} - 270 \text{ mL}}{90 \text{ s} - 80 \text{ s}}$$

$$v = \frac{45 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 4,5 \text{ mL/s}$$

9) 9 & 10

Diketahui : $t_{10} = 100 \text{ s}, t_9 = 90 \text{ s}, V_{10} = 355 \text{ mL}, V_9 = 315 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{10} - V_9}{t_{10} - t_9}$$

$$v = \frac{355 \text{ mL} - 315 \text{ mL}}{100 \text{ s} - 90 \text{ s}}$$

$$v = \frac{40 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 4 \text{ mL/s}$$

10) 10 & 11

Diketahui : $t_{10} = 100 \text{ s}, t_{11} = 110 \text{ s}, V_{10} = 355 \text{ mL}, V_{11} = 385 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{11} - V_{10}}{t_{11} - t_{10}}$$

$$v = \frac{385 \text{ mL} - 355 \text{ mL}}{110 \text{ s} - 100 \text{ s}}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 3 \text{ mL/s}$$

11) 11 & 12

Diketahui : $t_{12} = 120 \text{ s}, t_{11} = 110 \text{ s}, V_{12} = 405 \text{ mL}, V_{11} = 385 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{12} - V_{11}}{t_{12} - t_{11}}$$

$$v = \frac{405 \text{ mL} - 385 \text{ mL}}{120 \text{ s} - 110 \text{ s}}$$

$$v = \frac{20 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 2 \text{ mL/s}$$

12) 12 & 13

Diketahui : $t_{12} = 120 \text{ s}, t_{13} = 130 \text{ s}, V_{12} = 405 \text{ mL}, V_{13} = 415 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{13} - V_{12}}{t_{13} - t_{12}}$$

$$v = \frac{415 \text{ mL} - 405 \text{ mL}}{130 \text{ s} - 120 \text{ s}}$$

$$v = \frac{10 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 1 \text{ mL/s}$$

13) 13 & 14

Diketahui : $t_{14} = 140 \text{ s}, t_{13} = 130 \text{ s}, V_{14} = 420 \text{ mL}, V_{13} = 415 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{14} - V_{13}}{t_{14} - t_{13}}$$

$$v = \frac{420 \text{ mL} - 415 \text{ mL}}{140 \text{ s} - 130 \text{ s}}$$

$$v = \frac{5 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 0,5 \text{ mL/s}$$

14) 14 & 15

Diketahui : $t_{14} = 140 \text{ s}, t_{15} = 150 \text{ s}, V_{14} = 420 \text{ mL}, V_{15} = 425 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{15} - V_{14}}{t_{15} - t_{14}}$$

$$v = \frac{425 \text{ mL} - 420 \text{ mL}}{150 \text{ s} - 140 \text{ s}}$$

$$v = \frac{5 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 0,5 \text{ mL/s}$$

15) 15 & 16

Diketahui : $t_{16} = 160 \text{ s}, t_{15} = 150 \text{ s}, V_{16} = 425 \text{ mL}, V_{15} = 425 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{16} - V_{15}}{t_{16} - t_{15}}$$

$$v = \frac{425 \text{ mL} - 425 \text{ mL}}{160 \text{ s} - 150 \text{ s}}$$

$$v = \frac{0 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 0 \text{ mL/s}$$

Tabel 8. Data Laju Reaksi Variasi Suhu ($T = 40^\circ\text{C}$)

v (mL/s)	
v_{12}	3
v_{23}	3
v_{34}	3
v_{45}	3
v_{56}	4
v_{67}	4
v_{78}	4
v_{89}	4,5
v_{910}	4
v_{1011}	3
v_{1112}	2
v_{1213}	1
v_{1314}	0,5
v_{1415}	0,5
v_{1516}	0
$\bar{v} = \frac{\sum v}{\sum n}$	2,63

Dengan asumsi gas ideal,

$$P = 1 \text{ atm}, R = 0,08206 \text{ L atm/mol K}, T = 40^\circ\text{C} = 313 \text{ K}$$

$\frac{\Delta V}{\Delta t} \approx 2,63 \text{ mL/s} \approx 0,00263 \text{ L/s}$ maka besar laju reaksi (v) adalah sebagai berikut.

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{P}{R \cdot T} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{1 \text{ atm}}{0,08206 \text{ L atm/mol K} \cdot 313 \text{ K}} \cdot 0,00263 \text{ L/s}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{0,00263}{25,68} \text{ mol/s}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} \approx 0,000102 \text{ mol/s}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} \approx 1,02 \times 10^{-4} \text{ mol/s}$$

3. Variasi Suhu 50°C

1) 1 & 2

Diketahui : $t_1 = 10 \text{ s}, t_2 = 20 \text{ s}, V_1 = 50 \text{ mL}, V_2 = 100 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

$$v = \frac{100 \text{ mL} - 50 \text{ mL}}{20 \text{ s} - 10 \text{ s}}$$

$$v = \frac{50 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 5 \text{ mL/s}$$

2) 2 & 3

Diketahui : $t_2 = 20 \text{ s}, t_3 = 30 \text{ s}, V_2 = 100 \text{ mL}, V_3 = 150 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_3 - V_2}{t_3 - t_2}$$

$$v = \frac{150 \text{ mL} - 100 \text{ mL}}{30 \text{ s} - 20 \text{ s}}$$

$$v = \frac{50 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 5 \text{ mL/s}$$

3) 3 & 4

Diketahui : $t_4 = 40 \text{ s}, t_3 = 30 \text{ s}, V_4 = 200 \text{ mL}, V_3 = 150 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_4 - V_3}{t_4 - t_3}$$

$$v = \frac{200 \text{ mL} - 150 \text{ mL}}{40 \text{ s} - 30 \text{ s}}$$

$$v = \frac{50 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 5 \text{ mL/s}$$

4) 4 & 5

Diketahui : $t_4 = 40 \text{ s}, t_5 = 50 \text{ s}, V_4 = 200 \text{ mL}, V_5 = 250 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_5 - V_4}{t_5 - t_4}$$

$$v = \frac{250 \text{ mL} - 200 \text{ mL}}{50 \text{ s} - 40 \text{ s}}$$

$$v = \frac{50 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 5 \text{ mL/s}$$

5) 5 & 6

Diketahui : $t_6 = 60 \text{ s}, t_5 = 50 \text{ s}, V_6 = 290 \text{ mL}, V_5 = 250 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_6 - V_5}{t_6 - t_5}$$

$$v = \frac{290 \text{ mL} - 250 \text{ mL}}{60 \text{ s} - 50 \text{ s}}$$

$$v = \frac{40 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 4 \text{ mL/s}$$

6) 6 & 7

Diketahui : $t_6 = 60 \text{ s}, t_7 = 70 \text{ s}, V_6 = 290 \text{ mL}, V_7 = 320 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_7 - V_6}{t_7 - t_6}$$

$$v = \frac{320 \text{ mL} - 290 \text{ mL}}{70 \text{ s} - 60 \text{ s}}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 3 \text{ mL/s}$$

7) 7 & 8

Diketahui : $t_8 = 80 \text{ s}, t_7 = 70 \text{ s}, V_8 = 340 \text{ mL}, V_7 = 320 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_8 - V_7}{t_8 - t_7}$$

$$v = \frac{340 \text{ mL} - 320 \text{ mL}}{80 \text{ s} - 70 \text{ s}}$$

$$v = \frac{20 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 2 \text{ mL/s}$$

8) 8 & 9

Diketahui : $t_8 = 80 \text{ s}, t_9 = 90 \text{ s}, V_8 = 340 \text{ mL}, V_9 = 350 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_9 - V_8}{t_9 - t_8}$$

$$v = \frac{350 \text{ mL} - 340 \text{ mL}}{90 \text{ s} - 80 \text{ s}}$$

$$v = \frac{10 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 1 \text{ mL/s}$$

9) 9 & 10

Diketahui : $t_{10} = 100 \text{ s}, t_9 = 90 \text{ s}, V_{10} = 355 \text{ mL}, V_9 = 350 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{10} - V_9}{t_{10} - t_9}$$

$$v = \frac{355 \text{ mL} - 350 \text{ mL}}{100 \text{ s} - 90 \text{ s}}$$

$$v = \frac{5 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 0,5 \text{ mL/s}$$

10) 10 & 11

Diketahui : $t_{10} = 100 \text{ s}, t_{11} = 110 \text{ s}, V_{10} = 355 \text{ mL}, V_{11} = 355 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{11} - V_{10}}{t_{11} - t_{10}}$$

$$v = \frac{355 \text{ mL} - 355 \text{ mL}}{110 \text{ s} - 100 \text{ s}}$$

$$v = \frac{0 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 0 \text{ mL/s}$$

Tabel 9. Data Laju Reaksi Variasi Suhu ($T = 50^\circ\text{C}$)

$v \text{ (mL/s)}$	
v_{12}	5
v_{23}	5
v_{34}	5
v_{45}	5
v_{56}	4

v_{67}	3
v_{78}	2
v_{89}	1
v_{910}	0,5
v_{1011}	0
$\bar{v} = \frac{\sum v}{\sum n}$	3,05

Dengan asumsi gas ideal $P = 1 \text{ atm}$, $R = 0,08206 \text{ L atm/mol K}$,
 $T = 50^\circ\text{C} = 323 \text{ K}$, $\frac{\Delta V}{\Delta t} = 3,05 \text{ mL/s} = 0,00305 \text{ L/s}$ maka besar laju reaksi (v)
adalah sebagai berikut.

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{P}{R \cdot T} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{1 \text{ atm}}{0,08206 \text{ L atm/mol K} \cdot 323 \text{ K}} \cdot 0,00305 \text{ L/s}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{0,00305}{26,51} \text{ mol/s}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} \approx 0,000115 \text{ mol/s}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} \approx 1,15 \times 10^{-4} \text{ mol/s}$$

Lampiran D. Perhitungan Orde Reaksi

D.1 Perhitungan Orde Reaksi Variasi Konsentrasi (Tsania Chandra Kirana - 5004241077)

Berikut adalah hasil data dari percobaan pada variasi konsentrasi HCl (aq) 1,5 M

Tabel 10. Data Percobaan pada Variasi Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M

No	Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M	
	t (s)	V (mL)
1	60	0
2	120	0,05
3	180	0,10
4	240	0,10
5	300	0,15
6	360	0,17
7	420	0,18

8	480	0,17
9	540	0,18

Data percobaan yang telah didapatkan diolah untuk mendapatkan grafik hubungan antara Volume gas dengan Waktu menggunakan persamaan berikut:

$$V_{max} - V \quad (19)$$

$$\ln (V_{max} - V) \quad (20)$$

$$\frac{1}{(V_{max} - V)} \quad (21)$$

Dari persamaan diatas, didapatkan persamaan orde reaksi nya yaitu,

$$y = mx + c \quad (22)$$

Untuk mendapatkan Volume gas, dihitung terlebih dahulu dengan persamaan $V_{max} - V$ sehingga didapatkan data sebagai berikut.

Tabel 11. Data volume gas pada konsentrasi HCl (aq) 1,5 M

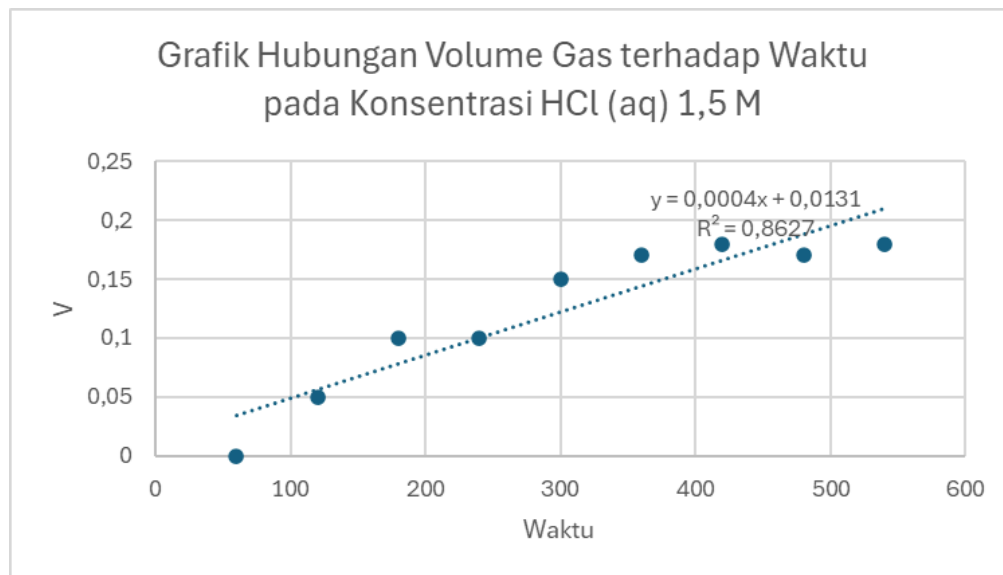
HCl (aq) 1,5 M		
Waktu (s)	V pipet kapiler (mm)	Vmax = Vmax - V (mL)
60	2	0
120	1,5	0,05
180	1	0,10
240	1	0,10
300	0,5	0,15
360	0,3	0,17
420	0,2	0,18
480	0,3	0,17
540	0,2	0,18

Dari data volume gas pada konsentrasi HCl (aq) 1,5 M didapatkan data plot orde 0 dan juga grafik hubungan antara volume gas terhadap waktu sebagai berikut.

Tabel 12. Data Plot Orde 0

Plot Orde 0

Waktu (s)	V (mL)
60	0
120	0,05
180	0,10
240	0,10
300	0,15
360	0,17
420	0,18
480	0,17
540	0,18



Gambar 20. Grafik Hubungan Volume Gas terhadap Waktu pada Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M

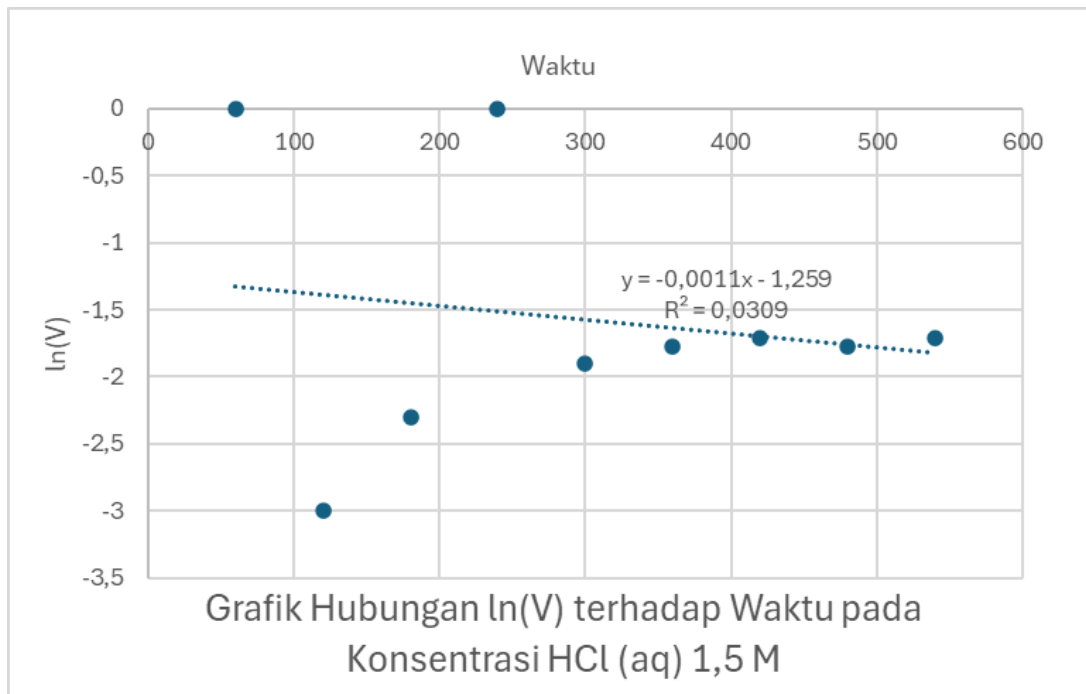
Pada orde 1, digunakan persamaan $\ln(V_{max} - V)$ terhadap waktu (s) sehingga didapatkan data plot orde 1.

Tabel 13. Data Plot Orde 1

Plot Orde 1	
Waktu (s)	$\ln(V)$ (mL)

60	0
120	-2,995732274
180	-2,302585093
240	0
300	-1,897119985
360	-1,771956842
420	-1,714798428
480	-1,771956842
540	-1,714798428

Dari data plot orde 1 di atas, didapatkan grafik hubungan antara $\ln(V_{max} - V)$ dengan waktu pada konsentrasi HCl (aq) 1,5 M.



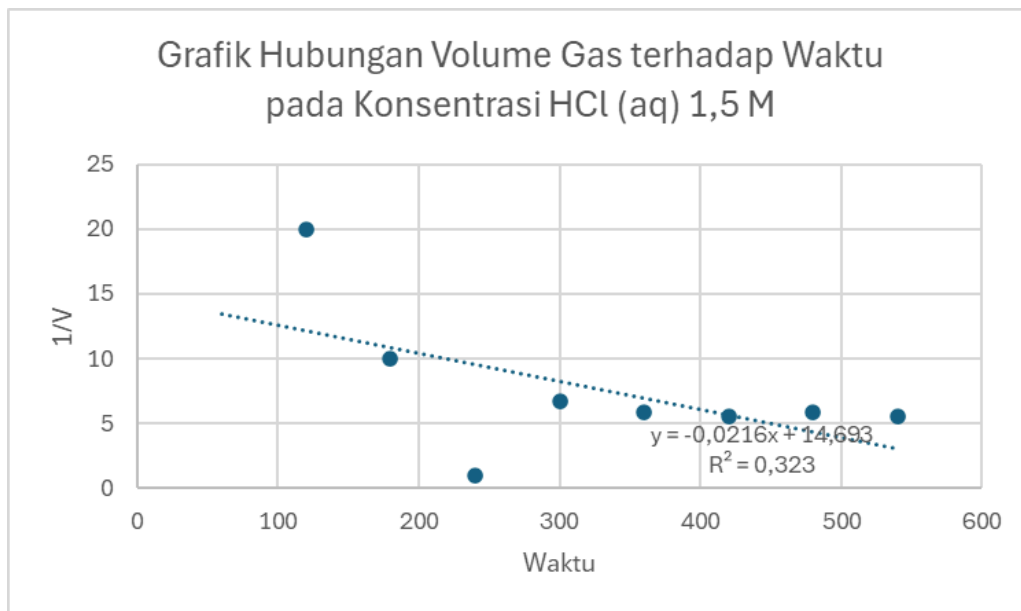
Gambar 21. Grafik Hubungan $\ln(V)$ terhadap Waktu pada Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M

Pada uji orde 2, digunakan hubungan antara $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ terhadap waktu (t) sehingga diperoleh data plot orde 2.

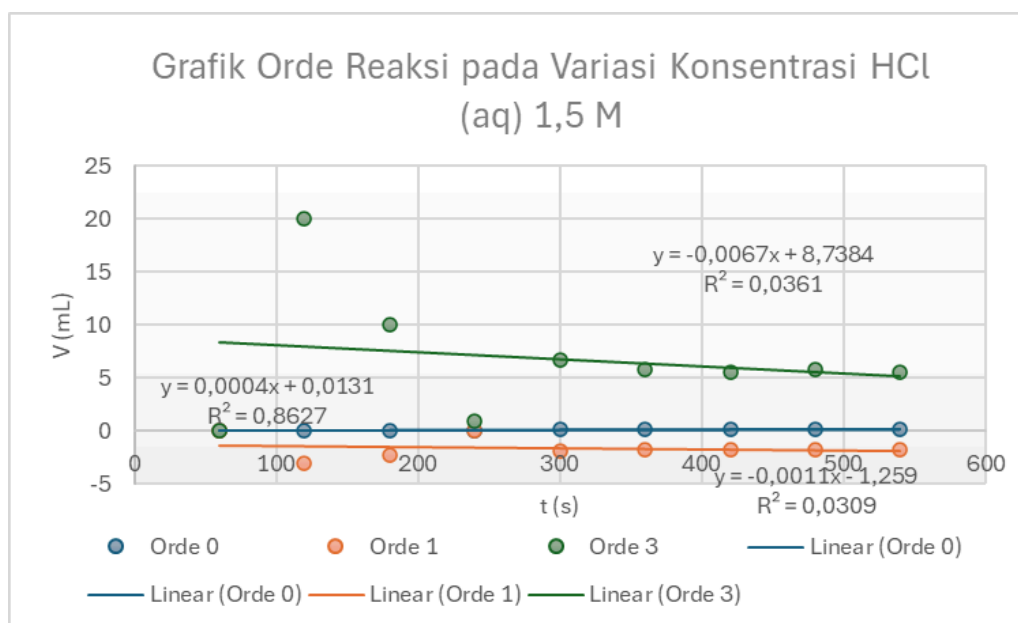
Tabel 14. Data Plot Orde 2

Plot Orde 2	
Waktu (s)	1/V (mL)
60	0
120	20
180	10
240	1
300	6,666666667
360	5,882352941
420	5,555555556
480	5,882352941
540	5,555555556

Dari data plot orde 1 di atas, didapatkan grafik hubungan antara $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ dengan waktu pada konsentrasi HCl (aq) 1,5 M.



Gambar 22. Grafik Hubungan $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ dengan Waktu pada Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M.



Gambar 23. Grafik Orde Reaksi pada Variasi Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M

Berdasarkan hasil analisis grafik pada konsentrasi HCl (aq) 1,5 M, diperoleh persamaan garis ($y = mx + c$) dan koefisien determinasi (R^2) sebagai berikut.

Tabel 15. Data Hasil Analisis Grafik Orde Reaksi pada Variasi Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M

Konsentrasi	Orde	$y = mx + c$	R^2
HCl (aq) 1,5 M	0	$y = 0,0004x + 0,0131$	$R^2 = 0,8627$
	1	$y = -0,0011x + 1,259$	$R^2 = 0,0309$
	2	$y = -0,0216x + 14,693$	$R^2 = 0,323$

Tabel 15. menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi (R^2) paling besar terdapat pada grafik orde 0 (0,8627). Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara volume dan waktu pada orde 0 memiliki tingkat linearitas paling tinggi. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa reaksi yang terjadi pada variasi konsentrasi HCl (aq) 1,5 M mengikuti kinetika reaksi orde 0.

D.2 Perhitungan Orde Reaksi Variasi Suhu (Wafiq Alsa Quelok - 5004241060)

1. Variasi Suhu 30°C

Diketahui: $T = 30^\circ\text{C}$ $V_{max} = 435 \text{ mL}$ (Volume gas maksimal saat reaksi sudah selesai)

Tabel 16. Data Percobaan pada Variasi Suhu ($T = 30^\circ\text{C}$)

No	t (s)	V (mL)
1	10	10

2	20	30
3	30	50
4	40	80
5	50	110
6	60	150
7	70	190
8	80	235
9	90	280
10	100	325
11	110	355
12	120	385
13	130	410
14	140	435
15	150	435
16	160	435
17	170	435
18	180	435

Ditanya : Orde reaksi 0, 1, atau 2?

Jawab : Data volume hasil percobaan diolah untuk membuat grafik hubungan terhadap waktu (t) dengan menghitung nilai berikut.

$$V_{max} - V \quad (23)$$

$$\ln (V_{max} - V) \quad (24)$$

$$\frac{1}{(V_{max} - V)} \quad (25)$$

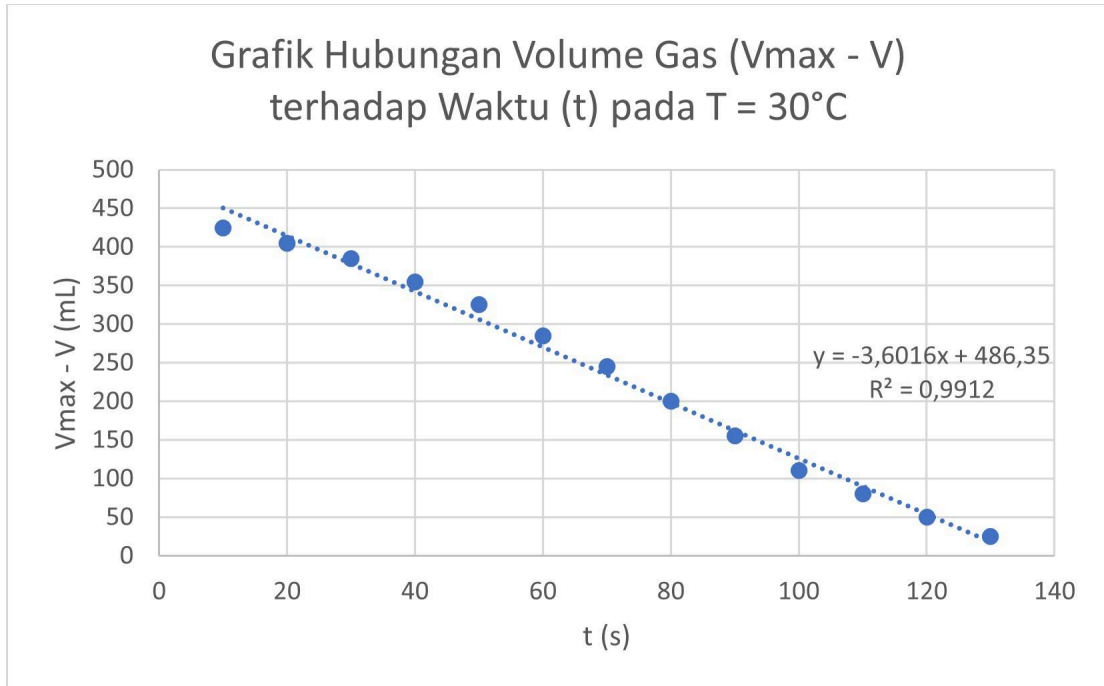
Dari nilai-nilai tersebut, diperoleh grafik dengan persamaan linear yang dapat menentukan orde reaksi.

$$y = mx + c \quad (26)$$

Tabel 17. Data Perhitungan pada Variasi Suhu ($T = 30^{\circ}\text{C}$)

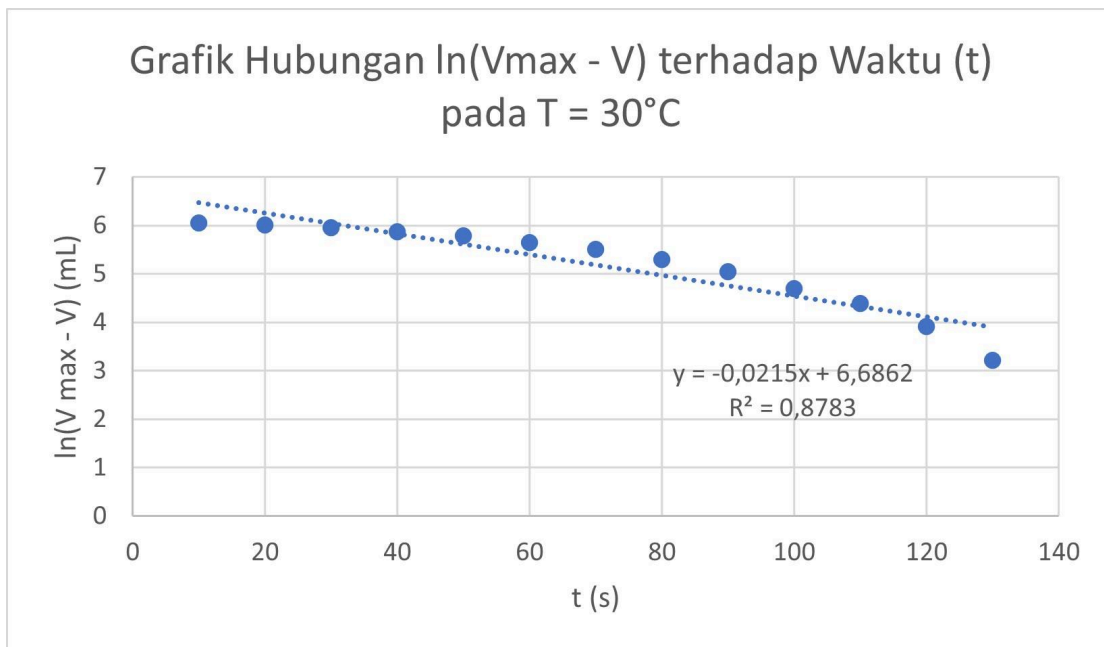
No	t (s)	V (mL)	$V_{max} - V$ (mL)	$\ln (V_{max} - V)$ (mL)	$\frac{1}{(V_{max} - V)}$ (mL)
1	10	10	425	6,052089	0,002353
2	20	30	405	6,003887	0,002469
3	30	50	385	5,953243	0,002597
4	40	80	355	5,872118	0,002817
5	50	110	325	5,783825	0,003077
6	60	150	285	5,652489	0,003509
7	70	190	245	5,501258	0,004082
8	80	235	200	5,298317	0,005
9	90	280	155	5,043425	0,006452
10	100	325	110	4,70048	0,009091
11	110	355	80	4,382027	0,0125
12	120	385	50	3,912023	0,02
13	130	410	25	3,218876	0,04
14	140	435	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>
15	150	435	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>
16	160	435	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>
17	170	435	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>
18	180	435	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>

Data saat $V = V_{max}$ ($t = 140$ — 180 s) tidak digunakan dalam analisis karena pada kondisi tersebut reaksi telah selesai atau tidak terjadi perubahan volume terhadap waktu sehingga tidak dapat mewakili kinetika reaksi. Pada uji orde 0, digunakan hubungan antara volume gas ($V_{max} - V$) terhadap waktu (t) sehingga diperoleh grafik pada **Gambar 24**.



