

8 Reaksi dan Sifat-sifat Fisik

Bidang-bidang yang penting dalam kimia anorganik kini antara lain: sintesis organik yang menggunakan senyawa kompleks dan organologam, katalis homogen, bioanorganik untuk mengelusidasi reaksi biologis yang melibatkan logam, dan mempelajari sifat padatan seperti katalisis padatan, hantaran, kemagnetan, sifat optis. Kimia anorganik dasar, walaupun awalnya kurang berkembang dibandingkan dengan kimia organik, kini menikmati perkembangan yang cepat dan meliputi semua unsur. Konstruksi teori ikatan, struktur dan reaksi yang meliputi molekul dan padatan adalah tantangan di waktu-waktu yang akan datang.

8.1 Reaksi katalisis

Katalis menurunkan energi aktivasi reaksi dan meningkatkan laju reaksi, melalui peningkatan konstanta laju. Oleh karena itu, katalis sangat penting dalam industri kimia, penanganan gas buang dan reaksi kimia lain. Walaupun esensi katalis secara kimia agak kabur, aspek praktis katalis telah berkembang berdasarkan akumulasi pengetahuan empiris. Pengetahuan kita tentang mekanisme katalisis homogen berkembang seiring dengan perkembangan kimia anorganik, demikian juga pemahaman tentang katalisis padatan.

a Katalis homogen

Kimia katalis yang larut dalam pelarut telah berkembang dengan sangat pesat sejak penemuan **katalis Wilkinson** (1965), $[\text{RhCl}(\text{PPh}_3)_3]$. Kompleks ini berwarna ungu kemerahan yang terbentuk dengan pemanasan $\text{RhCl}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ dan PPh_3 dengan refluks dalam etanol. Bila dilarutkan dalam pelarut organik, kompleks ini merupakan katalis yang sangat baik untuk hidrogenasi hidrokarbon tak jenuh membentuk hidrokarbon jenuh pada suhu dan tekanan kamar, dan dapat juga mengkatalisis reaksi hidroformilasi olefin dengan H_2 dan CO membentuk aldehida.

Di masa lalu, mekanisme reaksi katalitik biasanya tidak jelas. Sebelum katalis Wilkinson, proses Reppe, yang mengoligomerisasi asetilen atau katalis Ziegler Natta yang mempolimerisasi olefin dan diena, telah ditemukan dan studi detail tentang katalisis homogen telah dilakukan dari sudut pandang kimia koordinasi. Selanjutnya, reaksi katalitik kini dinyatakan sebagai siklus yang terdiri atas kombinasi beberapa tahap elementer yang terjadi pada kompleks katalis.

Koordinasi dan disosiasi Harus ada proses saat reaktan seperti olefin diaktivasi dan bereaksi dengan reaktan lain setelah dikoordinasikan pada logam pusat kompleks, dan ikatan ini terdisosiasi membentuk produk.

Adisi oksidatif. Adisi oksidatif adalah satu di antara beberapa reaksi elementer kunci dalam kompleks logam. Reaksi ini adalah reaksi senyawa seperti logam alkil halida, RX, asam, HX atau dihidrogen, H₂ pada logam dalam suatu kompleks yang kemudian terdisosiasi menjadi R dan X, H dan X, H dan H, yang diikat pada logam sebagai dua fragmen anion. Bila ligan lain pada kompleks awal tidak keluar, bilangan koordinasinya meningkat sebanyak 2. Karena ligan alkil, halogen, dan hidrida lebih elektronegatif pada logam pusat, ligan-ligan ini dianggap secara formal sebagai ligan anion setelah koordinasi. Oleh karena itu, bilangan oksidasi liganinya meningkat setelah reaksi adisi ini. Karena reaksi adisi disertai dengan oksidasi logamnya, reaksi ini disebut dengan reaksi adisi oksidatif.

Misalnya, reaksi adisi alkilhalida pada kompleks iridium(I) tetra-koordinat [IrCl(CO)(PPh₃)₂],



Iridium menjadi heksa-koordinat dan mengalami oksidasi dua elektron dari +1 menjadi +3. Karena molekul RI netral ditambahkan, tidak ada perubahan muatan dalam kompleks, dan bila alkil dan iodin adalah anion, bilangan oksidasi logamnya harus meningkat sebanyak 2 satuan. Perubahan yang sama juga terjadi bila dua ligan hidrida dibentuk sebagai akibat penambahan dihidrogen.

Reaksi kebalikannya disebut **eliminasi reduktif**. Baik aksi oksidasi dan reduksi sangat penting sebagai tahap elementer dalam mekanisme katalisis homogen yang melibatkan hidrokarbon dan dihidrogen.

