

Kinetika Katalitik Ion-Ion Logam Transisi Pada Reaksi Penguraian Hidrogen Peroksida

Catalytic Kinetics of Transition Metal Ions on the Decomposition of Hydrogen Peroxide

Muhammad Yudi

Jurusan Kimia FMIPA UNM

ABSTRAK

Studi ini bertujuan untuk mengetahui kinetika katalitik ion-ion logam transisi, khususnya ion-ion logam transisi baris pertama dalam susunan berkala, melalui kinetika reaksi penguraian hidrogen peroksida pada sistem katalis homogen. Dari pengukuran laju reaksi penguraian pada konsentrasi hidrogen peroksida yang tetap, ditemukan bahwa laju reaksi sangat ditentukan oleh jenis katalis yang digunakan dan konsentrasi ion hidrogen dalam larutan, dimana laju penguraian hidrogen peroksida yang dikatalisis oleh logam-logam transisi baris pertama maksimum pada pH antara 9 dan 10. Sedangkan pengukuran pada berbagai konsentrasi hidrogen peroksida dengan jenis katalis dan konsentrasi yang tetap, diperoleh bahwa laju reaksi adalah orde ke satu terhadap konsentrasi hidrogen peroksida.

Kata kunci: *kinetika katalitik, ion logam-logam transisi, penguraian hidrogen peroksida.*

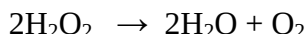
ABSTRACT

This study aimed to the identification of the catalytic kinetics of transition metal ions, especially the first period of transition elements in the periodic system, through the kinetics of the decomposition of hydrogen peroxide in the homogenous system. By measuring the kinetics of the reaction at the same hydrogen peroxide concentration, it was found that the rate of decomposition depended on the kind of catalyst used as well as the hydrogen ions concentration, whereas the rate of decomposition of hydrogen peroxide catalyzed by the first period of transition metal ions was found maximum on the hydrogen ions concentration between 9 and 10. The other result was obtained from measuring the various level of hydrogen peroxide concentration provided that the rate was the first order to the hydrogen peroxide concentration.

Keywords: *catalytic kinetics, transition metal ions, decomposition of hydrogen peroxide.*

PENDAHULUAN

Reaksi penguraian terkatalisis hidrogen peroksida menjadi air dan oksigen, pertama kali dipelajari oleh Thenard pada tahun 1818. Reaksi penguraian hidrogen peroksida dapat ditulis dalam bentuk persamaan reaksi seperti berikut ini :



Tanpa adanya katalis, reaksi tersebut berlangsung sangat lambat. Tetapi penambahan sedikit garam-garam klorida, sulfat, atau nitrat dari unsur-unsur transisi dapat mempercepat reaksi penguraian tersebut. Sejak itu banyak ahli kimia yang tertarik menelitinya secara seksama. Di antaranya, Bredig telah mengamati reaksi tersebut dengan menggunakan katalis ion titan (III). Dia menemukan bahwa reaksi penguraian hidrogen peroksida yang dikatalisis oleh ion logam tersebut melibatkan radikal bebas HO_2 (Cotton dan Wilkinson, 1976).

Haber dan Weiss dalam Laidler (1978) telah mempelajari kinetika reaksi penguraian hidrogen peroksida menggunakan ion besi (II) sebagai katalis. Dikemukakan bahwa reaksi penguraian tersebut berlangsung menurut suatu reaksi rantai dengan pembentukan radikal-radikal OH dan HO_2 , disertai oleh oksidasi ion besi (II) menjadi ion besi (III). Mereka menemukan bahwa laju perubahan konsentrasi hidrogen peroksida tidak dapat dinyatakan oleh suatu persamaan orde kesatu yang sederhana.

Hasil-hasil penelitian lebih lanjut, para peneliti di bidang ini yakin bahwa reaksi penguraian terkatalisis hidrogen peroksida tidak berlangsung menurut persamaan kinetika orde kesatu yang sederhana. Namun, Bexendale et al. dalam Laitinen dan Haris (1975) yang telah memodifikasi mekanisme reaksi penguraian hidrogen peroksida yang

dikemukakan oleh Haber dan Weiss, tidak berhasil memberikan suatu persamaan laju reaksi yang umum.

