

Terminologi-Karakteristik-Metode Pendeteksian-Aplikasi, Klasifikasi, Tatanama dan Isomerisasi Senyawa Koordinasi

Drs. Momo Rosbiono, M.Pd., M.Si.



PENDAHULUAN

Modul ini merupakan modul pertama dari enam modul yang akan dibicarakan. Modul ini terdiri atas empat kegiatan belajar.

Kegiatan Belajar 1: Terminologi, Karakteristik Metode Pendeteksian dan Aplikasi Senyawa Koordinasi, membahas tentang permasalahan dalam senyawa koordinasi,

Kegiatan Belajar 2: Klasifikasi Senyawa Koordinasi, membahas tentang jenis-jenis senyawa kompleks berdasarkan penggabungannya

Kegiatan Belajar 3: Tata nama dan Isomerisasi Senyawa Koordinasi, yang membahas tentang pemberian nama senyawa koordinasi dan isomerisasi

Setelah mempelajari modul satu ini, Anda diharapkan memiliki kemampuan mendeskripsikan tentang Terminologi-Karakteristik-Metode pendeteksian-Aplikasi, Klasifikasi, Tata nama dan Isomerisasi Senyawa Koordinasi

Secara lebih khusus setelah mempelajari modul ini diharapkan Anda mampu mendeskripsikan :

1. Terminologi, karakteristik, metode pendeteksian, dan aplikasi senyawa koordinasi.
2. Pengklasifikasian senyawa koordinasi.
3. Penamaan dan isomerisasi senyawa koordinasi.

Kemampuan yang harus dimiliki dari modul pertama ini sangat penting, sebagai dasar memahami sifat-sifat yang dimiliki senyawa koordinasi yang akan dipelajari pada modul berikutnya.

Agar Anda dapat berhasil dengan baik dalam memahami isi modul satu ini, ikutilah petunjuk belajar berikut ini.

1. Bacalah dengan seksama pendahuluan, uraian, dan rangkuman pada setiap kegiatan belajar dari modul ini.
2. Identifikasi konsep-konsep penting, cermati isi konsepnya kemudian buat peta konsepnya.
3. Diskusikan dengan teman Anda atau orang yang dipandang mampu menjelaskan tentang konsep yang belum Anda pahami.
4. Kerjakan latihan soal hingga penguasaan Anda lebih dari 80%. Bekerjalah dengan sungguh-sungguh, berdoa dengan penuh keikhlasan agar proses belajar Anda merupakan salah satu bagian ibadah kepada-Nya, dan percayalah terhadap potensi yang Anda miliki.

KEGIATAN BELAJAR 1

Terminologi, Karakteristik, Metode Pendeteksian, dan Aplikasi Senyawa Koordinasi

A. TERMINOLOGI DALAM SENYAWA KOORDINASI

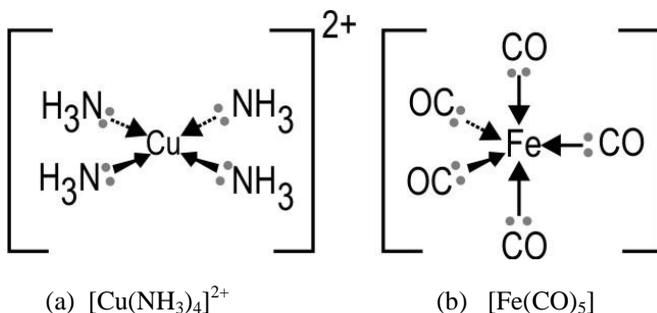
Pada Modul 1 Anda mempelajari senyawa koordinasi dan akan Anda temui beberapa terminologi atau peristilahan di antaranya yaitu ion kompleks, senyawa koordinasi, logam pusat, muatan logam pusat, muatan ion kompleks, ligan dan bilangan koordinasi.

1. Ion Kompleks

Ion ini dapat dimaknai dalam dua pengertian, yaitu:

- ion yang terbentuk sebagai hasil gabungan antara ion atau atom logam pusat dengan molekul netral atau ion melalui ikatan kovalen koordinasi;
- ion yang mampu terdisosiasi dalam larutan (air) dan mengadakan kesetimbangan dengan komponen-komponennya.

