



REPUBLIK INDONESIA
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA

SURAT PENCATATAN CIPATAAN

Dalam rangka pelindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC00202009990, 12 Maret 2020

Pencipta

Nama : Wati Sukmawati, M.Pd.
Alamat : Jl. Mustang Jatayu 1 No. B3 RT 010/RW 004 Kel. Halim PK Kec. Makasar, Jakarta Timur, Dki Jakarta, 13610
Kewarganegaraan : Indonesia

Pemegang Hak Cipta

Nama : Wati Sukmawati, M.Pd.
Alamat : Jl. Mustang Jatayu 1 No. B3 RT 010/RW 004 Kel. Halim PK Kec. Makasar, Jakarta Timur, Dki Jakarta, 13610
Kewarganegaraan : Indonesia

Jenis Ciptaan : Modul

Judul Ciptaan : Bahan Ajar Redoks Dan Elektrokimia

Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia : 28 Februari 2019, di Jakarta

Jangka waktu pelindungan : Berlaku selama hidup Pencipta dan terus berlangsung selama 70 (tujuh puluh) tahun setelah Pencipta meninggal dunia, terhitung mulai tanggal 1 Januari tahun berikutnya.

Nomor pencatatan : 000182666

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.

Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.

a.n. MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA
DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL


Dr. Freddy Harris, S.H., LL.M., ACCS.
NIP. 196611181994031001



**REDOKS
DAN
ELEKTROKIMIA**

UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA NOMOR 28 TAHUN 2014

**TENTANG
HAK CIPTA
Lingkup Hak Cipta**

Pasal 1 Ayat 1 :

1. Hak Cipta adalah hak eksklusif pencipta yang timbul secara otomatis berdasarkan prinsip deklaratif setelah suatu ciptaan diwujudkan dalam bentuk nyata tanpa mengurangi pembatasan sesuai dengan ketentuan perundang-undangan.

Ketentuan Pidana:

Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
4. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

Pasal 114

Setiap Orang yang mengelola tempat perdagangan dalam segala bentuknya yang dengan sengaja dan mengetahui membiarkan penjualan dan/atau penggandaan barang hasil pelanggaran Hak Cipta dan/atau Hak Terkait di tempat perdagangan yang dikelolanya sebagaimana dimaksud dalam Pasal 10, dipidana dengan pidana denda paling banyak Rp100.000.000,00 (seratus juta rupiah).

WATI SUKMAWATI, M.Pd

**REDOKS
DAN
ELEKTROKIMIA**

Diterbitkan oleh:



REDOKS DAN ELEKTROKIMIA

@Watisukmawati

Penulis : Wati Sukmawati, M.Pd

Tata Letak : Nur Azizah

Desain Cover : Bintang W Putra

Penerbit:

Bintang Pustaka Madani

(CV. Bintang Surya Madani)

Anggota IKAPI Nomor: 130/DIY/2020

Jl. Wonosari Km 8.5, Dukuh Gandu Rt. 05, Rw. 08

Sendangtirto, Berbah, Sleman, Yogyakarta 57773

Telp. 4358369. Hp. 085865342317

Email: redaksibintangpustaka@gmail.com

Facebook: Penerbit Bintang Madani

Instagram: @bintangpustaka

Website: www.bintangpustaka.com

www.pustakabintangmadani.com

Cetakan Pertama, November 2020

Bintang Pustaka Madani Yogyakarta

viii + 79 hal : 14.5 x 20.5 cm

ISBN :

Dicetak Oleh:

Percetakan Bintang 085865342319

Hak cipta dilindungi undang-undang

All right reserved

Isi di luar tanggung jawab percetakan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah S.W.T karena berkat limpahan rahmat-NYA saya dapat menyelesaikan buku redoks dan elektrokimia untuk mahasiswa FFS UHAMKA semester satu matakuliah kimia dasar. Buku ini disusun berdasarkan prinsip *conceptual change text* (CCT) dan menjadikan mahasiswa sebagai pusat pembelajaran atau *student center*. Dalam buku ini juga dilengkapi dengan konsep-konsep yang sesuai dengan ahli dan dilengkapi latihan soal standar nasional untuk menguji kemampuan pemahaman mahasiswa pada konsep redoks dan elektrokimia.

Saya menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan buku ini. Untuk itu besar harapan saya kritik dan saran dari pembaca agar buku ini dapat dikembangkan lebih baik lagi.

Terimakasih juga saya ucapkan kepada seluruh pihak yang membantu proses pembuatan buku ini. Semoga buku ini bermanfaat untuk kita semua, terutama untuk mahasiswa FFS UHAMKA.

Jakarta, 13 Maret 2020

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
Reaksi Reduksi dan Oksidasi.....	1
A. Pengertian Konsep Reaksi Reduksi dan Oksidasi. 4	
1. Pengertian Redoks berdasarkan Serah Terima Oksigen.....	4
2. Pengertian Redoks berdasarkan Serah Terima Hidrogen.....	13
3. Pengertian Redoks berdasarkan Serah Terima Elektron.....	15
4. Pengertian Redoks berdasarkan naik turun-nya Bilangan Oksidasi (Biloks).....	22
B. Reduktor dan Oksidator	30
C. Reaksi Autoredoks	33
D. Elektrokimia	36
E. Reaksi Redoks dan Elektrokimia Farmasi.....	50
LATIHAN SOAL	66
DAFTAR PUSTAKA.....	77
BIOGRAFI PENULIS	79

Reaksi Reduksi dan Oksidasi



Todd L. Mollan adalah ilmuwan bio-kimia dan biologi vaskular yang mempelajari reaksi redoks pada protein plasma Haptoglobin (Hp) dan protein alfa pra-eritroid-protein penstabil hemoglobin (AHSP) yang mengikat Hemoglobin aseluler dan subunit alfa Hemoglobin yang menjadi sebab pemicu toksi sitas pada mioglobin dan hemoglobin.

Sumber:
Redox Reactions of
Hemoglobin: Mechanisms
of Toxicity and Control,
Journal Antioxid Redox
Signal, PMC.

Peristiwa reduksi oksidasi (redoks) biasa kita temukan dalam kehidupan sehari-hari. Sebagai contoh peristiwa paku besi yang berkarat, reaksi kimia dalam baterai dan aki, apel yang berubah menjadi kecoklatan saat disimpan di udara terbuka, dan pembakaran pada gas LPG (*Liquified Petroleum Gas*). Selain itu, dalam konteks farmasi dan kesehatan reaksi redoks berperan penting bagi kestabilan struktur dan kenormalan fungsi myoglobin dan hemoglobin dalam mengikat dan mendistribusikan gas oksigen ke sel-sel dan jaringan terutama untuk rangkaian degradasi glukosa berupa glikolisis, transport elektron, dan fosforilasi oksidatif.



Gambar 1. Contoh reaksi redoks dalam kehidupan sehari-hari.
Sumber: www.google.com

Konsep reaksi redoks mengalami perkembangan seiring dengan kemajuan ilmu kimia. Diawali dengan konsep redoks yang didasarkan atas penggabungan dan pelepasan oksigen pada abad 18, reaksi redoks berdasarkan serah-terima elektron, dan perkembangan yang terakhir yaitu reaksi redoks berdasarkan perubahan bilangan oksidasi.

Peristiwa besi yang berkarat menjadi salah satu permasalahan yang sering ditemukan di alam bebas. Hal ini dikarenakan banyaknya penggunaan bahan yang berasal dari logam besi untuk bangunan ataupun benda yang digunakan. Besi yang digunakan jika dibiarkan lama kelamaan akan menimbulkan karat, contohnya pagar besi yang lama kelamaan akan berkarat dan rapuh. Hal ini dikarenakan besi yang digunakan untuk bahan pagar bereaksi dengan oksigen yang ada di udara bebas.



Sebelum melanjutkan, jawablah pertanyaan di bawah ini!

Apakah peristiwa oksidasi dalam reaksi redoks selalu disertai dengan peristiwa reduksi?

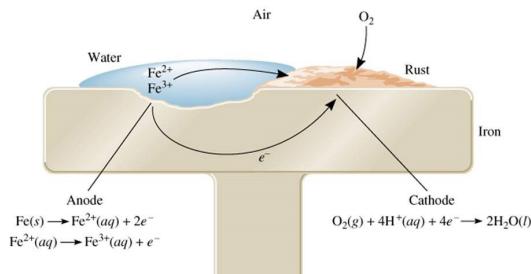


(sumber: Schmidt, 1997)

sumber kartun: Barke, 2012

Tuliskan jawabannya di sini!

.....
.....
.....



Gambar 2. Reaksi redoks pada perkaratan besi

Sumber: www.google.com

Gambar 2. menunjukkan terjadinya reaksi oksidasi yaitu reaksi $Fe(s) \rightarrow Fe^{2+}(aq) + 2e^-$ dan $Fe^{2+}(aq) \rightarrow Fe^{3+}(aq) + e^-$. Reaksi tersebut diikuti dengan reaksi reduksi yaitu reaksi $O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \rightarrow 2H_2O(l)$. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa reaksi oksidasi dan reduksi akan berlangsung secara bersamaan.

Konsep yang benar: peristiwa reaksi reduksi dan oksidasi dalam peristiwa redoks adalah dua reaksi yang terjadi bersamaan dan tidak dapat dipisahkan.

A. Pengertian Konsep Reaksi Reduksi dan Oksidasi

Dalam setiap fenomena yang ditemukan di alam setiap terjadi peristiwa reduksi maka dalam waktu yang sama terjadi peristiwa oksidasi, kedua peristiwa tersebut biasa kita sebut dengan istilah **redoks**. Peristiwa **redoks** merupakan peristiwa yang didalamnya terjadi dua jenis reaksi yaitu reduksi dan oksidasi. Konsep redoks dapat dijelaskan dengan berbagai sudut pandang. Diantaranya dilihat dari serah terima oksigen, naik turunnya bilangan oksidasi, dan serah terima elektron.

1. Pengertian Redoks berdasarkan Serah Terima Oksigen



Sebelum melanjutkan, jawablah pertanyaan di bawah ini!

Apakah oksigen merupakan satu-satunya syarat tejadi reaksi redoks?



Tuliskan jawabannya di sini!

.....
.....

Makroskopik

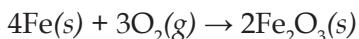


Gambar 3. Pagar besi berkarat
Sumber: www.metrojambi.com

Peristiwa makroskopis berupa fenomena yang dapat diamati pada peristiwa perkaratan yang terjadi pada pagar yang terbuat dari besi. Peristiwa yang dialami besi tersebut salah satu bukti terjadinya peristiwa redoks. Peristiwa tersebut terjadi oleh karena besi yang dibiarkan di udara terbuka lama-kelamaan akan bereaksi dengan oksigen serta bereaksi dengan air sehingga menimbulkan karat yang berwarna keemasan dan besi akan menjadi rapuh.

Simbolik

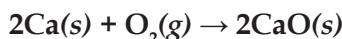
Reaksi Perkaratan adalah sebagai berikut:



Konsep yang benar: oksigen bukan merupakan satu-satunya syarat terjadi reaksi redoks.

Pada peristiwa perkaratan, besi bereaksi dengan oksigen menghasilkan besi oksida. Proses besi mengikat oksigen dise-

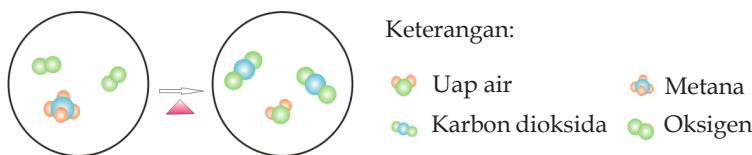
but reaksi oksidasi. Contoh lain yaitu ketika kalsium bereaksi dengan oksigen menghasilkan kalsium oksida, maka reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut.



Perhatikan contoh soal di bawah ini:

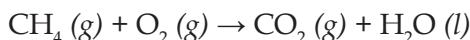
Contoh Soal

Pembakaran gas metana (CH_4) yang bereaksi dengan oksigen (O_2) menghasilkan gas karbon dioksida (CO_2) dan uap air (H_2O). Berikut gambaran submikroskopiknya:



Berdasarkan gambar submikroskopik tersebut, tuliskan persamaan dan jenis reaksi yang terjadi! (pengertian redoks berdasarkan serah terima oksigen).

Jawaban

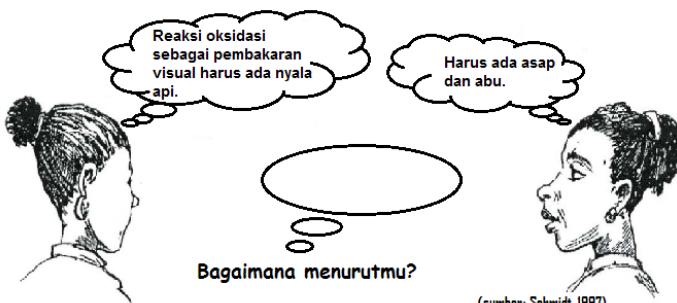


Berdasarkan serah terima oksigen, reaksi tersebut termasuk reaksi oksidasi karena menerima oksigen.



Sebelum melanjutkan, jawablah pertanyaan di bawah ini!

Apakah dalam reaksi oksidasi selalu bersangkutan dengan pembakaran visual (ada nyala api, asap dan abu)?



Tuliskan jawabannya di sini!

.....
.....



Gambar 4. Contoh reaksi oksidasi.
Sumber: id.wikipedia.org

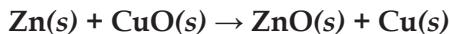
Gambar 4. Peristiwa kebakaran hutan.

Reaksi kebakaran merupakan peristiwa yang oksigen disebut reaks menerima oksigen sehingga peristiwa kebakaran disebut oksidasi. Peristiwa oksidasi tidak selalu proses pembakaran.

Contoh lainnya juga ada yang tidak menghasilkan nyala api seperti peristiwa perkaratan, memudarnya foto yang dipasang di dinding.

Konsep yang benar: Reaksi oksidasi tidak selalu melalui tahapan pembakaran yang menghasilkan karbon dan uap air.