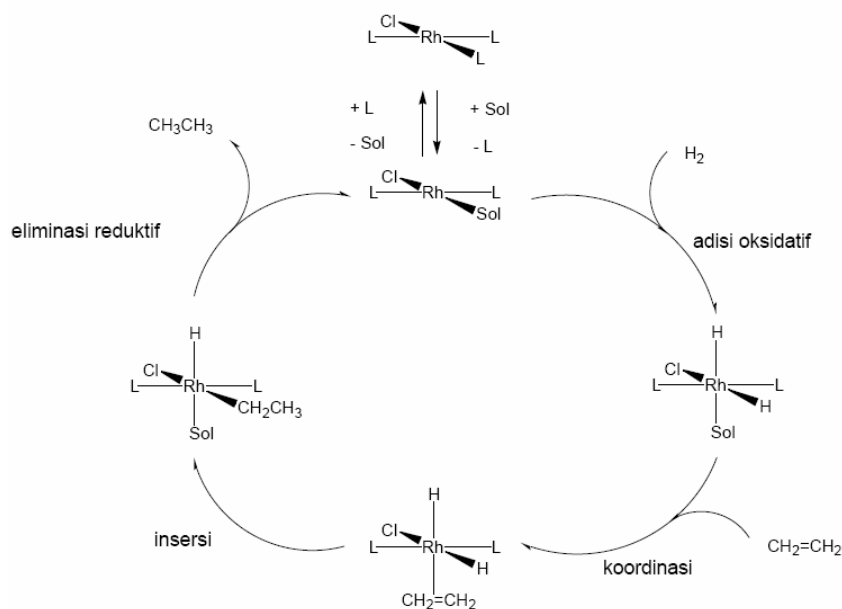
Latihan 8.1. Bagaimana bilangan oksidasi rodium berubah dengan eliminasi reduktif dihidrogen dari [RhCl(H)₂(PPh₃)₂(Sol)]?

[Jawab] Berubah dari Rh(III) ke Rh(I).

Reaksi sisipan Dalam reaksi suatu ligan alkil atau hidrida untuk menggeser karbonil atau olefin yang berada bersama logam pusat, dalam kompleks yang dihasilkan nampak seolah karbonil atau olefin disisipkan di antara ikatan M-R atau M-H. Reaksi seperti ini disebut **reaksi sisipan**.

Reaksi ligan terkoordinasi Reaksi ini adalah proses saat reaktan yang terkoordinasi bereaksi membentuk produk. Dengan terkoordinasi pada logam, reaktan mempunyai konformasi yang secara geometri dan elektronik cocok. Inilah yang menjadi dasar desain katalis untuk mengontrol kondisi.

Karena reaksi digunakan berulang sementara kompleks yang digunakan sebagai katalis tetap tidak berubah sehingga terbentuk siklus reaksi, rasio reaktan/kompleks sangat kecil, cocok dengan definisi. Sillus katalitik dalam hidrogenasi etilena diberikan di Gambar 8.1.



Gambar 8.1 Siklus katalitik hidrogenasi etilena dengan katalis Wilkinson. L adalah ligan dan Sol adalah molekul pelarut (*solvent*).

Bila ligan trifenilfosfin $\text{P}(\text{Ph})_3$ dalam katalis Wilkinson diganti dengan fosfin yang optis aktif, akan terjadi hidrogenasi asimetrik. Katalisis asimetrik ekuivalen dengan reaksi enzim yang telah dikembangkan dengan desain ligan asimetrik yang sangat unik. Khususnya, induksi asimetrik binaftilfosfin (BINAP) telah menarik banyak minat.

b Katalis padat

Katalis padat disebut juga **katalis heterogen**, dan mempromosikan reaksi dengan reaktan bewujud gas atau cair dalam kontak dengan material padat. Karena adsorpsi reaktan pada permukaan katalis merupakan tahap awal, luas permukaan yang besar diperlukan agar efisiensi katalis yang baik diperoleh. Sistem polifasa, yang mengandung katalis aktif pada material seperti zeolit dengan pori yang kecil berukuran molekular, dan gama alumina dan silika gel dengan luas permukaan besar sering digunakan.

Dulunya, katalisis padatan dijelaskan sebagai akibat aktivasi reaktan secara misterius oleh permukaan asam atau basa, dan dengan koordinasi pada permukaan logam. Kini dimungkinkan untuk mengamati interaksi-interaksi ini dengan menggunakan berbagai teknik spektroskopi (IR < EXAFS (*extended X-ray absorption fine structure*), sinar tampak), mikroskop elektron, atau STM (*scanning tunneling microscopy*).