Di dalam ion kompleks $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ dengan struktur (Gambar 1.1a) dapat Anda perhatikan bahwa sebagai ion logam pusatnya adalah Cu^{2+} dan molekul-molekul netral yang diikatnya adalah amonia (NH_3) melalui ikatan kovalen koordinasi yang ditunjukkan oleh tanda panah yang mewakili pasangan elektron bebas dari atom nitrogen (N) dalam molekul amonia. Sedangkan dalam senyawa kompleks $[\text{Fe}(\text{CO})_5]$ dengan struktur (Gambar 1.1b) merupakan molekul kompleks.



Gambar1.1.
Contoh Ion dan Molekul Kompleks

Untuk ion kompleks $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ akan berkesetimbangan dengan ion Cu^{2+} dan NH_3



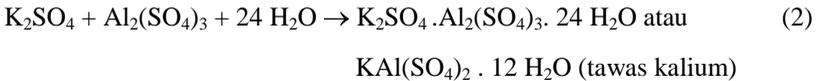
Perlu Anda ingat, bahwa ion-ion sederhana seperti SO_4^{2-} , NO_3^- dan ClO_3^- dalam larutan tidak terdisosiasi lagi menjadi komponen-komponennya.

2. Senyawa Koordinasi

Senyawa koordinasi diartikan sebagai senyawa yang mengandung ion atau molekul kompleks. Ion kompleks yang ada di dalam senyawa koordinasi tersebut dapat berupa kation, anion atau keduanya. Misalnya kalium heksasianoferat (II), $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ adalah senyawa koordinasi yang mengandung kation sederhana K^+ dan anion kompleks $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$. Oleh karena senyawa koordinasi selalu memiliki ion atau molekul kompleks, sehingga senyawa koordinasi sering juga disebut *senyawa kompleks*. Kata senyawa yang dimaksudkan dalam senyawa koordinasi atau senyawa kompleks tidak lain adalah berupa garam. Sehubungan dengan pengertian ini, maka senyawa koordinasi atau senyawa kompleks sering juga dinamakan *garam kompleks*. Perlu Anda ketahui, ada dua kemungkinan garam yang akan terbentuk ketika dua garam sederhana atau lebih dicampurkan secara stoikiometri, yaitu:

- Garam yang identitasnya hilang ketika berada dalam larutan (pelarut air). Garam semacam ini dinamakan garam rangkap (double salt).
- Garam yang identitasnya tetap ketika berada dalam larutan (pelarut air). Garam semacam ini dinamakan garam kompleks (complex salt).

Contoh garam rangkap adalah tawas kalium dalam persamaan kimia berikut.



Ketika tawas kalium ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$) dilarutkan dalam air, dalam larutan akan terdapat ion-ion K^+ , Al^{3+} , SO_4^{2-} , (H_3O^+ dan OH^- yang berasal dari air). Ion-ion ini pun sama seperti yang dihasilkan dari garam sederhana pembentuknya (K_2SO_4 dan $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Padahal kalau Anda perhatikan bahwa bentuk kristal tawas kalium berbeda dari bentuk kristal kalium sulfat maupun aluminium sulfat. Hal ini menunjukkan bahwa pengikatan ion-ion dalam tawas kalium akan berbeda dengan yang terjadi dalam kalium sulfat ataupun aluminium sulfat. Dengan kata lain bahwa identitas ion-ion dalam tawas kalium berbeda dengan identitas ion-ion dalam kalium sulfat dan aluminium sulfat. Namun kenyataannya ketika tawas aluminium dilarutkan ke dalam air, identitas ion-ionnya tidak dapat dipertahankan lagi dan kembali kepada identitas yang dimiliki kalium sulfat dan aluminium sulfat. Oleh karena itu, identitas atau karakter garam rangkap hanya dapat dipertahankan ketika berada sebagai padatan kristalnya.