Sebenarnya, usaha ke arah ini telah banyak dilakukan, di antaranya adalah usaha yang dilakukan oleh Harris dan Chianelli (1983). Mereka meneliti hubungan antara kecenderungan keaktifan katalitik dengan struktur elektron terluar dari senyawa sulfida unsur-unsur transisi. Usaha lain adalah keinginan Taube (1962) untuk memperoleh

suatu keteraturan dari pengamatan umum terhadap kinetika reaksi substitusi ion kompleks unsur transisi dalam air. Ia menemukan bahwa jika laju substitusi setiap ion kompleks dibandingkan, maka struktur elektron terluar atom pusat yang paling menentukan apakah suatu ion kompleks akan menjadi inert atau reaktif.

METODE PENELITIAN

Bahan-bahan yang digunakan:

Hidrogen peroksida (H_2O_2) 30 %, larutan buffer berbagai pH, dan larutan garam dari unsur-unsur transisi baris pertama dalam susunan berkala sebagai katalis, seperti M-klorida, M-sulfat, dan M-nitrat, yang dicantumkan dalam tabel berikut :

Tabel 1. Garam-garam yang digunakan sebagai katalis

M-klorida	M-sulfat	M-nitrat
TiCl_3	-	-
CrCl_3	-	$\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$
MnCl_2	MnSO_4	-
FeCl_3	FeSO_4	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$
CoCl_2	-	-
CoCl_3	-	$\text{Co}(\text{NO}_3)_3$
NiCl_2	NiSO_4	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$
CuCl_2	CuSO_4	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$
ZnCl_2	ZnSO_4	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$

Alat-alat yang digunakan: gas syringe berukuran 30 mL, labu alas bulat 250 mL, thermometer, stopwatch.

Prosedur Kerja; Pada penelitian ini digunakan hidrogen peroksida 30 % dengan massa jenis = 1,11 kg/L. Volume reaksi pada setiap pengukuran tetap, yang terdiri dari 20 mL larutan hidrogen peroksida dan 20 mL larutan katalis. Larutan hidrogen peroksida yang digunakan dibuat dengan mengencerkan 15 mL hidrogen peroksida dari botol menjadi 100 mL, sehingga konsentrasi hidrogen peroksida sesudah pengenceran adalah 1,4687 M atau ~ 1,5 M. Pemilihan konsentrasi ini didasarkan pada kemudahan untuk mengamati volume gas oksigen yang terbentuk. Pemilihannya melalui hasil dari serangkaian percobaan dengan berbagai konsentrasi hidrogen peroksida.

a. *Menentukan kinetika reaksi penguraian hidrogen peroksida pada berbagai konsentrasi peroksida.*

Kinetika reaksi penguraian hidrogen peroksida pada berbagai konsentrasi peroksida ditentukan dengan menggunakan larutan hidrogen peroksida berturut-turut 1,0000 M ; 1,2500 M ; 1,5000 M ; dan 2,0000 M. Katalis yang digunakan adalah larutan [larutan garam besi (II) sulfat, besi (III) klorida, dan tembaga (II) klorida dengan konsentrasi yang tetap. Pengamatan laju reaksi dilakukan dengan mencampurkan 20 mL larutan hidrogen peroksida dan 20 mL larutan katalis dalam bejana reaksi pada suhu kamar (sekitar 30 °C).

b. *Menentukan kinetika reaksi penguraian hidrogen peroksida pada berbagai konsentrasi katalis.*

Kinetika reaksi penguraian hidrogen peroksida pada berbagai konsentrasi katalis ditentukan dengan menggunakan katalis dari larutan garam seperti yang tercantum pada Tabel 1.

Pengamatan laju reaksi dilakukan dengan volume reaksi yang sama dan dengan konsentrasi hidrogen peroksida yang tetap.

c. *Menentukan kinetika reaksi penguraian hidrogen peroksida pada berbagai pH.*

Laju reaksi penguraian hidrogen peroksida pada berbagai pH diamati dengan menambahkan 10 mL larutan buffer ke dalam sistem reaksi. Volume total larutan sama 40 mL, demikian pula konsentrasi larutan hidrogen peroksida juga sama. Pemilihan konsentrasi katalis dilakukan berdasarkan mudahnya mengamati jumlah gas oksigen yang terbentuk. Pada setiap percobaan, konsentrasi ion hidrogen di dalam larutan diperiksa kembali dengan pH meter. Katalis yang digunakan adalah larutan garam-garam klorida dari krom (III), kobalt (III), dan titan (III).