Reaksi yang lain setelah terjadinya oksidasi adalah reduksi. Reduksi dapat dikatakan bahwa peristiwa yang disertai pelepasan oksigen. Contoh reaksi reduksi adalah reaksi antara seng dan tembaga (II) oksida memiliki persamaan reaksi sebagai berikut:



Dari persamaan reaksi di atas terlihat bahwa senyawa CuO mengalami reaksi reduksi karena menyerahkan oksigen menjadi padatan Cu. Sedangkan Zn mengalami reaksi oksidasi karena menerima oksigen menjadi ZnO. Berdasarkan pengertian serah terima oksigen, **oksidasi** merupakan reaksi menerima oksigen dan **reduksi** merupakan reaksi menyerahkan oksigen.

Contoh Soal

Perhatikan persamaan reaksi berikut:

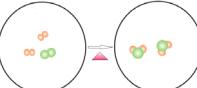
- a. $\text{C}(s) + \text{O}_2(g) \rightarrow \text{CO}_2(g)$
- b. $\text{SO}_3(g) \rightarrow \text{SO}_2(g) + \text{O}_2(g)$
- c. $\text{CuO}(s) + \text{H}_2(g) \rightarrow \text{Cu}(s) + \text{H}_2\text{O}(g)$
- d. $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(aq) + 6\text{O}_2(g) \rightarrow 6\text{CO}_2(g) + 6\text{H}_2\text{O}(l)$

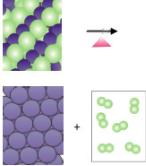
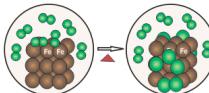
Apakah proses tersebut tergolong reaksi oksidasi, reduksi, atau redoks?

Jawaban dan Pembahasan

- a. Jika dilihat berdasarkan serah terima oksigen, reaksi (a) menunjukkan terjadinya peristiwa menerima oksigen sehingga reaksi tersebut tergolong **reaksi oksidasi**.
- b. Jika dilihat berdasarkan serah terima oksigen, reaksi (b) menunjukkan terjadinya peristiwa menyerahkan oksigen sehingga reaksi tersebut tergolong **reaksi reduksi**.
- c. Jika dilihat berdasarkan serah terima oksigen, reaksi (c) menunjukkan terjadinya peristiwa menyerahkan oksigen oleh padatan CuO sehingga reaksi tersebut tergolong **reaksi reduksi**.
- d. Jika dilihat berdasarkan serah terima oksigen, reaksi (a) menunjukkan terjadinya peristiwa menerima oksigen sehingga reaksi tersebut tergolong **reaksi oksidasi**.

Tabel 1. Representasi Kimia Reaksi Oksidasi dan Reduksi berdasarkan Serah Terima Oksigen

	Makroskopik	Submikroskopik	Simbolik
Reaksi Oksidasi	 gas tabung hidrogen dan oksigen Sumber: www.umpgas.com <p>Dalam pembentukan air , gas hidrogen (tidak berwarna) dan gas oksigen (tidak berwarna) direaksikan dengan bantuan api lalu terjadi letupan disertai dengan kenaikan suhu dan setelah dibiarkan sampai suhu kamar di dinding tabung terdapat tetes-tetes air</p>	 Keterangan: ○○ molekul oksigen ○○ molekul hidrogen ○○○○ molekul air <p>Molekul-molekul hidrogen bereaksi dengan molekul-molekul oksigen menghasilkan molekul air. Dalam hal ini terjadi reaksi oksidasi adanya pengikatan oksigen oleh hidrogen</p>	$2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ (reaksi oksidasi)

Reaksi Reduksi	 <p>Sumber: www.sciencephoto.com</p> <p>Padatan raksa oksida (berwarna merah) dipanaskan sehingga terurai menjadi padatan raksa (berwarna perak) dan gas oksigen (tidak berwarna)</p>	 <p>Molekul-molekul raksa oksida dipanaskan, terurai menjadi atom-atom raksa dan molekul-molekul oksigen. Dalam hal ini terjadi reaksi reduksi karena adanya pelepasan oksigen oleh raksa</p>	$2\text{HgO(s)} \rightarrow 2\text{Hg(l)} + \text{O}_2(\text{g})$ <p>(reaksi reduksi)</p>
Reaksi Oksidasi	<p>Reaksi pembentukan besi oksida padatan besi oksida terbentuk dari serbuk besi dan gas oksigen yang direaksikan menghasilkan besi oksida berwarna merah</p>	 <p>Keterangan:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● atom besi ● molekul oksigen <p>Pada reaksi pembentukan besi oksida atom-atom Fe bergabung dengan molekul-molekul oksigen membentuk senyawa Fe_2O_3. Dalam hal ini terjadi pengikatan oksigen (reaksi oksidasi)</p>	$4\text{Fe(s)} + 3\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$ <p>(reaksi oksidasi)</p>

Sumber: Nopihargu, 2014, hlm. 108

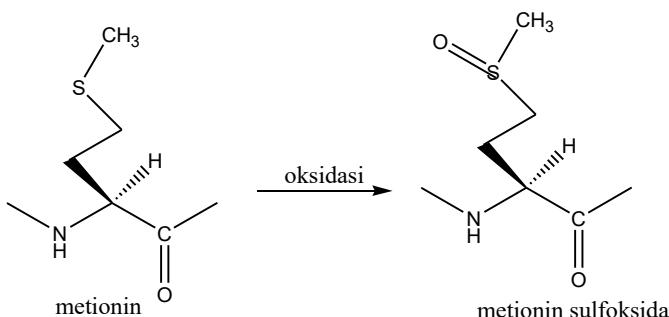
LATIHAN

Tentukan mana yang termasuk reaksi reduksi dan oksidasi berdasarkan serah terima oksigen.

- a. $2\text{HgO}(s) \rightarrow 2\text{Hg}(g) + \text{O}_2(g)$
- b. $\text{CS}_2(s) + 3\text{O}_2(g) \rightarrow \text{CO}_2(g) + 2\text{SO}_2(g)$

Reaksi redoks berdasarkan definisi pengikatan dan pelepasan oksigen menurut teks berbasis konteks (CTC) bidang farmasi dan kesehatan berupa larangan merokok karena dapat merusak fungsional organ paru-paru yang dijelaskan secara simbolik biokimiawi berikut.

Inhibitor tripsin penting bagi penghentian aktivitas enzim-enzim proteolitik. Selain inhibitor tripsin, terdapat α_1 -antitripsin juga berperan dalam menjadi jaringan dari pemotongan oleh elastase. Residu metionin-358 merupakan salah satu residu penting dalam α_1 -antitripsin untuk mengikat elastase. Asap rokok dapat menyebabkan reaksi oksidasi residu metionin-358 menghasilkan metionin sulfoksida yang menyebabkan α_1 -antitripsin tidak dapat mengikat elastase sehingga terdapat kandungan elastase berlebih yang dapat merusak dinding alveolus paru-paru melalui pemotongan protein serat elastis dan protein penghubung jaringan yang lain.



Gambar 5. Reaksi oksidasi metionin menjadi metionin sulfoksida

2. Pengertian Redoks berdasarkan Serah Terima Hidrogen

Karat besi (Fe_2O_3) berubah menjadi Fe merupakan reaksi reduksi. Karena terjadi penerimaan hidrogen . Persamaan reaksinya dapat dituliskan sebagai berikut:



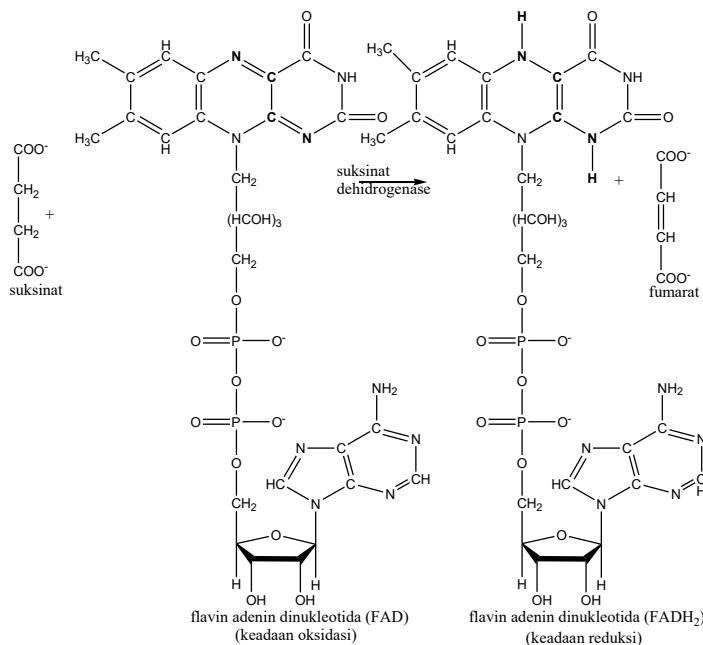
Oleh sebab itu, reaksi reduksi dapat diartikan reaksi menerima hidrogen. Sebaliknya, reaksi oksidasi dapat diartikan sebagai melepasnya hidrogen. Contoh reaksi Oksidasi:



Berdasarkan pengertian serah terima hidrogen, **oksidasi** adalah reaksi melepasnya hidrogen.

Reaksi redoks berdasarkan definisi pengikatan dan pelepasan hidrogen menurut teks berbasis konteks (CTC) bidang farmasi dan kesehatan berupa reaksi pengubahan suksinat

menjadi fumarat melalui pemindahan sementara dua atom hidrogen kepada koenzim FAD yang dikatalisis oleh enzim golongan flavin dehidrogenase yakni suksinat dehidrogenase sebagai salah satu tahapan dalam proses glikolisis karbohidrat sebagaimana terlihat pada reaksi berikut.

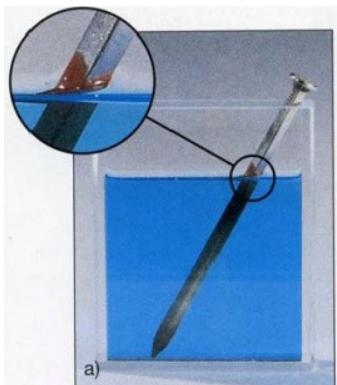


Gambar 6. Reaksi redoks pada koenzim flavin adenine dinukleotida

3. Pengertian Redoks berdasarkan Serah Terima Elektron

Reaksi oksidasi dapat pula terjadi jika tidak ada oksigen. Ketika suatu zat melepaskan elektron selama reaksi terjadi, maka zat tersebut teroksidasi

Makroskopik



Gambar 7. Paku besi dalam larutan CuSO₄
Sumber: Barke, 2012, hlm.33

Gambar 7 di samping menunjukkan salah satu percobaan reaksi reduksi oksidasi. Sebuah paku besi (Fe) dimasukkan ke dalam larutan tembaga sulfat (CuSO₄). Kemudian paku besi tersebut dibiarkan beberapa lama. Setelah itu, di sekitar paku besi akan terbentuk endapan berwarna coklat. Endapan berwarna coklat merupakan tembaga yang dihasilkan dari percobaan tersebut.



Sebelum melanjutkan, jawablah pertanyaan di bawah ini!

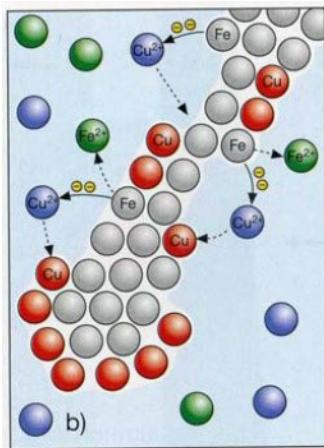
Mengapa dapat terbentuk endapan tembaga? Jelaskan apa yang terjadi!



Tuliskan jawabannya di sini!

.....
.....

Submikroskopik



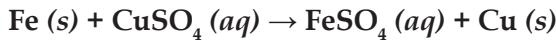
Gambar 8. Paku dalam larutan CuSO_4
(level submikroskopik)

Sumber: Barke, 2012, hlm.33

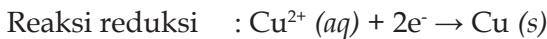
Gambar 8 menunjukkan bahwa ketika paku besi (Fe) dimasukkan ke dalam larutan tembaga (CuSO_4) terjadi reaksi reduksi oksidasi yaitu terjadinya transfer elektron antara atom Fe dari besi dengan ion Cu^{2+} dari larutan CuSO_4 . Atom besi melepaskan dua elektron sehingga menjadi ion Fe^{2+} . Sedangkan ion Cu^{2+} dari larutan CuSO_4 menerima/ menangkap elektron sehingga menjadi Cu(s) atau endapan tembaga.

Simbolik

Persamaan reaksi dari percobaan paku besi dan larutan tembaga sulfat dapat dituliskan sebagai berikut:



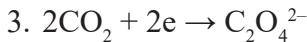
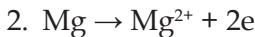
Sedangkan reaksi redoks berdasarkan transfer elektron dapat dituliskan sebagai berikut:



Berdasarkan serah terima elektron, **oksidasi** merupakan reaksi pelepasan elektron dan **reduksi** merupakan reaksi menerima elektron.

Contoh Soal:

Perhatikan beberapa persamaan reaksi berikut ini!



Persamaan reaksi yang merupakan reaksi oksidasi terdapat pada nomor....

Jawaban dan Pembahasan

Diketahui : empat persamaan reaksi di atas.

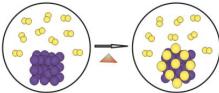
Ditanyakan : yang termasuk reaksi oksidasi

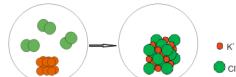
Jawab : reaksi nomor 2.

Pembahasan: pada reaksi nomor 2, Mg melepaskan 2 elektron sehingga termasuk **reaksi oksidasi**. Sedangkan pada reaksi

nomor 1 dan 3, ion $S_4O_6^{2-}$ dan gas CO_2 menangkap 2 elektron sehingga termasuk reaksi reduksi.