Berbeda dengan sifat garam kompleks seperti $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Ion-ion yang terdapat dalam padatan kristal $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ adalah $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ dan SO_4^{2-} . Untuk garam kompleks $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ akan berada sebagai ion $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ dan SO_4^{2-} . Dengan demikian garam kompleks dikatakan dapat mempertahankan identitasnya. Untuk membedakan ion kompleks dari ion sederhana, penulisan ion kompleks dinyatakan dengan menggunakan tanda kurung siku []. Oleh karena itu, jika Anda menemui rumus molekul kobalt(II) klorida heksahidrat $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ maka penulisan rumus molekulnya yang mempertunjukkan adanya ion kompleks dinyatakan $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_2$.

3. Logam Pusat

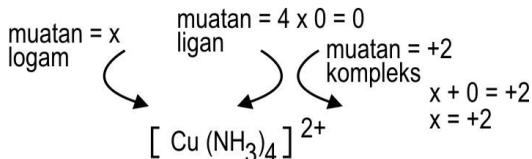
Atom atau ion logam yang terdapat dalam molekul atau ion kompleks dinamakan logam pusat. Istilah ini sengaja digunakan untuk memperlihatkan bahwa keberadaan logam dalam ion kompleks berperan sebagai pusat yang melakukan pengikatan atau pengkoordinasian terhadap molekul atau ion penyumbang pasangan elektron. Dalam ion kompleks $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, yang ditunjukkan pada (Gambar 1.1a) berperan sebagai logam pusatnya adalah ion

logam Cu^{2+} dan dalam senyawa molekul $[\text{Fe}(\text{CO})_5]$ yang berperan sebagai logam pusat adalah Fe sedangkan molekul netral yang diikatnya adalah karbonmonoksida. Adapun ikatan kovalen koordinasi dibentuk oleh pasangan elektron bebas diberikan oleh atom karbon (C) dalam molekul CO, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.1.

Logam pusat umumnya terdiri atas logam-logam transisi (Unsur Golongan B dalam Sistem Periodik Unsur-unsur). Namun berkat perkembangannya, sekarang telah banyak pula temuan-temuan ion kompleks yang atom pusatnya berasal dari unsur golongan utama (Golongan A dalam Sistem Periodik Unsur-unsur). Misalnya ion $[\text{BeCl}_4]^{2-}$, $[\text{MgCl}_4]^{2-}$, $[\text{CaEDTA}]^{2-}$, $[\text{BCl}_4]^-$, $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ dan lain-lain dengan masing-masing ion pusatnya adalah Be^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , B^{3+} , dan Al^{3+} . Kecenderungan unsur-unsur Golongan A yang dapat berperan sebagai atom pusat dalam ion kompleks adalah unsur-unsur yang dalam keadaan ionnya memiliki harga potensial ionik (perbandingan muatan ion terhadap jari-jari ion) yang relatif tinggi (mendekati harga potensial ionik dari unsur-unsur logam transisi)

4. Muatan Logam Pusat

Muatan logam pusat menyatakan muatan listrik positif atau netral yang dimiliki logam dalam ion atau molekul kompleks sebagai hasil selisih di antara muatan ion kompleks dengan semua muatan dari molekul atau ion yang terkoordinasi pada logam pusat tersebut. Muatan logam pusat tidak lain adalah menyatakan *bilangan oksidasi* dari atom logam tersebut. Misalnya dalam ion kompleks $[\text{Cu}(\text{NH}_3)^{2+}$, $[\text{Fe}(\text{CN})]^{4-}$, $[\text{Fe}(\text{CO})_5]$, dan $[\text{CoCl}(\text{NO}_2)(\text{NH}_3)_4]^+$ masing-masing muatan logam pusat Cu, Fe, Fe, dan Co adalah (+2), (+2), (0), dan (+3). Cara menentukan muatan logam pusat pada ion dan molekul kompleks tersebut ditunjukkan contoh: $[\text{Cu}(\text{NH}_3)]^{2+}$, :



5. Muatan Ion Kompleks

Muatan listrik negatif, nol, atau positif yang dimiliki ion atau molekul kompleks sebagai hasil penjumlahan di antara muatan logam pusat dengan

semua muatan dari molekul atau ion yang terkoordinasi pada logam pusat disebut muatan ion kompleks.