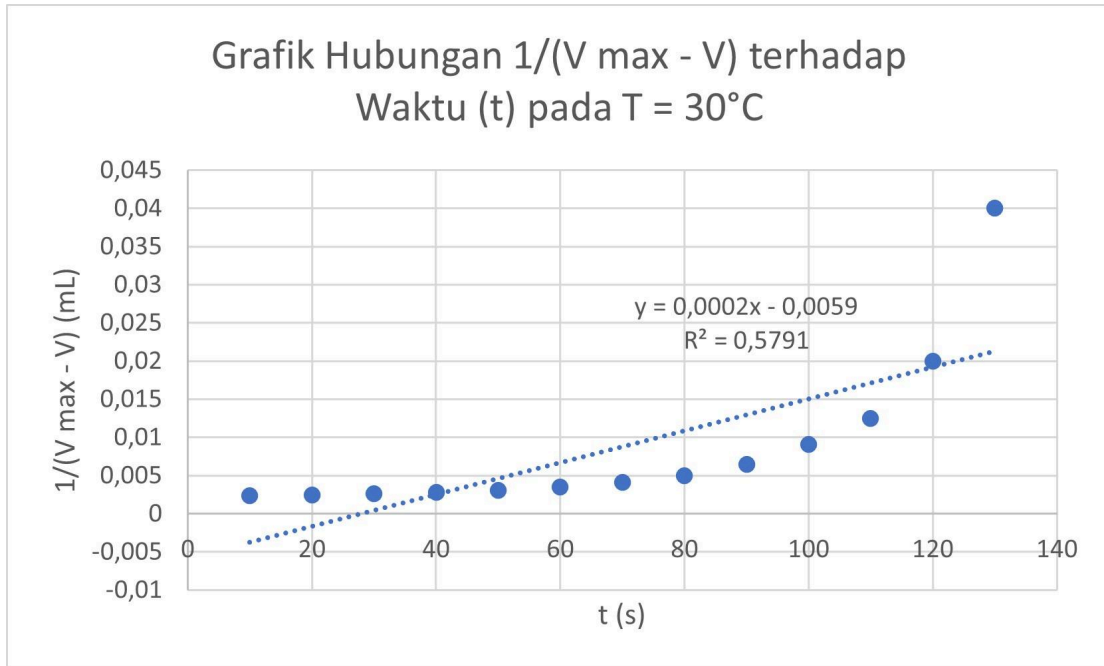
Gambar 24. Grafik Hubungan Volume Gas ($V_{max} - V$) terhadap Waktu (t) pada $T = 30^{\circ}\text{C}$

Pada uji orde 1, digunakan hubungan antara $\ln(V_{max} - V)$ terhadap waktu (t) sehingga diperoleh grafik pada **Gambar 25**.

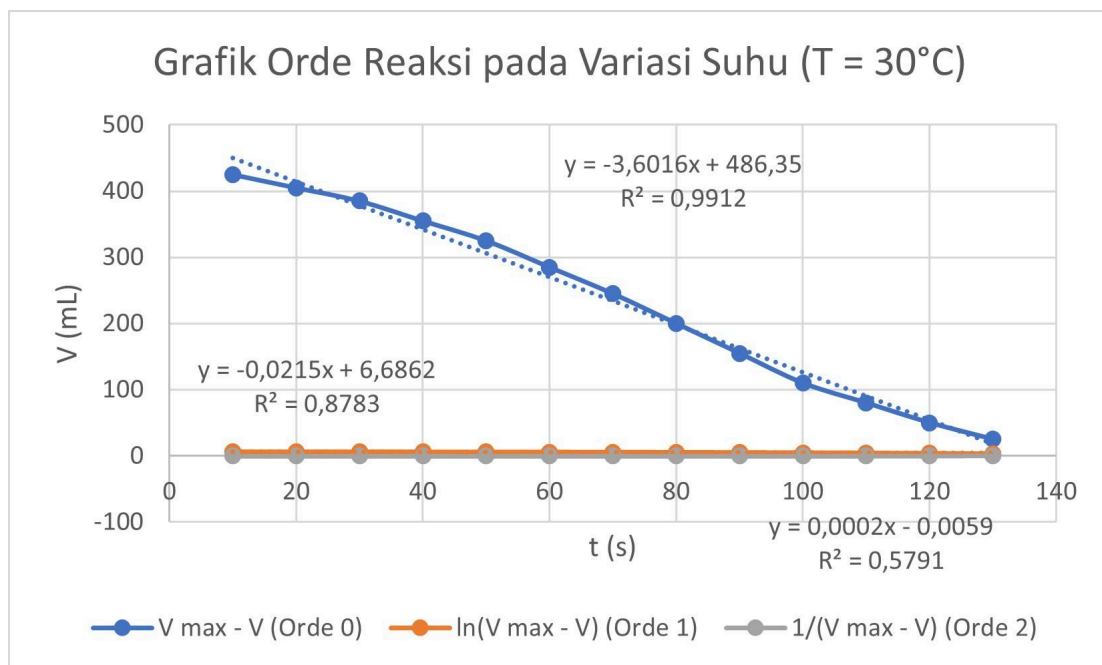


Gambar 25. Grafik Hubungan $\ln(V_{max} - V)$ terhadap Waktu (t) pada $T = 30^{\circ}\text{C}$

Pada uji orde 2, digunakan hubungan antara $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ terhadap waktu (t) sehingga diperoleh grafik pada **Gambar 26**.



Gambar 26. Grafik Hubungan $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ terhadap Waktu (t) pada $T = 30^{\circ}\text{C}$



Gambar 27. Grafik Orde Reaksi pada Variasi Suhu ($T = 30^{\circ}\text{C}$)

Berdasarkan hasil analisis grafik pada variasi $T = 30^{\circ}\text{C}$, diperoleh persamaan garis ($y = mx + c$) dan koefisien determinasi (R^2) sebagai berikut.

Tabel 18. Data Hasil Analisis Grafik Orde Reaksi pada Variasi Suhu ($T = 30^{\circ}\text{C}$)

T ($^{\circ}\text{C}$)	Orde	$y = mx + c$	R^2
30	0	$y = -3,6016x + 486,35$	$R^2 = 0,9912$
	1	$y = -0,0215x + 6,6862$	$R^2 = 0,8783$
	2	$y = 0,0002x - 0,0059$	$R^2 = 0,5791$

Tabel 18. menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi (R^2) paling besar terdapat pada grafik orde 0 (0,9912). Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara volume dan waktu pada orde 0 memiliki tingkat linearitas paling tinggi. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa reaksi yang terjadi pada variasi $T = 30^{\circ}\text{C}$ mengikuti kinetika reaksi orde 0.

2. Variasi Suhu 40°C

Diketahui: $T = 40^{\circ}\text{C}$ $V_{max} = 425 \text{ mL}$ (Volume gas maksimal saat reaksi sudah selesai)

Tabel 19. Data Percobaan pada Variasi Suhu ($T = 40^{\circ}\text{C}$)

No	t (s)	V (mL)
1	10	30
2	20	60
3	30	90
4	40	120
5	50	150
6	60	190
7	70	230
8	80	270
9	90	315
10	100	355
11	110	385
12	120	405
13	130	415

14	140	420
15	150	425
16	160	425
17	170	425
18	180	425

Ditanya: Orde reaksi 0, 1, atau 2?

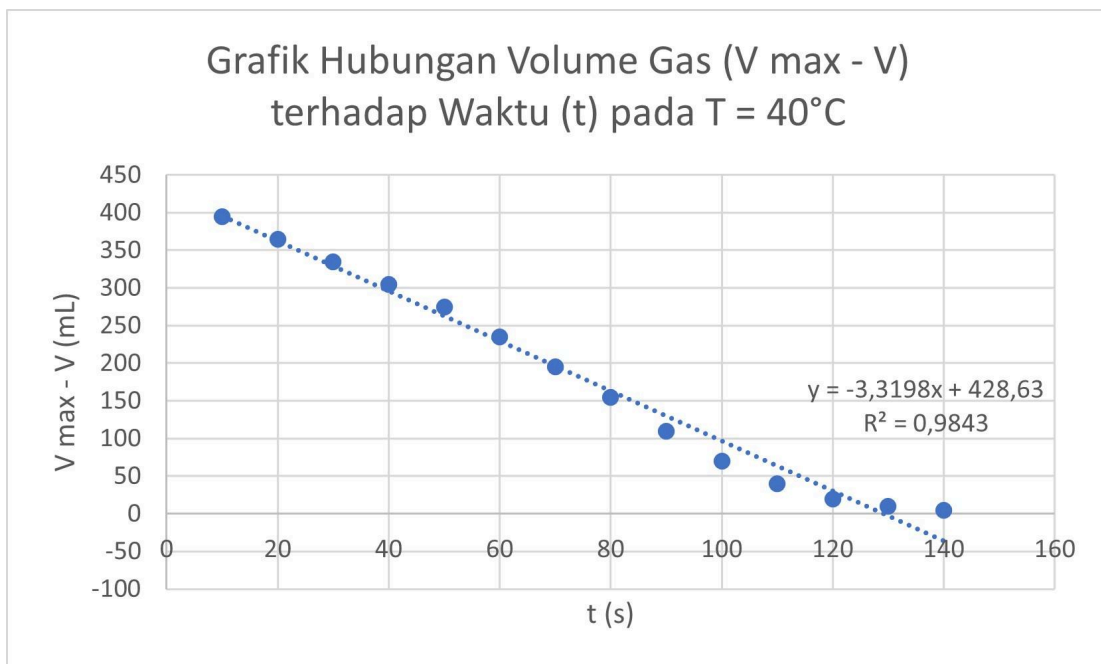
Jawab : Data volume hasil percobaan diolah dengan menghitung nilai $V_{max} - V$, $\ln(V_{max} - V)$, dan $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ untuk membuat grafik hubungan terhadap waktu (t) guna menentukan orde reaksi.

Tabel 20. Data Perhitungan pada Variasi Suhu ($T = 40^{\circ}\text{C}$)

No	t (s)	V (mL)	$V_{max} - V$ (mL)	$\ln(V_{max} - V)$ (mL)	$\frac{1}{(V_{max} - V)}$ (mL)
1	10	30	395	5,978886	0,002532
2	20	60	365	5,899897	0,00274
3	30	90	335	5,814131	0,002985
4	40	120	305	5,720312	0,003279
5	50	150	275	5,616771	0,003636
6	60	190	235	5,459586	0,004255
7	70	230	195	5,273	0,005128
8	80	270	155	5,043425	0,006452
9	90	315	110	4,70048	0,009091
10	100	355	70	4,248495	0,014286
11	110	385	40	3,688879	0,025
12	120	405	20	2,995732	0,05
13	130	415	10	2,302585	0,1
14	140	420	5	1,609438	0,2

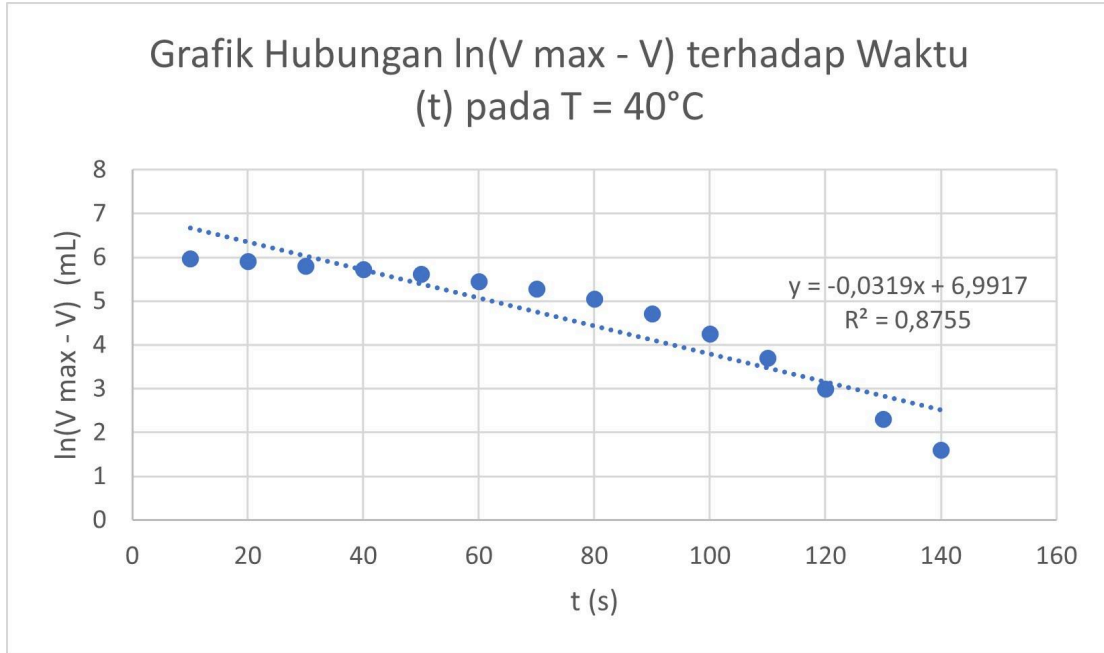
15	150	425	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>
16	160	425	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>
17	170	425	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>
18	180	425	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>

Data saat $V = V_{max}$ ($t = 150\text{--}180$ s) tidak digunakan dalam analisis karena pada kondisi tersebut reaksi telah selesai atau tidak terjadi perubahan volume terhadap waktu sehingga tidak dapat mewakili kinetika reaksi. Pada uji orde 0, digunakan hubungan antara volume gas ($V_{max} - V$) terhadap waktu (t) sehingga diperoleh grafik pada **Gambar 28**.



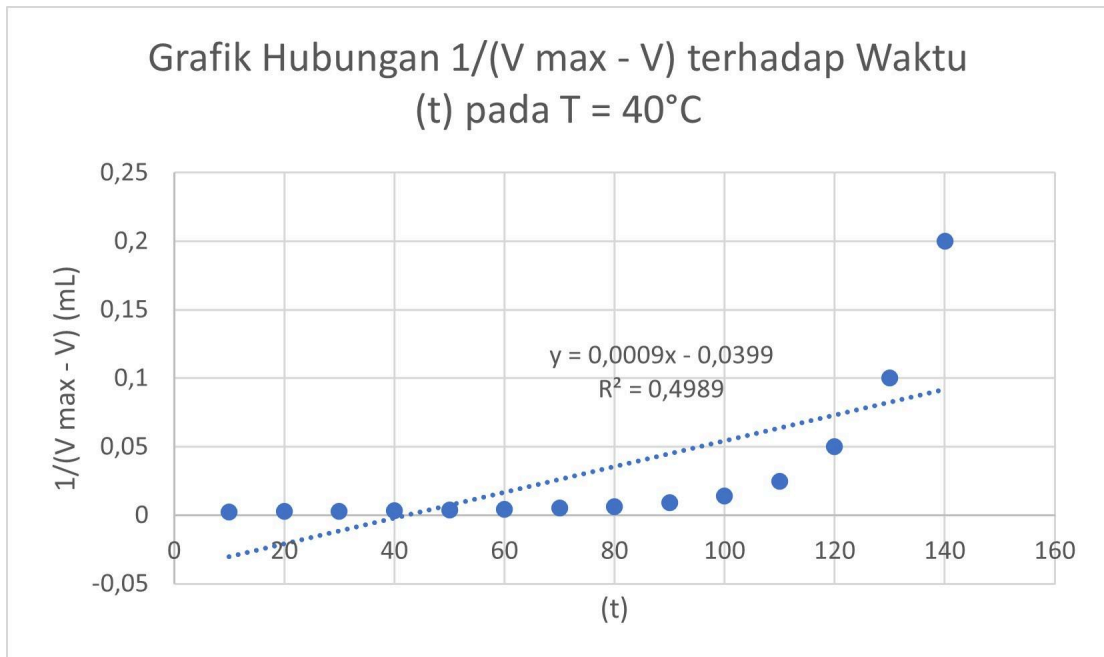
Gambar 28. Grafik Hubungan Volume Gas ($V_{max} - V$) terhadap Waktu (t) pada $T = 40^\circ\text{C}$

Pada uji orde 1, digunakan hubungan antara $\ln(V_{max} - V)$ terhadap waktu (t) sehingga diperoleh grafik pada **Gambar 29**.

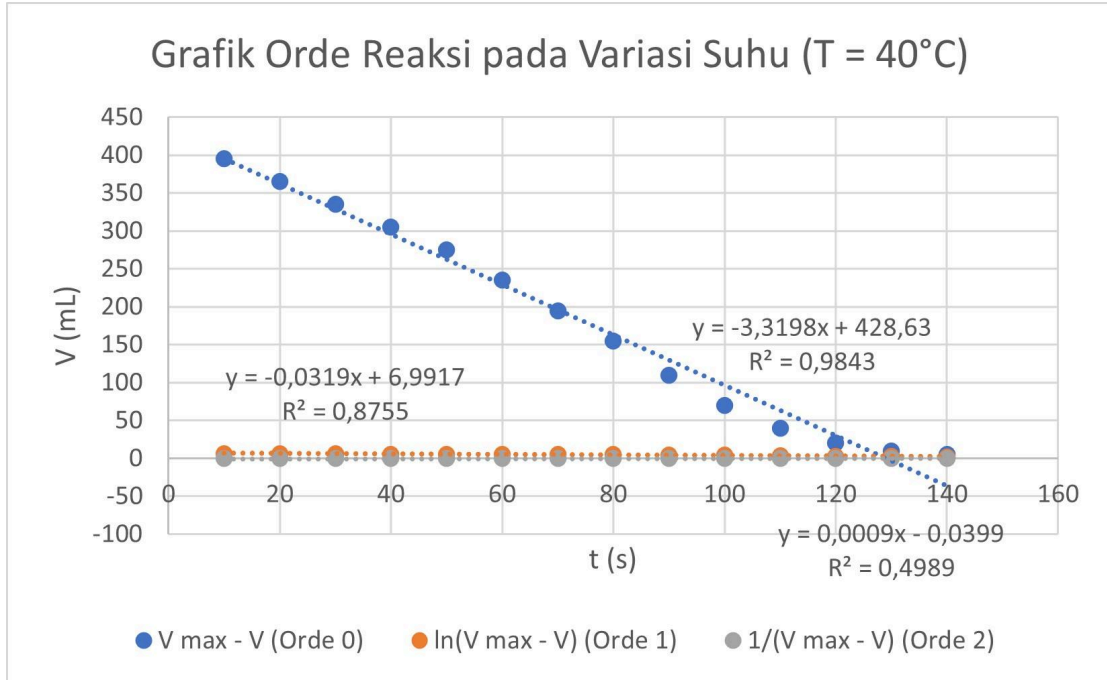


Gambar 29. Grafik Hubungan $\ln (V_{\max} - V)$ terhadap Waktu (t) pada $T = 40^{\circ}\text{C}$

Pada uji orde 2, digunakan hubungan antara $\frac{1}{(V_{\max} - V)}$ terhadap waktu (t) sehingga diperoleh grafik pada **Gambar 30**.



Gambar 30. Grafik Hubungan $\frac{1}{(V_{\max} - V)}$ terhadap Waktu (t) pada $T = 40^{\circ}\text{C}$



Gambar 31. Grafik Orde Reaksi pada Variasi Suhu ($T = 40^{\circ}\text{C}$)

Berdasarkan hasil analisis grafik pada variasi $T = 40^{\circ}\text{C}$, diperoleh persamaan garis ($y = mx + c$) dan koefisien determinasi (R^2) sebagai berikut.

Tabel 21. Data Hasil Analisis Grafik Orde Reaksi pada Variasi Suhu ($T = 40^{\circ}\text{C}$)

T ($^{\circ}\text{C}$)	Orde	$y = mx + c$	R^2
40	0	$y = -3,3198x + 428,63$	$R^2 = 0,9843$
	1	$y = -0,0319x + 6,9917$	$R^2 = 0,8755$
	2	$y = 0,0009x - 0,0399$	$R^2 = 0,4989$

Tabel 21. menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi (R^2) paling besar terdapat pada grafik orde 0 (0,9843). Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara volume dan waktu pada orde 0 memiliki tingkat linearitas paling tinggi. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa reaksi yang terjadi pada variasi $T = 40^{\circ}\text{C}$ mengikuti kinetika reaksi orde 0.

3. Variasi Suhu 50°C

Diketahui: $T = 50^{\circ}\text{C}$ $V_{max} = 355 \text{ mL}$ (Volume gas maksimal saat reaksi sudah selesai)

Tabel 22. Data Percobaan pada Variasi Suhu ($T = 50^{\circ}\text{C}$)

No	t (s)	V (mL)
1	10	50

2	20	100
3	30	150
4	40	200
5	50	250
6	60	290
7	70	320
8	80	340
9	90	350
10	100	355
11	110	355
12	120	355
13	130	355
14	140	355
15	150	355
16	160	355
17	170	355
18	180	355

Ditanya: Orde reaksi 0, 1, atau 2?

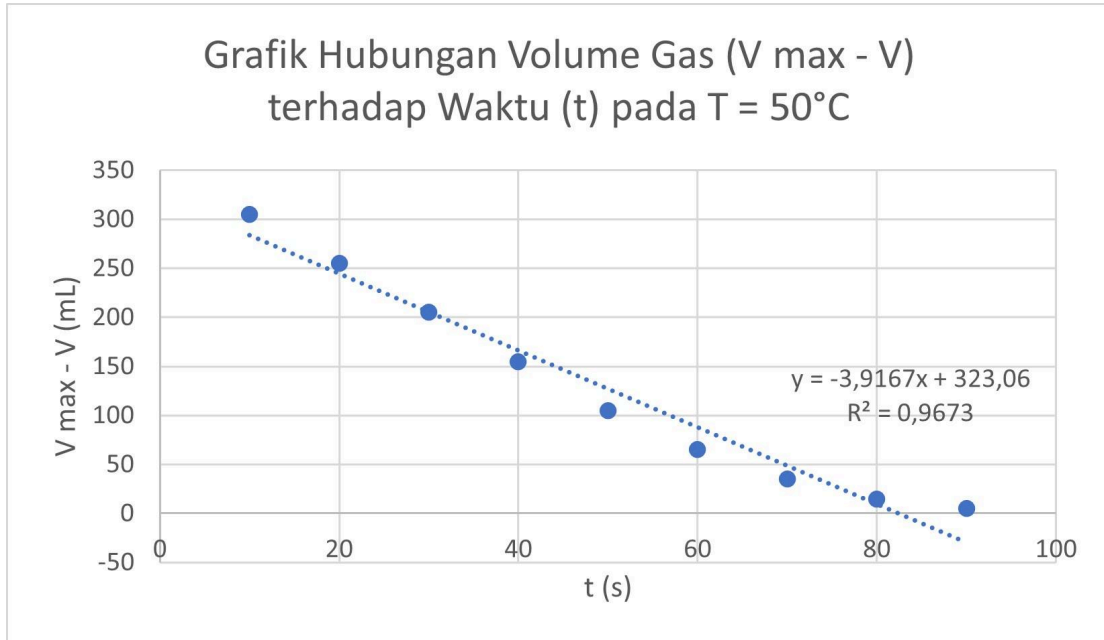
Jawab : Data volume hasil percobaan diolah dengan menghitung nilai $V_{max} - V$, $\ln(V_{max} - V)$, dan $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ untuk membuat grafik hubungan terhadap waktu (t) guna menentukan orde reaksi.

Tabel 23. Data Perhitungan pada Variasi Suhu ($T = 50^{\circ}\text{C}$)

No	t (s)	V (mL)	$V_{max} - V$ (mL)	$\ln(V_{max} - V)$ (mL)	$\frac{1}{(V_{max} - V)}$ (mL)
1	10	50	305	5,720312	0,003279
2	20	100	255	5,541264	0,003922

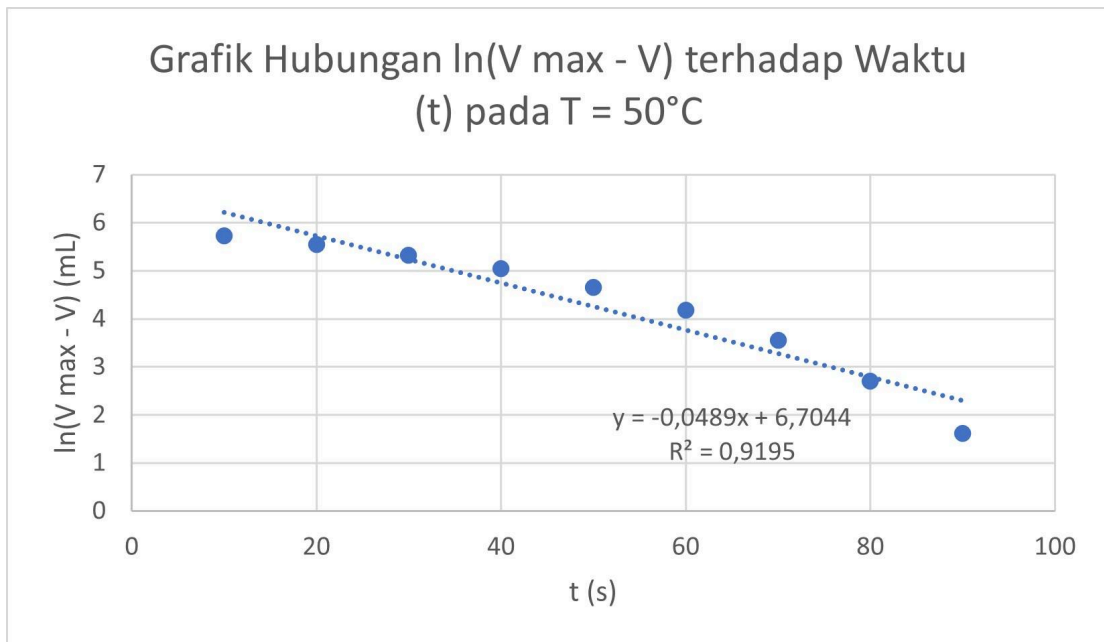
3	30	150	205	5,32301	0,004878
4	40	200	155	5,043425	0,006452
5	50	250	105	4,65396	0,009524
6	60	290	65	4,174387	0,015385
7	70	320	35	3,555348	0,028571
8	80	340	15	2,70805	0,066667
9	90	350	5	1,609438	0,2
10	100	355	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>
11	110	355	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>
12	120	355	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>
13	130	355	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>
14	140	355	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>
15	150	355	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>
16	160	355	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>
17	170	355	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>
18	180	355	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>

Data saat $V = V_{max}$ ($t = 100$ — 180 s) tidak digunakan dalam analisis karena pada kondisi tersebut reaksi telah selesai atau tidak terjadi perubahan volume terhadap waktu sehingga tidak dapat mewakili kinetika reaksi. Pada uji orde 0, digunakan hubungan antara volume gas ($V_{max} - V$) terhadap waktu (t) sehingga diperoleh grafik pada **Gambar 32**.



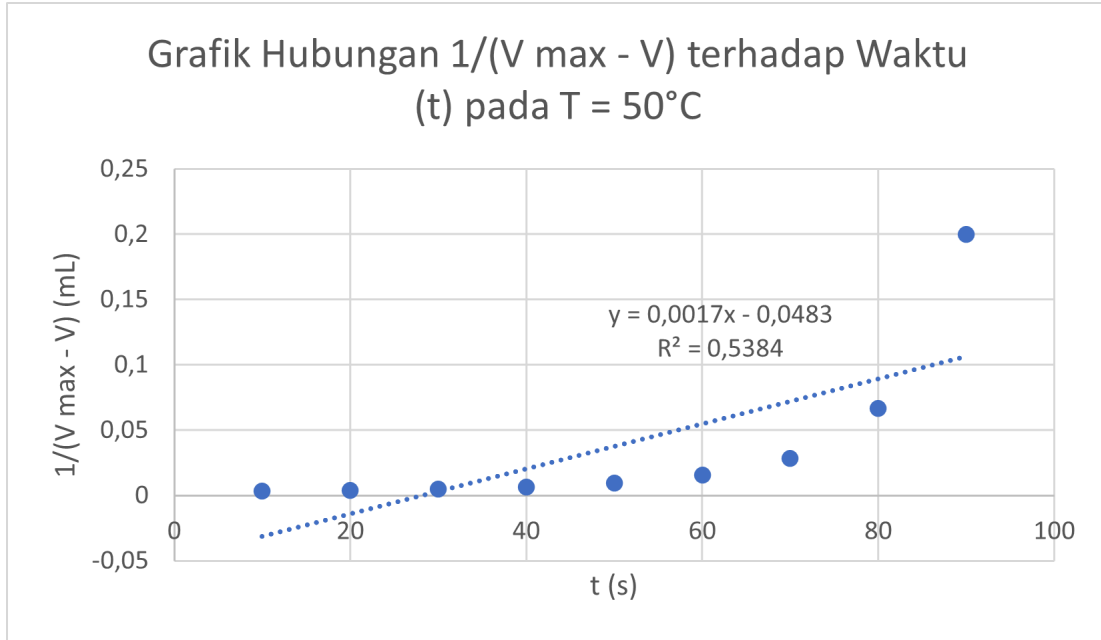
Gambar 32. Grafik Hubungan Volume Gas ($V_{max} - V$) terhadap Waktu (t) pada $T = 50^{\circ}\text{C}$

Pada uji orde 1, digunakan hubungan antara $\ln(V_{max} - V)$ terhadap waktu (t) sehingga diperoleh grafik pada **Gambar 33**.