Tabel 2. Representasi Kimia Reaksi Oksidasi dan Reduksi berdasarkan Serah Terima Elektron

Makroskopik	Submikroskopik	Simbolik
<p>Reaksi Pembentukan Besi Klorida.</p>  <p>Keterangan:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● atom besi ● molekul gas klor ● ion Cl^- <p>Padatan besi klorida Sumber:www.commons.wikimedia.org</p> <p>Padatan besi klorida terbentuk dari serbuk besi dan gas klor yang direaksikan dengan bantuan api sehingga menghasilkan padatan besi klorida yang berwarna jingga</p>	 <p>Pada reaksi pembentukan besi klorida, atom-atom besi yang tadinya tidak bermuatan membentuk ion Fe^{3+} dengan melepasan tiga elektron (reaksi oksidasi). Sedangkan molekul-molekul klor yang tadinya tidak bermuatan, masing-masing atom mengikat satu elektron dari Fe sehingga menjadi ion Cl^- (reaksi reduksi)</p>	<p>Reaksi Oksidasi: $2Fe(s) \rightarrow 2Fe^{3+}(aq) + 6e^-$</p> <p>Reaksi Reduksi: $3Cl_2(g) + 6e^- \rightarrow 6Cl^-(aq)$</p> <p>Reaksi Redoks: $2Fe(s) + 3Cl_2(g) \rightarrow 2FeCl_3(s)$</p>

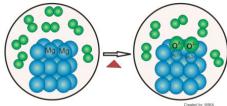
<p>Reaksi Pembentukan Natrium Klorida.</p>		<p>Reaksi Oksidasi: $2\text{Na(s)} \rightarrow 2\text{Na}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^-$</p>
<p>Logam Na Sumber: www.google.com</p> <p>Logam natrium (berwarna putih) direaksikan dengan gas klor (berwarna kuning) menghasilkan serbuk natrium klorida (berwarna putih)</p>	<p>Keterangan:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● atom natrium ● molekul gas klor <p>Pada reaksi pembentukan natrium klorida, atom-atom natrium yang tadinya tidak bermuatan membentuk ion Na^+ dengan melepaskan satu elektron (reaksi oksidasi). Sedangkan molekul-molekul klor yang tadinya tidak bermuatan, masing-masing atom mengikat satu elektron dari Na sehingga menjadi ion Cl^- (reaksi reduksi).</p>	<p>Reaksi Reduksi: $\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cl}^-(\text{aq})$</p> <p>Reaksi Redoks: $2\text{Na(s)} + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NaCl(s)}$</p>

Reaksi Pembentukan Magnesium Oksida.



Sumber: www.google.com

Magnesium oksida terbentuk dari logam magnesium yang dibakar sehingga terjadi reaksi antara logam magnesium dengan gas oksigen menghasilkan magnesium oksida



Keterangan:

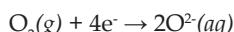
- atom magnesium
- molekul gas oksigen

Pada reaksi pembentukan magnesium oksida, atom-atom magnesium yang tadinya tidak bermuatan membentuk ion Mg^{2+} dengan melepasan dua elektron (reaksi oksidasi). Sedangkan molekul-molekul oksigen yang tadinya tidak bermuatan, masing-masing atom mengikat dua elektron dari Mg sehingga menjadi O^{2-} (reaksi reduksi).

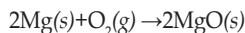
Reaksi Oksidasi:



Reaksi Reduksi:



Reaksi Redoks:



Sumber: Nipohargu, 2014, hlm. 110

4. Pengertian Redoks berdasarkan naik turunnya Bilangan Oksidasi (Biloks)

Pengertian redoks berdasarkan naik turunnya bilangan oksidasi merupakan pengembangan dari pengertian redoks berdasarkan serah terima elektron. Reaksi redoks tidak hanya berlaku pada senyawa ion tetapi juga pada senyawa kovalen. Itu disebabkan kebanyakan dalam reaksi tidak jelas apakah terjadi perpindahan elektron atau tidak, seperti yang ditunjukkan pada gambar 9.

Makroskopik



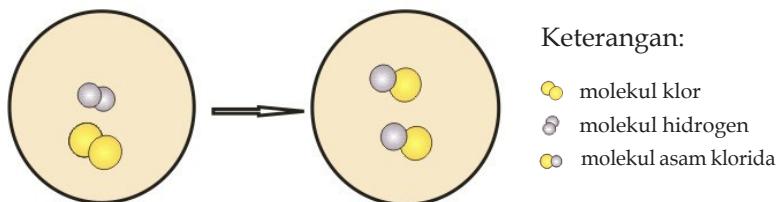
Gambar 9. Pembuatan asam klorida
Sumber: www.scencemadness.org

Reaksi antara gas hidrogen dan gas klor tidak melibatkan elektron, tetapi terjadi berdasarkan adanya ikatan kovalen dua unsur yang bereaksi.

Konsep reaksi reduksi dan oksidasi yang terjadi pada reaksi tersebut dikenal dengan reaksi redoks berdasarkan konsep bilangan oksidasi. Bilangan oksidasi diartikan sebagai muatan yang seolah-olah dimiliki oleh suatu atom. Bilangan oksidasi biasanya disingkat biloks.

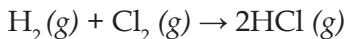
Submikroskopik

Gambar 10 menunjukkan reaksi pembentukan asam klorida (HCl) ditinjau dari segi submikroskopik:



Gambar 10.
Level submikroskopik pen bentukan asam klorida

Simbolik



Reaksi redoks adalah reaksi dimana terjadi perubahan bilangan oksidasi dari atom unsur sebelum dan sesudah reaksi. Bilangan oksidasi adalah banyaknya muatan yang seakan-akan dimiliki oleh unsur dalam suatu senyawa. Bilangan oksidasi mempunyai pengertian yang sama dengan valensi. Beberapa aturan yang berkaitan dengan reaksi redoks adalah sebagai berikut:

1. Biloks unsur bebas dalam molekul bebas = 0.

Contoh: Na, Al, Mg, Cu, O₂, N₂, H₂, Cl₂, Br₂, I₂.

2. Biloks H dalam senyawa = +1, kecuali dalam senyawa hibrida biloks H = -1.

Contoh senyawa hibrida: NaH, KH, MgH₂.

3. Biloks O dalam senyawa = -2, kecuali pada:

- ❖ Peroksida → biloks O = -1
- ❖ Superperoksida → biloks O = -1/2
- ❖ Senyawa OF₂ → biloks O = +2

4. Biloks ion = muatan ion.

Contoh:

Na ⁺	: +1	Fe ³⁺	: +3
Mg ²⁺	: +2	Cl ⁻	: -1
Cu ²⁺	: +2	S ²⁻	: -2

5. Biloks unsur golongan IA dan IIA dalam senyawa = nomor golongannya.

Untuk memahami perubahan bilangan oksidasi dalam reaksi oksidasi dan reduksi, simak kembali reaksi antara logam karbon dengan gas oksigen yang membentuk gas karbondioksida.

Makroskopik



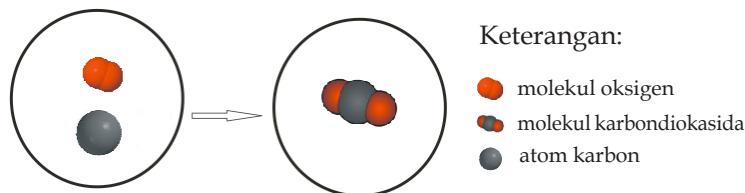
Gambar 11. Gas karbondioksida yang membeku
Sumber: www.bighth.com

Karbondioksida dihasilkan oleh semua hewan, fungi, dan mikroorganisme pada proses respirasi dan digunakan oleh

tumbuhan pada proses fotosintesis. Manusia bernafas menghirup oksigen dan mengeluarkan gas karbondioksida (CO_2). Karbondioksida juga dihasilkan dari hasil samping pembakaran bahan bakar fosil.

Submikroskopik

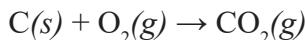
Gambar 12 menunjukkan pembentukan gas CO_2 (karbondioksida) dilihat dari level submikroskopik.



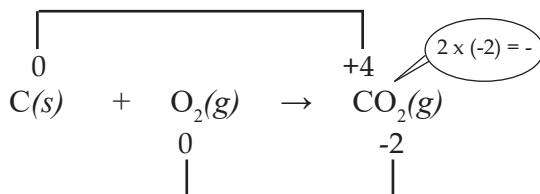
Gambar 12. Level submikroskopik pembentukan gas karbondioksida

Simbolik

Persamaan reaksinya menjadi:



Berdasarkan persamaan reaksi tersebut bilangan oksidasi C bertambah dari 0 ke +4; sehingga C mengalami **reaksi oksidasi**. Bilangan oksidasi O berkurang dari 0 ke -2; sehingga O mengalami **reaksi reduksi**.



Berdasarkan naik turunnya bilangan oksidasi, **oksidasi** merupakan reaksi peningkatan bilangan oksidasi dan **reduksi** merupakan reaksi penurunan bilangan oksidasi.

Contoh Soal:

Tentukan bilangan oksidasi atom Cl pada senyawa berikut:

- a. KCl
- b. KClO
- c. CaCl₂
- d. KClO₃
- e. KClO₂

Jawaban dan Pembahasan

- a. Bilangan oksidasi Cl pada KCl adalah -1
- b. Bilangan oksidasi Cl pada KClO adalah +1
- c. Bilangan oksidasi Cl pada CaCl₂ adalah -1
- d. Bilangan oksidasi Cl pada KClO₃ adalah +5
- e. Bilangan oksidasi Cl pada KClO₂ adalah +3

Contoh Soal:

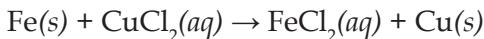
Perhatikan reaksi berikut:

- a. $\text{Fe(s)} + \text{CuCl}_2(\text{aq}) \rightarrow \text{FeCl}_2(\text{aq}) + \text{Cu(s)}$
- b. $\text{CO(g)} + \text{H}_2\text{O(g)} \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$

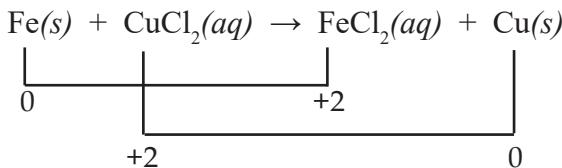
Tentukan: (i) bilangan oksidasi setiap zat; (ii) zat yang teroksidasi dan tereduksi; dan (iii) apakah reaksi tersebut termasuk reaksi redoks.

Jawaban

- a. (i) Biloks atom Cu pada CuCl_2 adalah +2, sama dengan biloks Fe pada FeCl_2 .

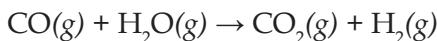


- (ii) Atom Fe teroksidasi menjadi FeCl_2 mengalami naiknya biloks dari 0 menjadi +2. CuCl_2 tereduksi menjadi Cu mengalami penurunan biloks dari +2 menjadi 0.

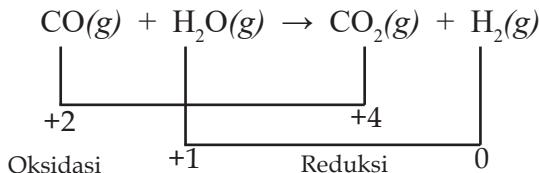


- (iii) Jadi, reaksi ini adalah reaksi redoks karena mengalami reaksi oksidasi dan reduksi.

- b. (i) Biloks atom C pada CO adalah +2 sedangkan biloks atom C pada CO_2 adalah +4.



- (ii) Biloks CO teroksidasi menjadi CO_2 mengalami peningkatan biloks dari +2 menjadi +4. Sedangkan H_2O yang tereduksi menjadi H_2 mengalami penurunan biloks dari +1 menjadi 0.



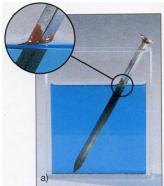
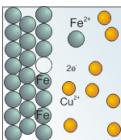
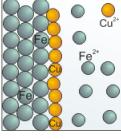
(iii) Jadi, reaksi ini mengalami reaksi oksidasi dan reduksi sehingga termasuk reaksi redoks

LATIHAN

Tulis bilangan oksidasi setiap unsur dalam senyawa berikut:

- | | | |
|----------------------------------|---------------------|-----------------------------------|
| a. P ₂ O ₅ | d. SO ₃ | g. HClO ₃ |
| b. NiCl ₂ | e. RbO ₂ | h. HPO ₄ ²⁻ |
| c. NO ₂ | f. MgH ₂ | i. TiO ₄ ²⁻ |

Tabel 3. Representasi Kimia Reaksi Oksidasi dan Reduksi berdasarkan Naik Turunnya Bilangan Oksidasi

Makroskopik	Submikroskopik	Simbolik
 <p>a)</p> <p>Reaksi logam besi dengan larutan tembaga sulfat (CuSO_4)</p>	 <p>Pada reaksi antara logam besi dengan tembaga sulfat, ketika Fe di tempatkan dalam larutan CuSO_4 atom-atom Fe memasuki larutan sebagai ion-ion Fe^{2+} dengan melepas dua elektron, dan ion-ion Cu^{2+} diubah menjadi padatan Cu dengan menerima dua elektron. Dengan demikian terjadi penggantian logam dalam larutan</p>  <p>Fe mengalami peningkata bilangan oksidasi dari 0 menjadi +2 maka Fe mengalami reaksi oksidasi. Sedangkan Cu dalam CuSO_4 mengalami penurunan bilangan oksidasi dari +2 menjadi 0 maka Cu dalam CuSO_4 mengalami reaksi reduksi.</p>	$\begin{array}{ccc} +2 & & 0 \\ \hline & \text{Fe(s)} + \text{CuSO}_4(\text{aq}) \rightarrow \text{FeSO}_4(\text{aq}) + \text{Cu(s)} & \\ & & \hline 0 & & +2 \end{array}$

B. Reduktor dan Oksidator

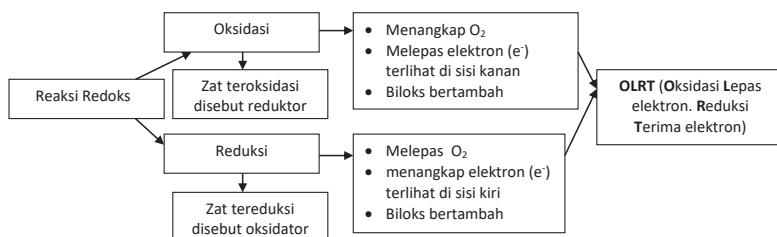
Definisi reaksi oksidasi dan reaksi reduksi yang dipakai adalah :

- ❖ Oksidasi merupakan suatu proses dimana bilangan oksidasi unsur bertambah dan dimana elektron dilepaskan dan terlihat di sisi kanan dari setengah persamaan oksidasi.

Zat yang teroksidasi disebut reduktor/pereduksi, karena elektron yang dilepaskan dari zat tersebut menyebabkan zat lain (pasangannya) menangkap elektron tersebut dan menjadi tereduksi.

- ❖ Reduksi merupakan suatu proses dimana bilangan oksidasi unsur menurun dan dimana elektron ditangkap dan terlihat di sisi kiri dari setengah persamaan reduksi.