Muatan kompleks dari $[\text{Cu}(\text{NH}_3)^{2+}]$, $[\text{Fe}(\text{CN})]^+$, $[\text{Fe}(\text{CO})_5]$, dan $[\text{CoCl}(\text{NO}_2)(\text{NH}_3)_4]^+$ masing-masing secara terurut adalah +2, -4, 0, dan +1. Anda akan mudah menentukan muatan suatu kompleks, apabila Anda terlebih dahulu mengetahui bilangan oksidasi logam pusat dan muatan-muatan yang dimiliki ligan.

6. Ligan

Molekul atau ion yang dikoordinasikan kepada atom atau ion logam pusat disebut ligan. Molekul atau ion yang memberikan pasangan elektron terhadap atom atau ion logam pusat dan berperan sebagai basa Lewis.

Di dalam $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ada enam ligan CN^- yang dikoordinasikan terhadap ion Fe^{2+} . Di dalam senyawa koordinasi $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}_2]\text{Cl}$ yang berperan sebagai ligan adalah 4 molekul NH_3 dan dua ion klorida (Cl^-).

Berdasarkan muatannya, ligan dikelompokkan ke dalam ligan negatif yang berupa anion, ligan netral berupa molekul, dan ligan positif (jarang) berupa kation. Beberapa contoh dari ligan tersebut ditunjukkan pada Tabel 1.1. berikut.

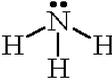
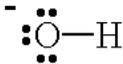
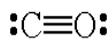
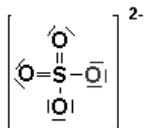
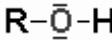
Tabel 1.1.
Macam-macam Ligan Berdasarkan Muatannya

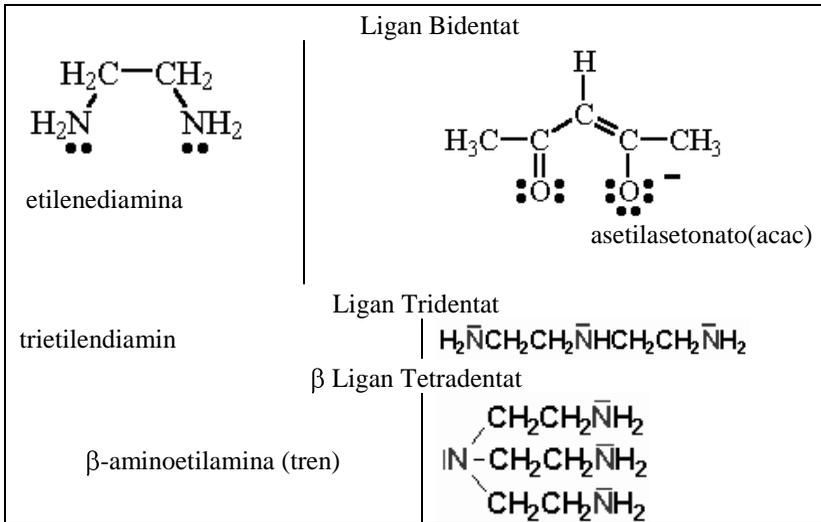
Anion		Molekul netral	
halogenido	$ \underline{\text{F}} ^-$ $ \underline{\text{Cl}} ^-$ $ \underline{\text{Br}} ^-$ $ \underline{\text{I}} ^-$	aqua, sebelumnya disebut aquo	
sianido dan isosianido	$ \text{C}=\underline{\text{N}} ^-$ $ \text{C}\equiv\underline{\text{N}} ^-$	amina	$ \text{NH}_3$
tiosianato dan isotiosianato	$ \text{S}-\text{C}\equiv\underline{\text{N}} ^-$ $ \text{S}-\text{C}=\underline{\text{N}} ^-$	alkilamina	$ \text{NH}_{3-n}\text{R}_n$
hidroksido	$\text{H}-\underline{\text{O}} ^-$	karbonil	$ \text{C}\equiv\underline{\text{O}} $ $ \text{C}=\underline{\text{O}} $