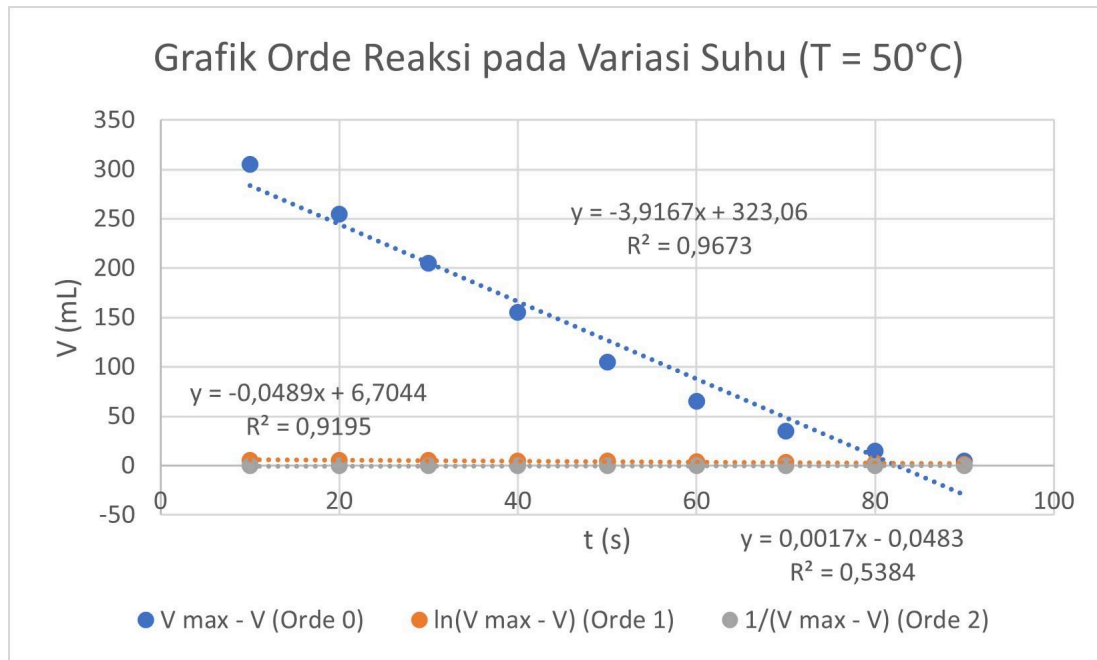


Gambar 33. Grafik Hubungan $\ln(V_{max} - V)$ terhadap Waktu (t) pada $T = 50^{\circ}\text{C}$

Pada uji orde 2, digunakan hubungan antara $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ terhadap waktu (t) sehingga diperoleh grafik pada **Gambar 34**.



Gambar 34. Grafik Hubungan $\frac{1}{(V_{\max} - V)}$ terhadap Waktu (t) pada $T = 50^{\circ}\text{C}$



Gambar 35. Grafik Orde Reaksi pada Variasi Suhu ($T = 50^{\circ}\text{C}$)

Berdasarkan hasil analisis grafik pada variasi $T = 50^{\circ}\text{C}$, diperoleh persamaan garis ($y = mx + c$) dan koefisien determinasi (R^2) sebagai berikut.

Tabel 24. Data Hasil Analisis Grafik Orde Reaksi pada Variasi Suhu ($T = 50^{\circ}\text{C}$)

T ($^{\circ}\text{C}$)	Orde	$y = mx + c$	R^2
50	0	$y = -3,9167x + 323,06$	0,9673
50	1	$y = -0,0489x + 6,7044$	0,9195
50	2	$y = 0,0017x - 0,0483$	0,5384

50	0	$y = -3,9167x + 323,06$	$R^2 = 0,9673$
	1	$y = -0,0489x + 6,7044$	$R^2 = 0,9195$
	2	$y = 0,0017x - 0,0483$	$R^2 = 0,5384$

Tabel 24. menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi (R^2) paling besar terdapat pada grafik orde 0 (0,9673). Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara volume dan waktu pada orde 0 memiliki tingkat linearitas paling tinggi. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa reaksi yang terjadi pada variasi $T = 50^\circ\text{C}$ mengikuti kinetika reaksi orde 0.

Dengan demikian, kinetika reaksi pada variasi suhu $T = 30^\circ\text{C}$, 40°C , dan 50°C adalah reaksi orde 0.

Lampiran E. Perhitungan Energi Aktivasi

E.1 Perhitungan Energi Aktivasi Variasi Suhu (**Wafiq Alsa Quelok - 5004241060**)

Berdasarkan hasil analisis grafik pada penentuan orde reaksi diperoleh persamaan garis sebagai berikut.

Tabel 25. Data Persamaan Garis Hasil Analisis Grafik pada Penentuan Orde Reaksi

T ($^\circ\text{C}$)	Orde	$y = mx + c$
30	0	$y = -3,6016x + 486,35$
40		$y = -3,3198x + 428,63$
50		$y = -3,9167x + 323,06$

E.1.1 Perhitungan Energi Aktivasi Variasi Suhu melalui Pendekatan Persamaan Linear

Secara umum, konstanta laju reaksi dituliskan sebagai berikut.

$$v = k[A]^n \quad (27)$$

dimana k merupakan konstanta laju reaksi, $[A]$ adalah konsentrasi atau volume, dan n adalah orde reaksi. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh bahwa reaksi pada ketiga variasi suhu mengikuti orde 0. Pada reaksi orde 0, laju reaksi tidak bergantung pada konsentrasi atau volume, sehingga persamaan laju reaksi dapat disederhanakan menjadi,

$$v = k \quad (28)$$

Nilai konstanta laju reaksi (k) dapat diperoleh dari persamaan garis linear.

$$y = mx + c \quad (29)$$

dimana y merepresentasikan volume dan x adalah waktu. Dalam persamaan tersebut, kemiringan garis (*slope*, m) menunjukkan laju perubahan volume terhadap waktu ($\Delta V/\Delta t$), yang secara langsung merepresentasikan nilai konstanta laju reaksi (k) pada orde 0. Oleh karena itu, nilai k diperoleh dari nilai absolut *slope* pada grafik.

Tabel 26. Data Nilai Konstanta Variasi Suhu

T ($^\circ\text{C}$)	Orde	k
------------------------	------	---

30	0	3,6016
40		3,3198
50		3,9167

Nilai konstanta laju reaksi (k) yang diperoleh pada masing-masing suhu selanjutnya digunakan untuk menentukan energi aktivasi reaksi. Hubungan antara konstanta laju reaksi dan suhu dinyatakan dalam persamaan Arrhenius sebagai berikut.

$$k = Ae^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (30)$$

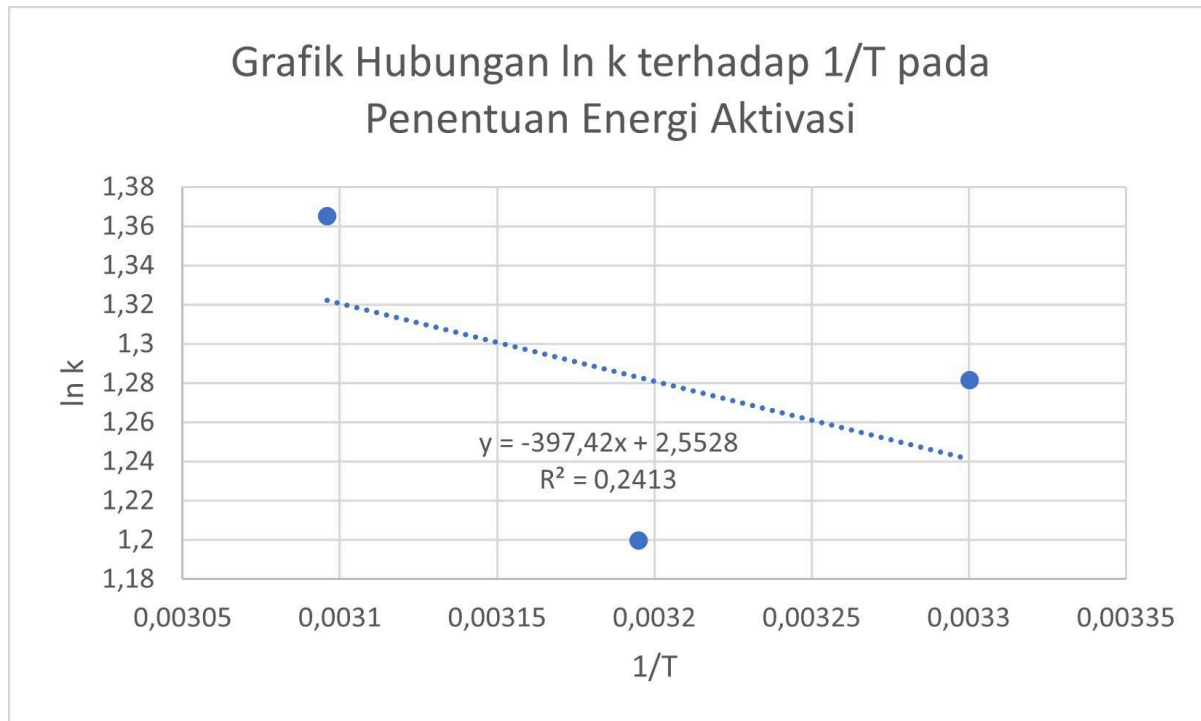
$$\ln k = -\frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T} + \ln A \quad (31)$$

Berdasarkan persamaan tersebut, diketahui bahwa terdapat hubungan linear antara $\ln k$ sebagai fungsi dari $\frac{1}{T}$. Oleh karena itu, data diolah dengan menghitung nilai $\ln k$ dan $\frac{1}{T}$, kemudian diplot dalam bentuk grafik $\ln k$ terhadap $\frac{1}{T}$. Penggunaan $\frac{1}{T}$ bertujuan untuk melinierkan persamaan Arrhenius sehingga dapat dianalisis menggunakan regresi linear.

Tabel 27. Data Grafik Energi Aktivasi

T (K)	k	$\frac{1}{T}$	$\ln k$
303	3,6016	0,00330033	1,281378
313	3,3198	0,003194888	1,199905
323	3,9167	0,003095975	1,365249

Dari data di atas, diperoleh grafik pada **Gambar 36**.



Gambar 36. Grafik Hubungan $\ln k$ terhadap $\frac{1}{T}$ pada Penentuan Energi Aktivasi

Grafik yang diperoleh menghasilkan persamaan linear ($y = mx + c$) dimana $y = \ln k$ dan $x = \frac{1}{T}$. Kemiringan garis (*slope*, m) dari grafik tersebut bernilai $-\frac{Ea}{R}$.

$$\ln k = -\frac{Ea}{R} \cdot \frac{1}{T} + \ln A \quad (32)$$

$$y = m \cdot x + c \quad (33)$$

Maka hubungan *slope* (m) dengan Ea adalah sebagai berikut.

$$m = -\frac{Ea}{R} \quad (34)$$

$$Ea = -m \cdot R \quad (35)$$

Diketahui : Persamaan garis linear pada grafik **Gambar X.** adalah $y = -397,42x + 2,5528$ dan $R^2 = 0,2431$.

Ditanya : $Ea = ?$

Jawab :

$$Ea = -m \cdot R$$

$$Ea = -(-397,42) \cdot 8,314$$

$$Ea = 397,42 \cdot 8,314$$

$$Ea \approx 3304 \text{ J/mol}$$

$$Ea \approx 3,30 \text{ kJ/mol}$$

Dengan demikian, nilai energi aktivasi pada variasi suhu melalui pendekatan persamaan linear adalah sebesar 3,30 kJ/mol. Namun, perlu diketahui bahwa nilai R^2 yang dihasilkan sangat rendah, yaitu 0,2413.

Hal tersebut menunjukkan bahwa hubungan antara $\ln k$ dan $\frac{1}{T}$ pada percobaan ini tidak linear, sehingga energi aktivasi yang diperoleh kurang akurat.

E.1.2 Perhitungan Energi Aktivasi Variasi Suhu secara Manual

Energi aktivasi dapat ditentukan secara manual menggunakan persamaan Arrhenius dua titik berikut.

$$\ln\left(\frac{k_2}{k_1}\right) = \frac{Ea}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) \quad (36)$$

Tabel 28. Data Konstanta Laju Reaksi (k) pada Variasi Suhu

No	T (°C)	T (K)	k
1	30	303	3,6016
2	40	313	3,3198
3	50	323	3,9167

1. Data 1 dan 2

Diketahui : $k_1 = 3,6016, k_2 = 3,3198, T_1 = 303 K, T_2 = 313 K,$

$$R = 8,314 \frac{J}{mol \cdot K}$$

Ditanya : $Ea = ?$

Jawab :

$$\begin{aligned} \ln\left(\frac{k_2}{k_1}\right) &= \frac{Ea}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) \\ \ln\left(\frac{3,3198}{3,6016}\right) &= \frac{Ea}{8,314 \frac{J}{mol \cdot K}} \left(\frac{1}{303 K} - \frac{1}{313 K}\right) \\ -0,0814 &= \frac{Ea}{8,314 \frac{J}{mol}} (0,0033 - 0,0031) \\ -0,0814 &= \frac{Ea}{8,314 \frac{J}{mol}} (0,0002) \\ Ea &= \frac{-0,0814}{0,0002} \times 8,314 \frac{J}{mol} \\ Ea &= -407 \times 8,314 \frac{J}{mol} \\ Ea &= -3383,798 \frac{J}{mol} \end{aligned}$$

(Ea bernilai negatif karena k pada suhu 313 K lebih kecil dibandingkan pada 303 K, sehingga tidak mengikuti kecenderungan teori Arrhenius. Kombinasi Data 1 dan 2 tidak dapat digunakan karena tidak valid).

2. Data 1 dan 3

Diketahui : $k_1 = 3,6016, k_3 = 3,9167, T_1 = 303 K, T_2 = 323 K,$

$$R = 8,314 \frac{J}{mol \cdot K}$$

Ditanya : $Ea = ?$

Jawab :

$$\begin{aligned}\ln\left(\frac{k_3}{k_1}\right) &= \frac{Ea}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_3}\right) \\ \ln\left(\frac{3,9167}{3,6016}\right) &= \frac{Ea}{8,314 \frac{J}{mol \cdot K}} \left(\frac{1}{303 K} - \frac{1}{323 K}\right) \\ 0,0838 &= \frac{Ea}{8,314 \frac{J}{mol}} (0,0033 - 0,0030) \\ 0,0838 &= \frac{Ea}{8,314 \frac{J}{mol}} (0,0003) \\ Ea &= \frac{0,0838}{0,0003} \times 8,314 \frac{J}{mol} \\ Ea &= 279,3 \times 8,314 \frac{J}{mol} \\ Ea &= 2322,1 \frac{J}{mol} \\ Ea &\approx 2,32 \frac{kJ}{mol}\end{aligned}$$

3. Data 2 dan 3

Diketahui : $k_3 = 3,9167, k_2 = 3,3198, T_3 = 323 K, T_2 = 313 K,$

$$R = 8,314 \frac{J}{mol \cdot K}$$

Ditanya : $Ea = ?$

Jawab :

$$\begin{aligned}\ln\left(\frac{k_3}{k_2}\right) &= \frac{Ea}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_3}\right) \\ \ln\left(\frac{3,9167}{3,3198}\right) &= \frac{Ea}{8,314 \frac{J}{mol \cdot K}} \left(\frac{1}{313 K} - \frac{1}{323 K}\right) \\ 0,1653 &= \frac{Ea}{8,314 \frac{J}{mol}} (0,0031 - 0,0030) \\ 0,1653 &= \frac{Ea}{8,314 \frac{J}{mol}} (0,0001) \\ Ea &= \frac{0,1653}{0,0001} \times 8,314 \frac{J}{mol} \\ Ea &= 1653 \times 8,314 \frac{J}{mol} \\ Ea &= 13743,042 \frac{J}{mol} \\ Ea &\approx 13,74 \frac{kJ}{mol}\end{aligned}$$

Perhitungan

Lampiran C. Perhitungan Laju Reaksi

C.1 Perhitungan Laju Reaksi Variasi Konsentrasi (Tsania Chandra Kirana - 5004241077)

Laju sebuah reaksi dapat ditentukan melalui perbandingan perubahan volume terhadap perubahan waktu.

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (X)$$

$$v = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1} \quad (X)$$

Lampiran C. Perhitungan Laju Reaksi

C.1 Perhitungan Laju Reaksi Variasi Konsentrasi (Tsania Chandra Kirana - 5004241077)

Laju sebuah reaksi dapat ditentukan melalui perbandingan perubahan volume terhadap perubahan waktu.

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (X)$$

$$v = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1} \quad (X)$$

$$\bar{v} = \frac{\Sigma v}{\Sigma n} \quad (X)$$

Tabel X. Data Percobaan Variasi Konsentrasi

No	Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M	
	t (s)	V (ml)
1	60	0
2	120	0,05
3	180	0,10
4	240	0,10
5	300	0,15
6	360	0,17
7	420	0,18
8	480	0,17
9	540	0,18

(X)

Perhitungan:

1. 1 & 2

Diketahui $t_1 = 60$ s, $t_2 = 120$ s, $V_1 = 0$, $V_2 = 0,05$ mL

Ditanya v ?

$$v = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$
$$v = \frac{0,05 \text{ mL} - 0 \text{ mL}}{120 \text{ s} - 60 \text{ s}}$$
$$v = 0,00083 \text{ mL/s}$$

2. 2 & 3

Diketahui $t_2 = 120 \text{ s}$, $t_3 = 180 \text{ s}$, $V_2 = 0,05 \text{ mL}$, $V_3 = 0,10 \text{ mL}$

Ditanya v ?

$$v = \frac{V_3 - V_2}{t_3 - t_2}$$
$$v = \frac{0,10 \text{ mL} - 0,05 \text{ mL}}{180 \text{ s} - 120 \text{ s}}$$
$$v = 0,00083 \text{ mL/s}$$

3. 3 & 4

Diket $t_3 = 180 \text{ s}$, $t_4 = 240 \text{ s}$, $V_3 = 0,10 \text{ mL}$, $V_4 = 0,10 \text{ mL}$

Dit v ?

$$v = \frac{V_4 - V_3}{t_4 - t_3}$$
$$v = \frac{0,10 \text{ mL} - 0,10 \text{ mL}}{240 \text{ s} - 180 \text{ s}}$$
$$v = 0 \text{ mL/s}$$

4. 4 & 5

Diket $t_4 = 240 \text{ s}$, $t_5 = 300 \text{ s}$, $V_4 = 0,10 \text{ mL}$, $V_5 = 0,15 \text{ mL}$

Dit v ?

$$v = \frac{V_5 - V_4}{t_5 - t_4}$$
$$v = \frac{0,15 \text{ mL} - 0,10 \text{ mL}}{300 \text{ s} - 240 \text{ s}}$$
$$v = 0,00083 \text{ mL/s}$$

5. 5 & 6

Diket $t_5 = 300 \text{ s}$, $t_6 = 360 \text{ s}$, $V_5 = 0,15 \text{ mL}$, $V_6 = 0,17 \text{ mL}$

Dit v ?

$$v = \frac{V_6 - V_5}{t_6 - t_5}$$
$$v = \frac{0,17 \text{ mL} - 0,15 \text{ mL}}{360 \text{ s} - 300 \text{ s}}$$
$$v = 0,0003 \text{ mL/s}$$

6. 6 & 7

Diket $t_6 = 360$ s, $t_7 = 420$ s, $V_6 = 0,17$ mL,

$V_7 = 0,18$ mL

Dit v ?

$$v = \frac{V_7 - V_6}{t_7 - t_6}$$

$$v = \frac{0,18 \text{ mL} - 0,17 \text{ mL}}{420 \text{ s} - 360 \text{ s}}$$

$$v = 0,00016 \text{ mL/s}$$

7. 7 & 8

Diket $t_7 = 420$ s, $t_8 = 480$ s, $V_7 = 0,18$ mL, V_8

$= 0,17$ mL

Dit v ?

$$v = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

$$v = \frac{0,17 \text{ mL} - 0,18 \text{ mL}}{480 \text{ s} - 420 \text{ s}}$$

$$v = 0,00016 \text{ mL/s}$$

8. 8 & 9

Diket $t_8 = 480$ s, $t_9 = 540$ s, $V_8 = 0,17$ mL, V_9

$= 0,18$ mL

Dit v ?

$$v = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

$$v = \frac{0,18 \text{ mL} - 0,17 \text{ mL}}{540 \text{ s} - 480 \text{ s}}$$

$$v = 0,00016 \text{ mL/s}$$

Tabel X. Data Laju Reaksi Variasi
Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M

v (mL/s)	
v_{12}	0,00083
v_{23}	0,00083
v_{34}	0
v_{45}	0,00083
v_{56}	0,0003

v_{67}	0,00016
v_{78}	0,00016
v_{89}	0,00016
$\bar{v} = \frac{\sum v}{\sum n}$	0,000407

Perlu dilakukan konversi laju reaksi agar satuan laju reaksi yang awalnya mL/s menjadi mol/s menggunakan persamaan gas ideal dengan mempertimbangkan suhu dan tekanan sistem.

$$PV = nRT \quad (X)$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{P}{R \cdot T} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (X)$$

Dengan asumsi gas ideal, $P = 1 \text{ atm}$, $R = 0,08206 \text{ L atm}$
 $\frac{\Delta V}{\Delta t} \approx 0,000407 \text{ mL/s} \approx 0,0000$
 maka besar laju reaksi (v) adalah sebagai berikut.

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{\frac{\Delta n}{\Delta t}}{\frac{P}{R \cdot T} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}} = \frac{1 \text{ atm}}{0,08206 \text{ L atm/mol K} \cdot 298 \text{ K}} \cdot 0,000000407 \text{ L/s}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{0,000000407}{24,453} \text{ mol/s}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} \approx 1,66 \times 10^{-8} \text{ mol/s}$$

C.2 Perhitungan Laju Reaksi Variasi Suhu (Wafiq Alsa Quelok - 5004241060)

Laju sebuah reaksi dapat ditentukan melalui perbandingan perubahan volume terhadap perubahan waktu.

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (X)$$

$$v = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1} \quad (X)$$

$$\bar{v} = \frac{\sum v}{\sum n} \quad (X)$$

Tabel X. Data Percobaan Variasi Suhu

30°C		40°C		50°C	
t (s)	V (mL)	t (s)	V (mL)	t (s)	V (mL)
10	10	10	30	10	10
20	30	20	60	20	20
30	50	30	90	30	30
40	80	40	120	40	40
50	110	50	150	50	50
60	150	60	190	60	60
70	190	70	230	70	70
80	235	80	270	80	80
90	280	90	315	90	90
100	325	100	355	100	100
110	355	110	385	110	110
120	385	120	405	120	120
130	410	130	415	130	130
140	435	140	420	140	140
150	435	150	425	150	150
160	435	160	425	160	160
170	435	170	425	170	170
180	435	180	425	180	180

1. Variasi Suhu 30°C

1) 1 & 2

Diketahui : $t_1 = 10 \text{ s}$,

$t_2 = 20 \text{ s}$, $V_1 = 10 \text{ mL}$,

$V_2 = 30 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL} - 10 \text{ mL}}{20 \text{ s} - 10 \text{ s}}$$

$$v = \frac{20 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 2 \text{ mL/s}$$

2) 2 & 3

Diketahui : $t_2 = 20 \text{ s}$,

$t_3 = 30 \text{ s}$, $V_2 = 30 \text{ mL}$,

$V_3 = 50 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_3 - V_2}{t_3 - t_2}$$

$$v = \frac{50 \text{ mL} - 30 \text{ mL}}{30 \text{ s} - 20 \text{ s}}$$

$$v = \frac{20 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 2 \text{ mL/s}$$

3) 3 & 4

Diketahui : $t_4 = 40 \text{ s}$,

$t_3 = 30 \text{ s}$, $V_4 = 80 \text{ mL}$,

$V_3 = 50 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_4 - V_3}{t_4 - t_3}$$

$$v = \frac{80 \text{ mL} - 50 \text{ mL}}{40 \text{ s} - 30 \text{ s}}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 3 \text{ mL/s}$$

4) 4 & 5

Diketahui : $t_4 = 40 \text{ s}$,

$t_5 = 50 \text{ s}$, $V_4 = 80 \text{ mL}$,

$V_5 = 110 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_5 - V_4}{t_5 - t_4}$$

$$v = \frac{110 \text{ mL} - 80 \text{ mL}}{50 \text{ s} - 40 \text{ s}}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 3 \text{ mL/s}$$

5) 5 & 6

Diketahui : $t_6 = 60 \text{ s}$,

$t_5 = 50 \text{ s}$, $V_6 = 150 \text{ mL}$,

$V_5 = 110 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_6 - V_5}{t_6 - t_5}$$

$$v = \frac{150 \text{ mL} - 110 \text{ mL}}{60 \text{ s} - 50 \text{ s}}$$

$$v = \frac{40 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 4 \text{ mL/s}$$

6) 6 & 7

Diketahui : $t_6 = 60 \text{ s}$,

$t_7 = 70 \text{ s}$, $V_6 = 150 \text{ mL}$,

$V_7 = 190 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_7 - V_6}{t_7 - t_6}$$

$$v = \frac{190 \text{ mL} - 150 \text{ mL}}{70 \text{ s} - 60 \text{ s}}$$

$$v = \frac{40 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 4 \text{ mL/s}$$

7) 7 & 8

Diketahui : $t_8 = 80 \text{ s}$,

$t_7 = 70 \text{ s}$, $V_8 = 235 \text{ mL}$,

$V_7 = 190 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_8 - V_7}{t_8 - t_7}$$

$$v = \frac{235 \text{ mL} - 190 \text{ mL}}{80 \text{ s} - 70 \text{ s}}$$

$$v = \frac{45 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 4,5 \text{ mL/s}$$

8) 8 & 9

Diketahui : $t_8 = 80 \text{ s}$,

$t_9 = 90 \text{ s}$, $V_8 = 235 \text{ mL}$,

$V_9 = 280 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_9 - V_8}{t_9 - t_8}$$

$$v = \frac{280 \text{ mL} - 235 \text{ mL}}{90 \text{ s} - 80 \text{ s}}$$

$$v = \frac{45 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 4,5 \text{ mL/s}$$

9) 9 & 10

Diketahui : $t_{10} = 100 \text{ s}$,

$t_9 = 90 \text{ s}$, $V_{10} = 325 \text{ mL}$,

$V_9 = 280 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{10} - V_9}{t_{10} - t_9}$$

$$v = \frac{325 \text{ mL} - 280 \text{ mL}}{100 \text{ s} - 90 \text{ s}}$$

$$v = \frac{45 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 4,5 \text{ mL/s}$$

10) 10 & 11

Diketahui : $t_{10} = 100 \text{ s}$,

$t_{11} = 110 \text{ s}$, $V_{10} = 325 \text{ mL}$,

$V_{11} = 355 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{11} - V_{10}}{t_{11} - t_{10}}$$

$$v = \frac{355 \text{ mL} - 325 \text{ mL}}{110 \text{ s} - 100 \text{ s}}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 3 \text{ mL/s}$$

11) 11 & 12

Diketahui : $t_{12} = 120 \text{ s}$,

$t_{11} = 110 \text{ s}$, $V_{12} = 385 \text{ mL}$,

$V_{11} = 355 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{12} - V_{11}}{t_{12} - t_{11}}$$

$$v = \frac{385 \text{ mL} - 355 \text{ mL}}{120 \text{ s} - 110 \text{ s}}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 3 \text{ mL/s}$$

12) 12 & 13

Diketahui : $t_{12} = 120 \text{ s}$,

$t_{13} = 130 \text{ s}$, $V_{12} = 385 \text{ mL}$,

$V_{13} = 410 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{13} - V_{12}}{t_{13} - t_{12}}$$

$$v = \frac{410 \text{ mL} - 385 \text{ mL}}{130 \text{ s} - 120 \text{ s}}$$

$$v = \frac{25 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 2,5 \text{ mL/s}$$

13) 13 & 14

Diketahui : $t_{14} = 140 \text{ s}$,

$t_{13} = 130 \text{ s}$, $V_{14} = 435 \text{ mL}$,

$V_{13} = 410 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{14} - V_{13}}{t_{14} - t_{13}}$$

$$v = \frac{435 \text{ mL} - 410 \text{ mL}}{140 \text{ s} - 130 \text{ s}}$$

$$v = \frac{25 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 2,5 \text{ mL/s}$$

14) 14 & 15

Diketahui : $t_{14} = 140 \text{ s}$,

$t_{15} = 150 \text{ s}$, $V_{14} = 435 \text{ mL}$,

$V_{15} = 435 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{15} - V_{14}}{t_{15} - t_{14}}$$

$$v = \frac{435 \text{ mL} - 435 \text{ mL}}{150 \text{ s} - 140 \text{ s}}$$

$$v = \frac{0 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 0 \text{ mL/s}$$

Tabel X. Data Laju Reaksi Variasi Suhu ($T = 30^\circ\text{C}$)

$v \text{ (mL/s)}$	
v_{12}	2
v_{23}	2
v_{34}	3
v_{45}	3
v_{56}	4
v_{67}	4
v_{78}	4,5
v_{89}	4,5

$v_{9\ 10}$	4,5
$v_{10\ 11}$	3
$v_{11\ 12}$	3
$v_{12\ 13}$	2,5
$v_{13\ 14}$	2,5
$v_{14\ 15}$	0
$\bar{v} = \frac{\sum v}{\sum n}$	3,03

Laju reaksi hasil percobaan dinyatakan dalam satuan mL/s karena didasarkan pada perubahan volume gas terhadap waktu. Namun, secara teoritis laju reaksi dinyatakan dalam satuan mol/s . Oleh karena itu, dilakukan konversi satuan dari mL/s ke mol/s menggunakan persamaan gas ideal dengan mempertimbangkan suhu dan tekanan sistem.

$$PV = nRT \quad (X)$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{P}{R \cdot T} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (X)$$

Dengan asumsi gas ideal, $P = 1\ atm$, $R = 0,08206\ L\ atm$
 $\frac{\Delta V}{\Delta t} \approx 3,03\ mL/s \approx 0,00303\ L/s$
maka besar laju reaksi (v) adalah sebagai berikut.