Karena mekanisme katalisis homogen telah diklarifikasi dengan cukup maju, reaksi di permukaan padatan dapat juga dianalisis dengan menggunakan konsep seperti “kompleks permukaan” atau “senyawa organologam permukaan”. Namun, tidak seperti katalisis homogen, yang hanya melibatkan satu atau dua pusat logam, dalam katalisis padatan pusat logam yang terlibat sangat banyak. Karena kehomogenan dan kedapatulangan permukaan sangat sukar dipertahankan, sebagian besar mekanisme reaksi tidak begitu jelas bahkan untuk reaksi sederhana seperti sintesis amonia.

Selama produksi langsung amonia dari nitrogen dan hidrogen, reaksi berlangsung dengan menggunakan katalis besi yang mengandung logam alkali atau alkali tanah sebagai aktivator pada suhu tinggi (sekitar 450 °C) dan tekanan tinggi (sekitar 270 atm). Sebelum ditemukan katalis yang sangat tenar ini oleh F. Haber (1909), semua senyawa nitrogen berasal dari alam. Penemuan ini mempunyai dampak yang sangat tak hingga besarnya pada industri kimia, karena amonia adalah bahan yang tak dapat digantikan dalam produksi pupuk, serbuk mesiu, dan bahan anorganik lain yang mengandung nitrogen. Untuk menghargai ini tahun 1918 F. Haber dianugerahi hadiah Nobel. Sejumlah besar riset sampai saat ini telah dilakukan untuk mengeluisasi mekanisme reaksi sintesis amonia, maka reaksi nitrogen dan hidrogen di atas permukaan katalis besi merupakan model yang baik untuk katalisis padatan.

8.2 Bioanorganik

Banyak reaksi biologis yang diketahui melibatkan ion logam. Terdapat juga berbagai logam yang dikenal sebagai unsur-unsur esensial, walaupun perannya dalam organisme hidup masih belum jelas. Bioanorganik, yakni studi fungsi logam dalam sistem biologis dengan menggunakan pengetahuan dan metoda kimia anorganik telah berkembang dengan pesat akhir-akhir ini.

Berikut adalah daftar zat boaktif khas yang mengandung logam:

- pembawa elektron. Fe: sitokrom, protein besi-belerang. Cu: protein tembaga biru.
- senyawa penyimpan logam. Fe: feritin, transferin. Zn: metalotionin.
- bahan pentransport oksigen. Fe: hemoglobin, mioglobin. Cu: hemosianin.
- fotosintesis. Mg: khlorofil
- hidrolase. Zn: karboksilpeptidase, Mg: aminopeptidase.
- oksidoreduktase. Fe: oksigenase, hidrogenase. Fe, Mo: nitrogenase.
- isomerase. Fe: akonitase. Co: koenzim vitamin B12.

Dasar reaksi metaloenzim adalah:

- aktivasi koordinatif (pembentukan koordinasi, penyumbangan elektron, efek sterik)
- redoks (oksidasi logam),
- komunikasi informasi

dan dalam banyak kasus, lingkungan reaksi diatur dengan biopolimer misalnya protein, dan reaksi selektif dilakukan. Contoh aksi logam selain metaloenzim meliputi:

- Mg: transfer energi MgATP
- Na/K: pompa ion
- Ca: transfer fungsi hormon, kontraksi otot, transfer syaraf, koagulasi darah.

a Oksidasi

Reaksi oksidasi dalam sistem hidup sangat penting, dan banyak studi sistem ini telah dilakukan. Khususnya, mekanisme transport gas oksigen oleh hemoglobin dan oksidasi mono-oksigen oleh senyawa besi-porfirin yang disebut P-450 telah dipelajari dengan detail. Transport gas oksigen, yang telah dipelajari beberapa tahun dideskripsikan di bawah ini. Besi dalam hemoglobin porfirin dan mioglobin dan senyawa tembaga hemosianin terlibat dalam transport gas oksigen dalam sel organisme hidup. Dasar fungsi transport ini adalah ikatan dan disosiasi reversibel antara oksigen dengan ion besi atau tembaga. Agar dapat melakukan fungsi ini, logam harus dalam bilangan oksidasi dan lingkungan yang cocok untuk koordinasi oksigen yang reversibel. Senyawa hemoglobin porfirin besi didapatkan dalam darah merah manusia dan beberapa hewan.