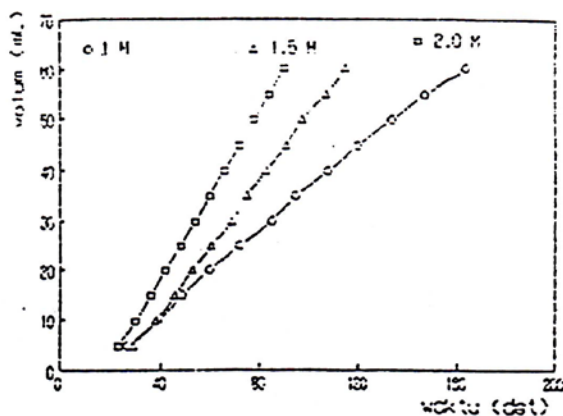
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pengukuran dengan konsentrasi katalis yang tetap, diperoleh laju penguraian hidrogen peroksida sebanding dengan konsentrasi hidrogen peroksida. Pengukuran pada berbagai konsentrasi katalis, ditemukan bahwa pada umumnya laju penguraian hidrogen peroksida ditentukan oleh jenis dan konsentrasi katalis. Dari pengukuran pada berbagai pH, ditemukan bahwa peningkatan konsentrasi ion hidrogen di dalam larutan mengurangi laju penguraian hidrogen peroksida.

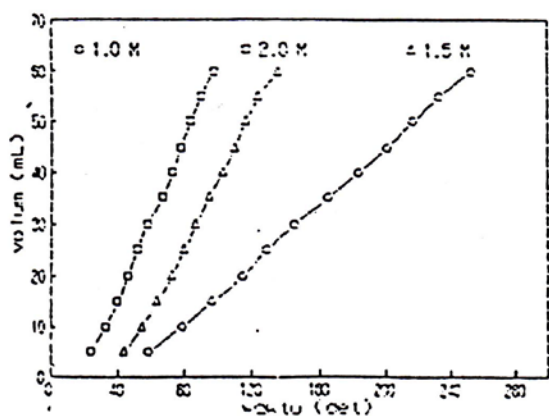
a. *Katalisis pada berbagai konsentrasi hidrogen peroksida dengan konsentrasi katalis yang tetap.*

Hubungan antara volume gas oksigen yang terbentuk dengan waktu pada reaksi penguraian hidrogen peroksida dengan menggunakan larutan-larutan garam tembaga (II) klorida, besi (II) sulfat, dan besi (III) klorida sebagai

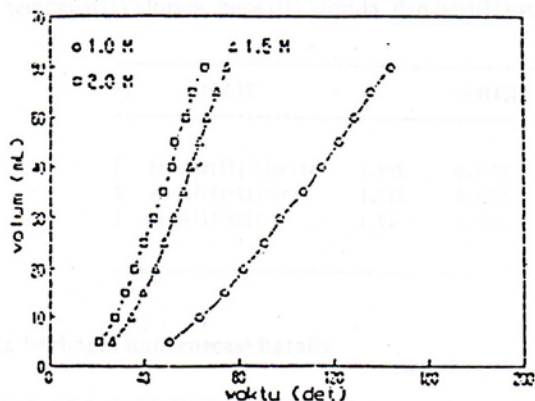
katalis diperlihatkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



(a)

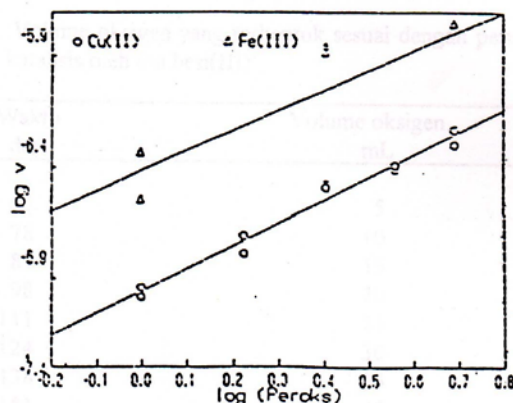


Gambar 1. Hubungan antara volume oksigen dengan waktu. (a) Katalisis oleh larutan tembaga (II) klorida, (b) katalisis oleh larutan besi (II) sulfat.