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{P}{R \cdot T} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{1\ atm}{0,08206\ L\ atm/mol\ K \cdot 303\ K} \cdot 0,00303\ L/s$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{0,00303}{24,87}\ mol/s$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} \approx 0,000121\ mol/s$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} \approx 1,21 \times 10^{-4}\ mol/s$$

2. Variasi Suhu 40°C

1) 1 & 2

Diketahui : $t_1 = 10 \text{ s}$,

$t_2 = 20 \text{ s}$, $V_1 = 30 \text{ mL}$,

$V_2 = 60 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

$$v = \frac{60 \text{ mL} - 30 \text{ mL}}{20 \text{ s} - 10 \text{ s}}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 3 \text{ mL/s}$$

2) 2 & 3

Diketahui : $t_2 = 20 \text{ s}$,

$t_3 = 30 \text{ s}$, $V_2 = 60 \text{ mL}$,

$V_3 = 90 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_3 - V_2}{t_3 - t_2}$$

$$v = \frac{90 \text{ mL} - 60 \text{ mL}}{30 \text{ s} - 20 \text{ s}}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 3 \text{ mL/s}$$

3) 3 & 4

Diketahui : $t_4 = 40 \text{ s}$,

$t_3 = 30 \text{ s}$, $V_4 = 120 \text{ mL}$,

$V_3 = 90 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_4 - V_3}{t_4 - t_3}$$

$$v = \frac{120 \text{ mL} - 90 \text{ mL}}{40 \text{ s} - 30 \text{ s}}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 3 \text{ mL/s}$$

4) 4 & 5

Diketahui : $t_4 = 40 \text{ s}$,

$t_5 = 50 \text{ s}$, $V_4 = 120 \text{ mL}$,

$V_5 = 150 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_5 - V_4}{t_5 - t_4}$$

$$v = \frac{150 \text{ mL} - 120 \text{ mL}}{50 \text{ s} - 40 \text{ s}}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 3 \text{ mL/s}$$

5) 5 & 6

Diketahui : $t_6 = 60 \text{ s}$,

$t_5 = 50 \text{ s}$, $V_6 = 190 \text{ mL}$,

$V_5 = 150 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_6 - V_5}{t_6 - t_5}$$

$$v = \frac{190 \text{ mL} - 150 \text{ mL}}{60 \text{ s} - 50 \text{ s}}$$

$$v = \frac{40 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 4 \text{ mL/s}$$

6) 6 & 7

Diketahui : $t_6 = 60 \text{ s}$,

$t_7 = 70 \text{ s}$, $V_6 = 190 \text{ mL}$,

$V_7 = 230 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_7 - V_6}{t_7 - t_6}$$

$$v = \frac{230 \text{ mL} - 190 \text{ mL}}{70 \text{ s} - 60 \text{ s}}$$

$$v = \frac{40 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 4 \text{ mL/s}$$

7) 7 & 8

Diketahui : $t_8 = 80 \text{ s}$,

$t_7 = 70 \text{ s}$, $V_8 = 270 \text{ mL}$,

$V_7 = 230 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_8 - V_7}{t_8 - t_7}$$

$$v = \frac{270 \text{ mL} - 230 \text{ mL}}{80 \text{ s} - 70 \text{ s}}$$

$$v = \frac{40 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 4 \text{ mL/s}$$

8) 8 & 9

Diketahui : $t_8 = 80 \text{ s}$,

$t_9 = 90 \text{ s}$, $V_8 = 270 \text{ mL}$,

$V_9 = 315 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_9 - V_8}{t_9 - t_8}$$

$$v = \frac{315 \text{ mL} - 270 \text{ mL}}{90 \text{ s} - 80 \text{ s}}$$

$$v = \frac{45 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 4,5 \text{ mL/s}$$

9) 9 & 10

Diketahui : $t_{10} = 100 \text{ s}$,

$t_9 = 90 \text{ s}$, $V_{10} = 355 \text{ mL}$,

$V_9 = 315 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{10} - V_9}{t_{10} - t_9}$$

$$v = \frac{355 \text{ mL} - 315 \text{ mL}}{100 \text{ s} - 90 \text{ s}}$$

$$v = \frac{40 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 4 \text{ mL/s}$$

10) 10 & 11

Diketahui : $t_{10} = 100 \text{ s}$,

$t_{11} = 110 \text{ s}$, $V_{10} = 355 \text{ mL}$,

$V_{11} = 385 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{11} - V_{10}}{t_{11} - t_{10}}$$

$$v = \frac{385 \text{ mL} - 355 \text{ mL}}{110 \text{ s} - 100 \text{ s}}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 3 \text{ mL/s}$$

11) 11 & 12

Diketahui : $t_{12} = 120 \text{ s}$,

$t_{11} = 110 \text{ s}$, $V_{12} = 405 \text{ mL}$,

$V_{11} = 385 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{12} - V_{11}}{t_{12} - t_{11}}$$

$$v = \frac{405 \text{ mL} - 385 \text{ mL}}{120 \text{ s} - 110 \text{ s}}$$

$$v = \frac{20 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 2 \text{ mL/s}$$

12) 12 & 13

Diketahui : $t_{12} = 120 \text{ s}$,

$t_{13} = 130 \text{ s}$, $V_{12} = 405 \text{ mL}$,

$V_{13} = 415 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{13} - V_{12}}{t_{13} - t_{12}}$$

$$v = \frac{415 \text{ mL} - 405 \text{ mL}}{130 \text{ s} - 120 \text{ s}}$$

$$v = \frac{10 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 1 \text{ mL/s}$$

13) 13 & 14

Diketahui : $t_{14} = 140 \text{ s}$,

$$t_{13} = 130 \text{ s}, V_{14} = 420 \text{ mL},$$

$$V_{13} = 415 \text{ mL}$$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{14} - V_{13}}{t_{14} - t_{13}}$$

$$v = \frac{420 \text{ mL} - 415 \text{ mL}}{140 \text{ s} - 130 \text{ s}}$$

$$v = \frac{5 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 0,5 \text{ mL/s}$$

14) 14 & 15

Diketahui : $t_{14} = 140 \text{ s}$,

$$t_{15} = 150 \text{ s}, V_{14} = 420 \text{ mL},$$

$$V_{15} = 425 \text{ mL}$$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{15} - V_{14}}{t_{15} - t_{14}}$$

$$v = \frac{425 \text{ mL} - 420 \text{ mL}}{150 \text{ s} - 140 \text{ s}}$$

$$v = \frac{5 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 0,5 \text{ mL/s}$$

15) 15 & 16

Diketahui : $t_{16} = 160 \text{ s}$,

$$t_{15} = 150 \text{ s}, V_{16} = 425 \text{ mL},$$

$$V_{15} = 425 \text{ mL}$$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{16} - V_{15}}{t_{16} - t_{15}}$$

$$v = \frac{425 \text{ mL} - 425 \text{ mL}}{160 \text{ s} - 150 \text{ s}}$$

$$v = \frac{0 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 0 \text{ mL/s}$$

Tabel X. Data Laju Reaksi Variasi Suhu ($T = 40^{\circ}\text{C}$)

$v \text{ (mL/s)}$	
v_{12}	3
v_{23}	3
v_{34}	3
v_{45}	3
v_{56}	4
v_{67}	4
v_{78}	4
v_{89}	4,5
v_{910}	4
v_{1011}	3
v_{1112}	2
v_{1213}	1
v_{1314}	0,5
v_{1415}	0,5
v_{1516}	0
$\bar{v} = \frac{\sum v}{\sum n}$	2,63

Dengan asumsi gas ideal,
 $P = 1 \text{ atm}$, $R = 0,08206 \text{ L atm}$
 $\frac{\Delta V}{\Delta t} \approx 2,63 \text{ mL/s} \approx 0,00263 \text{ L/s}$
 maka besar laju reaksi (v) adalah sebagai berikut.

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{P}{R \cdot T} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{1 \text{ atm}}{0,08206 \text{ L atm/mol K} \cdot 313 \text{ K}} \cdot 0,00263 \text{ L/s}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{0,00263}{25,68} \text{ mol/s}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} \approx 0,000102 \text{ mol/s}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} \approx 1,02 \times 10^{-4} \text{ mol/s}$$

3. Variasi Suhu 50°C

1) 1 & 2

Diketahui : $t_1 = 10 \text{ s}$,

$t_2 = 20 \text{ s}$, $V_1 = 50 \text{ mL}$,

$V_2 = 100 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

$$v = \frac{100 \text{ mL} - 50 \text{ mL}}{20 \text{ s} - 10 \text{ s}}$$

$$v = \frac{50 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 5 \text{ mL/s}$$

2) 2 & 3

Diketahui : $t_2 = 20 \text{ s}$,

$t_3 = 30 \text{ s}$, $V_2 = 100 \text{ mL}$,

$V_3 = 150 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_3 - V_2}{t_3 - t_2}$$

$$v = \frac{150 \text{ mL} - 100 \text{ mL}}{30 \text{ s} - 20 \text{ s}}$$

$$v = \frac{50 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 5 \text{ mL/s}$$

3) 3 & 4

Diketahui : $t_4 = 40 \text{ s}$,

$t_3 = 30 \text{ s}$, $V_4 = 200 \text{ mL}$,

$V_3 = 150 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_4 - V_3}{t_4 - t_3}$$

$$v = \frac{200 \text{ mL} - 150 \text{ mL}}{40 \text{ s} - 30 \text{ s}}$$

$$v = \frac{50 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 5 \text{ mL/s}$$

4) 4 & 5

Diketahui : $t_4 = 40 \text{ s}$,

$t_5 = 50 \text{ s}$, $V_4 = 200 \text{ mL}$,

$V_5 = 250 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_5 - V_4}{t_5 - t_4}$$

$$v = \frac{250 \text{ mL} - 200 \text{ mL}}{50 \text{ s} - 40 \text{ s}}$$

$$v = \frac{50 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 5 \text{ mL/s}$$

5) 5 & 6

Diketahui : $t_6 = 60 \text{ s}$,

$t_5 = 50 \text{ s}$, $V_6 = 290 \text{ mL}$,

$V_5 = 250 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_6 - V_5}{t_6 - t_5}$$

$$v = \frac{290 \text{ mL} - 250 \text{ mL}}{60 \text{ s} - 50 \text{ s}}$$

$$v = \frac{40 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 4 \text{ mL/s}$$

6) 6 & 7

Diketahui : $t_6 = 60 \text{ s}$,

$t_7 = 70 \text{ s}$, $V_6 = 290 \text{ mL}$,

$V_7 = 320 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_7 - V_6}{t_7 - t_6}$$

$$v = \frac{320 \text{ mL} - 290 \text{ mL}}{70 \text{ s} - 60 \text{ s}}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 3 \text{ mL/s}$$

7) 7 & 8

Diketahui : $t_8 = 80 \text{ s}$,

$t_7 = 70 \text{ s}$, $V_8 = 340 \text{ mL}$,

$V_7 = 320 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_8 - V_7}{t_8 - t_7}$$

$$v = \frac{340 \text{ mL} - 320 \text{ mL}}{80 \text{ s} - 70 \text{ s}}$$

$$v = \frac{20 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 2 \text{ mL/s}$$

8) 8 & 9

Diketahui : $t_8 = 80 \text{ s}$,

$t_9 = 90 \text{ s}$, $V_8 = 340 \text{ mL}$,

$V_9 = 350 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_9 - V_8}{t_9 - t_8}$$

$$v = \frac{350 \text{ mL} - 340 \text{ mL}}{90 \text{ s} - 80 \text{ s}}$$

$$v = \frac{10 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 1 \text{ mL/s}$$

9) 9 & 10

Diketahui : $t_{10} = 100 \text{ s}$,

$t_9 = 90 \text{ s}$, $V_{10} = 355 \text{ mL}$,

$V_9 = 350 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{10} - V_9}{t_{10} - t_9}$$

$$v = \frac{355 \text{ mL} - 350 \text{ mL}}{100 \text{ s} - 90 \text{ s}}$$

$$v = \frac{5 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 0,5 \text{ mL/s}$$

10) 10 & 11

Diketahui : $t_{10} = 100 \text{ s}$,

$t_{11} = 110 \text{ s}$, $V_{10} = 355 \text{ mL}$,

$V_{11} = 355 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{11} - V_{10}}{t_{11} - t_{10}}$$

$$v = \frac{355 \text{ mL} - 355 \text{ mL}}{110 \text{ s} - 100 \text{ s}}$$

$$v = \frac{0 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 0 \text{ mL/s}$$

Tabel X. Data Laju Reaksi Variasi
Suhu ($T = 50^\circ\text{C}$)

$v \text{ (mL/s)}$	
v_{12}	5
v_{23}	5
v_{34}	5
v_{45}	5
v_{56}	4
v_{67}	3
v_{78}	2
v_{89}	1
v_{910}	0,5
v_{1011}	0

$\bar{v} = \frac{\sum v}{\sum n}$	3,05
-----------------------------------	------

Dengan asumsi gas ideal

$$P = 1 \text{ atm}, R = 0,08206 \text{ L atm}$$

$$, T = 50^\circ\text{C} = 323 \text{ K},$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = 3,05 \text{ mL/s} = 0,00305 \text{ L/s}$$

maka besar laju reaksi (v) adalah sebagai berikut.

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{P}{R \cdot T} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{1 \text{ atm}}{0,08206 \text{ L atm/mol K} \cdot 323 \text{ K}} \cdot 0,00305 \text{ L/s}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{0,00305}{26,51} \text{ mol/s}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} \approx 0,000115 \text{ mol/s}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} \approx 1,15 \times 10^{-4} \text{ mol/s}$$

Lampiran D. Perhitungan Orde Reaksi

D.1 Perhitungan Orde Reaksi Variasi Konsentrasi (Tsania Chandra Kirana - 5004241077)

Berikut adalah hasil data dari percobaan pada variasi konsentrasi HCl (aq) 1,5 M

Tabel X. Data Percobaan pada Variasi Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M

No	Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M	
	t (s)	V (ml)
1	60	0
2	120	0,05
3	180	0,10
4	240	0,10
5	300	0,15
6	360	0,17
7	420	0,18
8	480	0,17

9	540	0,18
---	-----	------

Data percobaan yang telah didapatkan diolah untuk mendapatkan grafik hubungan antara Volume gas dengan Waktu menggunakan persamaan berikut:

$$V_{max} - V \quad (X)$$

$$\ln(V_{max} - V) \quad (X)$$

$$\frac{1}{(V_{max} - V)} \quad (X)$$

Dari persamaan diatas, didapatkan persamaan orde reaksi nya yaitu,

$$y = mx + c \quad (X)$$

Untuk mendapatkan Volume gas, dihitung terlebih dahulu dengan persamaan $V_{max} - V$ sehingga didapatkan data sebagai berikut.

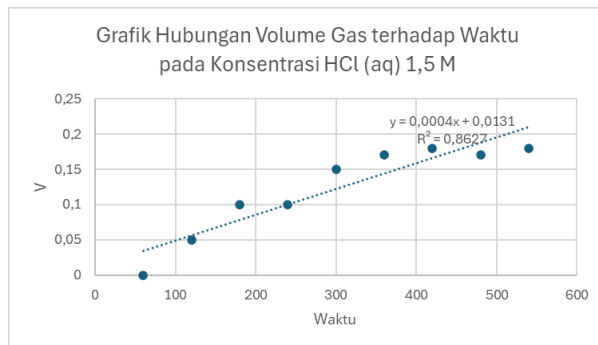
Tabel X. Data volume gas pada konsentrasi HCl (aq) 1,5 M

HCl (aq) 1,5 M		
Waktu (s)	V pipet kapiler (mm)	Vmax = Vmax - V (mL)
60	2	0
120	1,5	0,05
180	1	0,10
240	1	0,10
300	0,5	0,15
360	0,3	0,17
420	0,2	0,18
480	0,3	0,17
540	0,2	0,18

Dari data volume gas pada konsentrasi HCl (aq) 1,5 M didapatkan data plot orde 0 dan juga grafik hubungan antara volume gas terhadap waktu sebagai berikut.

Tabel X. Data Plot Orde 0

Plot Orde 0	
Waktu (s)	V (mL)
60	0
120	0,05
180	0,10
240	0,10
300	0,15
360	0,17
420	0,18
480	0,17
540	0,18



Gambar X. Grafik Hubungan Volume Gas terhadap Waktu pada Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M

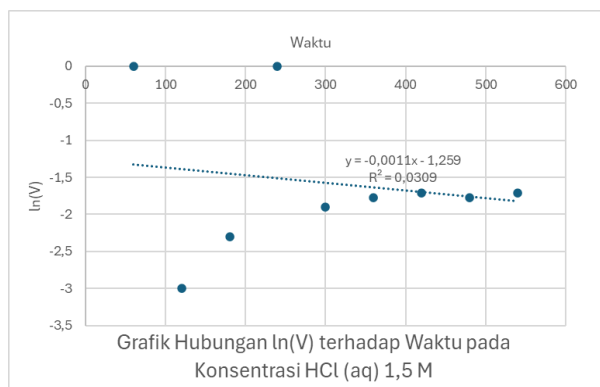
Pada orde 1, digunakan persamaan $\ln(V_{max} - V)$ terhadap waktu (s) sehingga didapatkan data plot orde 1.

Tabel X. Data Plot Orde 1

Plot Orde 1

Waktu (s)	ln(V) (mL)
60	0
120	-2,995732274
180	-2,302585093
240	0
300	-1,897119985
360	-1,771956842
420	-1,714798428
480	-1,771956842
540	-1,714798428

Dari data plot orde 1 di atas, didapatkan grafik hubungan antara $\ln(V_{max} - V)$ dengan waktu pada konsentrasi HCl (aq) 1,5 M.



Gambar X. Grafik Hubungan ln(V) terhadap Waktu pada Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M

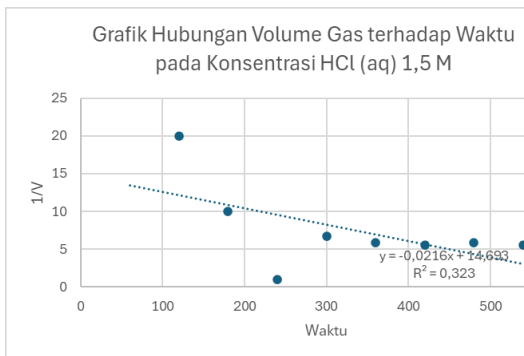
Pada uji orde 2, digunakan hubungan antara $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ dengan waktu (t) sehingga diperoleh data plot orde 2.

Tabel X. Data Plot Orde 2

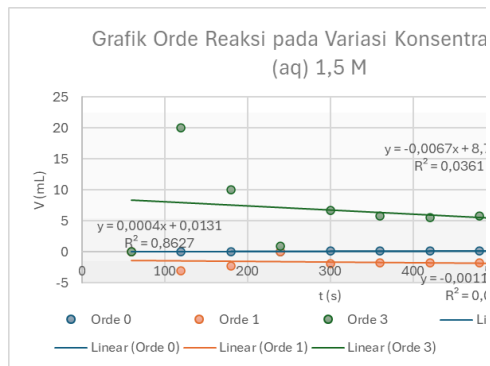
Plot Orde 2	
Waktu (s)	1/V (mL)

60	0
120	20
180	10
240	1
300	6,6666666
360	5,8823529
420	5,5555555
480	5,8823529
540	5,5555555

Dari data plot orde 1 di atas, didapatkan grafik hub
 $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ dengan waktu pada konsentrasi HCl (aq)



Gambar X. Grafik Hubungan $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ d
pada Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M.



Gambar X. Grafik Orde Reaksi pada Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M

Berdasarkan hasil analisis grafik konsentrasi HCl (aq) 1,5 M, diperoleh persamaan ($y = mx + c$) dan koefisien determinasi berikut.

Tabel X. Data Hasil Analisis Grafik Orde R Variasi Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M

Konsentrasi	Orde	$y = mx + c$
HCl (aq) 1,5 M	0	$y = 0,0004x + 0,0131$
	1	$y = -0,0011x + 1,259$
	2	$y = -0,0216x + 14,693$

Tabel X. menunjukkan bahwa nilai determinasi (R^2) paling besar terdapat pada (0,8627). Hal ini menunjukkan bahwa hubungan volume dan waktu pada orde 0 memiliki linearitas paling tinggi. Oleh karena itu disimpulkan bahwa reaksi yang terjadi pada konsentrasi HCl (aq) 1,5 M mengikuti kinetika orde 0.

D.2 Perhitungan Orde Reaksi Variasi Suhu (Wafiq Alsa Quelok - 5004241060)

1. Variasi Suhu 30°C

Diketahui: $T = 30^\circ\text{C}$ $V_{max} = 435 \text{ mL}$

(Volume gas maksimal saat reaksi sudah selesai)

Tabel X. Data Percobaan pada Variasi Suhu ($T = 30^\circ\text{C}$)

No	t (s)	V
1	10	

2	20	
3	30	
4	40	
5	50	
6	60	
7	70	
8	80	
9	90	
10	100	
11	110	
12	120	
13	130	
14	140	
15	150	
16	160	
17	170	
18	180	

Ditanya: Orde reaksi 0, 1, atau 2?

Jawab : Data volume hasil percobaan diolah untuk membuat grafik hubungan terhadap waktu (t) dengan menghitung nilai berikut.

$$V_{max} - V \quad (X)$$

$$\ln (V_{max} - V) \quad (X)$$

$$\frac{1}{(V_{max} - V)} \quad (X)$$

Dari nilai-nilai tersebut, diperoleh grafik dengan persamaan linear yang dapat menentukan orde reaksi.

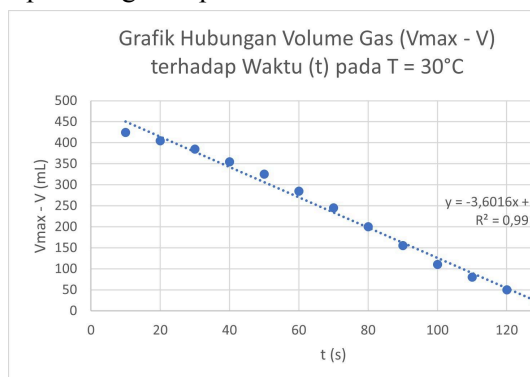
$$y = mx + c \quad (X)$$

Tabel X. Data Perhitungan pada Variasi Suhu ($T = 30^{\circ}\text{C}$)

No	t (s)	V (mL)	$V_{max} - V$ (mL)	$\ln(V_{max} - V)$ (mL)
1	10	10	425	6,052085
2	20	30	405	6,003887
3	30	50	385	5,953243
4	40	80	355	5,872118
5	50	110	325	5,783825
6	60	150	285	5,652485
7	70	190	245	5,501258
8	80	235	200	5,298317
9	90	280	155	5,043425
10	100	325	110	4,70048
11	110	355	80	4,382027
12	120	385	50	3,912023

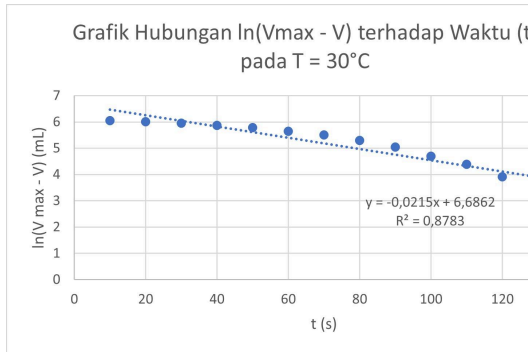
1 3	130	410	25	3,218876
1 4	140	435	0	undefined
1 5	150	435	0	undefined
1 6	160	435	0	undefined
1 7	170	435	0	undefined
1 8	180	435	0	undefined

Data saat $V = V_{max}$ ($t = 140$ — 180 s) tidak digunakan dalam analisis karena pada kondisi tersebut reaksi telah selesai atau tidak terjadi perubahan volume terhadap waktu sehingga tidak dapat mewakili kinetika reaksi. Pada uji orde 0, digunakan hubungan antara volume gas ($V_{max} - V$) terhadap waktu (t) sehingga diperoleh grafik pada **Gambar X**.



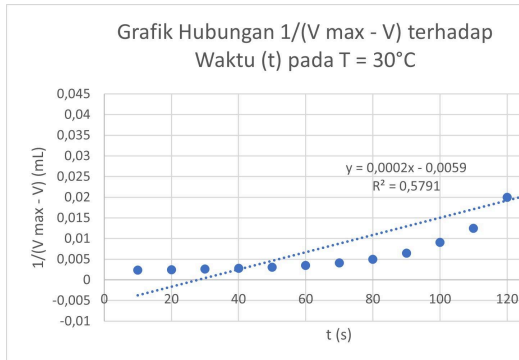
Gambar X. Grafik Hubungan Volume Gas ($V_{max} - V$) terhadap Waktu (t) pada $T = 30^{\circ}\text{C}$

Pada uji orde 1, digunakan hubungan antara $\ln(V_{max} - V)$ terhadap waktu (t) sehingga diperoleh grafik pada **Gambar X**.

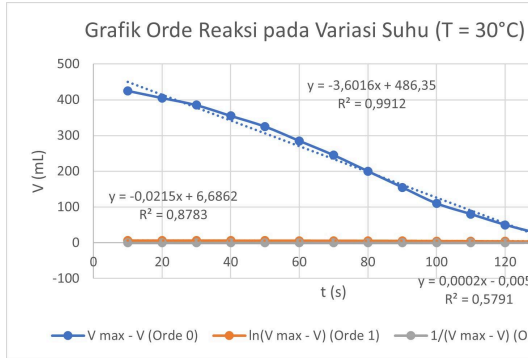


Gambar X. Grafik Hubungan $\ln(V_{max} - V)$ terhadap Waktu (t) pada $T = 30^{\circ}\text{C}$

Pada uji orde 2, digunakan hubungan antara $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ terhadap waktu (t) sehingga diperoleh grafik pada **Gambar X**.



Gambar X. Grafik Hubungan $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ terhadap Waktu (t) pada $T = 30^{\circ}\text{C}$



Gambar X. Grafik Orde Reaksi pada Variasi Suhu ($T = 30^{\circ}\text{C}$)

Berdasarkan hasil analisis grafik pada variasi $T = 30^{\circ}\text{C}$, diperoleh persamaan garis ($y = mx + c$) dan koefisien determinasi (R^2) sebagai berikut.

Tabel X. Data Hasil Analisis Grafik Orde Reaksi pada Variasi Suhu ($T = 30^{\circ}\text{C}$)

T ($^{\circ}\text{C}$)	Orde	$y = mx + c$	
30	0	$y = -3,6016x + 486,35$	R
	1	$y = -0,0215x + 6,6862$	R
	2	$y = 0,0002x - 0,0059$	R

Tabel X. menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi (R^2) paling besar terdapat pada grafik orde 0 (0,9912). Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara volume dan waktu pada orde 0 memiliki tingkat linearitas paling tinggi. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa reaksi yang terjadi pada variasi $T = 30^{\circ}\text{C}$ mengikuti kinetika reaksi orde 0.

2. Variasi Suhu 40°C

Diketahui: $T = 40^{\circ}\text{C}$ $V_{max} = 425 \text{ mL}$

(Volume gas maksimal saat reaksi sudah selesai)

Tabel X. Data Percobaan pada Variasi Suhu
($T = 40^{\circ}\text{C}$)

No	t (s)	V
1	10	
2	20	
3	30	
4	40	
5	50	
6	60	
7	70	
8	80	
9	90	
10	100	
11	110	
12	120	
13	130	
14	140	
15	150	
16	160	
17	170	
18	180	

Ditanya: Orde reaksi 0, 1, atau 2?

Jawab : Data volume hasil percobaan diolah dengan menghitung nilai $V_{max} - V$,

$\ln(V_{max} - V)$, dan $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ untuk

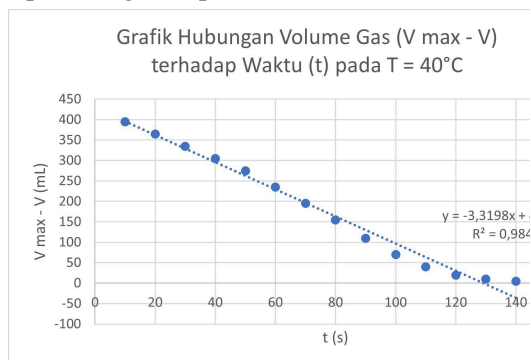
membuat grafik hubungan terhadap waktu (t) guna menentukan orde reaksi.