Hemoglobin memiliki struktur besi heme dan empat satuan porfirin yang berkombinasi dengan protein globin. Dioksigen yang ditransport dalam darah dikoordinasikan pada ion Fe(II) dalam satuan heme tersebut. Ion Fe (II) dalam keadaan penta-koordinat dengan empat atom nitrogen porfirin dan atom nitrogen histidin polipeptida, dan menjadi heksa-koordinat ketika dioksigen berkoordinasi dengan ion tersebut. Keadaan spin besi akan berubah dari spin tinggi ke rendah dengan berkoordinasinya oksigen. Fe(II) spin tinggi akan ada di atas bidang porfirin karena ion ini terlalu besar untuk dapat masuk ke dalam ruang yang tersedia. Ketika ion Fe(II) menjadi spin rendah dengan koordinasi oksigen, ukuran ini akan menurun dan kini dapat masuk dalam ruang cincin porfirin.

Pergerakan tingkat molekular ini telah menarik minat riset efek alosterik karena pergerakan ini akan mempengaruhi keseluruhan protein melalui histidin yang terkoordinasi dan menentukan ikatan tertentu dalam molekul dioksigen. Oksidasi ion Fe(II) dalam molekul heme dicegah oleh protein, dan bila besi heme diambil dari protein, ion Fe(II) akan dioksidasi menjadi Fe(III), dan dua cincin porfirin dijembatani oleh peroksida $\mu\text{-O}_2^{2-}$, yang akhirnya menjadi struktur $\mu\text{-O}_2$.

Bila heme dalam keadaan ini, heme akan kehilangan kemampuan berkoordinasi dengan molekul oksigen. Berdasarkan fenomena ini, porfirin sintetik yang dapat secara reversibel berkoordinasi dengan oksigen dengan menekan dimerisasi besi porfirin telah dikembangkan, dan dinamakan porfirin pagar piket, karena bentuk tiga dimensinya.

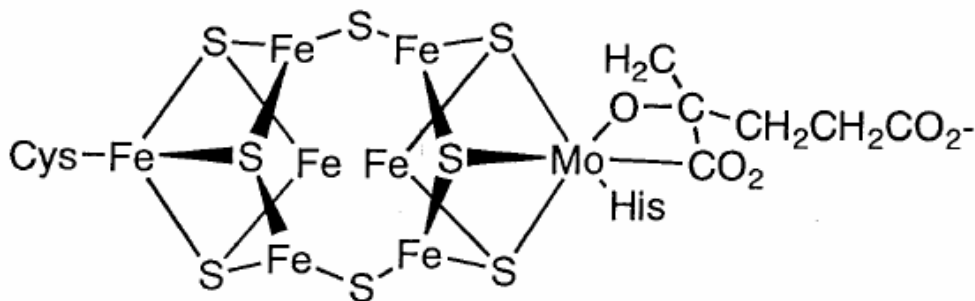
b Fiksasi nitrogen

Reaksi yang mengubah nitrogen di udara menjadi amonia adalah dasar kehidupan. Fiksasi nitrogen, reaksi yang mengikat nitrogen di atmosfer menjadi amonia, dilakukan oleh Rhizobium di akar tumbuhan polong-polongan atau oleh bakteri di alga dalam atmosfer anaerobik. Semua hewan, tanaman, termasuk manusia, bergantung pada fiksasi nitrogen biologis untuk mendapatkan nitrogen bagi penyusunan protein dan senyawa lain yang mengandung nitrogen sebelum ada proses Harber-Bosch.



(Pi adalah fosfat anorganik).

Suatu enzim yang dinamakan nitrogenase mengkatalisis reaksi ini. Nitrogenase mengandung protein besi-belerang dan besi-molibdenum, dan mereduksi nitrogen dengan koordinasi dan transfer elektron dan proton secara kooperatif, dengan menggunakan MgATP sebagai sumber energi. Karena pentingnya reaksi ini, usaha-usaha untuk mengklarifikasi struktur nitrogenase dan mengembangkan katalis artifisial untuk fiksasi nitrogen telah dilakukan secara kontinyu selama beberapa tahun. Baru-baru ini, struktur pusat aktif nitrogenase yang disebut dengan kofaktor besi-molibdenum telah ditentukan dengan analisis kristal tunggal dengan sinar-X (Gambar 8.2). Menurut hasil analisis ini, strukturnya memiliki kluster Fe_3MoS_4 dan Fe_4S_4 yang dihubungkan melalui S.