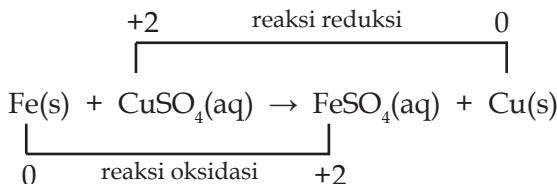
Zat yang tereduksi disebut oksidator/pengoksidasi, karena kecenderungan zat ini untuk menangkap elektron menyebabkan zat lain (pasangannya) melepaskan elektron yang diinginkan zat ini dan zat yang melepas elektron tersebut menjadi teroksidasi.



Gambar 13. Skema konsep reaksi reduksi dan reaksi oksidasi

Oksidator atau zat pengoksidasi merupakan zat yang mengoksidasi zat lain, tetapi zatnya sendiri mengalami reduksi. Sedangkan zat yang menyebabkan zat lain tereduksi, tetapi zatnya sendiri mengalami oksidasi disebut reduktor atau pereduksi.

Perhatikan reaksi antara besi dan larutan tembaga sulfat berikut.



Fe mengalami reaksi oksidasi. Oleh sebab itu, Fe disebut reduktor. Sedangkan CuSO_4 mengalami reaksi reduksi. Oleh sebab itu, CuSO_4 disebut oksidator.

Reduktor adalah zat yang menyebabkan zat lain tereduksi.

Oksidator adalah zat yang menyebabkan zat lain teroksidasi.



Sebelum melanjutkan, jawablah pertanyaan di bawah ini!

Sebutkan ciri-ciri sebuah reaksi dapat dikatakan sebagai reaksi redoks!



Tuliskan jawabannya di sini!

.....
.....

Cara penentuan reaksi redoks yang paling akurat adalah melalui perubahan biloks setiap atom. Disertai dengan penerimaan atau pelepasan oksigen, maupun elektron. Penentuan suatu reaksi termasuk dalam reaksi redoks atau bukan, terlihat dari perubahan biloks atom-atomnya. Jika tidak terdapat perubahan biloks dalam suatu reaksi maka reaksi tersebut bukanlah reaksi redoks. Selain itu, sebagian banyak reaksi redoks selalu terdapat unsur bebas.

Konsep yang benar: muatan dari spesi poliatomik bukan merupakan ciri-ciri reaksi redoks. Ciri-ciri reaksi redoks adalah: 1). Terjadi perubahan biloks; 2). Terdapat reaksi reduksi dan reaksi oksidasi; 3). Sebagian banyak reaksi redoks selalu terdapat unsur bebas.

C. Reaksi Autoredoks

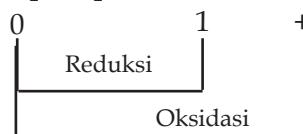
Reaksi redoks pun terkadang hanya melibatkan satu jenis zat sebagai reduktor yang teroksidasi dan sebagai oksidator yang tereduksi. Reaksi semacam ini disebut reaksi disproportionasi atau autoredoks yakni suatu reaksi redoks dimana reaksi oksidasi dan reaksi reduksi terjadi pada atom yang sama, biasanya atom yang bisa melakukan reaksi disproportionasi adalah atom yang memiliki biloks banyak dan berada diantara biloks terendah dan tertinggi.

Atom N	N ³⁻ (8-no.gol)	N ₂	N ₂ O	NO	N ₂ O ₃	NO ₂	NO ₃ ⁻ atau N ₂ O ₅ (no.gol)
Biloks	-3	0	+1	+2	+3	+4	+5
disproportionasi		0	+1	+2	+3	+4	

Atom S	H ₂ S (8-no. gol)	S ₈	SO ₂ atau SO ₃ ²⁻	SO ₃ atau SO ₄ ²⁻ (no. gol)
Biloks	-2	0	+4	+6
disproportionasi				

Atom Cl	Cl ⁻ (8-no.gol)	Cl ₂	ClO ⁻	ClO ₂ ⁻	ClO ₃ ⁻	ClO ₄ ⁻ (no.gol)
Biloks	-1	0	+1	+3	+5	+7
disproportionasi						

Contohnya, reaksi yang terjadi ketika pembakaran klorin yang menghasilkan ion klorin dan ion klorat.



Dari reaksi di atas, dapat dilihat bahwa sebuah molekul diatomik klorin mengalami reduksi menjadi ion klorin (dari 0 ke -1) dan oksidasi menjadi ion klorat (dari 0 ke +3).

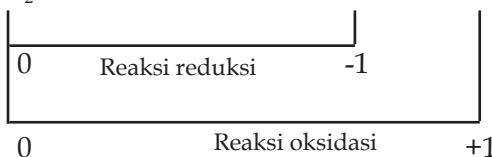
Contoh Soal:

Perhatikan reaksi autoredoks berikut ini:



- Tentukan perubahan bilangan oksidasi klor.
- Tentukan reaksi oksidasi dan reduksinya.

Jawaban dan Pembahasan:



Jadi, bilangan oksidasi klor berubah dari 0 menjadi -1 dan +1

- b. Bilangan oksidasi klor meningkat dari 0 ke +1 sehingga terjadi reaksi oksidasi pada Cl_2 dan KClO
Bilangan oksidasi klor menurun dari 0 ke -1 sehingga terjadi reaksi reduksi pada Cl_2 dan KCl

LATIHAN

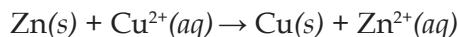
1. Perhatikan reaksi di bawah ini:



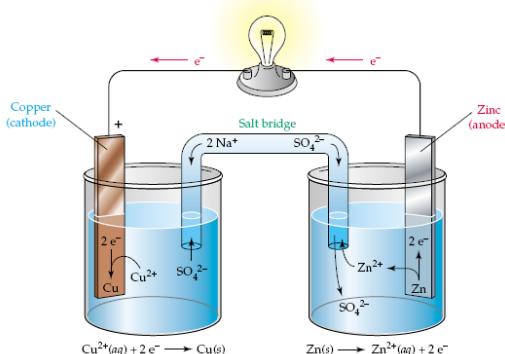
- a. Tentukan zat yang teroksidasi dan zat yang tereduksi.
 - b. Tentukan reduktor dan oksidator dari reaksi tersebut.
2. Tentukan reduktor dan oksidator dalam reaksi-reaksi redoks berikut.
- a. $\text{S}_8\text{(s)} + 4\text{Cl}_2\text{(g)} \rightarrow 4\text{S}_2\text{Cl}_2\text{(l)}$
 - b. $2\text{Na(s)} + 2\text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow 2\text{NaOH(aq)} + \text{H}_2\text{(g)}$
 - c. $2\text{Al(s)} + 3\text{H}_2\text{O(g)} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3\text{(s)} + 3\text{H}_2\text{(g)}$
 - d. $\text{P}_4\text{(s)} + 6\text{Ca(s)} \rightarrow 2\text{Ca}_3\text{P}_2\text{(s)}$
3. Tunjukkan bahwa reaksi berikut merupakan reaksi autoredoks.
- $$3\text{NO}_2\text{(g)} + \text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow 2\text{HNO}_3\text{(aq)} + \text{NO(g)}$$

D. Elektrokimia

Reaksi redoks terjadi melalui transfer elektron secara langsung dari zat pereduksi (yang mengalami oksidasi) dengan melepaskan sejumlah elektron, dimana sejumlah elektron ini kemudian ditangkap dan digunakan oleh zat pengoksidasi untuk terjadinya reaksi reduksi. Sebagai contoh, ketika logam seng (Zn) dimasukkan dalam larutan CuSO_4 akan terjadi transfer elektron dari logam seng (Zn) yang mengalami oksidasi dengan melepaskan elektron, kemudian elektron ini digunakan ion Cu^{2+} agar tereduksi menjadi logam



Transfer elektron yang dihasilkan reaksi kimia dari reduktor ke oksidator dalam reaksi redoks dapat diubah menjadi energi listrik jika reduktor dan oksidator ditempatkan dalam wadah terpisah dan dihubungkan dengan kawat eksternal rangkaian luar yang bertujuan mengalirkan elektron yang dilepaskan suatu reduktor untuk menghasilkan energi listrik.



Gambar 14. Sel Volta Elektroda Zn dan Cu dengan Larutan ZnSO_4 dan CuSO_4 .
(Sumber: Chemistry, McMurry)

Logam seng (Zn) dan logam tembaga (Cu) sebagai tempat terjadinya reaksi redoks disebut elektroda. Elektroda logam seng (Zn) akan teroksidasi dan melepaskan elektron, kemudian elektron-elektron ini mengalir melalui kawat rangkaian luar yang dapat diuji keberadaannya dengan lampu yang menyala atau dapat juga diukur tegangan listriknya dengan menggunakan voltmeter, selanjutnya elektron-elektron ini sampai di elektroda logam tembaga (Cu) dan digunakan untuk mereduksi ion-ion Cu²⁺ menjadi logam Cu yang menempel dan mempertebal elektroda logam tembaga (Cu). Elektroda tempat terjadinya reaksi oksidasi (dalam kasus ini elektroda Zn) disebut anoda. Sementara elektroda tempat terjadinya reaksi reduksi (dalam kasus ini elektroda Cu) disebut katoda. Karena elektron-elektron (partikel bermuatan negatif) mengalir dari anoda ke katoda, maka pada sel Volta anoda adalah elektroda negatif (karena elektron-elektron tertinggal di belakang atom yang teroksidasi) dan katoda merupakan elektroda positif (karena elektron diekstraksi dari permukaan logam oleh ion ketika terjadi reaksi reduksi).

anoda = oksidasi, katoda = reduksi

baca : anoks, kared

katoda = elektroda positif, anoda = elektroda negatif

KPAN (baca : kapan)

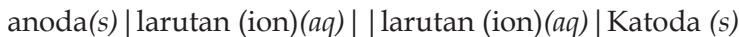
Namun, aliran listrik (elektron-elektron) ke kawat rangkaian luar akan dengan cepat mati dan terhenti karena terjadi penumpukan muatan positif di anoda sebab pembentukan

ion-ion positif (dalam kasus reaksi diatas adalah ion-ion Zn²⁺) dan terjadi penumpukan muatan negatif di katoda ketika sebagian ion Cu²⁺ tereduksi menjadi Cu. Untuk menjaga keneutralan larutan agar tidak ada muatan ion tertentu yang berlebih, ion-ion ini harus dapat bergerak dengan bebas dari elektroda yang satu ke elektroda lainnya. Pergerakan ion-ion ini dapat dipenuhi oleh jembatan garam yakni berupa tabung U terbalik yang berisi larutan elektrolit inert seperti KCl, Na₂SO₄ atau NH₄NO₃, yang ion-ionnya tidak akan bereaksi dengan ion lain dalam larutan atau dengan elektroda. Jadi dalam sel Volta, selama reaksi redoks keseluruhan berjalan, elektron mengalir dari anoda (dalam kasus ini Zn) melalui kawat dan voltmeter menuju katoda (dalam kasus ini Cu). Sedangkan dalam larutan, kation-kation (Zn²⁺, Cu²⁺, K⁺) bergerak ke katoda, sementara anion-anion (SO₄²⁻, Cl⁻) bergerak ke anoda.

Arus listrik dalam sel Volta yang mengalir dari anoda ke katoda ini dituliskan dalam bentuk diagram sel sebagai berikut.

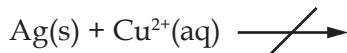


Dalam bentuk reaksi redoks umum dalam sel Volta dapat dituliskan dalam bentuk diagram sel berikut.



Arus listrik mengalir dari anoda ke katoda karena ada selisih energi potensial diantara kedua elektroda. Analoginya sama dengan air terjun yang jatuh ke tempat lebih rendah karena ada selisih energi potensial gravitasi atau sama dengan aliran gas dari wilayah bertekanan tinggi ke wilayah bertekanan rendah.

Dengan adanya sel Volta, logam tertentu dapat dijadikan reduktor untuk mereduksi ion logam lain pada tempat terpisah di anoda dan di katoda untuk menghasilkan energi listrik. Namun, ternyata tidak semua logam dapat mereduksi ion logam lain sehingga reaksi redoks spontan tidak terjadi akibatnya arus listrik tidak mungkin dihasilkan. Sebagai contoh, jika logam Zn diganti dengan logam perak (Ag) sehingga membentuk pasangan elektroda (Cu dan Ag) dan pasangan larutan (CuSO_4 dan Ag_2SO_4) ternyata reaksi redoks tidak dapat berlangsung dan aliran listrik tidak dapat dihasilkan.



Untuk menjelaskan fenomena ini, Volta menggunakan data eksperimen menyusun suatu deret yang disusun berdasarkan kekuatan reduktor suatu logam. Deret volta disusun dari logam reduktor terkuat (sangat mudah mengalami oksidasi) ke reduktor terlemah (sangat sulit teroksidasi atau logam bersifat mulia).

Li K Ba Ca Na Mg Al Mn (H_2O) Zn Cr Fe Cd Co Ni Sn Pb (H) Cu Hg Ag Ag Pt Au

baca: Li KaBaCaNa Mang Ali Minum (air) miZon Curi Besi Jendela Colot Nipu Sang Pembantu (asem) Krupuk Hangus Agak Pahit Au



reduktor paling kuat, alami oksidasi
mereduksi H_2O menghasilkan H_2
mereduksi ion-ion logam di sebelah
kanannya
mereduksi H^+ menghasilkan H_2



reduktor terlemah, alami reduksi
tak dapat mereduksi H^+ , H_2O , dan
ion-ion di sebelah kirinya



reduktor kuat, alami oksidasi
mereduksi ion-ion logam di sebelah kanannya
mereduksi H^+ menghasilkan H_2

Contoh Soal:

Logam X dapat mendesak logam Y dari larutannya. Logam X dapat mendesak logam Z dari larutannya. Logam Y tidak dapat mendesak logam Z dari larutannya. Urutan sifat reduktor yang makin kuat dari ketiga logam diatas adalah....

Jawab:

Logam di kiri (reduktor makin kuat) dapat mendesak ion-ion logam di kanan.

Logam X mendesak ion logam Y = reduktor logam X > reduktor logam Y

Logam X mendesak ion logam Z = reduktor logam X > reduktor logam Z

Logam Y tidak dapat mendesak ion logam Z = reduktor logam Z > reduktor logam Y

Urutan sifat reduktor logam yang makin kuat adalah Y, Z, X.