Tabel X. Data Perhitungan pada Variasi Suhu ($T = 40^{\circ}\text{C}$)

No	t (s)	V (mL)	$V_{max} - V$ (mL)	$\ln(V_{max} - V)$ (mL)
1	10	30	395	5,978886
2	20	60	365	5,899897
3	30	90	335	5,814131
4	40	120	305	5,720312
5	50	150	275	5,616771
6	60	190	235	5,459586
7	70	230	195	5,273
8	80	270	155	5,043425
9	90	315	110	4,70048
10	100	355	70	4,248495
11	110	385	40	3,688879
12	120	405	20	2,995732
13	130	415	10	2,302585
14	140	420	5	1,609438

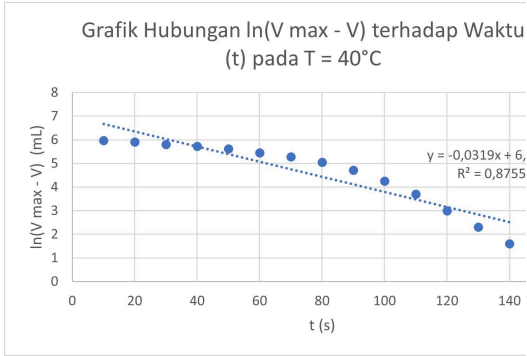
15	150	425	0	<i>undefined</i>
16	160	425	0	<i>undefined</i>
17	170	425	0	<i>undefined</i>
18	180	425	0	<i>undefined</i>

Data saat $V = V_{max}$ ($t = 150\text{--}180$ s) tidak digunakan dalam analisis karena pada kondisi tersebut reaksi telah selesai atau tidak terjadi perubahan volume terhadap waktu sehingga tidak dapat mewakili kinetika reaksi. Pada uji orde 0, digunakan hubungan antara volume gas ($V_{max} - V$) terhadap waktu (t) sehingga diperoleh grafik pada **Gambar X**.



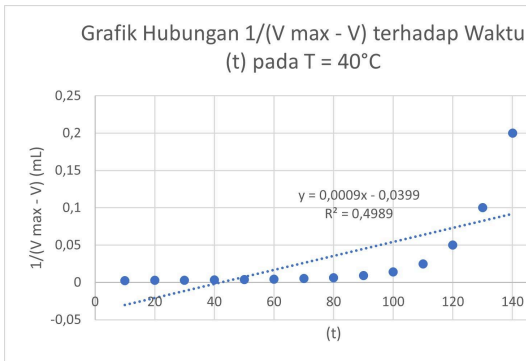
Gambar X. Grafik Hubungan Volume Gas ($V_{max} - V$) terhadap Waktu (t) pada $T = 40^\circ\text{C}$

Pada uji orde 1, digunakan hubungan antara $\ln(V_{max} - V)$ terhadap waktu (t) sehingga diperoleh grafik pada **Gambar X**.

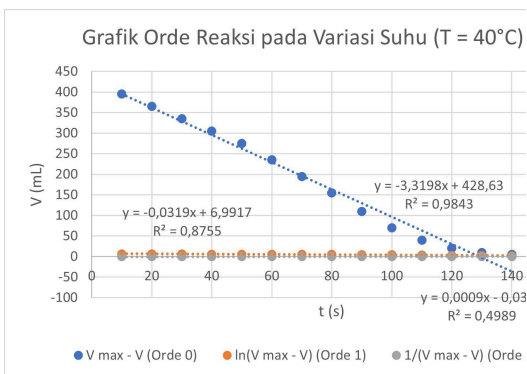


Gambar X. Grafik Hubungan $\ln(V_{max} - V)$ terhadap Waktu (t) pada T = 40°C

Pada uji orde 2, digunakan hubungan antara $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ terhadap waktu (t) sehingga diperoleh grafik pada **Gambar X**.



Gambar X. Grafik Hubungan $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ terhadap Waktu (t) pada T = 40°C



Gambar X. Grafik Orde Reaksi pada Variasi Suhu (T = 40°C)

Berdasarkan hasil analisis grafik pada variasi $T = 40^{\circ}\text{C}$, diperoleh persamaan garis ($y = mx + c$) dan koefisien determinasi (R^2) sebagai berikut.

Tabel X. Data Hasil Analisis Grafik Orde Reaksi pada Variasi Suhu ($T = 40^{\circ}\text{C}$)

T ($^{\circ}\text{C}$)	Orde	$y = mx + c$	
40	0	$y = -3,3198x + 428,63$	R
	1	$y = -0,0319x + 6,9917$	F
	2	$y = 0,0009x - 0,0399$	F

Tabel X. menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi (R^2) paling besar terdapat pada grafik orde 0 (0,9843). Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara volume dan waktu pada orde 0 memiliki tingkat linearitas paling tinggi. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa reaksi yang terjadi pada variasi $T = 40^{\circ}\text{C}$ mengikuti kinetika reaksi orde 0.

3. Variasi Suhu 50°C

Diketahui: $T = 50^{\circ}\text{C}$ $V_{max} = 355 \text{ mL}$

(Volume gas maksimal saat reaksi sudah selesai)

Tabel X. Data Percobaan pada Variasi Suhu ($T = 50^{\circ}\text{C}$)

No	t (s)	V
1	10	
2	20	
3	30	
4	40	
5	50	

6	60	
7	70	
8	80	
9	90	
10	100	
11	110	
12	120	
13	130	
14	140	
15	150	
16	160	
17	170	
18	180	

Ditanya: Orde reaksi 0, 1, atau 2?

Jawab : Data volume hasil percobaan diolah dengan menghitung nilai $V_{max} - V$,

$\ln(V_{max} - V)$, dan $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ untuk

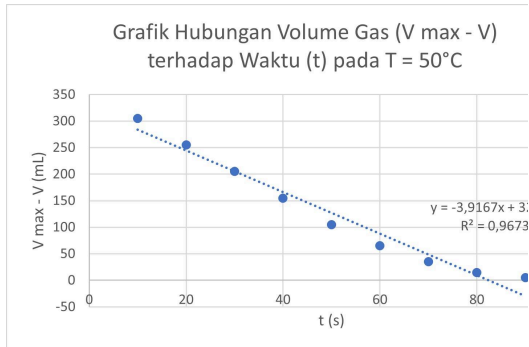
membuat grafik hubungan terhadap waktu (t) guna menentukan orde reaksi.

Tabel X. Data Perhitungan pada Variasi Suhu ($T = 50^{\circ}\text{C}$)

No	t (s)	V (mL)	$V_{max} - V$ (mL)	$\ln(V_{max} - V)$ (mL)
1	10	50	305	5,720312
2	20	100	255	5,541264
3	30	150	205	5,32301

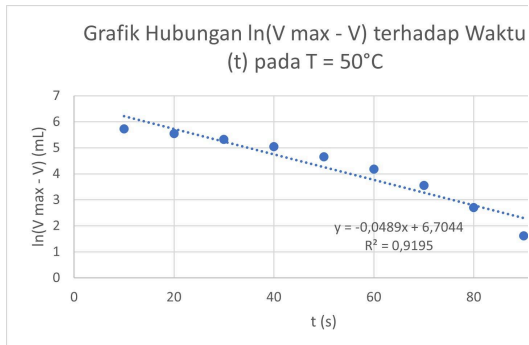
4	40	200	155	5,043425
5	50	250	105	4,65396
6	60	290	65	4,174387
7	70	320	35	3,555348
8	80	340	15	2,70805
9	90	350	5	1,609438
1 0	100	355	0	<i>undefine</i>
1 1	110	355	0	<i>undefine</i>
1 2	120	355	0	<i>undefine</i>
1 3	130	355	0	<i>undefine</i>
1 4	140	355	0	<i>undefine</i>
1 5	150	355	0	<i>undefine</i>
1 6	160	355	0	<i>undefine</i>
1 7	170	355	0	<i>undefine</i>
1 8	180	355	0	<i>undefine</i>

Data saat $V = V_{max}$ ($t = 100\text{--}180$ s) tidak digunakan dalam analisis karena pada kondisi tersebut reaksi telah selesai atau tidak terjadi perubahan volume terhadap waktu sehingga tidak dapat mewakili kinetika reaksi. Pada uji orde 0, digunakan hubungan antara volume gas ($V_{max} - V$) terhadap waktu (t) sehingga diperoleh grafik pada **Gambar X**.



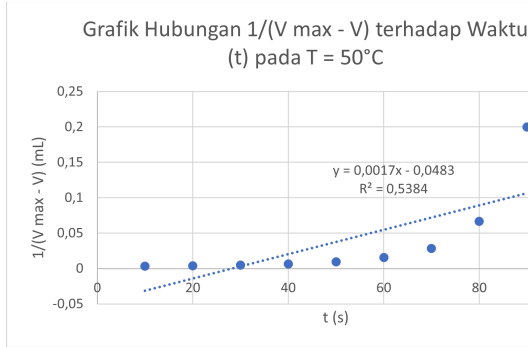
Gambar X. Grafik Hubungan Volume Gas ($V_{max} - V$) terhadap Waktu (t) pada $T = 50^\circ\text{C}$

Pada uji orde 1, digunakan hubungan antara $\ln(V_{max} - V)$ terhadap waktu (t) sehingga diperoleh grafik pada **Gambar X**.

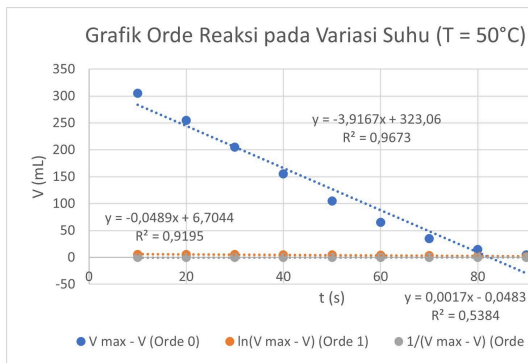


Gambar X. Grafik Hubungan $\ln(V_{max} - V)$ terhadap Waktu (t) pada $T = 50^\circ\text{C}$

Pada uji orde 2, digunakan hubungan antara $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ terhadap waktu (t) sehingga diperoleh grafik pada **Gambar X**.



Gambar X. Grafik Hubungan $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ terhadap Waktu (t) pada $T = 50^{\circ}\text{C}$



Gambar X. Grafik Orde Reaksi pada Variasi Suhu ($T = 50^{\circ}\text{C}$)

Berdasarkan hasil analisis grafik pada variasi $T = 50^{\circ}\text{C}$, diperoleh persamaan garis ($y = mx + c$) dan koefisien determinasi (R^2) sebagai berikut.

Tabel X. Data Hasil Analisis Grafik Orde Reaksi pada Variasi Suhu ($T = 50^{\circ}\text{C}$)

T ($^{\circ}\text{C}$)	Orde	$y = mx + c$	
50	0	$y = -3,9167x + 323,06$	R
	1	$y = -0,0489x + 6,7044$	R
	2	$y = 0,0017x - 0,0483$	F

Tabel X. menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi (R^2) paling besar terdapat pada grafik orde 0 (0,9673). Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara volume dan waktu pada orde 0 memiliki tingkat linearitas paling tinggi. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa reaksi yang terjadi pada variasi $T = 50^\circ\text{C}$ mengikuti kinetika reaksi orde 0.

Dengan demikian, kinetika reaksi pada variasi suhu $T = 30^\circ\text{C}$, 40°C , dan 50°C adalah reaksi orde 0.

Lampiran E. Perhitungan Energi Aktivasi

E.1 Perhitungan Energi Aktivasi Variasi Suhu (Wafiq Alsa Quelok - 5004241060)

Berdasarkan hasil analisis grafik pada penentuan orde reaksi diperoleh persamaan garis sebagai berikut.

Tabel X. Data Persamaan Garis Hasil Analisis Grafik pada Penentuan Orde Reaksi

T ($^\circ\text{C}$)	Orde	$y = mx + c$
30	0	$y = -3,6016x + 486,35$
40		$y = -3,3198x + 428,63$
50		$y = -3,9167x + 323,06$

E.1.1 Perhitungan Energi Aktivasi Variasi Suhu melalui Pendekatan Persamaan Linear

Secara umum, konstanta laju reaksi dituliskan sebagai berikut.

$$v = k[A]^n \quad (\text{X})$$

dimana k merupakan konstanta laju reaksi, $[A]$ adalah konsentrasi atau volume, dan n adalah orde reaksi. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh bahwa reaksi pada ketiga variasi suhu mengikuti orde 0. Pada reaksi orde 0, laju reaksi tidak bergantung pada

konsentrasi atau volume, sehingga persamaan laju reaksi dapat disederhanakan menjadi,

$$v = k \quad (X)$$

Nilai konstanta laju reaksi (k) dapat diperoleh dari persamaan garis linear.

$$y = mx + c \quad (X)$$

dimana y merepresentasikan volume dan x adalah waktu. Dalam persamaan tersebut, kemiringan garis (*slope*, m) menunjukkan laju perubahan volume terhadap waktu ($\Delta V/\Delta t$), yang secara langsung merepresentasikan nilai konstanta laju reaksi (k) pada orde 0. Oleh karena itu, nilai k diperoleh dari nilai absolut *slope* pada grafik.

Tabel X.

T (°C)	Orde	k
30	0	3,6016
40		3,3198
50		3,9167

Nilai konstanta laju reaksi (k) yang diperoleh pada masing-masing suhu selanjutnya digunakan untuk menentukan energi aktivasi reaksi. Hubungan antara konstanta laju reaksi dan suhu dinyatakan dalam persamaan Arrhenius sebagai berikut.

$$k = Ae^{-\frac{Ea}{RT}} \quad (X)$$

$$\ln k = -\frac{Ea}{R} \cdot \frac{1}{T} + \ln A \quad (X)$$

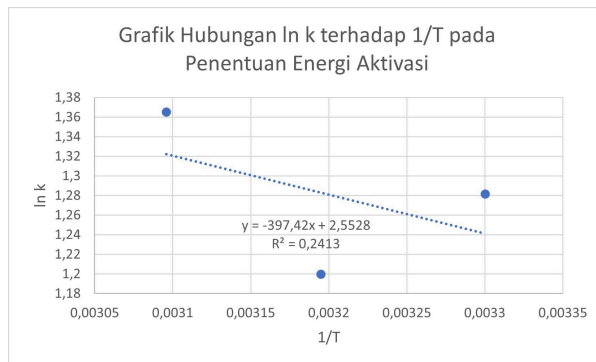
Berdasarkan persamaan tersebut, diketahui bahwa terdapat hubungan linear antara $\ln k$ sebagai fungsi dari $\frac{1}{T}$. Oleh karena itu, data diolah dengan menghitung nilai $\ln k$ dan $\frac{1}{T}$, kemudian diplot dalam bentuk grafik $\ln k$ terhadap $\frac{1}{T}$. Penggunaan $\frac{1}{T}$ bertujuan untuk melinierkan persamaan Arrhenius sehingga dapat dianalisis menggunakan regresi linear.

Tabel X.

T (K)	k	$\frac{1}{T}$	$\ln k$
-------	-----	---------------	---------

303	3,6016	0,0033003 3	1,281378
313	3,3198	0,0031948 88	1,199905
323	3,9167	0,0030959 75	1,365249

Dari data di atas, diperoleh grafik pada **Gambar X**.



Gambar X. Grafik Hubungan $\ln k$ terhadap $\frac{1}{T}$ pada Penentuan Energi Aktivasi

Grafik yang diperoleh menghasilkan persamaan linear ($y = mx + c$) dimana $y = \ln k$ dan $x = \frac{1}{T}$. Kemiringan garis (*slope*, m) dari grafik tersebut bernilai $-\frac{Ea}{R}$.

$$\ln k = -\frac{Ea}{R} \cdot \frac{1}{T} + \ln A \quad (X)$$

$$y = m \cdot x + c \quad (X)$$

Maka hubungan *slope* (m) dengan Ea adalah sebagai berikut.

$$m = -\frac{Ea}{R} \quad (X)$$

$$Ea = -m \cdot R \quad (X)$$

Diketahui : Persamaan garis linear pada grafik **Gambar X**. adalah $y = -397,42x + 2,5528$ dan $R^2 = 0,2431$.

Ditanya : $Ea = ?$

Jawab :

$$Ea = -m \cdot R$$

$$Ea = -(-397,42) \cdot 8,314$$

$$Ea = 397,42 \cdot 8,314$$

$$Ea \approx 3304 \text{ J/mol}$$

$$Ea \approx 3,30 \text{ kJ/mol}$$

Dengan demikian, nilai energi aktivasi pada variasi suhu melalui pendekatan persamaan linear adalah sebesar 3,30 kJ/mol. Namun, perlu diketahui bahwa nilai R^2 yang dihasilkan sangat rendah, yaitu 0,2413. Hal tersebut menunjukkan bahwa hubungan antara $\ln k$ dan $\frac{1}{T}$ pada percobaan ini tidak linear, sehingga energi aktivasi yang diperoleh kurang akurat.

E.1.2 Perhitungan Energi Aktivasi Variasi Suhu secara Manual

Energi aktivasi dapat ditentukan secara manual menggunakan persamaan Arrhenius dua titik berikut.

$$\ln\left(\frac{k_2}{k_1}\right) = \frac{Ea}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) \quad (X)$$

Tabel X. Data Konstanta Laju Reaksi (k) pada Variasi Suhu

No	T (°C)	T (K)	
1	30	303	:
2	40	313	:
3	50	323	:

1. Data 1 dan 2

Diketahui : $k_1 = 3,6016,$

$k_2 = 3,3198, T_1 = 303 \text{ K}, T_2 = 313 \text{ K},$

$$R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Ditanya : $Ea = ?$

Jawab :

$$\ln\left(\frac{k_2}{k_1}\right) = \frac{Ea}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$$

$$\ln\left(\frac{3,3198}{3,6016}\right) = \frac{Ea}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}} \left(\frac{1}{303 \text{ K}} - \frac{1}{313 \text{ K}}\right)$$

$$- 0,0814 = \frac{Ea}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol}}} (0,0033 - 0,0031)$$

$$- 0,0814 = \frac{Ea}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol}}} (0,0002)$$

$$Ea = \frac{-0,0814}{0,0002} \times 8,314 \frac{J}{mol}$$

$$Ea = -407 \times 8,314 \frac{J}{mol}$$

$$Ea = -3383,798 \frac{J}{mol}$$

(Ea bernilai negatif karena k pada suhu 313 K lebih kecil dibandingkan pada 303 K, sehingga tidak mengikuti kecenderungan teori Arrhenius. Kombinasi Data 1 dan 2 tidak dapat digunakan karena tidak valid).

2. Data 1 dan 3

Diketahui : $k_1 = 3,6016,$

$k_3 = 3,9167, T_1 = 303 K, T_2 = 323 K,$

$$R = 8,314 \frac{J}{mol \cdot K}$$

Ditanya : $Ea = ?$

Jawab :

$$\ln\left(\frac{k_3}{k_1}\right) = \frac{Ea}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_3}\right)$$

$$\ln\left(\frac{3,9167}{3,6016}\right) = \frac{Ea}{8,314 \frac{J}{mol \cdot K}} \left(\frac{1}{303 K} - \frac{1}{323 K}\right)$$

$$0,0838 = \frac{Ea}{8,314 \frac{J}{mol}} (0,0033 - 0,0030)$$

$$0,0838 = \frac{Ea}{8,314 \frac{J}{mol}} (0,0003)$$

$$Ea = \frac{0,0838}{0,0003} \times 8,314 \frac{J}{mol}$$

$$Ea = 279,3 \times 8,314 \frac{J}{mol}$$

$$Ea = 2322,1 \frac{J}{mol}$$

$$Ea \approx 2,32 \frac{kJ}{mol}$$

3. Data 2 dan 3

Diketahui : $k_3 = 3,9167,$

$k_2 = 3,3198, T_3 = 323 K, T_2 = 313 K,$

$$R = 8,314 \frac{J}{mol \cdot K}$$

Ditanya : $Ea = ?$

Jawab :

$$\ln\left(\frac{k_3}{k_2}\right) = \frac{Ea}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_3}\right)$$

$$\ln\left(\frac{3,9167}{3,3198}\right) = \frac{Ea}{8,314 \frac{J}{mol \cdot K}} \left(\frac{1}{313 K} - \frac{1}{323 K}\right)$$

$$0,1653 = \frac{Ea}{8,314 \frac{J}{mol}} (0,0031 - 0,0030)$$

$$0,1653 = \frac{Ea}{8,314 \frac{J}{mol}} (0,0001)$$

$$Ea = \frac{0,1653}{0,0001} \times 8,314 \frac{J}{mol}$$

$$Ea = 1653 \times 8,314 \frac{J}{mol}$$

$$Ea = 13743,042 \frac{J}{mol}$$

$$Ea \approx 13,74 \frac{kJ}{mol}$$

$$\bar{v} = \frac{\sum v}{\sum n}$$

Tabel X. Data Percobaan Variasi Konsentrasi

No	Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M	
	t (s)	V (mL)
1	60	0
2	120	0,05
3	180	0,10
4	240	0,10
5	300	0,15
6	360	0,17
7	420	0,18
8	480	0,17
9	540	0,18

Perhitungan:

1. 1 & 2

Diketahui $t_1 = 60$ s, $t_2 = 120$ s, $V_1 = 0$, $V_2 = 0,05$ mL

Ditanya v ?

$$v = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

$$v = \frac{0,05 \text{ mL} - 0 \text{ mL}}{120 \text{ s} - 60 \text{ s}}$$

$$v = 0,00083 \text{ mL/s}$$

2. 2 & 3

Diketahui $t_2 = 120$ s, $t_3 = 180$ s, $V_2 = 0,05$ mL, $V_3 = 0,10$ mL
Ditanya v ?

$$v = \frac{V_3 - V_2}{t_3 - t_2}$$
$$v = \frac{0,10 \text{ mL} - 0,05 \text{ mL}}{180 \text{ s} - 120 \text{ s}}$$
$$v = 0,00083 \text{ mL/s}$$

3. 3 & 4

Diket $t_3 = 180$ s, $t_4 = 240$ s, $V_3 = 0,10$ mL, $V_4 = 0,10$ mL
Dit v ?

$$v = \frac{V_4 - V_3}{t_4 - t_3}$$
$$v = \frac{0,10 \text{ mL} - 0,10 \text{ mL}}{240 \text{ s} - 180 \text{ s}}$$
$$v = 0 \text{ mL/s}$$

4. 4 & 5

Diket $t_4 = 240$ s, $t_5 = 300$ s, $V_4 = 0,10$ mL, $V_5 = 0,15$ mL
Dit v ?

$$v = \frac{V_5 - V_4}{t_5 - t_4}$$
$$v = \frac{0,15 \text{ mL} - 0,10 \text{ mL}}{300 \text{ s} - 240 \text{ s}}$$
$$v = 0,00083 \text{ mL/s}$$

5. 5 & 6

Diket $t_5 = 300$ s, $t_6 = 360$ s, $V_5 = 0,15$ mL, $V_6 = 0,17$ mL
Dit v ?

$$v = \frac{V_6 - V_5}{t_6 - t_5}$$
$$v = \frac{0,17 \text{ mL} - 0,15 \text{ mL}}{360 \text{ s} - 300 \text{ s}}$$
$$v = 0,0003 \text{ mL/s}$$

6. 6 & 7

Diket $t_6 = 360$ s, $t_7 = 420$ s, $V_6 = 0,17$ mL, $V_7 = 0,18$ mL
Dit v ?

$$v = \frac{V_7 - V_6}{t_7 - t_6}$$
$$v = \frac{0,18 \text{ mL} - 0,17 \text{ mL}}{420 \text{ s} - 360 \text{ s}}$$
$$v = 0,00016 \text{ mL/s}$$

7. 7 & 8

Diket $t_7 = 420$ s, $t_8 = 480$ s, $V_7 = 0,18$ mL, $V_8 = 0,17$ mL

Dit v ?

$$v = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

$$v = \frac{0,17 \text{ mL} - 0,18 \text{ mL}}{480 \text{ s} - 420 \text{ s}}$$

$$v = 0,00016 \text{ mL/s}$$

8. 8 & 9

Diket $t_8 = 480$ s, $t_9 = 540$ s, $V_8 = 0,17$ mL, $V_9 = 0,18$ mL

Dit v ?

$$v = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

$$v = \frac{0,18 \text{ mL} - 0,17 \text{ mL}}{540 \text{ s} - 480 \text{ s}}$$

$$v = 0,00016 \text{ mL/s}$$

Tabel X. Data Laju Reaksi Variasi Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M

v (mL/s)	
v_{12}	0,00083
v_{23}	0,00083
v_{34}	0
v_{45}	0,00083
v_{56}	0,0003
v_{67}	0,00016
v_{78}	0,00016
v_{89}	0,00016
$\bar{v} = \frac{\sum v}{\sum n}$	0,000407

Perlu dilakukan konversi laju reaksi agar satuan laju reaksi yang awalnya mL/s menjadi mol/s menggunakan persamaan gas ideal dengan mempertimbangkan suhu dan tekanan sistem.

$$PV = nRT \quad (\text{X})$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{P}{R \cdot T} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (\text{X})$$

Dengan asumsi gas ideal, $P = 1 \text{ atm}$, $R = 0,08206 \text{ L atm/mol K}$, $T = 25^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$
 $\frac{\Delta V}{\Delta t} \approx 0,000407 \text{ mL/s} \approx 0,000000407 \text{ L/s}$ maka besar laju reaksi (v) adalah sebagai berikut.

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{P}{R \cdot T} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{1 \text{ atm}}{0,08206 \text{ L atm/mol K} \cdot 298 \text{ K}} \cdot 0,000000407 \text{ L/s}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{0,000000407}{24,453} \text{ mol/s}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} \approx 1,66 \times 10^{-8} \text{ mol/s}$$

C.2 Perhitungan Laju Reaksi Variasi Suhu (Wafiq Alsa Quelok - 5004241060)

Laju sebuah reaksi dapat ditentukan melalui perbandingan perubahan volume terhadap perubahan waktu.

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (\text{X})$$

$$v = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{X})$$

$$\bar{v} = \frac{\sum v}{\sum n} \quad (\text{X})$$

Tabel X. Data Percobaan Variasi Suhu

No	30°C		40°C		50°C	
	t (s)	V (mL)	t (s)	V (mL)	t (s)	V (mL)
1	10	10	10	30	10	50
2	20	30	20	60	20	100
3	30	50	30	90	30	150
4	40	80	40	120	40	200
5	50	110	50	150	50	250
6	60	150	60	190	60	290
7	70	190	70	230	70	320
8	80	235	80	270	80	340
9	90	280	90	315	90	350

10	100	325	100	355	100	355
11	110	355	110	385	110	355
12	120	385	120	405	120	355
13	130	410	130	415	130	355
14	140	435	140	420	140	355
15	150	435	150	425	150	355
16	160	435	160	425	160	355
17	170	435	170	425	170	355
18	180	435	180	425	180	355

1. Variasi Suhu 30°C

1) 1 & 2

Diketahui : $t_1 = 10 \text{ s}, t_2 = 20 \text{ s}, V_1 = 10 \text{ mL}, V_2 = 30 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL} - 10 \text{ mL}}{20 \text{ s} - 10 \text{ s}}$$

$$v = \frac{20 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 2 \text{ mL/s}$$

2) 2 & 3

Diketahui : $t_2 = 20 \text{ s}, t_3 = 30 \text{ s}, V_2 = 30 \text{ mL}, V_3 = 50 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_3 - V_2}{t_3 - t_2}$$

$$v = \frac{50 \text{ mL} - 30 \text{ mL}}{30 \text{ s} - 20 \text{ s}}$$

$$v = \frac{20 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 2 \text{ mL/s}$$

3) 3 & 4

Diketahui : $t_4 = 40 \text{ s}, t_3 = 30 \text{ s}, V_4 = 80 \text{ mL}, V_3 = 50 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_4 - V_3}{t_4 - t_3}$$

$$v = \frac{80 \text{ mL} - 50 \text{ mL}}{40 \text{ s} - 30 \text{ s}}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 3 \text{ mL/s}$$

4) 4 & 5

Diketahui : $t_4 = 40 \text{ s}, t_5 = 50 \text{ s}, V_4 = 80 \text{ mL}, V_5 = 110 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_5 - V_4}{t_5 - t_4}$$

$$v = \frac{110 \text{ mL} - 80 \text{ mL}}{50 \text{ s} - 40 \text{ s}}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 3 \text{ mL/s}$$

5) 5 & 6

Diketahui : $t_5 = 50 \text{ s}, t_6 = 60 \text{ s}, V_5 = 110 \text{ mL}, V_6 = 150 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_6 - V_5}{t_6 - t_5}$$

$$v = \frac{150 \text{ mL} - 110 \text{ mL}}{60 \text{ s} - 50 \text{ s}}$$

$$v = \frac{40 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 4 \text{ mL/s}$$

6) 6 & 7

Diketahui : $t_6 = 60 \text{ s}, t_7 = 70 \text{ s}, V_6 = 150 \text{ mL}, V_7 = 190 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_7 - V_6}{t_7 - t_6}$$

$$v = \frac{190 \text{ mL} - 150 \text{ mL}}{70 \text{ s} - 60 \text{ s}}$$

$$v = \frac{40 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 4 \text{ mL/s}$$

7) 7 & 8

Diketahui : $t_8 = 80 \text{ s}, t_7 = 70 \text{ s}, V_8 = 235 \text{ mL}, V_7 = 190 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_8 - V_7}{t_8 - t_7}$$

$$v = \frac{235 \text{ mL} - 190 \text{ mL}}{80 \text{ s} - 70 \text{ s}}$$

$$v = \frac{45 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 4,5 \text{ mL/s}$$

8) 8 & 9

Diketahui : $t_8 = 80 \text{ s}, t_9 = 90 \text{ s}, V_8 = 235 \text{ mL}, V_9 = 280 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_9 - V_8}{t_9 - t_8}$$

$$v = \frac{280 \text{ mL} - 235 \text{ mL}}{90 \text{ s} - 80 \text{ s}}$$

$$v = \frac{45 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 4,5 \text{ mL/s}$$

9) 9 & 10

Diketahui : $t_{10} = 100 \text{ s}, t_9 = 90 \text{ s}, V_{10} = 325 \text{ mL}, V_9 = 280 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{10} - V_9}{t_{10} - t_9}$$

$$v = \frac{325 \text{ mL} - 280 \text{ mL}}{100 \text{ s} - 90 \text{ s}}$$

$$v = \frac{45 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 4,5 \text{ mL/s}$$

10) 10 & 11

Diketahui : $t_{10} = 100 \text{ s}, t_{11} = 110 \text{ s}, V_{10} = 325 \text{ mL}, V_{11} = 355 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{11} - V_{10}}{t_{11} - t_{10}}$$

$$v = \frac{355 \text{ mL} - 325 \text{ mL}}{110 \text{ s} - 100 \text{ s}}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 3 \text{ mL/s}$$

11) 11 & 12

Diketahui : $t_{12} = 120 \text{ s}, t_{11} = 110 \text{ s}, V_{12} = 385 \text{ mL}, V_{11} = 355 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{12} - V_{11}}{t_{12} - t_{11}}$$

$$v = \frac{385 \text{ mL} - 355 \text{ mL}}{120 \text{ s} - 110 \text{ s}}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 3 \text{ mL/s}$$

12) 12 & 13

Diketahui : $t_{12} = 120 \text{ s}, t_{13} = 130 \text{ s}, V_{12} = 385 \text{ mL}, V_{13} = 410 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{13} - V_{12}}{t_{13} - t_{12}}$$

$$v = \frac{410 \text{ mL} - 385 \text{ mL}}{130 \text{ s} - 120 \text{ s}}$$

$$v = \frac{25 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 2,5 \text{ mL/s}$$

13) 13 & 14

Diketahui : $t_{14} = 140 \text{ s}, t_{13} = 130 \text{ s}, V_{14} = 435 \text{ mL}, V_{13} = 410 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{14} - V_{13}}{t_{14} - t_{13}}$$

$$v = \frac{435 \text{ mL} - 410 \text{ mL}}{140 \text{ s} - 130 \text{ s}}$$

$$v = \frac{25 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 2,5 \text{ mL/s}$$

14) 14 & 15

Diketahui : $t_{14} = 140 \text{ s}, t_{15} = 150 \text{ s}, V_{14} = 435 \text{ mL}, V_{15} = 435 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{15} - V_{14}}{t_{15} - t_{14}}$$

$$v = \frac{435 \text{ mL} - 435 \text{ mL}}{150 \text{ s} - 140 \text{ s}}$$

$$v = \frac{0 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 0 \text{ mL/s}$$

Tabel X. Data Laju Reaksi Variasi Suhu ($T = 30^\circ\text{C}$)

$v \text{ (mL/s)}$	
v_{12}	2
v_{23}	2
v_{34}	3
v_{45}	3
v_{56}	4
v_{67}	4
v_{78}	4,5
v_{89}	4,5
v_{910}	4,5
v_{1011}	3
v_{1112}	3
v_{1213}	2,5
v_{1314}	2,5
v_{1415}	0
$\bar{v} = \frac{\Sigma v}{\Sigma n}$	3,03

Laju reaksi hasil percobaan dinyatakan dalam satuan mL/s karena didasarkan pada perubahan volume gas terhadap waktu. Namun, secara teoritis laju reaksi dinyatakan dalam satuan mol/s . Oleh karena itu, dilakukan konversi satuan dari mL/s ke mol/s menggunakan persamaan gas ideal dengan mempertimbangkan suhu dan tekanan sistem.

$$PV = nRT \quad (\text{X})$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{P}{R \cdot T} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (\text{X})$$

Dengan asumsi gas ideal,

$$P = 1 \text{ atm}, R = 0,08206 \text{ L atm/mol K}, T = 30^\circ\text{C} = 303 \text{ K}$$

$\frac{\Delta V}{\Delta t} \approx 3,03 \text{ mL/s} \approx 0,00303 \text{ L/s}$ maka besar laju reaksi (v) adalah sebagai berikut.