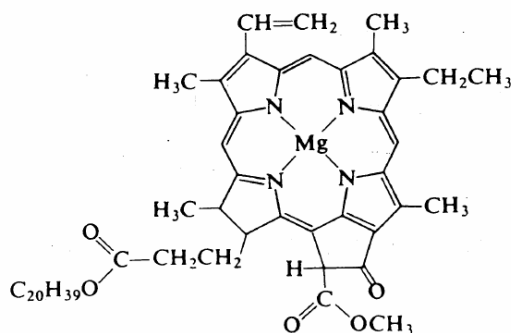
Gambar 8.2 Struktur kofaktor Fe-Mo dalam nitrogenase.

Dipercaya bahwa dinitrogen diaktivasi dengan koordinasi antara dua kluster. Di pihak lain, bagian yang disebut dengan kluster *p* yang terdiri dari dua kluster Fe_4S_4 clusters. Peran dan mekanisme reaksi kedua kluster ini belum jelas.

c Fotosintesis

Pembentukan glukosa dan oksigen dengan reaksi antara karbon dioksida dan air adalah reaksi yang menggunakan fotoenergi dan peran kunci khlorofil sangat menentukan. Khlorofil (Gambar 8.3) adalah suatu magnesium porfirin dan kompleks kluster mangan. Suatu khloroplas mengandung fotosistem I (PSI) dan fotosistem II (PSII) yang menggunakan energi cahaya untuk mereduksi karbondioksida dan mengoksidasi air.

Khlorofil adalah komponen fundamental PSI. Khlorofil adalah kompleks porfirin magnesium dan bertanggung jawab atas warna hijau daun. Khlorofil memainkan peran yang penting dalam menerima energi cahaya dan mentransfernya menjadi sistem reaksi redoks. Khlorofil dieksitasi dari keadaan dasar singlet ke keadaan eksitasi singlet dengan cahaya, energi keadaan tereksitasinya ditransfer ke suatu akseptor dalam waktu 10 ps, dan energi hasilnya mereduksi kompleks besi-belerang dan akhirnya digunakan untuk mereduksi karbondioksida dalam reaksi gelap di tahap selanjutnya. Karena pemisahan muatan oleh eksitasi fotokimia adalah tahap pertama yang paling penting, studi tentang transfer elektron yang diinduksi oleh cahaya telah dilakukan dengan aktif dengan berbagai senyawa porfirin sebagai model khlorofil. PSI, yang mendapatkan energi pengoksidasi dari transfer elektron, mengubah ADP menjadi ATP.



Gambar 8.3 Khlorofil a.

Di pihak lain, bentuk teroksidasi PSII mengoksidasi air melalui rantai reaksi redoks kompleks kluster okso dari mangan, dan menghasilkan oksigen. Karena empat elektron berpindah dalam

reduksi Mn(IV) menjadi Mn (II) dalam reaksi ini, paling tidak ada dua spesi mangan yang terlibat. Kemungkinan besar, kompleks kluster yang mengandung dua Mn(II) dan dua Mn(IV) memediasi transfer elektron melalui empat tahap reaksi. Namun, detail reaksi ini belum jelas sebab sangat sukar untuk mengisolasi kluster ini dan untuk menganalisis strukturnya. Tahap transfer elektron sedang dipelajari saat ini dengan berbagai kompleks mangan sebagai sistem model.

Fotosintesis adalah tema riset yang sangat menarik dalam bioanorganik karena melibatkan beberapa ion logam, porfirin, kluster oksida dan sulfida yang menyusun siklus transfer elektron dan reaksi redoks, dan menghasilkan gas oksigen dengan fotolisis air dan menghasilkan karbohidrat dari reaksi gelap reduktif. Baru-baru ini, pusat reaksi bakteri fotosintetik telah dikristalisasi dan J. Deisenhofer dan koleganya mendapatkan hadiah Nobel karena berhasil menyelesaikan strukturnya dengan analisis struktural (1988).

Latihan 8.2 Berikan contoh senyawa-senyawa kecil yang sangat penting dalam kehidupan.

[Jawab] H_2O , O_2 , N_2 , CO_2 .