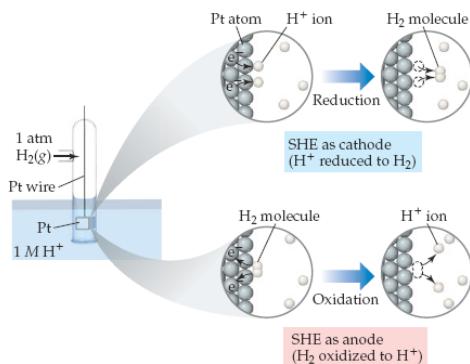
LATIHAN

Logam A dapat mendesak logam B dari larutannya. Logam C dapat mendesak logam B dari larutannya. Logam C tidak dapat mendesak logam A dari larutannya. Urutan sifat reduktor yang makin lemah dari ketiga logam diatas adalah....

Dari tiga logam X, Y, dan Z diketahui bahwa X dapat mengendapkan Y dari larutan garamnya, dan hanya Z yang dapat bereaksi dengan air. Urutan ketiga logam tersebut berdasarkan sifat reduktor yang menurun adalah....

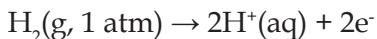
Dengan makin banyak diketemukan logam baru menjadikan penggunaan deret Volta untuk menghimpun logam-logam berdasarkan kekuatan reduktornya tidak praktis lagi (sewaktu Volta menyusun deretnya, logam yang diketahui baru berjumlah 20 jenis logam). Sebagai gantinya, kini digunakan harga potensial reduksi untuk mengetahui dan mengukur kekuatan sifat reduktor logam-logam.

Permasalahan yang muncul adalah tidak ada seorang ahli kimia manapun yang mampu merancang percobaan untuk mengukur potensial elektroda tunggal, misalnya reaksi reduksi saja atau reaksi oksidasi saja. Hal ini disebabkan muatan positif atau muatan negatif suatu elektroda bergantung pada luasnya permukaan logam yang dijadikan sebagai elektroda. Tetapi, syukurnya para ahli kimia tidak kehabisan akal untuk memecahkan sulitnya mengukur potensial elektroda tunggal dengan menetapkan salah satu elektroda rujukan dengan nilai potensial reduksi sama dengan nol, sementara elektroda lain sebagai pasangannya mempunyai potensial reduksi relatif terhadap potensial reduksi bernilai nol elektroda rujukan tersebut. Mereka menetapkan elektroda hidrogen standar sebagai rujukan dan mempunyai potensial reduksi bernilai nol. Elektroda hidrogen ini bekerja pada kondisi standar yakni gas hidrogen pada 1 atm dihembuskan lewat larutan HCl 1 M pada suhu 25°C.

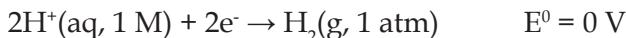


Gambar 15. Elektroda Hidrogen Standar
(Sumber: Chemistry The Central Science, Brown)

Gas hidrogen (1 atm) yang dihembuskan akan mengalami oksidasi di permukaan permukaan elektroda inert logam platina,



Ion H⁺ dari oksidasi gas hidrogen (H₂, 1 atm) dan dari disosiasi larutan asam klorida (HCl 1 M) selanjutnya direduksi menjadi gas hidrogen kembali,



Nilai potensial reduksi standar H⁺ sama dengan nol, karena atom yang dioksidasi dan ion yang direduksi sejenis yakni H₂ dan H⁺. Nilai potensial reduksi standar relatif logam-logam lain adalah potensial listrik yang dihasilkan apabila suatu ion logam mengalami reduksi menjadi logamnya ketika semua zat terlarut 1 M dan semua gas pada 1 atm. Nilai potensial reduksi standar logam-logam lain ini bersifat relatif karena

diukur dengan memasangkannya dengan elektroda standar hidrogen dengan $E^{\circ} = 0$ V dan harga potensial reduksi standar logam-logam ini dapat bernilai diatas nol (positif) atau berharga dibawah nol (negatif). Analoginya sama dengan para ahli geografi yang memilih permukaan laut sebagai rujukan ketinggian dan ditetapkan sebagai nol meter, kemudian ketinggian lain di daratan sebagai sekian meter diatas (positif) atau dibawah (negatif) permukaan laut.

Kondisi standar untuk reaksi biokimia merujuk pada pH 7,0 atau 10^{-7} M H^+ . Oleh sebab itu, nilai potensial reduksi standar untuk reaksi biokimia yang terjadi didalam sel berbeda dengan reaksi redoks anorganik. Sebagai contoh, potensial reduksi standar, $E'_0 H^+ / H_2 = -0,42$ V, bukan 0,00 V seperti yang berlaku pada reaksi redoks anorganik dengan rujukan standar pH 0. Tabel 11.1. berikut menyajikan nilai potensial reduksi standar untuk dalam reaksi biokimia.

Tabel 4. Harga E° relatif dalam Reaksi Biokimia

Oksidator	Reduktor	n	E'_0 (volt)
Asetat + CO_2	Piruvat	2	-0,70
Suksinat+ CO_2	α -ketoglutarat	2	-0,67
Asetat	Asetaldehida	2	-0,60
O_2	O_2^-	1	-0,45
Ferredoksin (teroksidasi)	Ferredoksinn (tereduksi)	2	-0,43
$2H^+$	H_2	2	-0,42
Asetoasetat	β -hidroksibutirat	2	-0,35
Piruvat + CO_2	Malat	2	-0,33
NAD^+	$NADH + H^+$	2	-0,32
$NADP^+$	$NADPH + H^+$	2	-0,32

FMN (terikat enzim)	FMNH ₂ (terikat enzim)	2	-0,30
Lipoat (teroksidasi)	Lipoat (tereduksi)	2	-0,29
1,3-bisfosfoglisidat	Gliseraldehida-3-fosfat + Pi	2	-0,29
Glutation (teroksidasi)	Glutation (tereduksi)	2	-0,23
FAD	FADH ₂	2	-0,22
Asetaldehyda	Etanol	2	-0,20
Piruvat	Laktat	2	-0,19
Oksaloasetat	Malat	2	-0,17
α -ketoglutarat + NH ₄ ⁺	Glutamat	2	-0,14
Metilen biru (teroksidasi)	Metolen biru (tereduksi)	2	+0,01
Fumarat	Suksinat	2	+0,03
CoQ	CoQH ₂	2	+0,04
Sitokrom b(+3)	Sitokrom b(+2)	1	+0,07
Dehidroaskorbat	Askorbat	2	+0,08
Sitokrom c1 (+3)	Sitokrom c1 (+2)	1	+0,23
Sitokrom c (+3)	Sitokrom c (+2)	1	+0,25
Sitokrom a (+3)	Sitokrom a (+2)	1	+0,29
$\frac{1}{2}$ O ₂ + H ₂ O	H ₂ O ₂	2	+0,30
Ferrisianida	Ferrosianida	2	+0,36
Nitrat	Nitrit	1	+0,42
Sitokrom a3 (+3)	Sitokrom a3 (+2)	1	+0,55
Fe (+3)	Fe (+2)	1	+0,77
$\frac{1}{2}$ O ₂ + 2H ⁺	H ₂ O	2	+0,82

Sumber: Biochemistry, Mathews and van Holde

Makin positif harga E'₀, makin mudah mengalami reduksi. Sebaliknya, makin negatif harga E⁰, makin sulit mengalami reduksi atau mudah teroksidasi. Misalnya, pasangan O₂/H₂O mempunyai E'₀ paling positif sebesar =0,82 volt, sehingga sangat mudah untuk tereduksi bersamaan dengan mengoksidasi substansi lain, misalnya NADH/NAD⁺. Jika dihubungkan dengan deret Volta, maka didapatkan hubungan berikut.

- ❖ Makin kecil (lebih negatif) harga E^0 suatu logam, makin kuat sifat reduktornya (makin ke kiri letaknya dalam deret Volta).
- ❖ Logam-logam di sebelah kiri dalam deret Volta mempunyai E^0 negatif, dan logam-logam di sebelah kanan deret Volta mempunyai E^0 positif.

Berdasarkan kesepakatan para ahli kimia, harga potensial reduksi standar (E^0) yang terdiri dari reaksi oksidasi di anoda dan reaksi reduksi di katoda dinyatakan sebagai berikut

$$E_{\text{sel}}^0 = E_{\text{katoda}}^0 - E_{\text{anoda}}^0$$

$$E_{\text{sel}}^0 = E_{\text{besar}}^0 - E_{\text{kecil}}^0$$

catatan penting :

- ❖ E^0 lebih kecil (lebih negatif) akan teroksidasi akibatnya selalu berfungsi sebagai anoda.
- ❖ E^0 adalah sifat intensif, sehingga mengubah koefisien reaksi tidak mempengaruhi nilai E^0 .
- ❖ E^0 bernilai positif berarti reaksi berlangsung spontan.

Sebagai contoh dalam konteks farmasi dan biokimia, reaksi oksidasi NADH oleh O_2 yang terjadi di mitokondria mempunyai persamaan setengah reaksi sebagai berikut.





Harga potensial reduksi standar untuk pasangan reaksi berikut adalah



$$E_{\text{sel}}^0 = E_{\text{katoda}}^0 - E_{\text{anoda}}^0$$

$$E_{\text{sel}}^0 = E_{\text{besar}}^0 - E_{\text{kecil}}^0$$

$$E_{\text{sel}}^0 = 0,82 - (-0,32) = +1,14 \text{ V}$$

E_{sel}^0 bernilai positif, menandakan bahwa reaksi oksidasi NADH oleh O_2 di mitokondria berlangsung spontan. Nilai potensial reduksi standar dapat dikonversi ke nilai parameter termodinamika melalui kontribusi awal terhadap termodinamika elektrokimia disumbangkan oleh Joule yang menyatakan bahwa : Panas yang diproduksi berbanding lurus terhadap kuadrat arus (I^2), resistensi (R), dan waktu (t). Secara matematis dapat dituliskan berikut.

$$Q = I^2 R t$$

$$\text{karena } R = V/I$$

persamaan diatas berubah menjadi,

$$Q = I^2 R t$$

$$Q = I^2 (V/t)t$$

$$Q = IVt$$

Selanjutnya, persamaan tersebut ditafsirkan oleh Gibbs yakni kalor (Q) yang dihasilkan merupakan perubahan bentuk dari kerja yang dilakukan sel (W_{ele}).

$$W_{ele} = QV$$

$$W_{ele} = (Ix t) (IxR) = I^2Rt$$

Kerja listrik tersebut merupakan kerja maksimal yang dapat dilakukan sel elektrokimia sebagai sistem terhadap lingkungan.

$$W_{maks} = W_{ele}$$

Kerja listrik tersebut hasil dari muatan total listrik yakni banyaknya mol elektron yang melewati rangkaian luar sel elektrokimia dikali potensial reduksi sel. Muatan total ditentukan oleh banyaknya mol elektron (ne^-) yang melewati rangkaian listrik luar.

$$\text{Muatan total} = nF$$

$$W_{maks} = W_{ele}$$

$$W_{maks} = -nFE^0\text{sel}$$

Tanda negatif karena kerja listrik dilakukan oleh sistem pada lingkungan. Gibbs berpendapat bahwa kerja listrik yang dilakukan oleh sel elektrokimia sama dengan penurunan energi bebas Gibbs, maka persamaan menjadi

$$\Delta G^0 = -nFE^0\text{sel}$$

Jadi, untuk reaksi spontan syaratnya adalah $E^0\text{sel} > 0$, agar ΔG^0 bernilai negatif.

Nilai energi bebas standar, ΔG^0 untuk reaksi oksidasi NADH oleh O_2 adalah



$$\Delta G^\circ = -nFE^\circ_{\text{sel}}$$

$$\Delta G^\circ = -2 (96.5) (+1,14) \text{ kJ/mol} = -220.02 \text{ kJ/mol}$$

Nilai energi bebas standar, ΔG° yang negatif menandakan reaksi oksidasi NADH oleh O_2 berlangsung spontan dengan melepaskan energi sebesar 220 kJ per mol. Energi yang dilepaskan dari reaksi oksidasi NADH oleh O_2 ini lebih dari cukup untuk mensintesis sekitar 7 mol ATP karena sintesis 1 mol ATP dari $\text{ADP} + \text{P}_i$ hanya membutuhkan energi sebesar 31 kJ/mol. Dalam mitokondria, reaksi berpasangan antara reaksi oksidasi NADH dan sintesis ATP ini dicapai oleh rantai transport elektron dimana elektron tersebut melewati tiga kompleks protein.

pada kondisi kesetimbangan, secara termodinamika berlaku hubungan berikut.

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K$$

$$-nFE^\circ_{\text{sel}} = -RT \ln K$$

$$E^\circ_{\text{sel}} = \frac{-RT}{nF} \ln K$$

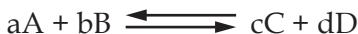
Hubungan antara ΔG° , K, dan E°_{sel}

ΔG°	K	E°_{sel}	Reaksi pada kondisi keadaan standar
Negatif	> 1	Positif	Spontan
0	$= 1$	0	Pada Kesetimbangan
Positif	< 1	Negatif	Nonspontan. reaksi spontan pada arah berlawanan

Pada kasus kondisi tak standar, berlaku hubungan kuasi

reaksi dengan potensial reduksi tak standar akan didapatkan penurunan persamaan reaksi berikut.