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{P}{R \cdot T} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{1 \text{ atm}}{0,08206 \text{ L atm/mol K} \cdot 303 \text{ K}} \cdot 0,00303 \text{ L/s}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{0,00303}{24,87} \text{ mol/s}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} \approx 0,000121 \text{ mol/s}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} \approx 1,21 \times 10^{-4} \text{ mol/s}$$

2. Variasi Suhu 40°C

1) 1 & 2

Diketahui : $t_1 = 10 \text{ s}, t_2 = 20 \text{ s}, V_1 = 30 \text{ mL}, V_2 = 60 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

$$v = \frac{60 \text{ mL} - 30 \text{ mL}}{20 \text{ s} - 10 \text{ s}}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 3 \text{ mL/s}$$

2) 2 & 3

Diketahui : $t_2 = 20 \text{ s}, t_3 = 30 \text{ s}, V_2 = 60 \text{ mL}, V_3 = 90 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_3 - V_2}{t_3 - t_2}$$

$$v = \frac{90 \text{ mL} - 60 \text{ mL}}{30 \text{ s} - 20 \text{ s}}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 3 \text{ mL/s}$$

3) 3 & 4

Diketahui : $t_4 = 40 \text{ s}, t_3 = 30 \text{ s}, V_4 = 120 \text{ mL}, V_3 = 90 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_4 - V_3}{t_4 - t_3}$$

$$v = \frac{120 \text{ mL} - 90 \text{ mL}}{40 \text{ s} - 30 \text{ s}}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 3 \text{ mL/s}$$

4) 4 & 5

Diketahui : $t_4 = 40 \text{ s}, t_5 = 50 \text{ s}, V_4 = 120 \text{ mL}, V_5 = 150 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_5 - V_4}{t_5 - t_4}$$

$$v = \frac{150 \text{ mL} - 120 \text{ mL}}{50 \text{ s} - 40 \text{ s}}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 3 \text{ mL/s}$$

5) 5 & 6

Diketahui : $t_6 = 60 \text{ s}, t_5 = 50 \text{ s}, V_6 = 190 \text{ mL}, V_5 = 150 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_6 - V_5}{t_6 - t_5}$$

$$v = \frac{190 \text{ mL} - 150 \text{ mL}}{60 \text{ s} - 50 \text{ s}}$$

$$v = \frac{40 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 4 \text{ mL/s}$$

6) 6 & 7

Diketahui : $t_6 = 60 \text{ s}, t_7 = 70 \text{ s}, V_6 = 190 \text{ mL}, V_7 = 230 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_7 - V_6}{t_7 - t_6}$$

$$v = \frac{230 \text{ mL} - 190 \text{ mL}}{70 \text{ s} - 60 \text{ s}}$$

$$v = \frac{40 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 4 \text{ mL/s}$$

7) 7 & 8

Diketahui : $t_8 = 80 \text{ s}, t_7 = 70 \text{ s}, V_8 = 270 \text{ mL}, V_7 = 230 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$
$$v = \frac{V_8 - V_7}{t_8 - t_7}$$
$$v = \frac{270 \text{ mL} - 230 \text{ mL}}{80 \text{ s} - 70 \text{ s}}$$
$$v = \frac{40 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$
$$v = 4 \text{ mL/s}$$

8) 8 & 9

Diketahui : $t_8 = 80 \text{ s}, t_9 = 90 \text{ s}, V_8 = 270 \text{ mL}, V_9 = 315 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$
$$v = \frac{V_9 - V_8}{t_9 - t_8}$$
$$v = \frac{315 \text{ mL} - 270 \text{ mL}}{90 \text{ s} - 80 \text{ s}}$$
$$v = \frac{45 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$
$$v = 4,5 \text{ mL/s}$$

9) 9 & 10

Diketahui : $t_{10} = 100 \text{ s}, t_9 = 90 \text{ s}, V_{10} = 355 \text{ mL}, V_9 = 315 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$
$$v = \frac{V_{10} - V_9}{t_{10} - t_9}$$
$$v = \frac{355 \text{ mL} - 315 \text{ mL}}{100 \text{ s} - 90 \text{ s}}$$
$$v = \frac{40 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$
$$v = 4 \text{ mL/s}$$

10) 10 & 11

Diketahui : $t_{10} = 100 \text{ s}, t_{11} = 110 \text{ s}, V_{10} = 355 \text{ mL}, V_{11} = 385 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$
$$v = \frac{V_{11} - V_{10}}{t_{11} - t_{10}}$$
$$v = \frac{385 \text{ mL} - 355 \text{ mL}}{110 \text{ s} - 100 \text{ s}}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 3 \text{ mL/s}$$

11) 11 & 12

Diketahui : $t_{12} = 120 \text{ s}, t_{11} = 110 \text{ s}, V_{12} = 405 \text{ mL}, V_{11} = 385 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{12} - V_{11}}{t_{12} - t_{11}}$$

$$v = \frac{405 \text{ mL} - 385 \text{ mL}}{120 \text{ s} - 110 \text{ s}}$$

$$v = \frac{20 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 2 \text{ mL/s}$$

12) 12 & 13

Diketahui : $t_{12} = 120 \text{ s}, t_{13} = 130 \text{ s}, V_{12} = 405 \text{ mL}, V_{13} = 415 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{13} - V_{12}}{t_{13} - t_{12}}$$

$$v = \frac{415 \text{ mL} - 405 \text{ mL}}{130 \text{ s} - 120 \text{ s}}$$

$$v = \frac{10 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 1 \text{ mL/s}$$

13) 13 & 14

Diketahui : $t_{14} = 140 \text{ s}, t_{13} = 130 \text{ s}, V_{14} = 420 \text{ mL}, V_{13} = 415 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{14} - V_{13}}{t_{14} - t_{13}}$$

$$v = \frac{420 \text{ mL} - 415 \text{ mL}}{140 \text{ s} - 130 \text{ s}}$$

$$v = \frac{5 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 0,5 \text{ mL/s}$$

14) 14 & 15

Diketahui : $t_{14} = 140 \text{ s}, t_{15} = 150 \text{ s}, V_{14} = 420 \text{ mL}, V_{15} = 425 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{15} - V_{14}}{t_{15} - t_{14}}$$

$$v = \frac{425 \text{ mL} - 420 \text{ mL}}{150 \text{ s} - 140 \text{ s}}$$

$$v = \frac{5 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 0,5 \text{ mL/s}$$

15) 15 & 16

Diketahui : $t_{16} = 160 \text{ s}$, $t_{15} = 150 \text{ s}$, $V_{16} = 425 \text{ mL}$, $V_{15} = 425 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{16} - V_{15}}{t_{16} - t_{15}}$$

$$v = \frac{425 \text{ mL} - 425 \text{ mL}}{160 \text{ s} - 150 \text{ s}}$$

$$v = \frac{0 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 0 \text{ mL/s}$$

Tabel X. Data Laju Reaksi Variasi Suhu ($T = 40^\circ\text{C}$)

$v \text{ (mL/s)}$	
v_{12}	3
v_{23}	3
v_{34}	3
v_{45}	3
v_{56}	4
v_{67}	4
v_{78}	4
v_{89}	4,5
v_{910}	4
v_{1011}	3
v_{1112}	2
v_{1213}	1

$v_{13\ 14}$	0,5
$v_{14\ 15}$	0,5
$v_{15\ 16}$	0
$\bar{v} = \frac{\Sigma v}{\Sigma n}$	2,63

Dengan asumsi gas ideal,

$$P = 1 \text{ atm}, R = 0,08206 \text{ L atm/mol K}, T = 40^\circ\text{C} = 313 \text{ K}$$

$\frac{\Delta V}{\Delta t} \approx 2,63 \text{ mL/s} \approx 0,00263 \text{ L/s}$ maka besar laju reaksi (v) adalah sebagai berikut.

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{P}{R \cdot T} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{1 \text{ atm}}{0,08206 \text{ L atm/mol K} \cdot 313 \text{ K}} \cdot 0,00263 \text{ L/s}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{0,00263}{25,68} \text{ mol/s}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} \approx 0,000102 \text{ mol/s}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} \approx 1,02 \times 10^{-4} \text{ mol/s}$$

3. Variasi Suhu 50°C

1) 1 & 2

Diketahui : $t_1 = 10 \text{ s}, t_2 = 20 \text{ s}, V_1 = 50 \text{ mL}, V_2 = 100 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

$$v = \frac{100 \text{ mL} - 50 \text{ mL}}{20 \text{ s} - 10 \text{ s}}$$

$$v = \frac{50 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 5 \text{ mL/s}$$

2) 2 & 3

Diketahui : $t_2 = 20 \text{ s}, t_3 = 30 \text{ s}, V_2 = 100 \text{ mL}, V_3 = 150 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_3 - V_2}{t_3 - t_2}$$

$$v = \frac{150 \text{ mL} - 100 \text{ mL}}{30 \text{ s} - 20 \text{ s}}$$

$$v = \frac{50 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 5 \text{ mL/s}$$

3) 3 & 4

Diketahui : $t_4 = 40 \text{ s}, t_3 = 30 \text{ s}, V_4 = 200 \text{ mL}, V_3 = 150 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_4 - V_3}{t_4 - t_3}$$

$$v = \frac{200 \text{ mL} - 150 \text{ mL}}{40 \text{ s} - 30 \text{ s}}$$

$$v = \frac{50 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 5 \text{ mL/s}$$

4) 4 & 5

Diketahui : $t_4 = 40 \text{ s}, t_5 = 50 \text{ s}, V_4 = 200 \text{ mL}, V_5 = 250 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_5 - V_4}{t_5 - t_4}$$

$$v = \frac{250 \text{ mL} - 200 \text{ mL}}{50 \text{ s} - 40 \text{ s}}$$

$$v = \frac{50 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 5 \text{ mL/s}$$

5) 5 & 6

Diketahui : $t_6 = 60 \text{ s}, t_5 = 50 \text{ s}, V_6 = 290 \text{ mL}, V_5 = 250 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_6 - V_5}{t_6 - t_5}$$

$$v = \frac{290 \text{ mL} - 250 \text{ mL}}{60 \text{ s} - 50 \text{ s}}$$

$$v = \frac{40 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 4 \text{ mL/s}$$

6) 6 & 7

Diketahui : $t_6 = 60 \text{ s}, t_7 = 70 \text{ s}, V_6 = 290 \text{ mL}, V_7 = 320 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_7 - V_6}{t_7 - t_6}$$

$$v = \frac{320 \text{ mL} - 290 \text{ mL}}{70 \text{ s} - 60 \text{ s}}$$

$$v = \frac{30 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 3 \text{ mL/s}$$

7) 7 & 8

Diketahui : $t_8 = 80 \text{ s}, t_7 = 70 \text{ s}, V_8 = 340 \text{ mL}, V_7 = 320 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_8 - V_7}{t_8 - t_7}$$

$$v = \frac{340 \text{ mL} - 320 \text{ mL}}{80 \text{ s} - 70 \text{ s}}$$

$$v = \frac{20 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 2 \text{ mL/s}$$

8) 8 & 9

Diketahui : $t_8 = 80 \text{ s}, t_9 = 90 \text{ s}, V_8 = 340 \text{ mL}, V_9 = 350 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_9 - V_8}{t_9 - t_8}$$

$$v = \frac{350 \text{ mL} - 340 \text{ mL}}{90 \text{ s} - 80 \text{ s}}$$

$$v = \frac{10 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 1 \text{ mL/s}$$

9) 9 & 10

Diketahui : $t_{10} = 100 \text{ s}, t_9 = 90 \text{ s}, V_{10} = 355 \text{ mL}, V_9 = 350 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{10} - V_9}{t_{10} - t_9}$$

$$v = \frac{355 \text{ mL} - 350 \text{ mL}}{100 \text{ s} - 90 \text{ s}}$$

$$v = \frac{5 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 0,5 \text{ mL/s}$$

10) 10 & 11

Diketahui : $t_{10} = 100 \text{ s}, t_{11} = 110 \text{ s}, V_{10} = 355 \text{ mL}, V_{11} = 355 \text{ mL}$

Ditanya : $v = ?$

Jawab :

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$v = \frac{V_{11} - V_{10}}{t_{11} - t_{10}}$$

$$v = \frac{355 \text{ mL} - 355 \text{ mL}}{110 \text{ s} - 100 \text{ s}}$$

$$v = \frac{0 \text{ mL}}{10 \text{ s}}$$

$$v = 0 \text{ mL/s}$$

Tabel X. Data Laju Reaksi Variasi Suhu ($T = 50^\circ\text{C}$)

$v \text{ (mL/s)}$	
v_{12}	5
v_{23}	5
v_{34}	5
v_{45}	5
v_{56}	4
v_{67}	3
v_{78}	2
v_{89}	1
v_{910}	0,5
v_{1011}	0
$\bar{v} = \frac{\sum v}{\sum n}$	3,05

Dengan asumsi gas ideal $P = 1 \text{ atm}$, $R = 0,08206 \text{ L atm/mol K}$,
 $T = 50^\circ\text{C} = 323 \text{ K}$, $\frac{\Delta V}{\Delta t} = 3,05 \text{ mL/s} = 0,00305 \text{ L/s}$ maka besar laju reaksi (v)

adalah sebagai berikut.

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{P}{R \cdot T} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{1 \text{ atm}}{0,08206 \text{ L atm/mol K} \cdot 323 \text{ K}} \cdot 0,00305 \text{ L/s}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{0,00305}{26,51} \text{ mol/s}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} \approx 0,000115 \text{ mol/s}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} \approx 1,15 \times 10^{-4} \text{ mol/s}$$

Lampiran D. Perhitungan Orde Reaksi**D.1 Perhitungan Orde Reaksi Variasi Konsentrasi (Tsania Chandra Kirana - 5004241077)**

Berikut adalah hasil data dari percobaan pada variasi konsentrasi HCl (aq) 1,5 M

Tabel X. Data Percobaan pada Variasi Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M

No	Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M	
	t (s)	V (mL)
1	60	0
2	120	0,05
3	180	0,10
4	240	0,10
5	300	0,15
6	360	0,17
7	420	0,18
8	480	0,17
9	540	0,18

Data percobaan yang telah didapatkan diolah untuk mendapatkan grafik hubungan antara Volume gas dengan Waktu menggunakan persamaan berikut:

$$V_{max} - V \quad (X)$$

$$\ln (V_{max} - V) \quad (X)$$

$$\frac{1}{(V_{max} - V)} \quad (X)$$

Dari persamaan diatas, didapatkan persamaan orde reaksi nya yaitu,

$$y = mx + c \quad (X)$$

Untuk mendapatkan Volume gas, dihitung terlebih dahulu dengan persamaan $V_{max} - V$ sehingga didapatkan data sebagai berikut.

Tabel X. Data volume gas pada konsentrasi HCl (aq) 1,5 M

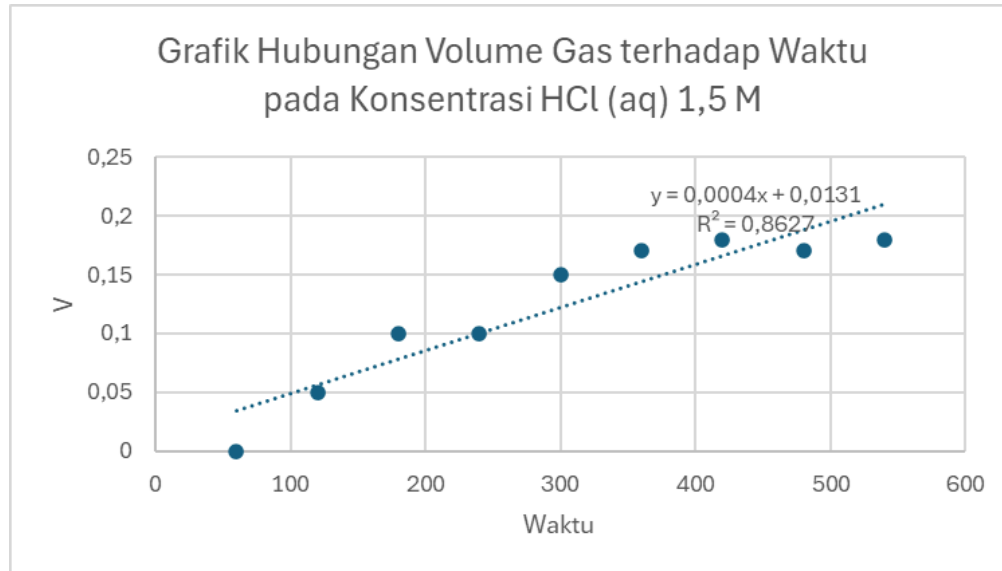
HCl (aq) 1,5 M		
Waktu (s)	V pipet kapiler (mm)	Vmax = Vmax - V (mL)
60	2	0

120	1,5	0,05
180	1	0,10
240	1	0,10
300	0,5	0,15
360	0,3	0,17
420	0,2	0,18
480	0,3	0,17
540	0,2	0,18

Dari data volume gas pada konsentrasi HCl (aq) 1,5 M didapatkan data plot orde 0 dan juga grafik hubungan antara volume gas terhadap waktu sebagai berikut.

Tabel X. Data Plot Orde 0

Plot Orde 0	
Waktu (s)	V (mL)
60	0
120	0,05
180	0,10
240	0,10
300	0,15
360	0,17
420	0,18
480	0,17
540	0,18



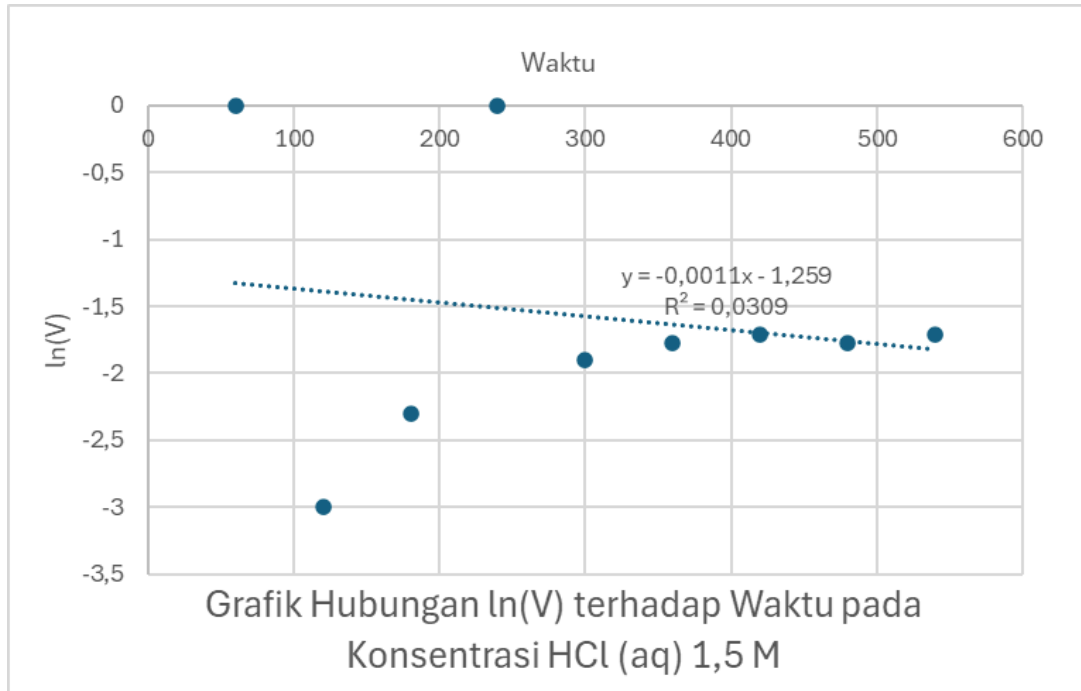
Gambar X. Grafik Hubungan Volume Gas terhadap Waktu pada Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M

Pada orde 1, digunakan persamaan $\ln(V_{max} - V)$ terhadap waktu (s) sehingga didapatkan data plot orde 1.

Tabel X. Data Plot Orde 1

Plot Orde 1	
Waktu (s)	$\ln(V)$ (mL)
60	0
120	-2,995732274
180	-2,302585093
240	0
300	-1,897119985
360	-1,771956842
420	-1,714798428
480	-1,771956842
540	-1,714798428

Dari data plot orde 1 di atas, didapatkan grafik hubungan antara $\ln(V_{max} - V)$ dengan waktu pada konsentrasi HCl (aq) 1,5 M.



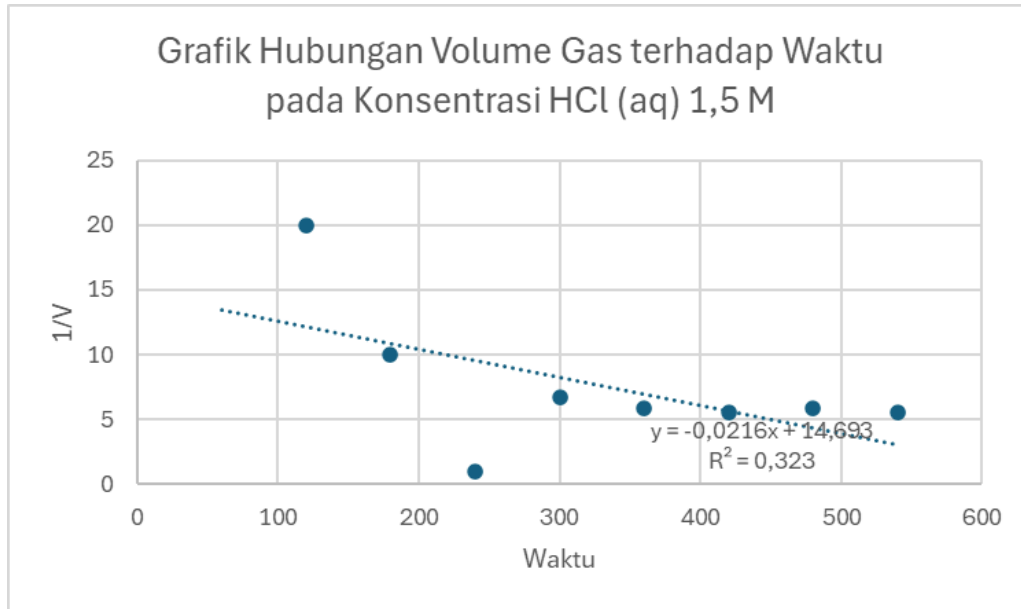
Gambar X. Grafik Hubungan ln(V) terhadap Waktu pada Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M

Pada uji orde 2, digunakan hubungan antara $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ terhadap waktu (t) sehingga diperoleh data plot orde 2.

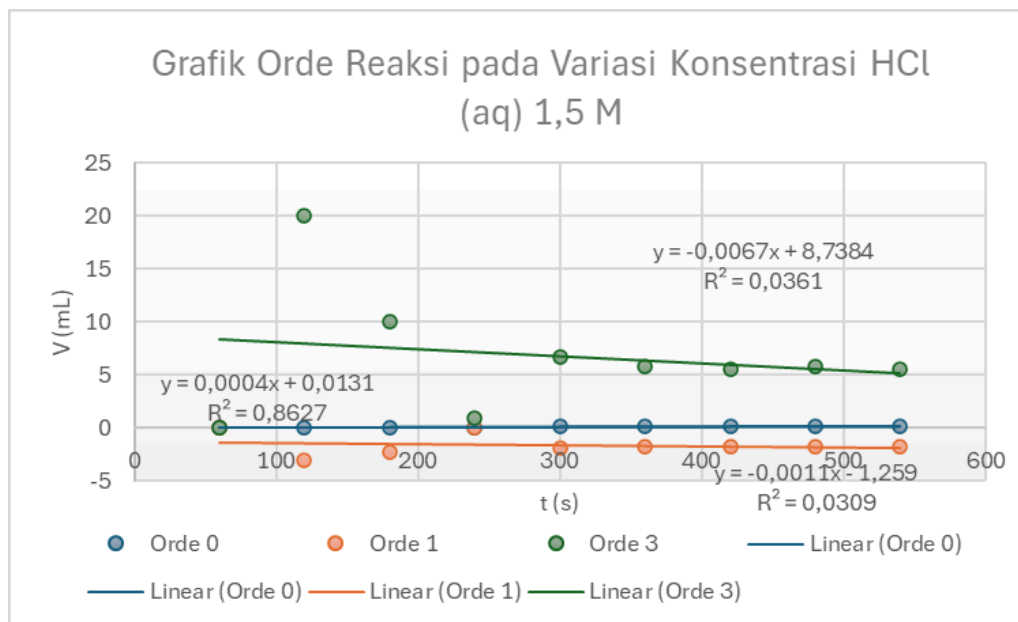
Tabel X. Data Plot Orde 2

Plot Orde 2	
Waktu (s)	1/V (mL)
60	0
120	20
180	10
240	1
300	6,666666667
360	5,882352941
420	5,555555556
480	5,882352941
540	5,555555556

Dari data plot orde 1 di atas, didapatkan grafik hubungan antara $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ dengan waktu pada konsentrasi HCl (aq) 1,5 M.



Gambar X. Grafik Hubungan $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ dengan Waktu pada Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M.



Gambar X. Grafik Orde Reaksi pada Variasi Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M

Berdasarkan hasil analisis grafik pada konsentrasi HCl (aq) 1,5 M, diperoleh persamaan garis ($y = mx + c$) dan koefisien determinasi (R^2) sebagai berikut.

Tabel X. Data Hasil Analisis Grafik Orde Reaksi pada Variasi Konsentrasi HCl (aq) 1,5 M

Konsentrasi	Orde	$y = mx + c$	R^2
HCl (aq) 1,5 M	0	$y = 0,0004x + 0,0131$	$R^2 = 0,8627$
	1	$y = -0,0011x + 1,259$	$R^2 = 0,0309$
	2	$y = -0,0216x + 14,693$	$R^2 = 0,323$

Tabel X. menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi (R^2) paling besar terdapat pada grafik orde 0 (0,8627). Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara volume dan waktu pada orde 0 memiliki tingkat linearitas paling tinggi. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa reaksi yang terjadi pada variasi konsentrasi HCl (aq) 1,5 M mengikuti kinetika reaksi orde 0.