karboksilato	$R-COO^- = RC \begin{array}{l} \overline{O} \\ \parallel \\ \overline{O}^- \end{array}$	alkohol	$R-\overline{O}-H$
Kation			
sulfato	$\left[\begin{array}{c} \overline{O} \\ \parallel \\ \overline{O} \\ \parallel \\ \overline{O} \\ \parallel \\ \overline{O} \end{array} S \begin{array}{l} \overline{O} \\ \parallel \\ \overline{O} \end{array} \right]^{2-}$		
nitrosilium	NO^+		
hidrazinium	$N_2H_5^+$		

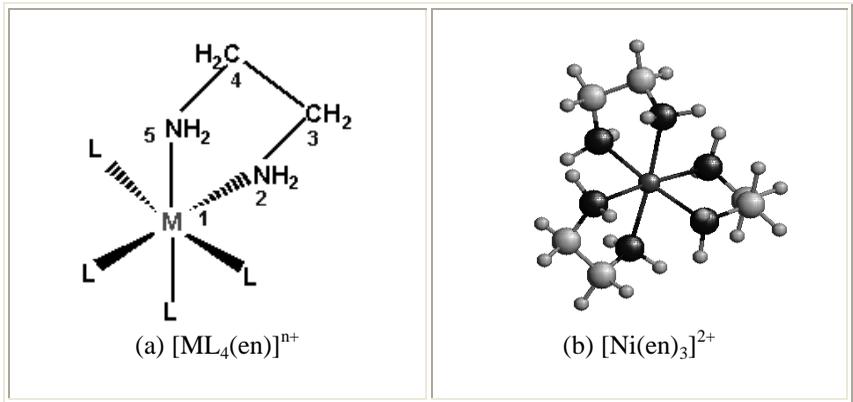
Berdasarkan jumlah atom donor atau pasangan elektron yang disumbangkannya, ligan diklasifikasi menjadi *ligan monodentat* dan *ligan polidentat*. Ligan yang hanya memiliki satu atom donor yang diikat oleh ion logam dalam kompleks, disebut *ligan monodentat* atau *unidentat* seperti amina (NH_3). Ligan yang memiliki dua atau lebih atom donor yang diikat oleh ion logam yang sama dalam ion kompleks dinamakan *ligan polidentat* atau *multidentat*. Ligan polidentat terdiri atas *ligan bidentat* (ligan yang terikat atom pusat melalui dua atom donor); *ligan tridentat* (terikat atom pusat melalui tiga atom donor); *ligan kuadridentat* (terikat atom pusat melalui empat atom donor); *ligan pentadentat* (terikat atom pusat melalui lima atom donor); dan *ligan heksadentat* (terikat atom pusat melalui enam atom donor). Ligan pentadentat, heptadentat, oktadentat jarang ditemukan. Beberapa contoh ligan berdasarkan jumlah atom donor yang dikoordinasikan terhadap atom pusat ditunjukkan pada Tabel 1.2 berikut.

Tabel 1.2.
Beberapa Ligan Berdasarkan
Jumlah Atom Donor yang Disumbangkannya

Ligan Monodentat					
Ligan	Struktur Lewis	Nama	Ligan	Struktur Lewis	Nama
F ⁻		fluorido	Cl ⁻		klorido
H ₂ O		aqua	NH ₃		amina
OH ⁻		hidroksido	CO		karbonil
SO ₄ ²⁻		sulfato	ROH		alkohol