Reaksi kesetimbangan kimia yang umum



$$\Delta G = c\mu_c + d\mu_D - a\mu_A + b\mu_B$$

$$\Delta G = c\mu_C^0 + cRT \ln a_C + d\mu_D^0 + dRT \ln a_D - a\mu_A^0 + aRT \ln a_A + b\mu_B^0 + bRT \ln a_B$$

$$\Delta G = (c\mu_C^0 + d\mu_D^0) - (a\mu_A^0 + b\mu_B^0) +$$

$$RT [(c \ln a_C + d \ln a_D) - (a \ln a_A + b \ln a_B)]$$

$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln \frac{a_C^c a_D^d}{a_A^a a_B^b}$$

Untuk setiap reaksi kimia yang dilangsungkan pada T dan P tetap. Untuk gas ideal, $a_i = f_i = p_i$, maka persamaan reaksi diatas berubah menjadi,

$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln \frac{p_C^c p_D^d}{p_A^a p_B^b}$$

$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln Q$$

$$-nFE = -nFE^0 + RT \ln Q$$

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln Q$$

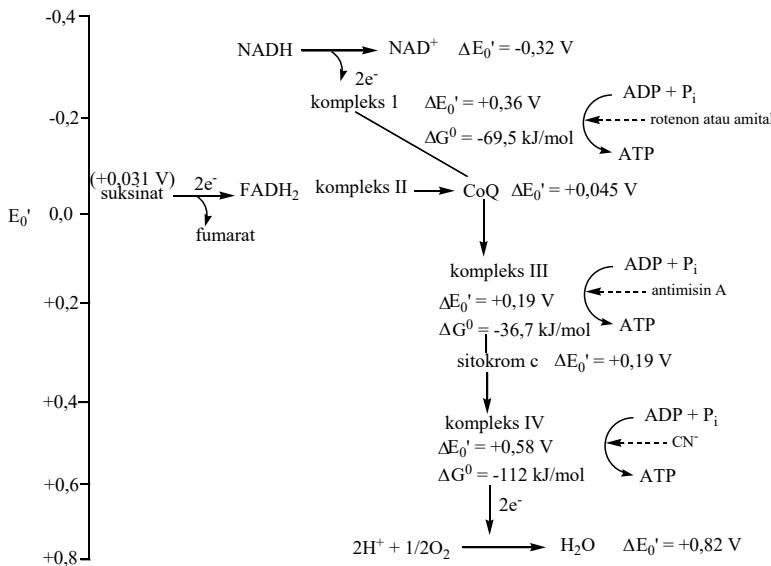
$$E = E^0 + \frac{2,303RT}{nF} \log Q$$

$$E = E^0 + \frac{2,303RT}{nF} \log \frac{\text{akseptor elektron}}{\text{donor elektron}}$$

Persamaan diatas merupakan persamaan Nernst untuk menghitung nilai potensial reduksi dalam kondisi tak standar.

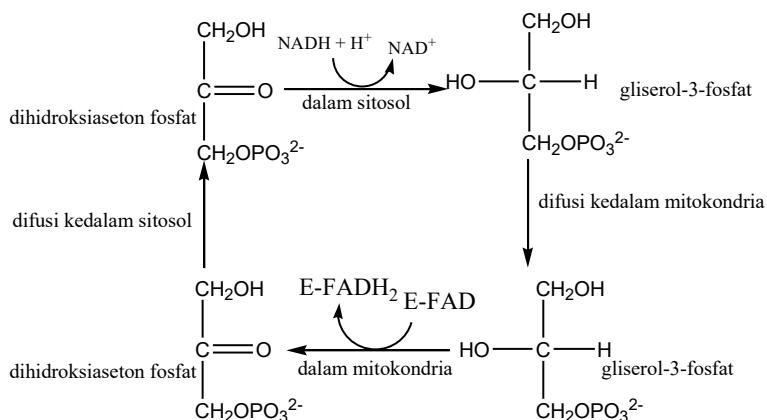
E. Reaksi Redoks dan Elektrokimia Farmasi

Reaksi redoks dengan potensial reduksi biomolekul dalam konteks farmasi berupa reaksi oksidasi NADH dan FADH₂ melalui rantai transport elektron, yakni sejumlah kompleks protein yang mengandung pusat redoks yang mempunyai afinitas besar terhadap elektron sehingga terjadi peningkatan potensial reduksi standar. Dengan kata lain, transport elektron melalui suatu rantai dari potensial reduksi standar yang rendah ke potensial reduksi standar tinggi.



Gambar 16. Potensial Reduksi Molekul Pembawa Elektron

NADH yang dibentuk di sitosol dan berfungsi sebagai pembawa elektron berenergi potensial reduksi yang tinggi tidak dapat melewati membran dalam organel mitokondria. Karena NADH tidak dapat dibawa kedalam mitokondria maka elektron yang dibawa NADH terlebih dahulu dipindahkan ke dihidroksiaseton fosfat menghasilkan gliserol-3-fosfat yang dapat melintasi membran luar mitokondria. Reaksi ini terjadi di sitosol dan dikatalisis oleh enzim gliserol-3-fosfat dehidrogenase. Gliserol-3-fosfat yang telah masuk dioksidasi kembali menjadi dihidroksiaseton fosfat di permukaan luar membran dalam mitokondria. Reaksi oksidasi gliserol-3-fosfat ini melepaskan sepasang elektron yang kemudian ditransfer ke gugus prostetik flavin adenin dinukleotida (FAD) yang terikat pada enzim gliserol dehidrogenase yang terdapat dalam mitokondria. Dihidroksiaseton fosfat yang dihasilkan berdifusi kembali ke sitosol untuk mengulangi sistem angkut ini.



Gambar 17. Sistem Transport Gliserofosfat

NADH dan FADH₂ sebagai pembawa elektron yang mempunyai potensial reduksi yang tinggi selanjutnya mentransport elektron melalui rangkaian molekul pembawaan elektron berupa kompleks I, II, III, dan IV sampai ke molekul penerima elektron yang terakhir berupa molekul O₂ sehingga tereduksi menjadi molekul H₂O.

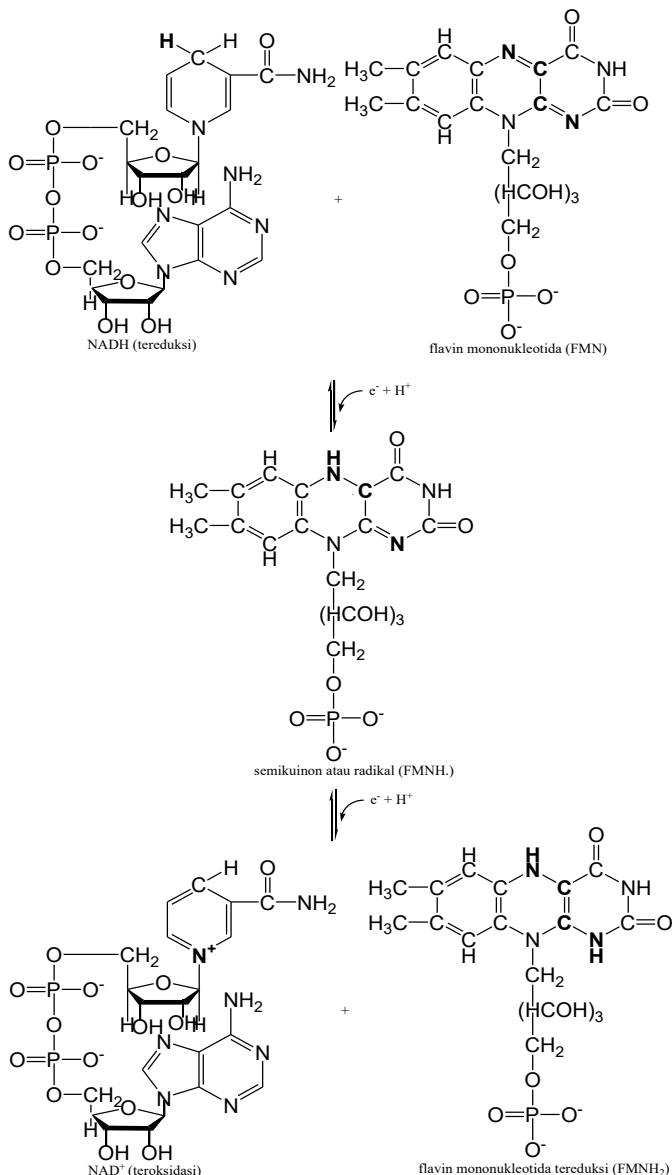
Kompleks I mengkatalisis reaksi oksidasi NADH oleh CoQ :



$$\Delta E' = 0,36 \text{ V} \quad \Delta G^\circ = -69,5 \text{ kJ/mol}$$

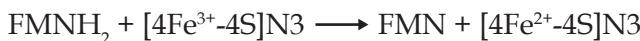
Kompleks I yaitu NADH-koenzim Q oksidoreduktase mempunyai bobot sekitar 900 kD dan mempunyai 46 subunit. Kompleks I mengandung satu molekul flavin mononukleotida (FMN) dan delapan atau sembilan kluster Fe-S yaitu [2Fe-2S] N1a, [2Fe-2S]N1b, [4Fe-4S]N2, [4Fe-4S]N3, [4Fe-4S]N4, [4Fe-4S] N5, [4Fe-4S]N6a, [4Fe-4S]N6b, dan [4Fe-4S]N7. Kluster Fe-S tersebut dapat berada dalam keadaan teroksidasi dan tereduksi merujuk ke biloks ion Feⁿ⁺, yakni bermuatan +2 atau +3.

Transport elektron dalam kompleks I dimulai dengan pengikatan NADH dan transfer dua elektron berenergi potensial reduksi tinggi yang dimilikinya ke flavin mononukleotida (FMN) menghasilkan flavin mononukleotida dalam keadaan tereduksi, FMNH₂.

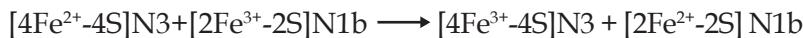


Gambar 18. Reaksi Transfer Elektron dari NADH ke FMN

Elektron berenergi potensial reduksi tinggi yang dikandung dalam FMNH_2 ditransfer ke serangkaian kluster Fe-S berikut.



$$\Delta E' = \{-0,25 - (-0,34)\} = + 0,09 \text{ V}$$



$$\Delta E' = \{-0,25 - (-0,25)\} = + 0,00 \text{ V}$$



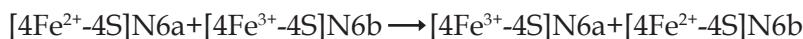
$$\Delta E' = \{-0,25 - (-0,25)\} = + 0,00 \text{ V}$$



$$\Delta E' = \{-0,25 - (-0,25)\} = + 0,00 \text{ V}$$



$$\Delta E' = \{-0,25 - (-0,25)\} = + 0,00 \text{ V}$$

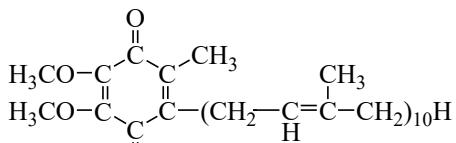


$$\Delta E' = \{-0,25 - (-0,25)\} = + 0,00 \text{ V}$$

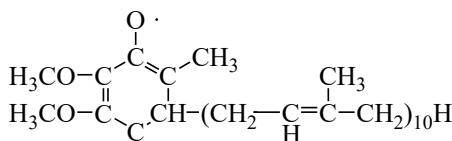
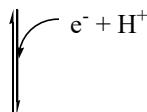


$$\Delta E' = \{-0,10 - (-0,25)\} = + 0,15 \text{ V}$$

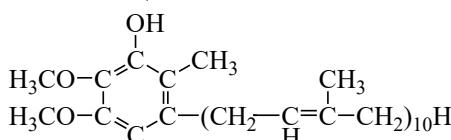
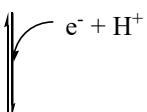
Elektron dalam kluster Fe-S ditransfer ke koenzim Q atau ubikuinon, dimana Q merujuk pada turunan kuinon dengan ekor isoprenoid yang panjang. Bentuk ubikuinon yang paling lazim pada mamalia mengandung 10 unit ekor isoprenoid, Q_{10} . Ubikuinon dalam keadaan teroksidasi, CoQ, mengalami reaksi reduksi menghasilkan ubikuinon yang berada dalam kondisi tereduksi, CoQH_2 .



ubikuinon teroksidasi (CoQ)



ubisemikuinon (CoQ.)



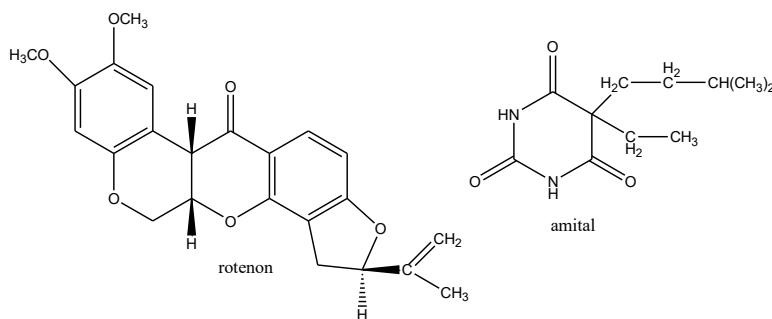
ubikuinon tereduksi (CoQH₂)

Gambar 19. Reaksi Transfer Elektron melalui Ubikuinon

Aliran dua elektron dari NADH ke CoQH₂ melalui kompleks I atau NADH-koenzim Q oksidoreduktase menyebabkan terpompanya empat ion H⁺ dari matriks mitokondria ke ruang intermembran antara membran luar dan membran dalam organel mitokondria. Pompa proton dalam kompleks I didorong oleh perubahan konformasi yang diinduksi oleh perubahan keadaan redoks protein dalam kompleks I tersebut. Perubahan

konformasi ini mengubah nilai pK dari rantai samping yang dapat terionisasi dalam hal menangkap atau melepaskan proton ketika terjadi transfer elektron. Translokasi suatu proton ini dapat terjadi melalui ‘loncatan’ sepanjang rantai ikatan hidrogen dalam suatu saluran transmembran yang mirip dengan ‘lompatan’ proton antar molekul-molekul air yang berikatan hidrogen dalam larutan.

Transport elektron pada kompleks I dapat dihentikan oleh adanya inhibitor rotenon yakni suatu molekul pada tumbuhan tertentu yang bersifat toksik serta digunakan untuk memabukkan ikan dan insektisida atau amital yaitu suatu barbiturat.



Gambar 20. Struktur Inhibitor NADH-koenzim Q oksidoreduktase

Kompleks II mengkatalisis reaksi oksidasi FADH₂ oleh CoQ :



$$\Delta E' = 0,085 \text{ V} \quad \Delta G^0 = -16,4 \text{ kJ/mol}$$

Kompleks II atau suksinat-koenzim Q oksidoreduktase mengandung enzim suksinat dehidrogenase yang melepaskan elektron dari suksinat ke CoQ. Suksinat dehidrogenase meng-

katalisis reaksi oksidasi suksinat menjadi fumarat yang diiringi dengan reduksi FAD yang berikatan kovalen dengan enzim menjadi FADH_2 . FADH_2 yang membawa elektron berenergi potensial reduksi tinggi mentransfer elektron tersebut ke $[2\text{Fe}-2\text{S}]$ ke $[4\text{Fe}-4\text{S}]$ ke $[3\text{Fe}-4\text{S}]$, dan kemudian ke CoQ menghasilkan COQH_2 yang masuk ke dalam rantai respirasi. Ekor isoprenoid dalam CoQ bersifat sangat non-polar sehingga memudahkan CoQ berdifusi dengan cepat melalui inti hidrokarbon membran dalam organel mitokondria. Sebagai tambahan, transfer elektron dari FADH_2 ke CoQ melalui kompleks II atau suksinat-koenzim Q oksidoreduktase ini tidak mengakibatkan pemompaan proton dari matriks ke ruang intermembran karena perubahan energi bebas dari yang dihasilkan terlalu kecil. Inilah sebab lebih sedikit ATP yang dihasilkan pada reaksi oksidasi FADH_2 dibandingkan dengan reaksi oksidasi NADH.