D.2 Perhitungan Orde Reaksi Variasi Suhu (Wafiq Alsa Quelok - 5004241060)

1. Variasi Suhu 30°C

Diketahui: $T = 30^\circ\text{C}$ $V_{max} = 435 \text{ mL}$ (Volume gas maksimal saat reaksi sudah selesai)

Tabel X. Data Percobaan pada Variasi Suhu ($T = 30^\circ\text{C}$)

No	t (s)	V (mL)
1	10	10
2	20	30
3	30	50
4	40	80
5	50	110
6	60	150
7	70	190
8	80	235
9	90	280
10	100	325
11	110	355
12	120	385

13	130	410
14	140	435
15	150	435
16	160	435
17	170	435
18	180	435

Ditanya: Orde reaksi 0, 1, atau 2?

Jawab : Data volume hasil percobaan diolah untuk membuat grafik hubungan terhadap waktu (t) dengan menghitung nilai berikut.

$$V_{max} - V \quad (X)$$

$$\ln (V_{max} - V) \quad (X)$$

$$\frac{1}{(V_{max} - V)} \quad (X)$$

Dari nilai-nilai tersebut, diperoleh grafik dengan persamaan linear yang dapat menentukan orde reaksi.

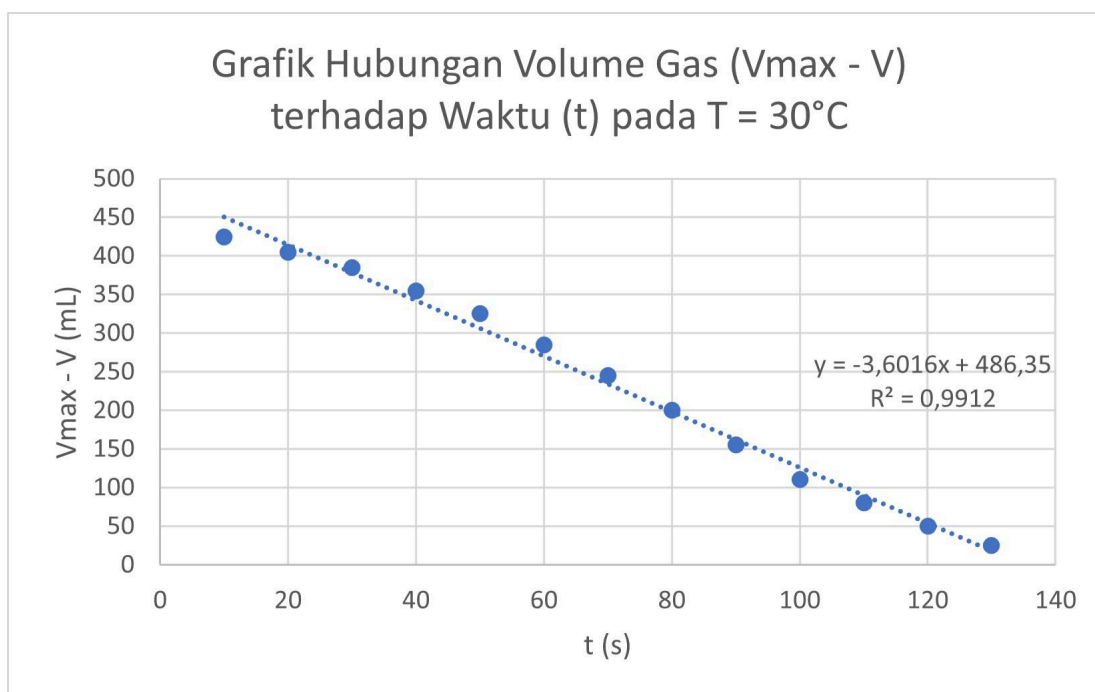
$$y = mx + c \quad (X)$$

Tabel X. Data Perhitungan pada Variasi Suhu ($T = 30^{\circ}\text{C}$)

No	t (s)	V (mL)	$V_{max} - V$ (mL)	$\ln (V_{max} - V)$ (mL)	$\frac{1}{(V_{max} - V)}$ (mL)
1	10	10	425	6,052089	0,002353
2	20	30	405	6,003887	0,002469
3	30	50	385	5,953243	0,002597
4	40	80	355	5,872118	0,002817
5	50	110	325	5,783825	0,003077
6	60	150	285	5,652489	0,003509
7	70	190	245	5,501258	0,004082
8	80	235	200	5,298317	0,005

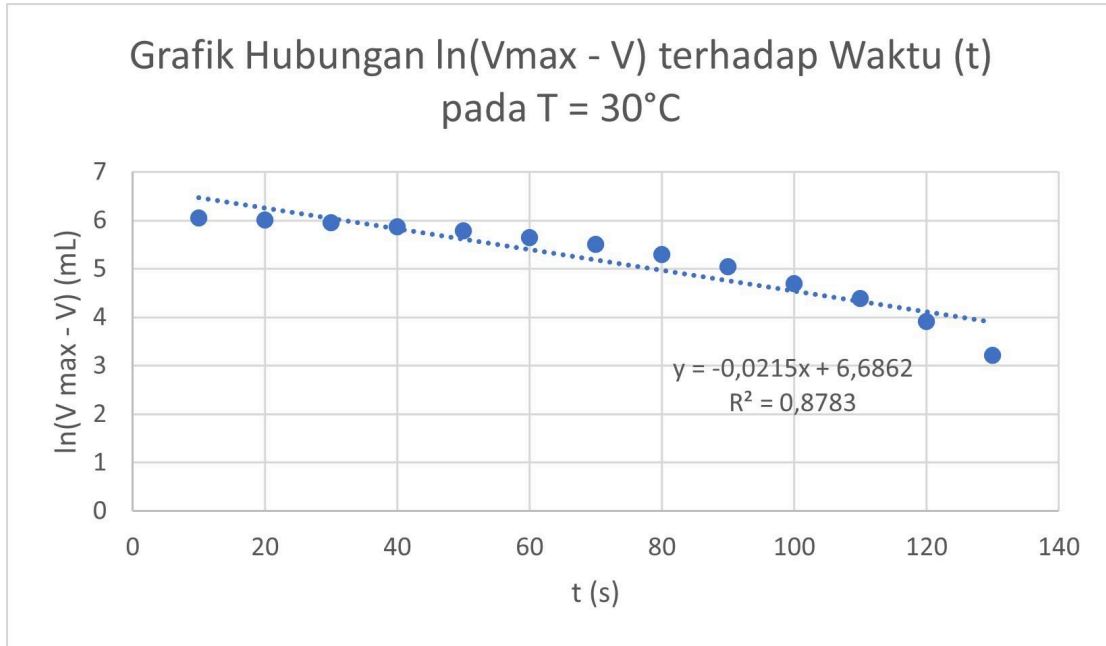
9	90	280	155	5,043425	0,006452
10	100	325	110	4,70048	0,009091
11	110	355	80	4,382027	0,0125
12	120	385	50	3,912023	0,02
13	130	410	25	3,218876	0,04
14	140	435	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>
15	150	435	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>
16	160	435	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>
17	170	435	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>
18	180	435	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>

Data saat $V = V_{max}$ ($t = 140\text{--}180$ s) tidak digunakan dalam analisis karena pada kondisi tersebut reaksi telah selesai atau tidak terjadi perubahan volume terhadap waktu sehingga tidak dapat mewakili kinetika reaksi. Pada uji orde 0, digunakan hubungan antara volume gas ($V_{max} - V$) terhadap waktu (t) sehingga diperoleh grafik pada **Gambar X**.



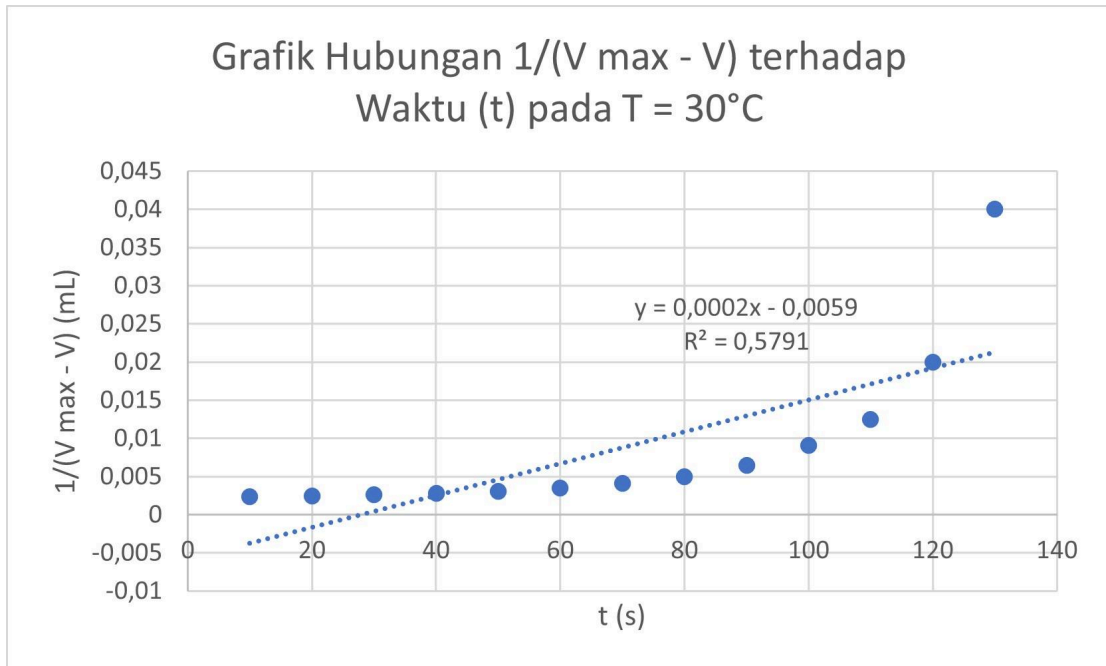
Gambar X. Grafik Hubungan Volume Gas ($V_{max} - V$) terhadap Waktu (t) pada $T = 30^\circ\text{C}$

Pada uji orde 1, digunakan hubungan antara $\ln(V_{max} - V)$ terhadap waktu (t) sehingga diperoleh grafik pada **Gambar X**.

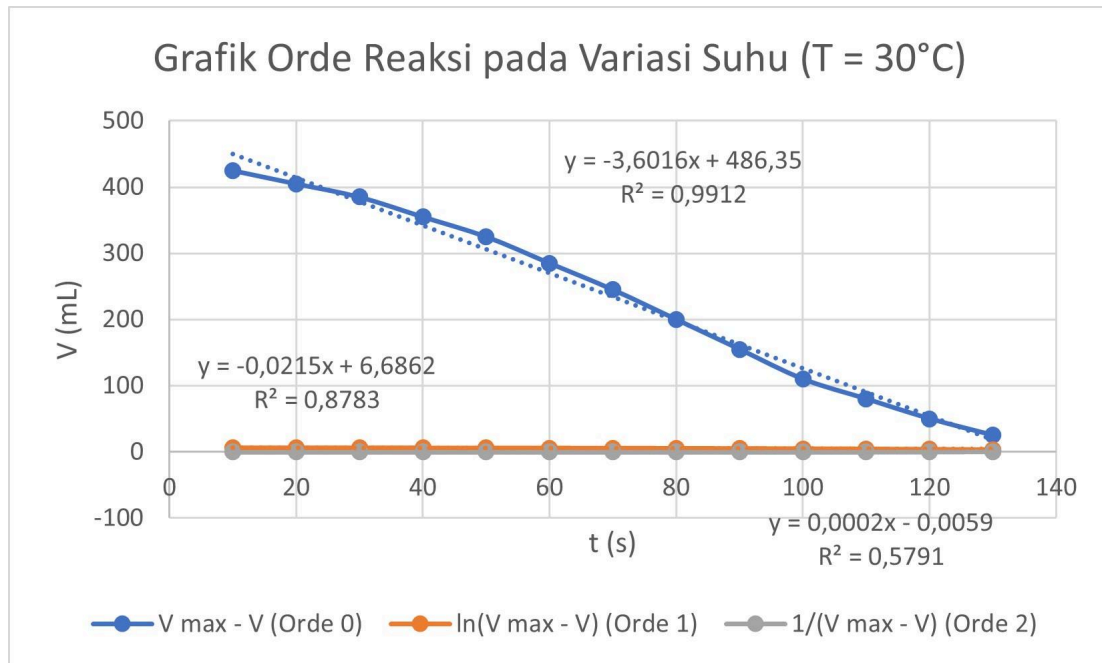


Gambar X. Grafik Hubungan $\ln(V_{max} - V)$ terhadap Waktu (t) pada $T = 30^{\circ}\text{C}$

Pada uji orde 2, digunakan hubungan antara $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ terhadap waktu (t) sehingga diperoleh grafik pada **Gambar X**.



Gambar X. Grafik Hubungan $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ terhadap Waktu (t) pada $T = 30^{\circ}\text{C}$



Gambar X. Grafik Orde Reaksi pada Variasi Suhu ($T = 30^{\circ}\text{C}$)

Berdasarkan hasil analisis grafik pada variasi $T = 30^{\circ}\text{C}$, diperoleh persamaan garis ($y = mx + c$) dan koefisien determinasi (R^2) sebagai berikut.

Tabel X. Data Hasil Analisis Grafik Orde Reaksi pada Variasi Suhu ($T = 30^{\circ}\text{C}$)

T ($^{\circ}\text{C}$)	Orde	$y = mx + c$	R^2
30	0	$y = -3,6016x + 486,35$	$R^2 = 0,9912$
	1	$y = -0,0215x + 6,6862$	$R^2 = 0,8783$
	2	$y = 0,0002x - 0,0059$	$R^2 = 0,5791$

Tabel X. menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi (R^2) paling besar terdapat pada grafik orde 0 (0,9912). Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara volume dan waktu pada orde 0 memiliki tingkat linearitas paling tinggi. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa reaksi yang terjadi pada variasi $T = 30^{\circ}\text{C}$ mengikuti kinetika reaksi orde 0.

2. Variasi Suhu 40°C

Diketahui: $T = 40^{\circ}\text{C}$ $V_{max} = 425 \text{ mL}$ (Volume gas maksimal saat reaksi sudah selesai)

Tabel X. Data Percobaan pada Variasi Suhu ($T = 40^{\circ}\text{C}$)

No	t (s)	V (mL)
----	-------	--------

1	10	30
2	20	60
3	30	90
4	40	120
5	50	150
6	60	190
7	70	230
8	80	270
9	90	315
10	100	355
11	110	385
12	120	405
13	130	415
14	140	420
15	150	425
16	160	425
17	170	425
18	180	425

Ditanya: Orde reaksi 0, 1, atau 2?

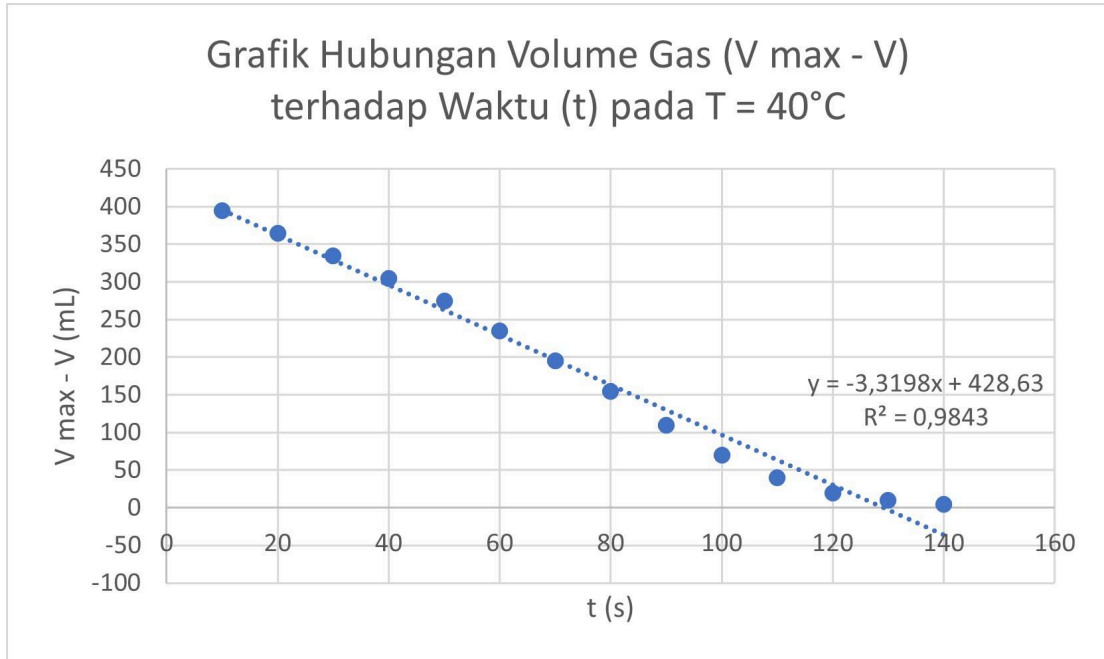
Jawab : Data volume hasil percobaan diolah dengan menghitung nilai $V_{max} - V$, $\ln(V_{max} - V)$, dan $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ untuk membuat grafik hubungan terhadap waktu (t) guna menentukan orde reaksi.

Tabel X. Data Perhitungan pada Variasi Suhu ($T = 40^{\circ}\text{C}$)

No	t (s)	V (mL)	$V_{max} - V$ (mL)	$\ln(V_{max} - V)$ (mL)	$\frac{1}{(V_{max} - V)}$ (mL)
1	10	30	395	5,978886	0,002532

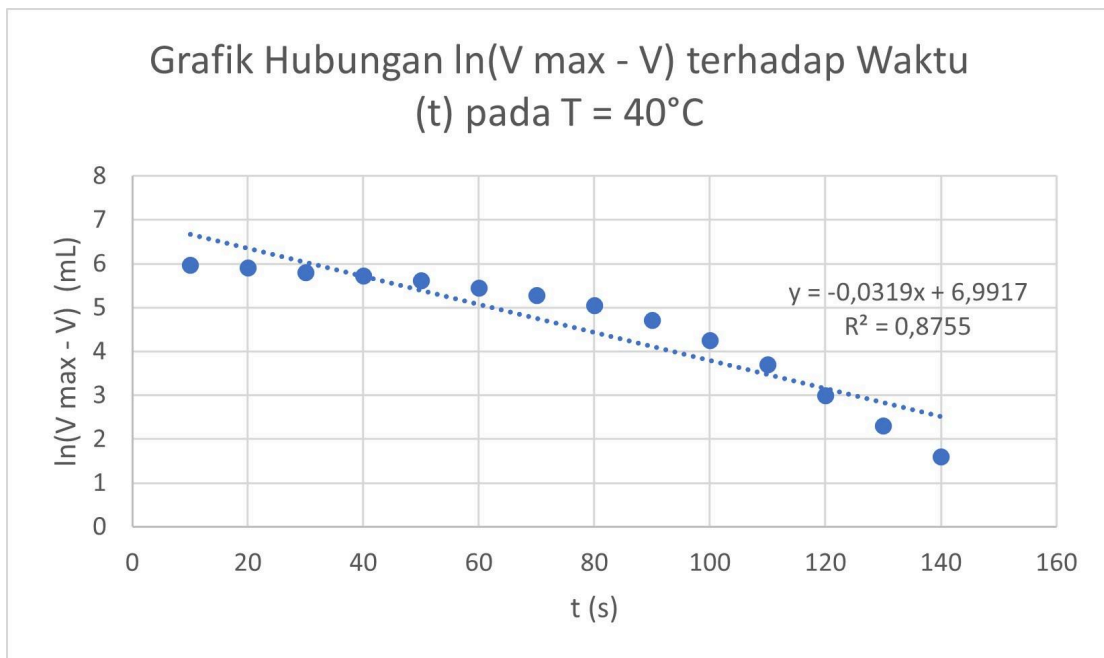
2	20	60	365	5,899897	0,00274
3	30	90	335	5,814131	0,002985
4	40	120	305	5,720312	0,003279
5	50	150	275	5,616771	0,003636
6	60	190	235	5,459586	0,004255
7	70	230	195	5,273	0,005128
8	80	270	155	5,043425	0,006452
9	90	315	110	4,70048	0,009091
10	100	355	70	4,248495	0,014286
11	110	385	40	3,688879	0,025
12	120	405	20	2,995732	0,05
13	130	415	10	2,302585	0,1
14	140	420	5	1,609438	0,2
15	150	425	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>
16	160	425	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>
17	170	425	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>
18	180	425	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>

Data saat $V = V_{max}$ ($t = 150\text{--}180$ s) tidak digunakan dalam analisis karena pada kondisi tersebut reaksi telah selesai atau tidak terjadi perubahan volume terhadap waktu sehingga tidak dapat mewakili kinetika reaksi. Pada uji orde 0, digunakan hubungan antara volume gas ($V_{max} - V$) terhadap waktu (t) sehingga diperoleh grafik pada **Gambar X**.



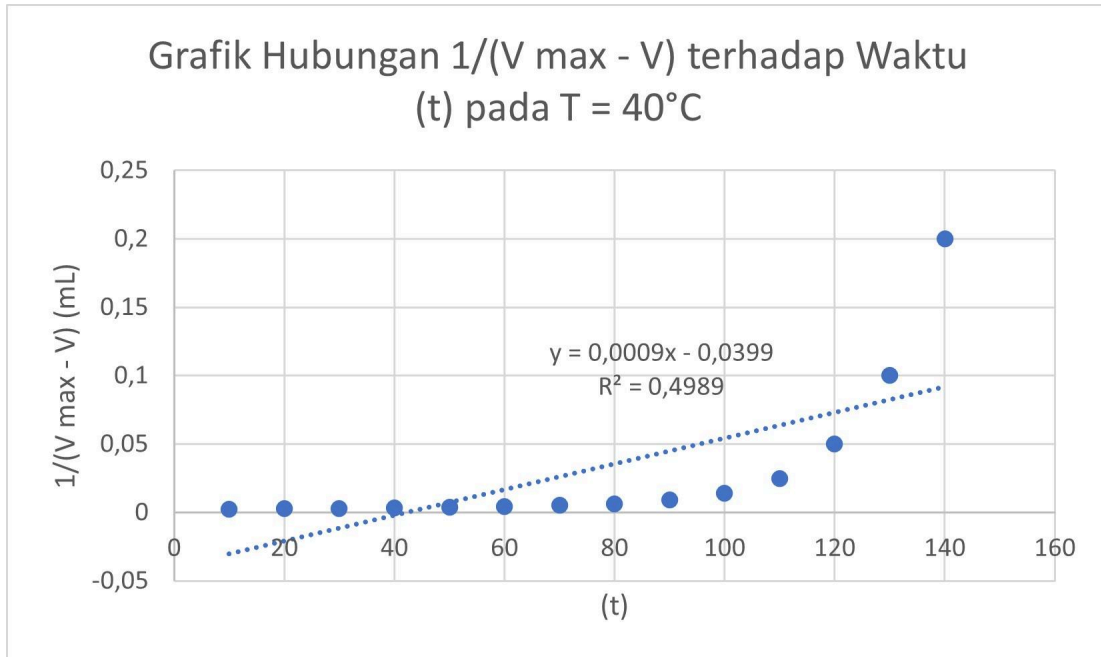
Gambar X. Grafik Hubungan Volume Gas ($V_{max} - V$) terhadap Waktu (t) pada $T = 40^{\circ}\text{C}$

Pada uji orde 1, digunakan hubungan antara $\ln(V_{max} - V)$ terhadap waktu (t) sehingga diperoleh grafik pada **Gambar X**.

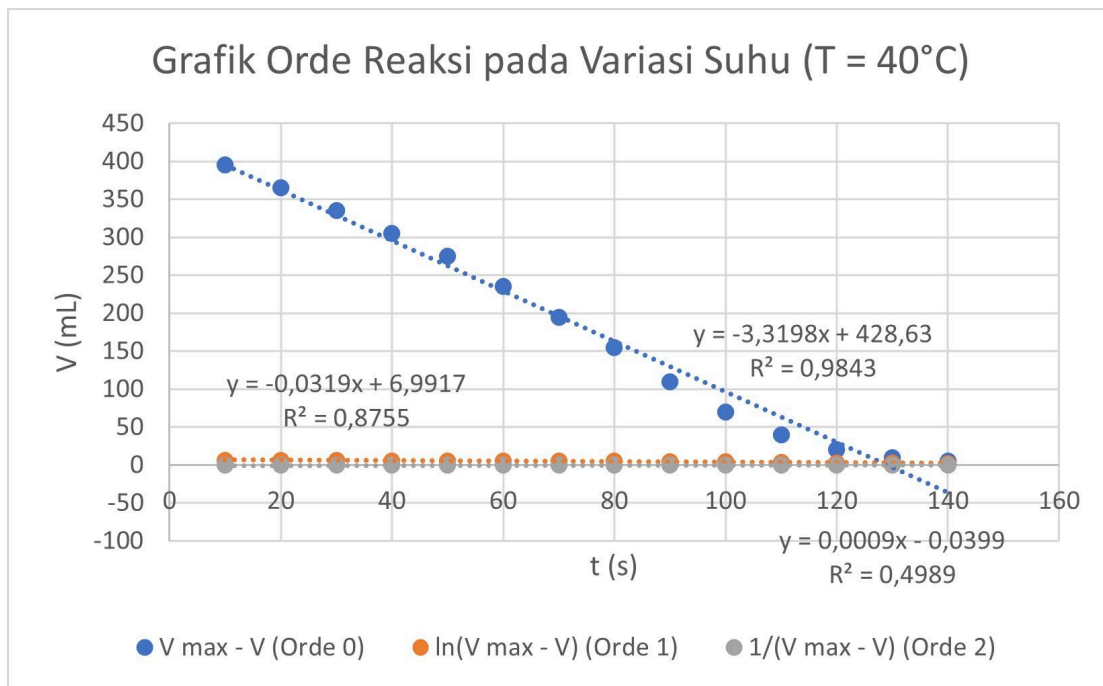


Gambar X. Grafik Hubungan $\ln(V_{max} - V)$ terhadap Waktu (t) pada $T = 40^{\circ}\text{C}$

Pada uji orde 2, digunakan hubungan antara $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ terhadap waktu (t) sehingga diperoleh grafik pada **Gambar X**.



Gambar X. Grafik Hubungan $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ terhadap Waktu (t) pada $T = 40^{\circ}\text{C}$



Gambar X. Grafik Orde Reaksi pada Variasi Suhu ($T = 40^{\circ}\text{C}$)

Berdasarkan hasil analisis grafik pada variasi $T = 40^{\circ}\text{C}$, diperoleh persamaan garis ($y = mx + c$) dan koefisien determinasi (R^2) sebagai berikut.

Tabel X. Data Hasil Analisis Grafik Orde Reaksi pada Variasi Suhu ($T = 40^{\circ}\text{C}$)

T (°C)	Orde	$y = mx + c$	R ²
40	0	$y = -3,3198x + 428,63$	R ² = 0,9843
	1	$y = -0,0319x + 6,9917$	R ² = 0,8755
	2	$y = 0,0009x - 0,0399$	R ² = 0,4989

Tabel X. menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi (R²) paling besar terdapat pada grafik orde 0 (0,9843). Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara volume dan waktu pada orde 0 memiliki tingkat linearitas paling tinggi. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa reaksi yang terjadi pada variasi T = 40°C mengikuti kinetika reaksi orde 0.

3. Variasi Suhu 50°C

Diketahui: $T = 50^{\circ}\text{C}$ $V_{max} = 355 \text{ mL}$ (Volume gas maksimal saat reaksi sudah selesai)

Tabel X. Data Percobaan pada Variasi Suhu ($T = 50^{\circ}\text{C}$)

No	t (s)	V (mL)
1	10	50
2	20	100
3	30	150
4	40	200
5	50	250
6	60	290
7	70	320
8	80	340
9	90	350
10	100	355
11	110	355
12	120	355
13	130	355
14	140	355

15	150	355
16	160	355
17	170	355
18	180	355

Ditanya: Orde reaksi 0, 1, atau 2?