8.3 Sifat-sifat fisik

Jelas bahwa material yang berdasarkan sifat-sifat fisik padatan anorganik memainkan peran yang sangat menentukan dalam industri dan kehidupan yang sarat teknologi saat ini. Orang mungkin beranggapan bahwa bidang ini merupakan bidang kajian fisika material. Namun, kontribusi kimiawan dalam preparasi material dan analisis struktur telah sangat banyak dibandingkan yang lain. Sains material adalah aplikasi dari sifat-sifat fisik material, sedemikian sehingga antara teori dan aplikasinya bertemu. Oleh karena itu, dengan melakukan survei aplikasinya dalam bidang seperti ini, garis besar tema riset dan tujuannya dapat dipahami. Material anorganik penting disurvei dengan sudut pandang hubungan antara preparasi dan isolasi, dan struktur dan sifat fisiknya.

a Sifat elektrik

Semikonduktor adalah konduktor listrik dengan hambatan dalam rentang sekitar 10^4 sampai 10^8 ohms. Suatu semikonduktor khas adalah silikon berkemurnian tinggi yang dihasilkan dalam skala besar dan digunakan secara luas untuk alat pemroses informasi seperti komputer dan alat konversi energi seperti sel surya. VLSI (*very large-scale integrated circuits*) dicetak pada wafer yang dibuat dari kristal silikon yang hampir tanpa cacat dengan diameter tidak kurang dari 20 cm, kristal ini

dipreparasi dari silikon serbuk dengan metoda Czochralski. *Chips* memori dengan integrasi yang sangat tinggi dan juga chips komputer berefisiensi tinggi baru-baru ini saja dapat dibuat.

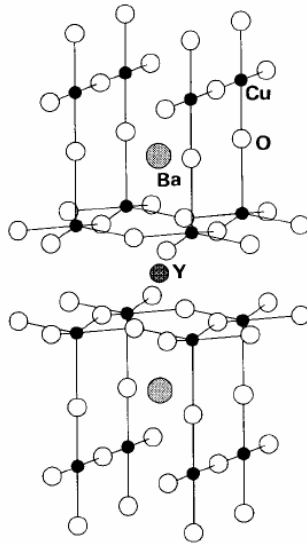
Dalam tabel periodik pendek, silikon adalah unsur golongan IV dan memiliki empat elektron valensi. Walaupun semikonduktor silikon kini hampir merupakan 90% atau lebih semua semikonduktor, senyawa golongan II-VI atau III-V dengan stoikiometri 1:1 yang isoelektronik juga merupakan senyawa semikonduktor dan juga digunakan dalam alat elektronik berkecepatan tinggi maupun alat optik. Misalnya, ZnS, CdS, GaAs, InP, dsb adalah senyawa semikonduktor khas dan pengembangan teknologi untuk menumbuhkan kristal tunggal material ini sangat pesat. *Light emitting diodes* (LED) dan laser semikonduktor adalah aplikasi penting senyawa-senyawa semikonduktor.

Karena semikonduktor lapis tipis dibuat dengan *MBE* (*molecular beam epitaxy*) atau *MOCVD* (*metallorganic chemical vapor deposition*), senyawa organologam khusus, seperti trimetil galium $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$ dan trimetilarsen $\text{As}(\text{CH}_3)_3$, yang awalnya tidak terlalu banyak aplikasinya, kini banyak digunakan di industri.

Latihan 8.3 Senyawa mana selain yang diberikan di teks di atas akan menghasilkan semikonduktor?

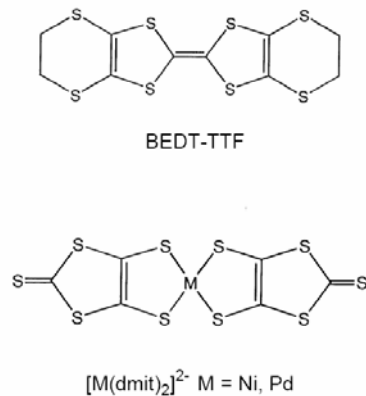
[Jawab] ZnO, CdS, PbS, GaP, dan InSb.

Superkonduktivitas adalah gejala hilangnya hambatan listrik di bawah suhu fisik dan kritis, T_c , dan ditemukan oleh Kamerlingh Onnes (pemenang Nobel fisika 1913), yang berhasil mencairkan helium dalam percobaannya mengukur hambatan listrik merkuri pada suhu ultra rendah. Sekitar 1/4 unsur, seperti Nb ($T_c = 9.25$ K), In, Sn, dan Pb berperilaku sebagai superkonduktor dan lebih dari 1000 paduan dan senyawa antarlogam juga superkonduktor, tetapi hanya paduan Nb-Ti ($T_c = 9.5$ K) dan Nb_3Sn ($T_c = 18$ K) yang digunakan dalam aplikasi. Nb_3Sn , Nb_3Ge , V_3Ga , dsb berstruktur kubus jenis A-15 (nomor pengelompokan struktur, pentj), dengan atom logam disusun dalam rantai, dan jarak antar atom lebih pendek dari jarak antar atom dalam kristal logamnya, yang berakibat naiknya kerapatan tingkat energi elektron pita konduksi dan naiknya temperatur kritis, T_c .