Gambar 2. Hubungan antara volume oksigen dengan waktu pada katalisis oleh larutan besi (III) klorida

Aluran $\log v$ terhadap $\log [H_2O_2]$ pada katalisis oleh ion tembaga (II) dan ion besi (III) memberikan suatu kurva linier seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 3.



Gambar 3. Alur $\log v$ terhadap $\log [H_2O_2]$ pada katalisis oleh ion tembaga (II) dan ion besi (III)

Dari perhitungan hasil-hasil menurut cara pengolahan data yang telah dikemukakan, diperoleh kemiringan kurva untuk masing-masing katalis yang merupakan orde reaksi terhadap hidrogen peroksida. Hasil-hasil ini dicantumkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Orde reaksi terhadap hidrogen peroksida pada katalisis oleh larutan tembaga (II) klorida, besi (III) klorida, dan besi (II) sulfat.

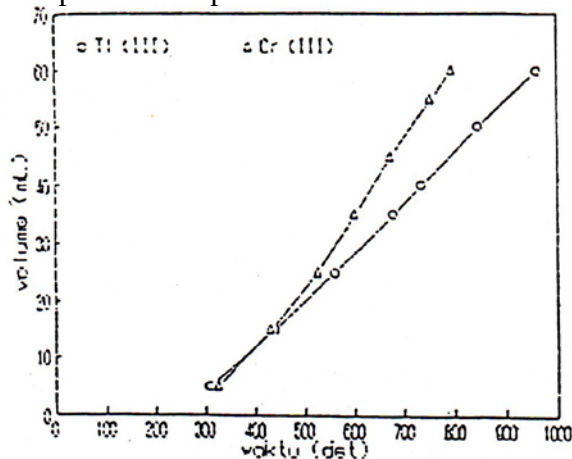
No	Katalis	y	Deviasi
1	Tembaga (II) klorida	1,005	0,0438
2	Besi (III) klorida	1,013	0,1203
3	Besi (II) sulfat	1,137	0,1426

Pada Tabel 2 terlihat bahwa umumnya reaksi penguraian hidrogen peroksida terkatalisis merupakan orde kesatu terhadap hidrogen peroksida. Ini berarti bahwa laju penguraian hidrogen peroksida sebanding dengan konsentrasi hidrogen peroksida.

b. Katalisis pada berbagai konsentrasi katalis

Hubungan antara volume gas oksigen yang terbentuk dengan waktu

pada katalisis oleh larutan titan (III) klorida dan larutan krom (III) klorida diperlihatkan pada Gambar 4 berikut :



Gambar 4. Hubungan antara volume oksigen dengan waktu pada katalisis oleh ion krom (III) dan ion titan (III)

Hasil-hasil perhitungan untuk orde reaksi terhadap katalis dan tetapan laju penguraian hidrogen peroksida, dicantumkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Orde reaksi terhadap katalis dan tetapan laju penguraian hidrogen peroksida

Katalis	k (dekoep)	x	deviasi
Titan (III) klorida	4.274E-04	0.602	0.345
Krom (III) klorida	8.177E-04	0.951	0.161
Besi (III) klorida	1.151E-01	0.738	0.182
Kobalt (III) klorida	5.948E-05	0.172	0.127
Tembaga (II) klorida	6.240E-03	0.776	0.429
Besi (II) sulfat	4.937E-01	1.342	0.169
Krom (III) nitrat	1.948E-03	0.315	0.170

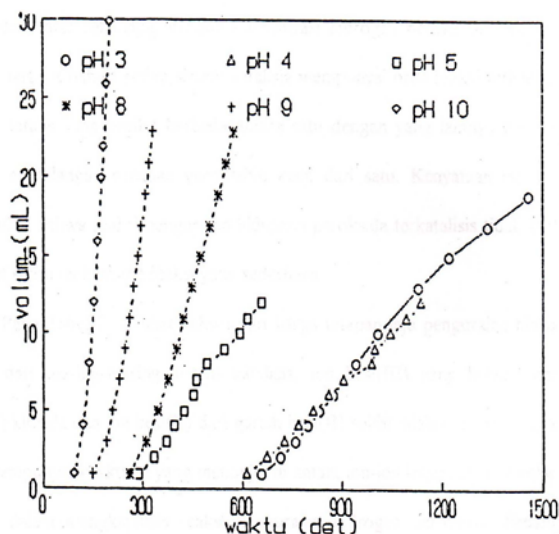
Pada Tabel 3 terlihat bahwa harga tetapan laju penguraian hidrogen peroksida dari masing-masing sistem katalisis, ion besi (III) yang berasal dari garam besi (III) klorida dan ion besi (II) dari garam besi (II) sulfat adalah ion-ion logam transisi yang mempunyai keaktifan