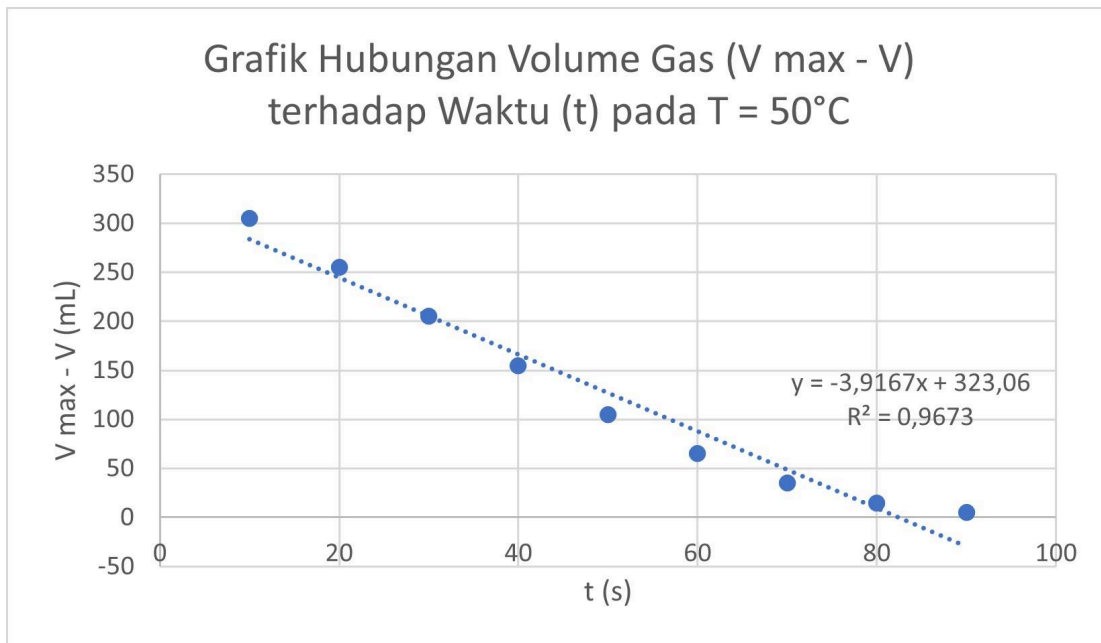
Jawab : Data volume hasil percobaan diolah dengan menghitung nilai $V_{max} - V$, $\ln(V_{max} - V)$, dan $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ untuk membuat grafik hubungan terhadap waktu (t) guna menentukan orde reaksi.

Tabel X. Data Perhitungan pada Variasi Suhu ($T = 50^{\circ}\text{C}$)

No	t (s)	V (mL)	$V_{max} - V$ (mL)	$\ln(V_{max} - V)$ (mL)	$\frac{1}{(V_{max} - V)}$ (mL)
1	10	50	305	5,720312	0,003279
2	20	100	255	5,541264	0,003922
3	30	150	205	5,32301	0,004878
4	40	200	155	5,043425	0,006452
5	50	250	105	4,65396	0,009524
6	60	290	65	4,174387	0,015385
7	70	320	35	3,555348	0,028571
8	80	340	15	2,70805	0,066667
9	90	350	5	1,609438	0,2
10	100	355	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>
11	110	355	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>
12	120	355	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>
13	130	355	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>
14	140	355	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>
15	150	355	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>

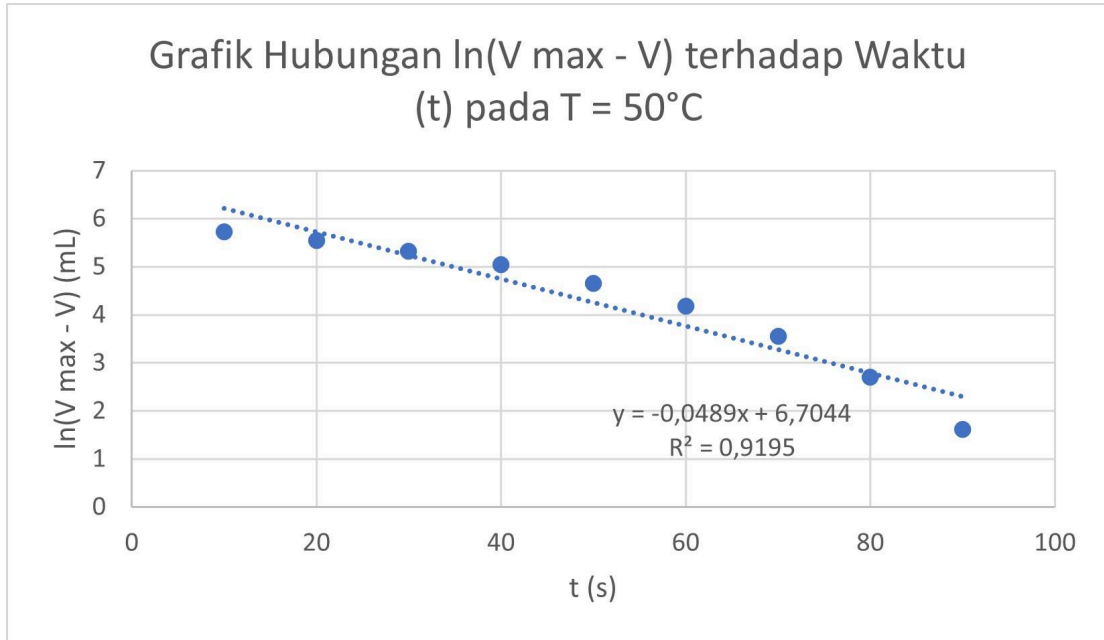
16	160	355	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>
17	170	355	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>
18	180	355	0	<i>undefined</i>	<i>undefined</i>

Data saat $V = V_{max}$ ($t = 100\text{--}180$ s) tidak digunakan dalam analisis karena pada kondisi tersebut reaksi telah selesai atau tidak terjadi perubahan volume terhadap waktu sehingga tidak dapat mewakili kinetika reaksi. Pada uji orde 0, digunakan hubungan antara volume gas ($V_{max} - V$) terhadap waktu (t) sehingga diperoleh grafik pada **Gambar X**.



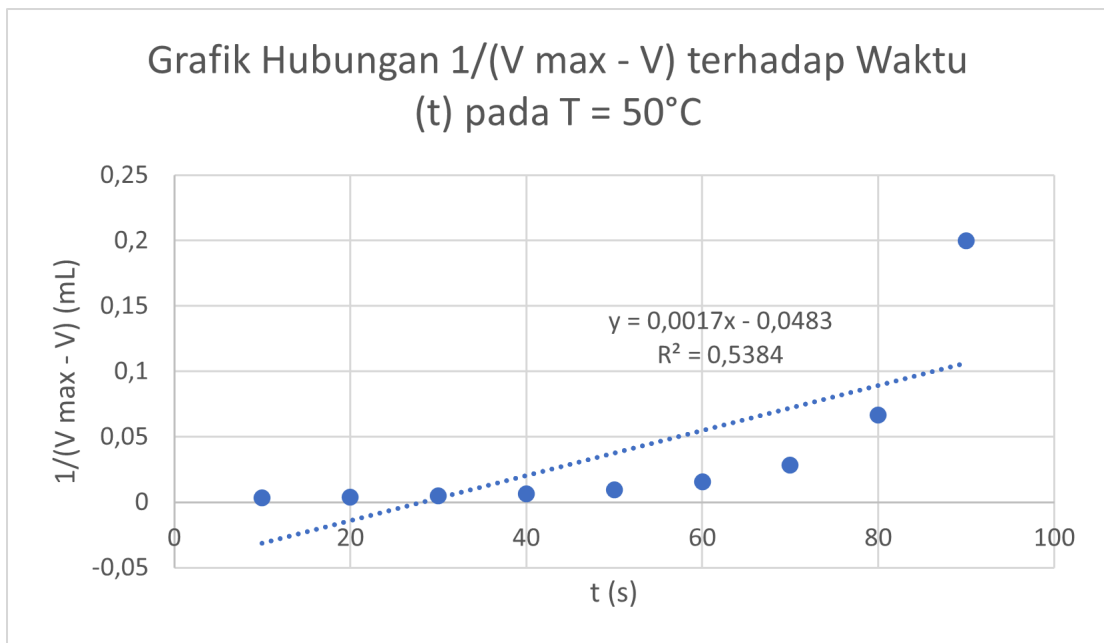
Gambar X. Grafik Hubungan Volume Gas ($V_{max} - V$) terhadap Waktu (t) pada $T = 50^\circ\text{C}$

Pada uji orde 1, digunakan hubungan antara $\ln(V_{max} - V)$ terhadap waktu (t) sehingga diperoleh grafik pada **Gambar X**.

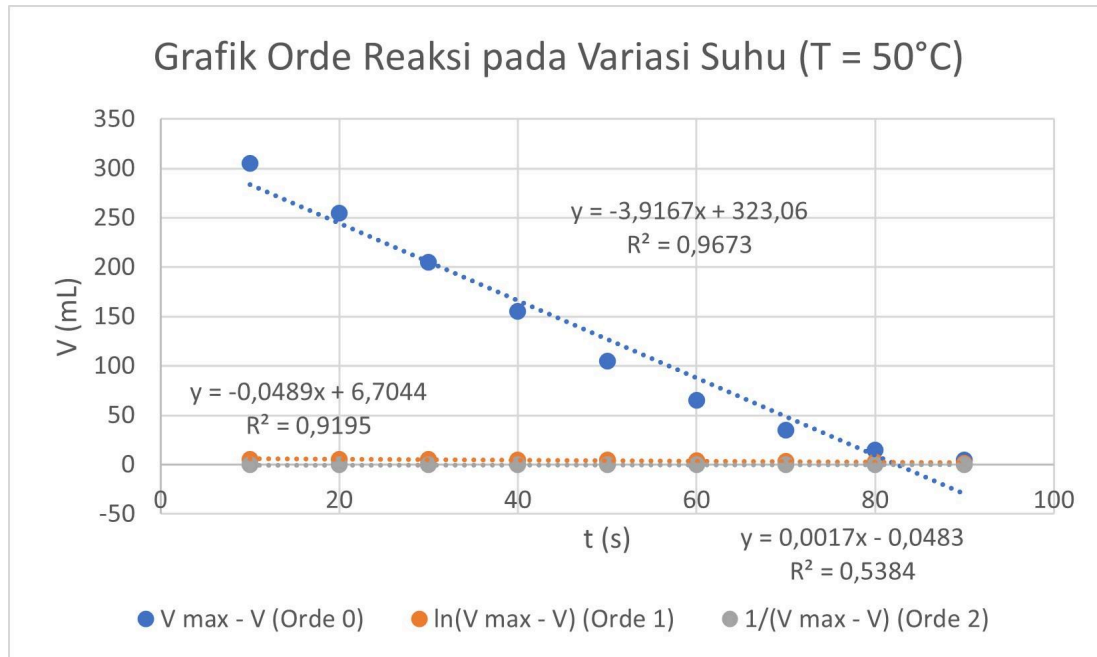


Gambar X. Grafik Hubungan $\ln (V_{max} - V)$ terhadap Waktu (t) pada $T = 50^\circ\text{C}$

Pada uji orde 2, digunakan hubungan antara $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ terhadap waktu (t) sehingga diperoleh grafik pada **Gambar X**.



Gambar X. Grafik Hubungan $\frac{1}{(V_{max} - V)}$ terhadap Waktu (t) pada $T = 50^\circ\text{C}$



Gambar X. Grafik Orde Reaksi pada Variasi Suhu ($T = 50^{\circ}\text{C}$)

Berdasarkan hasil analisis grafik pada variasi $T = 50^{\circ}\text{C}$, diperoleh persamaan garis ($y = mx + c$) dan koefisien determinasi (R^2) sebagai berikut.

Tabel X. Data Hasil Analisis Grafik Orde Reaksi pada Variasi Suhu ($T = 50^{\circ}\text{C}$)

T ($^{\circ}\text{C}$)	Orde	$y = mx + c$	R^2
50	0	$y = -3,9167x + 323,06$	$R^2 = 0,9673$
	1	$y = -0,0489x + 6,7044$	$R^2 = 0,9195$
	2	$y = 0,0017x - 0,0483$	$R^2 = 0,5384$

Tabel X. menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi (R^2) paling besar terdapat pada grafik orde 0 (0,9673). Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara volume dan waktu pada orde 0 memiliki tingkat linearitas paling tinggi. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa reaksi yang terjadi pada variasi $T = 50^{\circ}\text{C}$ mengikuti kinetika reaksi orde 0.

Dengan demikian, kinetika reaksi pada variasi suhu $T = 30^{\circ}\text{C}$, 40°C , dan 50°C adalah reaksi orde 0.

Lampiran E. Perhitungan Energi Aktivasi

E.1 Perhitungan Energi Aktivasi Variasi Suhu (Wafiq Alsa Quelok - 5004241060)

Berdasarkan hasil analisis grafik pada penentuan orde reaksi diperoleh persamaan garis sebagai berikut.

Tabel X. Data Persamaan Garis Hasil Analisis Grafik pada Penentuan Orde Reaksi

T ($^{\circ}\text{C}$)	Orde	$y = mx + c$
--------------------------	------	--------------

30	0	$y = -3,6016x + 486,35$
40		$y = -3,3198x + 428,63$
50		$y = -3,9167x + 323,06$

E.1.1 Perhitungan Energi Aktivasi Variasi Suhu melalui Pendekatan Persamaan Linear

Secara umum, konstanta laju reaksi dituliskan sebagai berikut.

$$v = k[A]^n \quad (X)$$

dimana k merupakan konstanta laju reaksi, $[A]$ adalah konsentrasi atau volume, dan n adalah orde reaksi. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh bahwa reaksi pada ketiga variasi suhu mengikuti orde 0. Pada reaksi orde 0, laju reaksi tidak bergantung pada konsentrasi atau volume, sehingga persamaan laju reaksi dapat disederhanakan menjadi,

$$v = k \quad (X)$$

Nilai konstanta laju reaksi (k) dapat diperoleh dari persamaan garis linear.

$$y = mx + c \quad (X)$$

dimana y merepresentasikan volume dan x adalah waktu. Dalam persamaan tersebut, kemiringan garis (*slope*, m) menunjukkan laju perubahan volume terhadap waktu ($\Delta V/\Delta t$), yang secara langsung merepresentasikan nilai konstanta laju reaksi (k) pada orde 0. Oleh karena itu, nilai k diperoleh dari nilai absolut *slope* pada grafik.

Tabel X.

T (°C)	Orde	k
30	0	3,6016
40		3,3198
50		3,9167

Nilai konstanta laju reaksi (k) yang diperoleh pada masing-masing suhu selanjutnya digunakan untuk menentukan energi aktivasi reaksi. Hubungan antara konstanta laju reaksi dan suhu dinyatakan dalam persamaan Arrhenius sebagai berikut.

$$k = Ae^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (X)$$

$$\ln k = -\frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T} + \ln A \quad (X)$$

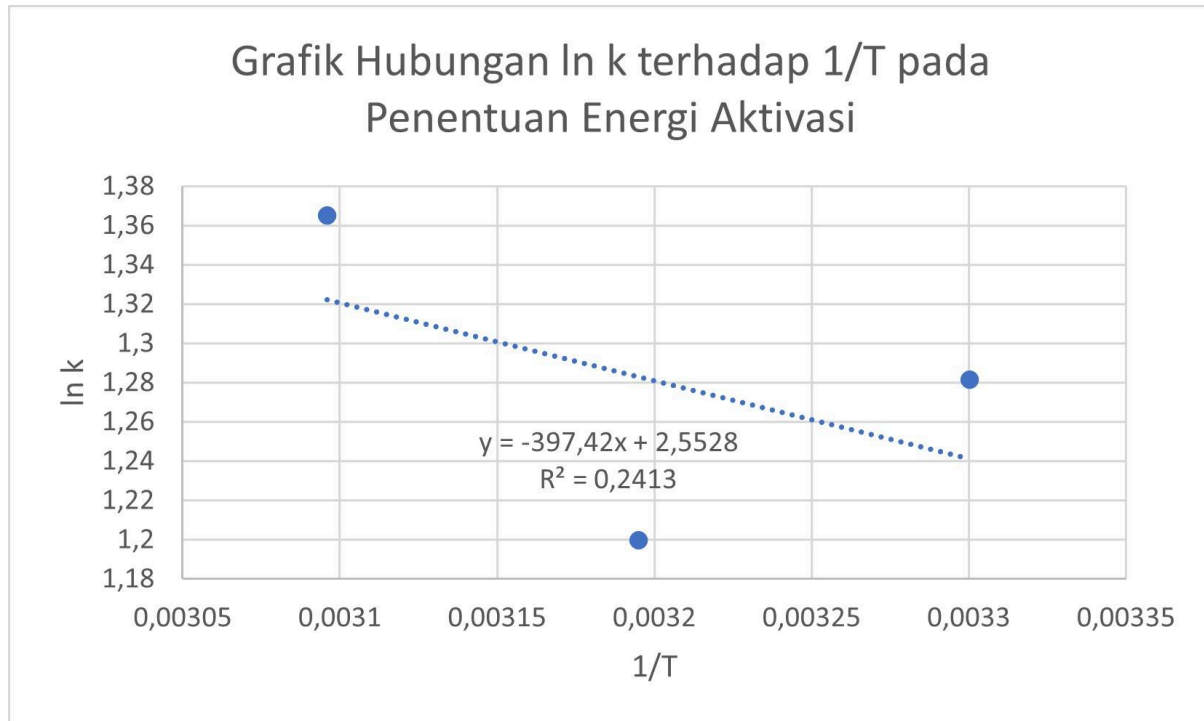
Berdasarkan persamaan tersebut, diketahui bahwa terdapat hubungan linear antara $\ln k$ sebagai fungsi dari $\frac{1}{T}$. Oleh karena itu, data diolah dengan menghitung nilai $\ln k$ dan $\frac{1}{T}$, kemudian diplot dalam bentuk grafik $\ln k$ terhadap $\frac{1}{T}$. Penggunaan $\frac{1}{T}$ bertujuan untuk melinierkan persamaan Arrhenius sehingga dapat dianalisis menggunakan regresi linear.

Tabel X.

T (K)	k	$\frac{1}{T}$	$\ln k$
-------	-----	---------------	---------

303	3,6016	0,00330033	1,281378
313	3,3198	0,003194888	1,199905
323	3,9167	0,003095975	1,365249

Dari data di atas, diperoleh grafik pada **Gambar X**.



Gambar X. Grafik Hubungan $\ln k$ terhadap $\frac{1}{T}$ pada Penentuan Energi Aktivasi

Grafik yang diperoleh menghasilkan persamaan linear ($y = mx + c$) dimana $y = \ln k$ dan $x = \frac{1}{T}$.

Kemiringan garis (*slope*, m) dari grafik tersebut bernilai $-\frac{Ea}{R}$.

$$\ln k = -\frac{Ea}{R} \cdot \frac{1}{T} + \ln A \quad (X)$$

$$y = m \cdot x + c \quad (X)$$

Maka hubungan *slope* (m) dengan Ea adalah sebagai berikut.

$$m = -\frac{Ea}{R} \quad (X)$$

$$Ea = -m \cdot R \quad (X)$$

Diketahui : Persamaan garis linear pada grafik **Gambar X**. adalah $y = -397,42x + 2,5528$ dan $R^2 = 0,2431$.

Ditanya : $Ea = ?$

Jawab :

$$Ea = -m \cdot R$$

$$Ea = - (-397,42) \cdot 8,314$$

$$Ea = 397,42 \cdot 8,314$$

$$Ea \approx 3304 \text{ J/mol}$$

$$Ea \approx 3,30 \text{ kJ/mol}$$

Dengan demikian, nilai energi aktivasi pada variasi suhu melalui pendekatan persamaan linear adalah sebesar 3,30 kJ/mol. Namun, perlu diketahui bahwa nilai R^2 yang dihasilkan sangat rendah, yaitu 0,2413. Hal tersebut menunjukkan bahwa hubungan antara $\ln k$ dan $\frac{1}{T}$ pada percobaan ini tidak linear, sehingga energi aktivasi yang diperoleh kurang akurat.

E.1.2 Perhitungan Energi Aktivasi Variasi Suhu secara Manual

Energi aktivasi dapat ditentukan secara manual menggunakan persamaan Arrhenius dua titik berikut.

$$\ln\left(\frac{k_2}{k_1}\right) = \frac{Ea}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) \quad (X)$$

Tabel X. Data Konstanta Laju Reaksi (k) pada Variasi Suhu

No	T (°C)	T (K)	k
1	30	303	3,6016
2	40	313	3,3198
3	50	323	3,9167

1. Data 1 dan 2

Diketahui : $k_1 = 3,6016, k_2 = 3,3198, T_1 = 303 \text{ K}, T_2 = 313 \text{ K},$

$$R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Ditanya : $Ea = ?$

Jawab :

$$\ln\left(\frac{k_2}{k_1}\right) = \frac{Ea}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$$

$$\ln\left(\frac{3,3198}{3,6016}\right) = \frac{Ea}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}} \left(\frac{1}{303 \text{ K}} - \frac{1}{313 \text{ K}}\right)$$

$$-0,0814 = \frac{Ea}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol}}} (0,0033 - 0,0031)$$

$$-0,0814 = \frac{Ea}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol}}} (0,0002)$$

$$Ea = \frac{-0,0814}{0,0002} \times 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

$$Ea = -407 \times 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

$$Ea = -3383,798 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

(Ea bernilai negatif karena k pada suhu 313 K lebih kecil dibandingkan pada 303 K, sehingga tidak mengikuti kecenderungan teori Arrhenius. Kombinasi Data 1 dan 2 tidak dapat digunakan karena tidak valid).

2. Data 1 dan 3

Diketahui : $k_1 = 3,6016, k_3 = 3,9167, T_1 = 303 K, T_2 = 323 K,$
 $R = 8,314 \frac{J}{mol \cdot K}$

Ditanya : $Ea = ?$

Jawab :

$$\ln\left(\frac{k_3}{k_1}\right) = \frac{Ea}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_3}\right)$$

$$\ln\left(\frac{3,9167}{3,6016}\right) = \frac{Ea}{8,314 \frac{J}{mol \cdot K}} \left(\frac{1}{303 K} - \frac{1}{323 K}\right)$$

$$0,0838 = \frac{Ea}{8,314 \frac{J}{mol}} (0,0033 - 0,0030)$$

$$0,0838 = \frac{Ea}{8,314 \frac{J}{mol}} (0,0003)$$

$$Ea = \frac{0,0838}{0,0003} \times 8,314 \frac{J}{mol}$$

$$Ea = 279,3 \times 8,314 \frac{J}{mol}$$

$$Ea = 2322,1 \frac{J}{mol}$$

$$Ea \approx 2,32 \frac{kJ}{mol}$$

3. Data 2 dan 3

Diketahui : $k_3 = 3,9167, k_2 = 3,3198, T_3 = 323 K, T_2 = 313 K,$
 $R = 8,314 \frac{J}{mol \cdot K}$

Ditanya : $Ea = ?$

Jawab :

$$\ln\left(\frac{k_3}{k_2}\right) = \frac{Ea}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_3}\right)$$

$$\ln\left(\frac{3,9167}{3,3198}\right) = \frac{Ea}{8,314 \frac{J}{mol \cdot K}} \left(\frac{1}{313 K} - \frac{1}{323 K}\right)$$

$$0,1653 = \frac{Ea}{8,314 \frac{J}{mol}} (0,0031 - 0,0030)$$

$$0,1653 = \frac{Ea}{8,314 \frac{J}{mol}} (0,0001)$$

$$Ea = \frac{0,1653}{0,0001} \times 8,314 \frac{J}{mol}$$

$$Ea = 1653 \times 8,314 \frac{J}{mol}$$

$$Ea = 13743,042 \frac{J}{mol}$$

$$Ea \approx 13,74 \frac{kJ}{mol}$$

JURNAL P4

Reaksi Polimerisasi - Stirena

Damar Aditya Nugraha¹, Wafiq Alsa Quelok², Tsania Chandra Kirana³,
Alexa Zerlinda Mahendro⁴, Daris Fakhruddin Wibowo⁵

¹²³⁴⁵Departemen Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

Dinamika Kimia A

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang (Nama - NRP)

1.2 Tujuan (Wafiq Alsa Quelok - 5004241060)

Percobaan Reaksi Polimerisasi Stirena bertujuan untuk mengetahui proses dan mekanisme reaksi polimerisasi serta hal-hal yang mempengaruhi proses dan mekanisme reaksi polimerisasi pada Stirena.

1.3 Rumusan Masalah (Wafiq Alsa Quelok - 5004241060)

Percobaan Polimerisasi Stirena merumuskan permasalahan utama terkait mekanisme pembentukan polistirena dan faktor-faktor seperti pengaruh suhu, konsentrasi monomer, serta jumlah inisiator terhadap laju reaksi pembentukan rantai polimer stirena.

1.4 Manfaat (Wafiq Alsa Quelok - 5004241060)

Melalui Percobaan Polimerisasi Stirena, praktikan dapat memahami proses pembentukan polimer dari monomer stirena melalui mekanisme rantai radikal bebas, melatih kemampuan analisis kuantitatif terkait kinetika reaksi dan karakteristik polimer, serta mengenalkan praktikan pada penanganan bahan industri seperti polistirena yang merupakan polimer termoplastik yang sering ditemui sebagai bahan kemasan.

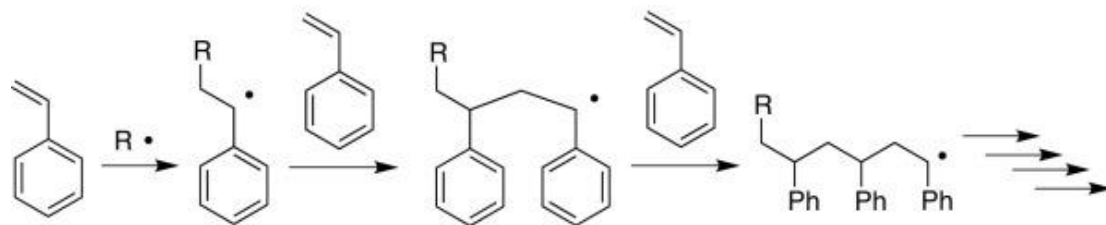
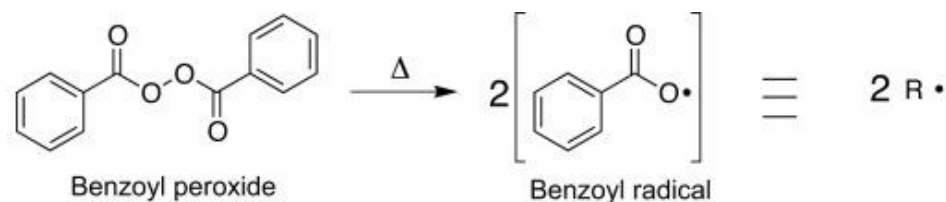
2. Tinjauan Pustaka

2.1 Polimer Stirena (Nama - NRP)

2.2 Stirena sebagai Monomer (Nama - NRP)

2.3 Mekanisme Reaksi Polimerisasi Stirena (Wafiq Alsa Quelok - 5004241060)

Lorrremmmmmmm



2.4 Kinetika Reaksi Polimerisasi (Wafiq Alsa Quelok - 5004241060)

loremmmmmmmmmmmmm

2.5 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Polimerisasi Stirena (Nama - NRP)

3. Eksperimental

3.1 Alat (Wafiq Alsa Quelok - 5004241060)

Pada percobaan ini, digunakan peralatan, seperti tabung reaksi sebagai wadah utama tempat terjadinya reaksi polimerisasi, gelas kimia 50 mL untuk menampung cairan dalam jumlah kecil. Gelas kimia 250 mL berperan sebagai penangas air (*water bath*), *hotplate* sebagai sumber panas dengan suhu yang dipantau menggunakan termometer. Selama pemanasan, *aluminium foil* digunakan untuk menutup tabung reaksi guna mencegah penguapan bahan keluar dari sistem. *Stopwatch* berfungsi untuk mengukur durasi pemanasan dan reaksi yang terjadi. Spatula digunakan untuk mengambil bahan kimia padat, sedangkan pipet ukur untuk mengukur volume larutan secara akurat. Penjepit tabung reaksi digunakan untuk keamanan selama pemindahan alat setelah pemanasan. Pengukuran massa dilakukan menggunakan neraca analitik untuk mendapatkan data yang presisi.

3.2 Bahan (Wafiq Alsa Quelok - 5004241060)

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam percobaan ini antara lain monomer stirena yang berperan sebagai bahan baku utama yang akan membentuk unit berulang dalam rantai polimer. Benzoil Peroksida sebagai inisiator yang menghasilkan radikal bebas. Sebagai media penghantar panas pada penangas, digunakan air yang dipanaskan. Setelah tahap pemanasan selesai, es batu berfungsi sebagai media pendingin untuk membantu proses pembentukan padatan polistirena.

3.3 Metode Eksperimen (Daris Fakhruddin Wibowo - 5004241080)

Percobaan polimerisasi stirena diawali dengan persiapan alat seperti gelas beaker, penangas air panas, es batu, serta bahan yang digunakan adalah monomer stirena, benzoil peroksida sebagai inisiator. Langkah percobaan diawali dengan menyiapkan tabung reaksi, kemudian ke dalamnya dimasukkan monomer stirena sesuai volume yang telah ditentukan, serta benzoil peroksida sesuai massa yang ditentukan. Setiap tabung reaksi diberi label yang mencantumkan nama kelompok, volume stirena, dan massa benzoil peroksida. Selanjutnya, tabung reaksi ditutup dengan *aluminium foil* untuk mencegah kontaminasi dan penguapan. Tabung reaksi yang telah berisi campuran tersebut kemudian ditempatkan ke dalam gelas beaker yang berisi air panas bersuhu 80–100°C selama 30 hingga 60 menit dan setiap 10 menit sekali dilakukan pengamatan untuk mengetahui perkembangan reaksi polimerisasi. Setelah waktu pemanasan selesai, tabung reaksi segera dikeluarkan dan dicelupkan ke dalam wadah berisi es batu. Proses pendinginan ini bertujuan untuk menghentikan reaksi dan membentuk padatan polistirena. Apabila padatan polistirena sulit dikeluarkan dari tabung reaksi, tabung reaksi dapat dipecahkan dengan hati-hati. Sebelum dipecahkan, tabung reaksi dibungkus terlebih dahulu dengan handuk kertas untuk mencegah pecahan kaca berhamburan.

3.4 Diagram Alir (Nama - NRP)

Referensi [IEEE] (max 15 tahun)

[1]

[2]

[3]

[4]
[5]
[6]