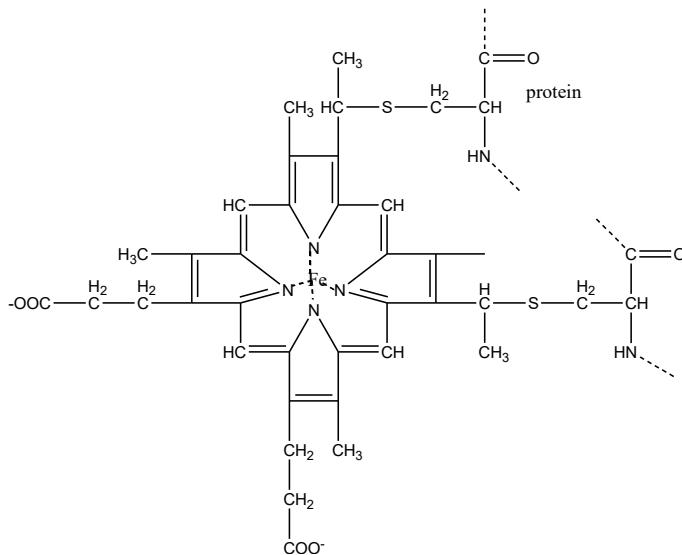
Kompleks III mengkatalisis reaksi oksidasi CoQ oleh sitokrom c:



$$\Delta E'_0 = 0,19 \text{ V} \quad \Delta G^0 = -36,7 \text{ kJ/mol}$$

Kompleks III atau koenzim Q-sitokrom c oksidoreduktase melewarkan elektron dari CoQH_2 (tereduksi) ke sitokrom c. kompleks III mengandung dua sitokrom tipe b, satu sitokrom c₁, dan satu kluster $[2\text{Fe}-2\text{S}]$ dimana salah satu atom Fe berikatan koordinasi dengan dua residu histidin. Gugus prostetik sitokrom b, c, dan c₁ adalah besi-protoporfirin IX, yakni suatu gugus heme yang sama dengan gugus heme dalam mioglobin dan hemoglobin. Sitokrom c dan c₁ berbeda dengan sitokrom

jenis lain karena berikatan tioester yang terbentuk melalui adisi gugus sulfhidril, -SH, dari dua residu sistein ke gugus vinil dari heme.



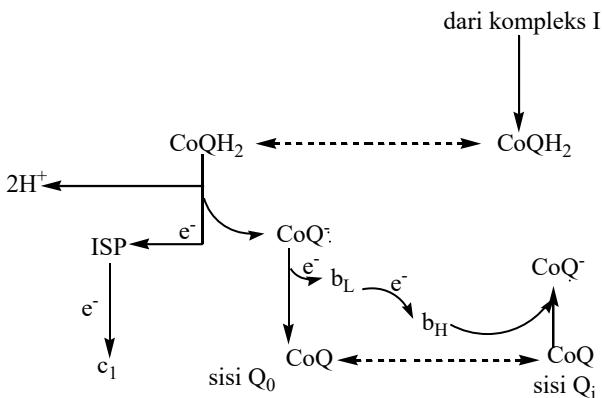
Gambar 21. Struktur Sitokrom c

Kompleks III berfungsi mentransfer satu dari dua elektron berenergi potensial reduksi tinggi yang terdapat pada ubikuinol tereduksi, CoQH_2 ke kluster Fe-S, lalu elektron ini ditransfer ke sitokrom c_1 dan sitokrom c yang membawa elektron tersebut keluar dari kompleks III. Transfer satu elektron ini mengubah CoQH_2 menjadi anion semikuinon, CoQ^{\cdot} , suatu senyawa antara yang stabil, dalam suatu siklus Q yang menyebabkan pemompaan proton dari matriks ke ruang intermembran dalam mitokondria.

Siklus Q terjadi karena adanya transfer satu elektron dari molekul pembawa dua elektron, CoQH_2 , ke sitokrom c,

suatu molekul pembawa satu elektron. Satu elektron yang tersisa mengubah CoQH_2 menjadi anion semikuinon, CoQ^\cdot , suatu senyawa antara yang stabil. Kompleks III mempunyai dua pengikatan yang tidak saling bergantung yaitu Q_0 yang mengikat CoQH_2 dan terletak antara pusat [2Fe-2S] dan gugus heme b_L yang berdekatan dengan ruang intermembran serta Q_i yang mengikat CoQ dan CoQ^\cdot dan terletak didekat gugus heme b_H yang berdekatan dengan matriks.

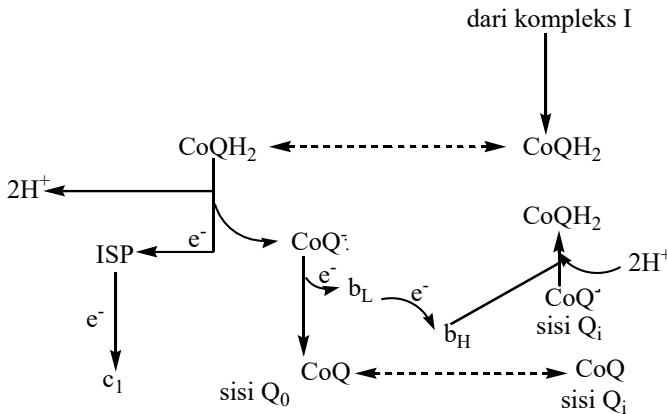
Siklus Q yang pertama dimulai ketika CoQH_2 dari kompleks I terikat di sisi Q_0 dimana terjadi transfer satu elektron ke protein Fe-S atau *iron-sulfur protein* (ISP) yang menghasilkan pelepasan dua proton ke ruang intermembran dan terbentuk CoQ^\cdot . Elektron yang tersisa dalam CoQ^\cdot ditransfer ke sitokrom b_L menghasilkan CoQ dalam kondisi teroksidasi. Sitokrom b_L lalu mereduksi sitokrom b_H . CoQ dalam keadaan teroksidasi dilepaskan dari sisi Q_0 lalu terikat kembali di sisi Q_i , dimana terjadi penangkapan elektron dari sitokrom b_H sehingga berubah menjadi bentuk anion semikuinon, CoQ^\cdot .



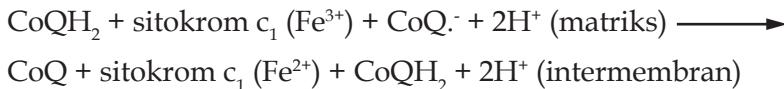
Gambar 22. Transfer Elektron melalui Siklus Q pertama



Siklus Q yang kedua dimulai dari COQH_2 lain dari kompleks I terikat di sisi Q_0 dimana terjadi transfer satu elektron ke protein Fe-S atau *iron-sulfur protein* (ISP) yang menghasilkan pelepasan dua proton ke ruang intermembran dan terbentuk CoQ^\cdot . Elektron yang tersisa dalam CoQ^\cdot ditransfer ke sitokrom b_L menghasilkan CoQ dalam kondisi teroksidasi. Sitokrom b_L lalu mereduksi sitokrom b_H . Satu elektron mereduksi ISP kemudian mereduksi sitokrom c_1 dan elektron lain mereduksi sitokrom b_L kemudian mereduksi sitokrom b_H . Elektron kedua ini lalu mereduksi CoQ^\cdot di sisi Q_i menghasilkan COQH_2 yang menggunakan dua proton dari matriks mitokondria.

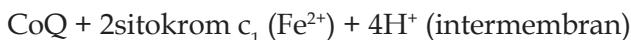
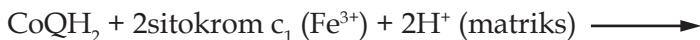


Gambar 23. Transfer Elektron melalui Siklus Q kedua

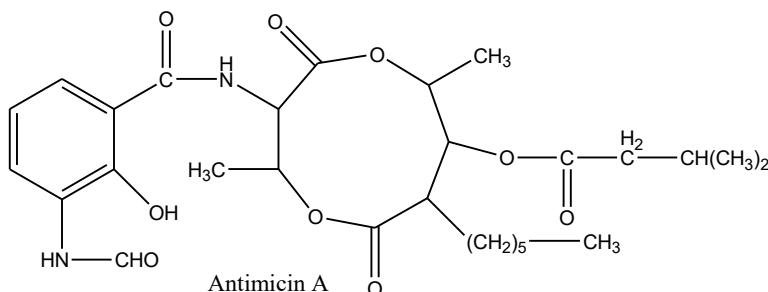


Jadi, berdasarkan penggabungan kedua siklus Q terjadi

transfer dua elektron dari CoQH_2 ke sitokrom c₁ yang terlihat dalam persamaan berikut.

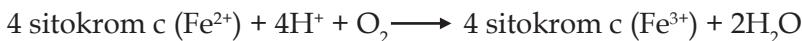


Transport elektron pada kompleks III dapat dihentikan oleh adanya inhibitor antimicin A yakni suatu antibiotik, dengan menghambat aliran elektron dari gugus heme b_H ke CoQ atau CoQ⁻.



Gambar 24. Struktur Inhibitor Koenzim Q-Sitokrom c Oksidoreduktase

Kompleks IV mengkatalisis reaksi oksidasi sitokrom c oleh O_2 , suatu molekul penerima elektron terakhir dalam rantai transport elektron: Kompleks IV atau sitokrom c oksidase mengkatalisis reaksi oksidasi satu elektron masing-masing dari empat molekul sitokrom c secara berurutan dan disaat bersamaan mereduksi empat elektron dari satu molekul O_2 .



$$\Delta E' = 0,58 \text{ V} \quad \Delta G^0 = -112 \text{ kJ/mol}$$

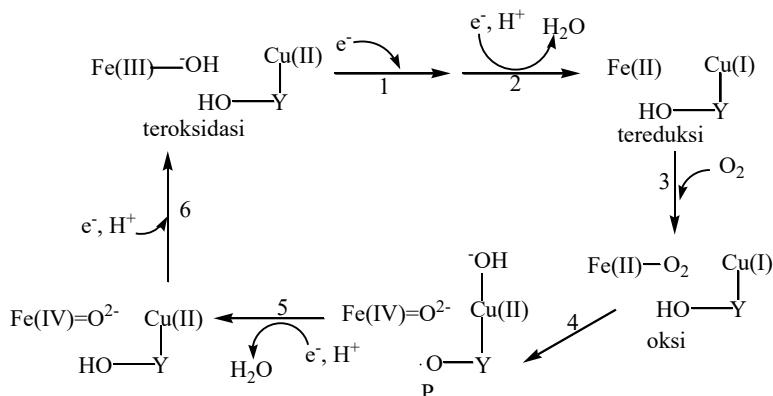
Jadi, empat elektron dialirkan ke molekul O₂ untuk direduksi sempurna menjadi H₂O dan disaat bersamaan terjadi pemompaan proton dari matriks ke ruang intermembran dalam mitokondria.

Kompleks IV mengandung empat pusat redoks yaitu sitokrom a, sitokrom a₃, suatu atom tembaga disebut Cu_B, dan satu pasangan atom tembaga yaitu pusat Cu_A. Pusat Cu_A terikat di subunit II dan berada sekitar 8Å diatas permukaan membran. Kedua ion tembaga dalam pusat Cu_A membentuk suatu jembatan dengan atom sulfur dari dua residu sistein yang memberikan geometri mirip dengan kluster [2Fe-2S]. Sementara Cu_B, sitokrom a, dan sitokrom a₃ terikat pada subunit I dan berada sekitar 13Å dibawah permukaan membran. sitokrom a dan sitokrom a₃ berbeda dengan sitokrom c dan sitokrom c₁ dalam beberapa hal seperti (1) gugus formil menggantikan gugus metil; (2) gugus heme tidak terikat dengan protein; dan (3) gugus vinil digantikan oleh rantai hidrokarbon C₁₅.

Studi spektroskopi menunjukkan bahwa transfer elektron dalam kompleks IV berlangsung linier dari sitokrom c ke pusat Cu_A lalu ke sitokrom a, kemudian terakhir ke sitokrom a₃ dan Cu_B. Ion Feⁿ⁺ dalam gugus heme sitokrom a₃ berjarak hanya 4,9Å dari Cu_B sehingga kedua pusat redoks ini membentuk satu kompleks binuklear Elektron bergerak antar pusat redoks dalam kompleks IV melalui suatu jaringan ikatan hidrogen yang menyertakan rantai samping asam amino, tulang punggung polipeptida, dan rantai samping propionat dari gugus heme.

Mekanisme transfer dan pergerakan elektron di empat pusat redoks dalam kompleks IV meliputi tahapan yaitu (1)

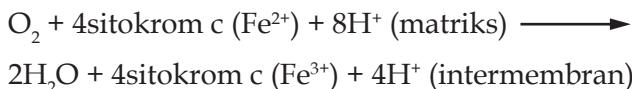
kompleks binuklear dalam keadaan teroksidasi yaitu $[Fe(III)a_3-OH\cdot Cu(II)_B]$ direduksi menjadi $[Fe(II)a_3Cu(I)_B]$ oleh transfer dua elektron dari sitokrom c melalui sitokrom a dan Cu_A ; (2) satu proton dikonsumsi dari matriks menghasilkan H_2O dan residu tirosin-244 sebagai bagian dari pusat redoks Cu_B berada dalam keadaan fenolik, $Y-OH$; (3) molekul O_2 terikat pada kompleks binuklear dalam keadaan tereduksi dan menjadi ligan bagi $Fe(II)a_3$; (4) elektron internal melakukan distribusi ulang secara cepat menghasilkan kompleks oksiferil, $[Fe(IV)=O^2\cdot HO\cdot -Cu(II)]$, dimana residu tirosin-244 mendonasikan satu elektron dan satu proton ke kompleks oksiferil sehingga menyisakan suatu radikal, $Y-O$, yang dirujuk sebagai senyawa antara peroksi (P); (5) transfer elektron ketiga dari sitokrom c bersamaan dengan penerimaan dua proton mengubah kembali residu tirosin-244 dalam kondisi fenolik menghasilkan senyawa antara feril (F) dan melepaskan satu molekul H_2O ; (6) transfer elektron keempat dan penerimaan proton menghasilkan kompleks binuklear dalam keadaan teroksidasi kembali yaitu $[Fe(III)a_3-OH\cdot Cu(II)_B]$.