yang menonjol di antara ion-ion logam transisi baris pertama lainnya dalam mengkatalisis reaksi penguraian hidrogen peroksida. Sedangkan ion tembaga (II) dari garam tembaga (II) klorida dan ion krom (III) dari garam krom (III) nitrat, mempunyai keaktifan sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan ion-ion dari garam klorida lainnya seperti ion titan (III) dan ion kobalt (II) yang menunjukkan keaktifan yang hampir sama.

Hasil-hasil pengukuran dari katalisis oleh larutan-larutan garam klorida dari mangan (II), nikel (II), dan seng (II) menunjukkan bahwa ketiga garam ini tidak aktif sebaik garam-garam M-klorida dari unsur-unsur transisi baris pertama lainnya. Laju pembentukan gas oksigen pada katalisis oleh ion-ion tersebut, baru dapat diamati pada suhu di atas 70 °C dan dengan konsentrasi katalis yang cukup tinggi. Pengukuran pada keadaan ini sangat sulit dilakukan karena pada umumnya gas oksigen yang terbentuk tidak dapat mengalir dengan baik yang disebabkan oleh adanya kondensasi uap air pada dinding pipa yang menghubungkan bejana reaksi dengan gas syringe.

c. Katalisis pada berbagai pH

Pengaruh perubahan pH terhadap laju penguraian hidrogen peroksida terkatalisis diamati dengan mengukur laju pembentukan oksigen pada berbagai pH dengan konsentrasi hidrogen peroksida dan konsentrasi katalis yang tetap. Pada Gambar 5 terlihat peningkatan konsentrasi ion hidrogen di dalam larutan, menurunkan laju pembentukan gas oksigen pada reaksi penguraian hidrogen peroksida.



Gambar 5. Kurva pembentukan gas oksigen pada berbagai pH dengan katalis ion krom (III)

Hasil-hasil pengukuran dari katalisis oleh larutan-larutan garam klorida dari krom (III), kobal (III), dan titan (II) pada berbagai pH menunjukkan bahwa pada pH antara 9 dan 10 laju pembentukan gas oksigen pada reaksi penguraian hidrogen peroksida adalah maksimum. Pada pH yang rendah laju pembentukan gas oksigen sangat lambat. Hal ini disebabkan karena pada keadaan ini hidrogen peroksida tidak lagi bereaksi sebagai molekul, melainkan sebagai anion HO_2^- . Anion ini berasal dari ionisasi hidrogen peroksida. Pada pH di atas 10 laju penguraian hidrogen peroksida juga berkurang. Hal ini disebabkan karena pada keadaan ini ion-ion logam dari katalis beraksi dengan ion OH^- membentuk endapan.

KESIMPULAN

1. Jenis katalis dan perubahan konsentrasi katalis sangat mempengaruhi laju reaksi penguraian hidrogen peroksida.
2. Laju reaksi penguraian hidrogen peroksida adalah orde kesatu terhadap hidrogen peroksida, dan mempunyai

orde yang berbeda-beda terhadap katalis.

3. Laju penguraian hidrogen peroksida yang dikatalisis oleh ion-ion logam transisi baris pertama maksimum pada pH antara 9 dan 10.

DAFTAR PUSTAKA

- Cotton, F.A., and Wilkinson, G. 1976. *Basic Inorganic Chemistry*. John Wiley and Sons. Inc. New York.
- Harris, S., and Chianelly, R. 1983. *Periodic Effects in Catalysis : The Relation Between Trends in Catalytic Activity and Calculated Electronic Structure of Transition-Metal Sulfides*. *Chemical Physics Letters*. 101 (6) : 603-605.
- Laidler, K.J. 1978. *Chemical Kinetics*. Tata Mc-Graw-Hill publishing Company Ltd. New Delhi.
- Laitinen, H.A. and Harris, W.E. 1975. *Chemical Analysis : an Advanced Text and Reference*. Second Edition. Mc Graw-Hill Inc. New York.
- Taube, H. 1952. *Rates and Mechanisms of Substitution in Inorganic Complexes in Solution*. *Chem. Reviews*. 50 : 69-76.