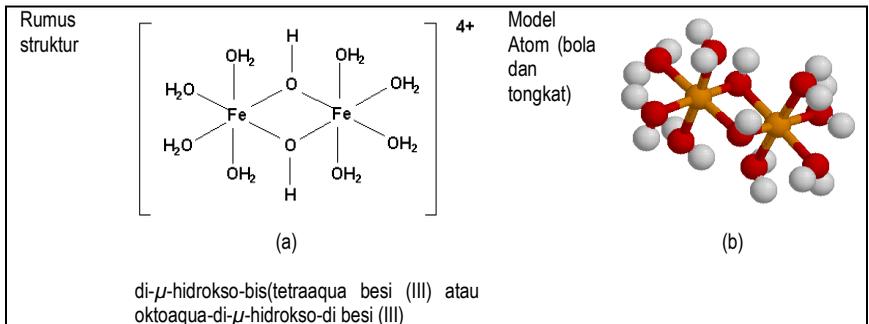


Hal penting yang harus Anda ketahui, bahwa ligan-ligan polidentat dapat membentuk senyawa cincin yang dikenal dengan nama *senyawa chelate* (berasal dari bahasa Yunani *chele* yang berarti sepit kepiting/*crab's claw*). Ligan pengkelat memiliki beberapa atom donor yang diikat oleh logam pusat. Pada (Gambar 1.2a dan 1.2b) berikut, dua atom nitrogen dari 1,2-diaminoetana (etilendiamina = en) diikat oleh atom logam M dengan membentuk cincin kelat beranggota lima, sedangkan ligan-ligan lainnya diberi simbol L. Salah satu contoh senyawa kelat adalah tris-etilendiami nikel(II), $[\text{Ni}(\text{en})_3]^{2+}$ (Gambar 1.2). Senyawa kompleks yang terbentuk oleh ligan-ligan pengkelat umumnya lebih stabil daripada yang terbentuk oleh ligan-ligan monodentat.



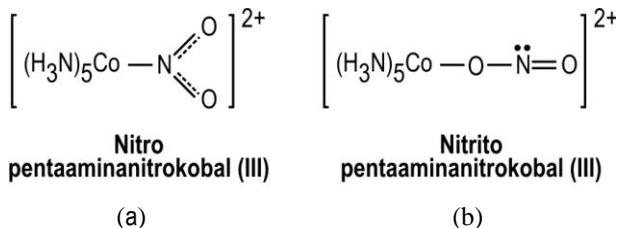
Gambar 1.2.
Ligan Pembentuk Kelat

Peristilahan penting lainnya yang berkaitan dengan ligan adalah *ligan jembatan (bridging ligand)*. Ligan jembatan tidak lain adalah ligan yang berperan sebagai jembatan diantara dua atau lebih atom pusat. Di dalam senyawa kompleks di- μ -hidrokso-bis(tetraaqua besi(III)) atau disebut juga oktoaqua-di- μ -hidrokso-dibesi(III), dengan rumus struktur seperti ditunjukkan pada (Gambar 1.3a dan 1.3b) model tongkat, terdapat dua gugus hidroksil yang menjembatani di antara dua atom Fe. Untuk menyatakan ligan-ligan jembatan selalu didahului oleh tanda “ μ ”. Ligan-ligan jembatan yang penting adalah OH^- , S^{2-} , CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , dan NH_2^- . Kebanyakan yang berperan sebagai ligan jembatan adalah anion:



Gambar 1.3.
Ligan Jembatan dalam Senyawa Koordinasi

Di samping peristilahan yang telah dikemukakan, berikut ini dikenal pula istilah *ligan ambidentat*. Ligan jenis ini yaitu ligan yang mampu melakukan pengikatan atom pusat melalui lebih dari satu jenis atom. Misalnya ligan NO_2^- dapat terikat oleh atom pusat Co^{3+} melalui atom oksigen (O) atau atom nitrogen (N) seperti ditunjukkan pada (Gambar 1.4a dan 1.4b) berikut.



Gambar 1.4.
Ligan Ambidentat (NO_2^-)

Contoh-contoh lain ligan ambidentat adalah SCN^- yang terikat melalui atom S (tiosianato) atau melalui atom N (isotiosianato), ligan CN^- yang terikat melalui atom C atau N, ligan CO yang terikat melalui C atau O. Ligan ambidentat ini tidak membentuk cincin kelat.