Gambar 25. Transfer Elektron melalui Sitokrom c Oksidoreduktase

Pemompaan proton terjadi dalam dua perubahan terakhir yaitu dari senyawa antara peroksi ke molekul air. Empat proton dipindahkan ke ruang intermembran melalui membran dalam organel mitokondria ketika sepasang elektron mengalir melalui sitokrom c oksidase.

Reaksi yang dikatalisis oleh sitokrom c oksidase berkontribusi dalam pembentukan gradien proton transmembran melalui dua cara yaitu pertama, empat proton skalar diambil dari matriks selama terjadi reaksi reduksi O_2 yang dikatalisis oleh sitokrom c oksidase menghasilkan 2 molekul H_2O yang menyebabkan penurunan konsentrasi $[H^+]$ dalam matriks. Kedua, reaksi reduksi empat elektron dipasangkan dengan pemompaan empat proton vektorial dari matriks ke ruang intermembran.



Jadi, matriks kehilangan delapan muatan positif, $8H^+$, menyebabkan terbentuknya perbedaan potensial membran yang menjadi pendorong bagi sintesis ATP.

Studi sinar X menunjukkan bahwa sitokrom c oksidase mempunyai dua saluran yang potensial untuk mentransport proton yaitu saluran-K dan saluran-D. Saluran-K, dinamakan demikian karena mengandung residu lisin yang esensial. Saluran-K mendorong transport proton dari matriks melalui residu tirosin-244 ke ruang intermembran untuk reaksi reduksi O_2 sebagaimana dijelaskan diatas. Saluran-D, dinamakan demikian karena mengandung residu asam aspartat esensial. Saluran-D

meluas dari matriks sampai sekitar pusat heme a_3 -Cu_B dan terhubung dan berkomunikasi dengan ruang intermembran. Dalam kondisi demikian, saluran-D berfungsi sebagai suatu saluran keluar yang memompa proton vektorial dari matriks ke ruang intermembran.

Transport elektron pada kompleks IV dapat dihentikan oleh adanya beberapa inhibitor seperti ion sianida, CN⁻, ion N₃⁻, dan gas karbon monoksida, CO

Index

Oksidasi

Reduksi

Bilangan Oksidasi

Reaksi Autoredoks

Reduktor

Oksidator

LATIHAN SOAL

A. Soal Pilihan Ganda

Pilihlah jawaban yang paling tepat!

1. Manakah diantara reaksi berikut yang merupakan reaksi redoks menurut konsep *pengikatan oksigen*?
 - a. $\text{Cl}_2 + \text{I}_2 \rightarrow 2\text{Cl}^- + \text{I}_2$
 - b. $\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$
 - c. $2\text{Na} + \text{I}_2 \rightarrow 2\text{NaI}$
 - d. $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$
 - e. $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e} \rightarrow \text{Cu}$
2. Manakah diantara reaksi berikut yang merupakan reaksi reduksi menurut konsep *pengikatan oksigen*?
 - a. $\text{ZnO} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$
 - b. $\text{Cl}_2 + \text{I}_2 \rightarrow 2\text{Cl}^- + \text{I}_2$
 - c. $\text{BaCl}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{BaSO}_4 + 2\text{HCl}$
 - d. $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3$
 - e. $\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{O}_2$
3. Manakah diantara reaksi berikut yang merupakan reaksi redoks menurut konsep *transfer elektron*?
 - a. $\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$
 - b. $2\text{Na} + \text{I}_2 \rightarrow 2\text{NaI}$

- c. $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$
- d. $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{SO}_3$
- e. $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$
4. Yang termasuk reaksi oksidasi menurut konsep transfer elektron adalah
- a. $\text{Mg}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{MgSO}_4$
- b. $\text{NaCl} + \text{Ba(OH)}_2 \rightarrow \text{BaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{NaOH}$
- c. $\text{CO} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$
- d. $\text{Mg} \rightarrow \text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^-$
- e. $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$
5. Bilangan oksidasi krom dan selenium dalam senyawa $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ dan SeCl_4 adalah
- a. +6 dan +4
- b. +6 dan -4
- c. +7 dan +4
- d. +5 dan -4
- e. +3 dan +6
6. Bilangan oksidasi atom Mn tertinggi di antara senyawa berikut adalah
- a. MnO_2
- b. Mn_2O_3

- c. Mn_3O_4
d. KMnO_4
e. K_2MnO_4
7. Pada reaksi $2\text{CO} + 2\text{NO} \rightarrow 2\text{CO}_2 + \text{N}_2$
Bilangan oksidasi N berubah dari
a. +2 ke 0
b. +2 ke +1
c. +3 ke +1
d. +3 ke +2
e. +4 ke 0
8. Yang termasuk reaksi oksidasi berdasarkan kenaikan dan penurunan bilangan oksidasi adalah
a. $2\text{HCrO}_4^- \rightarrow \text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{O}$
b. $\text{Mg}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{MgSO}_4$
c. $2\text{NaCl} + \text{Ba}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{BaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$
d. $\text{CO} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$
e. $\text{TiCl}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{TiO}_2 + 4\text{HCl}$
9. Dalam reaksi berikut:
 $14\text{CuO} + 4\text{NH}_3 \rightarrow 2\text{N}_2\text{O}_4 + 6\text{H}_2\text{O} + 14\text{Cu}$
yang berperan sebagai oksidator adalah
a. CuO
b. NH₃

- c. $2\text{N}_2\text{O}_4$
- d. $6\text{H}_2\text{O}$
- e. O_2

10. Perhatikan reaksi redoks berikut:



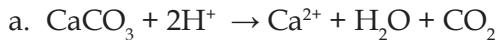
Yang berperan sebagai reduktor adalah

- a. Sn
- b. HNO_3
- c. SnO_2
- d. NO_2
- e. H_2O

11. Manakah pernyataan berikut yang tidak tepat?

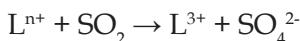
- a. Reduksi melibatkan pelepasan elektron.
- b. Oksidasi melibatkan kenaikan biloks
- c. Reduktor adalah zat yang menyebabkan zat lain teroksidasi
- d. Dalam reaksi redoks, oksidasi tidak terjadi tanpa reduksi.
- e. Oksidator adalah zat yang tereduksi.

12. Reaksi manakah yang merupakan reaksi autoredoks atau reaksi disproporsionasi?



- b. $\text{Cl}_2 + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Cl}^- + \text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O}$
- c. $2\text{CrO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$
- d. $\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4^{2+} + 4\text{NH}_3 \rightarrow \text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$
- e. $\text{Ca} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$
13. Sebanyak 19,05 gram logam L (Ar = 63,5) direaksikan dengan larutan asam nitrat encer menghasilkan 4,48 liter gas NO (STP) menurut persamaan reaksi :
- $$\text{L} + \text{H}^+ + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{L}^{n+} + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$$
- Bilangan oksidasi ion logam L setelah reaksi berlangsung adalah....
- a. -2
- b. -1
- c. +1
- d. +2
- e. +3
14. Reaksi berikut yang merupakan reaksi autoredoks adalah....
- a. $2\text{HNO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + 2\text{NO}_2$
- b. $\text{PbO}_2 + 4\text{HI} \rightarrow \text{PbI}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- c. $\text{Br}_2 + 6\text{OH}^- \rightarrow \text{Br}^- + \text{BrO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O}$
- d. $\text{NaI} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_2\text{S} + \text{I}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
- e. $\text{KMnO}_4 + \text{HCl} \rightarrow \text{KCl} + \text{MnCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Cl}_2$

15. Sebanyak 50 mL larutan yang mengandung ion logam Lⁿ⁺ 0,02 M tepat bereaksi dengan SO₂ menghasilkan 25 mL larutan SO₄²⁻ 0,04 M, menurut persamaan reaksi :



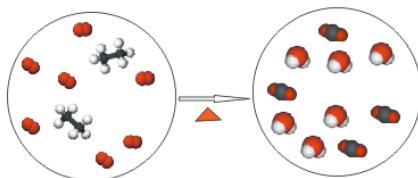
Bilangan oksidasi ion logam L sebelum reaksi adalah....

- a. +3
- b. +4
- c. +5
- d. +6
- e. +7

B. Essay

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan tepat!

1. Gas etana bereaksi dengan gas oksigen menghasilkan gas karbon dioksida dan uap air. Secara submikroskopik digambarkan sebagai berikut:



Keterangan:

- molekul oksigen
- ✗ molekul etana

- molekul karbondioksida
- molekul air

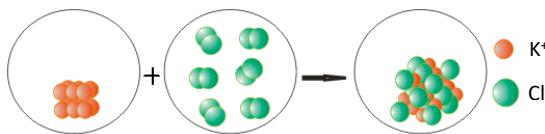
Dari gambaran submikroskopik tersebut, tuliskan persamaan reaksinya dan tentukan reaksi oksidasi dan reduksi berdasarkan konsep reaksi redoks yang kamu ketahui!

2. Logam kalium direaksikan dengan gas klor menghasilkan kalium klorida (KCl).



sumber foto: index.jpeg

Secara submikroskopik digambarkan sebagai berikut:

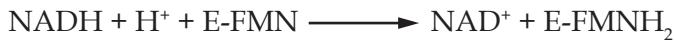


Keterangan:

- atom kalium
- molekul gas klor

Berdasarkan gambaran submikroskopik di atas, tuliskan persamaan reaksinya dan tentukan reaksi oksidasi dan reduksi berdasarkan konsep reaksi redoks yang kamu ketahui!

3. Enzim kompleks NADH dehidrogenase mengkatalisis tiga reaksi dalam rantai transport elektron dengan persamaan sebagai berikut :



Tentukan (a) senyawa pemberi elektron, (b) senyawa penerima elektron, (c) pasangan konjugasi redoks, (d) senyawa pereduksi, dan (e) senyawa pengoksidasi

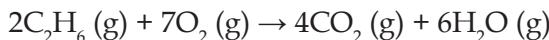
Jawaban Latihan Soal

A. Pilihan Ganda

- | | | | | |
|------|------|------|-------|-------|
| 1. B | 4. D | 7. A | 10. A | 13. D |
| 2. E | 5. A | 8. D | 11. C | 14. C |
| 3. B | 6. D | 9. A | 12. B | 15. C |

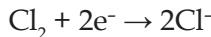
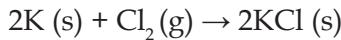
B. Essay

- Persamaan reaksi:



Berdasarkan konsep redoks pengikatan dan pelepasan oksigen, reaksi di atas merupakan reaksi oksidasi karena terjadi pengikatan oksigen oleh gas etana.

- Persamaan reaksi:



Berdasarkan konsep penangkapan dan pelepasan elektron, logam kalium mengalami **reaksi oksidasi** menjadi ion kalium dengan melepas elektron. Sedangkan gas klor mengalami **reaksi reduksi** menjadi ion klor dengan menangkap elektron.



Reduktor (pemberi elektron) = NADH

Oksidator (penerima elektron) = E-FMN

Pasangan konjugasi redoks = NADH-NAD⁺, E-FMN-E-FMNH₂



Reduktor (pemberi elektron) = E-FMNH₂

Oksidator (penerima elektron) = Fe³⁺

Pasangan konjugasi redoks = Fe³⁺-Fe²⁺, E-FMNH₂-E-FMN

DAFTAR PUSTAKA

- Bard AJ, and Faulkner LR, 1980, *Electrochemical Methods*, John Wiley and Sons, New York.
- Barke, Hans-Dieter. (2012). Two ideas of the redox reaction: Misconceptions and their challenge in chemistry education. Institute of Chemistry Didactics, University of Muenster, Germany. AJCE, 2012, 2(2).
- Bryann Hibbert D, 1993, Introduction to Electrochemistry, The Macmillan Press Ltd, London.
- Evan Alum and James AM, 1987, *Potentiometry and Ion selective Electrode*, John Wiley and Sons, New York.
- M.Nurkhozin dan Sri Mulyanti, 2017, Biokimia: Enzim dan Metabolisme Karbohidrat, CV. Andi Offset, Yogyakarta.
- Nopihargu, A., (2014), Implementasi Strategi Pembelajaran Intertekstual Pada Materi Reaksi Redoks Kelas X, Jurnal Universitas Pendidikan Indonesia, Repository.upi.edu.
- Schmidt, K. and Nielsen. 1997. Animal Physiology 5th edition. Cambridge University Press. Cambridge.
- www.wikipedia.com (akses 15 September 2019)
- www.google.com (akses 15 September 2019)
- <http://www.commons.wikimedia.org/>(akses 15 September 2019)
- http://www.scencemadness.org/smwiki/index.php/Main_Page
(akses 15 September 2019)

<https://www.bigth.com/> (akses 15 September 2019)

www.metrojambi.com(akses 15 September 2019)

www.sciencephoto.com(akses 15 September 2019)

BIOGRAFI PENULIS



Penulis merupakan putri kedua dari empat bersaudar putri bpk Utoyo dan Ibu Serih. Penulis lahir di indramayu 13 Maret 1986 dan kini sudah berkeluarga dengan Upik Hidayat dan dikaruniai dua orang putra bernama Ardhy Sakha Pradipta dan Ardhany Fachry Aryasatya.

Penulis menempuh Pendidikan SI di Universitas Pendidikan Indonesia Tahun 2004-2008 jurusan Pendidikan Kimia. Lalu di Tahun 2012 penulis kuliah kembali mengambil Master Pendidikan di Universitas Pendidikan Indonesia di jurusan Pendidikan Kimia dan lulus tahun 2014. Saat ini terhitung mulai tahun 2019 penulis sedang menempuh program doctoral di Universitas Pendidikan Indonesia prodi Pendidikan IPA. Penulis merupakan salahsatu dosen Kimia dasar di FFS UHAMKA.