Gambar 8.4 Struktur $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$.

Di antara senyawa anorganik superkonduktor, senyawa khalkogen molibdenum $\text{M}_x\text{Mo}_6\text{X}_8$ ($\text{X}=\text{S}$, Se , Te dan $\text{M}=\text{Pb}$, Sn , dsb) yang disebut **fasa Chevrel** dan superkonduktor bertemperatur kritis tinggi turunan tembaga oksida, yang ditemukan oleh J. G. Bednortz dan K. A. Müller tahun 1986 (pemenang Nobel fisika 1987), telah menarik banyak minat orang. Fasa Chevrel memiliki struktur (lihat bagian 4.4) dengan satuan kluster heksanuklir molibdenum saling berhubungan. Senyawa fasa Chevrel dengan T_c tertinggi adalah PbMo_6S_8 yang hanya 15 K, tetapi keadaan superkonduktornya tidak rusak bahkan dengan keberadaan medan magnet kuat. Dalam sistem tembaga oksida, lebih dari 100 senyawa yang mirip telah dipreparasi sejak penemuan Bednortz dan Muller, dan T_c tertinggi yang dicapai adalah 134 K. Senyawa khas di sini adalah $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (Gambar 8.4) yang berstruktur dengan piramida segiempat CuO_5 dan bidang CuO_4 dihubungkan dengan penggunaan sudut bersama, ion Ba dan Y disisipkan kedalamnya, kandungan oksigennya non-stoikiometrik.



Gambar 8.5 Donor dan akseptor dalam superkonduktor kompleks.

Superkonduktor molekular pun telah dipelajari. Senyawa kompleks donor-akseptor yang terdiri dari TTF dan BEDT-TTF (Gambar 8.5) sebagai donor elektron, dan ClO_4^- atau $[Ni(dmit)_2]^{2-}$ sebagai akseptor elektron. Contoh pertama superkonduktor jenis ini ditemukan tahun 1980, dan sekitar 50 kompleks saat ini sudah dikenal, T_c tertingginya adalah 13K. Baru-baru ini (1991) fullerene C_{60} yang didoping dengan logam alkali menunjukkan T_c sekitar 30 K.

Walaupun sudah ribuan superkonduktor dikenal, hanya beberapa dari senyawa tersebut yang digunakan dalam aplikasi. Karena senyawa superkonduktor tersebut sangat rapuh: sehingga sukar dibuat menjadi kawat atau sukar juga dibuat kristal tunggalnya. Oleh karena itu, nampaknya perlu waktu yang cukup sebelum material ini dapat dimanfaatkan. Oleh karena itu, terutama yang dimanfaatkan untuk kawat adalah Nb-Ti yang digunakan sebagai magnet superkonduktor dalam NMR analitik, MRI (magnetic resonance imaging instrument) medis atau kereta maglev, dsb. Usaha-usaha kini dikonsentrasikan pada penemuan material yang sifat mekanik dan sifat-sifat lainnya cocok dengan kerjasama antara kimia anorganik dan fisika zat padat. Berbagai oksida logam bersifat termistor (*temperature sensitive resistance*), varistor (*nonlinear resistance device*), kapasitor, dsb. Misalnya, $BaTiO_3$ dan $SrTiO_3$, dengan struktur perovskit, dsb dapat digunakan untuk alat-alat tadi. Bahan yang bersifat konduktor ionik atau yang disebut dengan elektrolit padat misalnya α -AgI, β - Al_2O_3 , zirkonia terstabilkan (sebagian Zr dalam ZrO_2 diganti dengan Ca atau Y), dsb. digunakan dalam baterai padat dan sel bahan bakar.

b Kemagnetan

Bahan magnetik dibagi atas material magnetik keras (magnet permanen) dan magnet lunak. Magnet permanen tak dapat dipisahkan dari mesin yang menggunakan motor dan MRI, yang memerlukan medan magnet besar. Jepang yang memiliki tradisi kuat dalam pengembangan magnet, dan telah memiliki material magnet yang membuat sejarah untuk penggunaan praktis. Magnet Alnico dengan Fe, Ni dan Al sebagai penyusun utamanya, magnet ferit yang berkomposisi larutan padat CoFe_2O_4 dan Fe_3O_4 , magnet tanah jarang-kobal seperti SmCo_5 , dan magnet Nb-Fe-B khususnya sangat penting perkembangannya. Karena magnet lunak akan termagnetisasi dengan kuat di medan magnet yang lemah, material ini digunakan sebagai inti transformator. Sifat magnet keras sangat penting untuk mempertahankan informasi, sementara sifat magnet yang lunak diperlukan untuk perekaman dan penghapusan serta penimpahan informasi dalam material perekam magnetik seperti tape, dikset, dan hard disk. Walaupun $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ adalah serbuk magnetik khas yang digunakan untuk kegunaan ini, Co^{2+} atau kristalin CrO_2 ditambahkan pada besi oksida tadi untuk meningkatkan sifat magnetiknya. Bahan perekam dan alat semikonduktor telah merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dari masyarakat informasi sekarang ini, dan peran yang dimainkan kimia anorganik dalam peningkatan kinerja material ini sangat signifikan. Baru-baru ini, feromagnet senyawa organik atau kompleks logam telah ditemukan, dalam senyawa ini spin yang tidak berpasangan terletak paralel dalam molekul dan dikopling secara feromagnetik. Magnet molekular telah pula menjadi topik yang intensif dipelajari. Desain molekular untuk mengkopling kompleks logam paramagnetik dan membuat spinnya paralel adalah topik yang menarik dalam kimia koordinasi.

c Sifat optis

Sebagian besar senyawa anorganik digunakan untuk aplikasi optis. Fiber optis khususnya telah digunakan untuk komunikasi optis dalam skala dan berdampak sosial besar dalam komunikasi informasi. Sifat penting dari material gelas optis yang baik adalah transmisi informasi ke jarak jauh dengan kehilangan optis (*optical loss*) sekecil mungkin. Serat silika difabrikasi dengan memanjangkan batang gelas silika yang dihasilkan dari butir silika. Silika ini dibuat dari SiCl_4 ultra murni, yang dioksidasi dalam fas uap dengan nyala oksihidrogen. Kehilangan optis sepanjang serat yang diperoleh dengan metoda ini telah mencapai batas teoritis, gelas fluorida digunakan dalam pencarian material dengan kehilangan optis yang lebih rendah.

Senyawa semikonduktor semacam GaP digunakan meluas sebagai laser pemancar cahaya untuk komunikasi optis, CD player, printer laser, dsb. Laser dengan output tinggi YAG juga dibuat dari yttrium aluminum garnet $Y_3Al_5O_{12}$ yang didoping neodimium. $Y_3Al_5O_{12}$ merupakan oksida ganda dari Y_2O_3 dan Al_2O_3 . Kristal tunggal litium niobat, $LiNbO_3$, digunakan sebagai pengubah panjang gelombang dengan menggunakan efek SHG (*second harmonic generation*) fenomena optis nonlinear.

Soal

8.1 Tuliskan siklus reaksi katalitik reaksi hidroformilasi yang menggunakan $[RhH(CO)(PPh_3)_3]$ sebagai katalis.

8.2 Deskripsikan perbedaan sintesis amonia dengan proses Haber-Bosch dan reaksi fiksasi nitrogen biologis.

8.3 Senyawa paduan logam bertipe A-15 seperti Nb_3Sn memiliki struktur kristal kubus dengan komposisi A_3B . Bagaimana cara menempatkan atom-atom ini dalam sel satuan? Tunjukkan salah satu kemungkinannya.

Korelasi struktur-sifat

Karena semua unsur yang ada secara alami telah ditemukan, berbagai modus ikatan telah ditetapkan dan struktur senyawa dengan mudah ditentukan, studi sifat kimia senyawa anorganik memberikan jalan untuk mempelajari sifat fisika dan reaksinya. Sintesis senyawa baru dan elusidasi korelasi struktur dan fungsi merupakan fondasi studi ini, walaupun akhir dari studi ini masih sangat jauh.

Cukup sukar secara kualitatif untuk menjelaskan kestabilan termal senyawa anorganik yang telah diketahui dengan menggunakan pengetahuan kimia teori dan hampir tidak mungkin untuk secara penuh mendesain senyawa dengan metoda rasional. Walaupun selektivitas reaksi katalitik dapat sedikit banyak dijelaskan, perhitungan teoritik laju reaksi masih tetap sukar. Hubungan superkonduktivitas dan struktur juga belum diketahui dengan baik, dan suhu kritisnya pun belum dapat diprediksi. Banyak struktur dan fungsi metaloenzim yang merupakan dasar aktivitas biologis masih belum diketahui. Masalah riset yang dihadapi generasi kimiawan anorganik masih banyak dan solusi baru dapat diantisipasi.