7. Bilangan Koordinasi

Jumlah ligan yang diikat oleh atom atau ion logam pusat di dalam senyawa kompleks disebut bilangan koordinasi. Di dalam senyawa $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, enam ligan sianida dikoordinasikan terhadap ion Fe^{3+} , karena itu bilangan koordinasi Fe^{3+} adalah 6. Di dalam senyawa kompleks kelat, bilangan koordinasi ion logam tidak sama dengan jumlah ligan. Dalam senyawa ini bilangan koordinasi dinyatakan sebagai bilangan yang menyatakan jumlah pasangan elektron yang disumbangkan ligan. Demikian di dalam $[\text{Co}(\text{en})_3]^{3+}$ bilangan koordinasi Co^{3+} adalah 6, juga di dalam $[\text{Co}(\text{en})_2\text{Cl}_2]^+$ bilangan koordinasi Co^{3+} adalah 6. Bilangan koordinasi logam bervariasi dari 2 hingga 10, akan tetapi bilangan koordinasi yang umumnya ditemukan adalah 4 dan 6.

B. KARAKTERISTIK SENYAWA KOORDINASI

Ada beberapa karakteristik yang dimiliki senyawa koordinasi atau senyawa kompleks, di antaranya adalah:

1. Ion logam pusat dalam ion kompleks umumnya terdiri dari logam transisi. Ion kompleks yang stabil terbentuk dari ion logam pusat yang memiliki:
 - a. ukuran ion relatif kecil tetapi muatannya besar atau potensial ioniknya (perbandingan antara muatan ion dan jari-jari ion) tinggi;
 - b. energi orbital relatif sama dengan energi orbital dari pasangan elektron yang disumbangkan ligan.

Pada umumnya ion logam transisi kurang stabil daripada ion kompleksnya. Misalnya ion kobal (III), Co^{3+} kurang stabil dibandingkan dengan ion $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ atau dengan ion $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}_2]^+$.

2. Ion kompleks memiliki sifat yang berbeda dengan ion pembentuknya. Misalnya ketika ion fero Fe^{2+} membentuk ion kompleks $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ maka sifat individu Fe^{2+} dalam ion kompleks tersebut tidak lagi memberikan reaksi terhadap pengujian ion Fe^{2+} bukan kompleks. Jadi ion Fe^{2+} dalam kompleks tidak mengendap menjadi $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ketika ditambahkan larutan NaOH . Sebaliknya larutan kalium heksasianoferat (II) akan membentuk endapan cokelat tembaga heksasianoferat (II) $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ketika ditambahkan larutan tembaga sulfat sesuai persamaan kimia sebagai berikut.



3. Ion kompleks dapat mempertahankan identitasnya di dalam larutan sekalipun mengalami sedikit terdisosiasi. Derajat disosiasi bergantung pada kekuatan ikatan di antara logam pusat dan ligan. Ion heksasianoferat(II), $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ merupakan ion kompleks sangat stabil dan terdisosiasi sangat kecil. Akan tetapi ion $[\text{Co}(\text{SCN})_4]^{2-}$ kurang stabil dan terdisosiasi cukup besar.
4. Muatan ion kompleks merupakan penjumlahan dari muatan ion penyusunnya. Misalnya ion heksasianoferat(II) $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ memiliki muatan 4-. Muatan total ini tidak lain adalah hasil penjumlahan dari muatan ion Fe^{2+} yaitu 2 + dengan 6 ion CN^- yaitu 6-, sehingga muatan total adalah 4-. Hal yang sama muatan total ion $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}_2]^+$ adalah 1+.

5. Ion kompleks kelat memiliki kestabilan lebih tinggi daripada kompleks yang sama bukan kelat misalnya $[\text{Zn}(\text{en})_2]^{2+}$ lebih stabil daripada $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$.

C. METODE PENDETEKSIAN SENYAWA KOORDINASI

Melalui proses pembentukan kristal murninya, kita dapat menentukan komposisi dan karakteristik senyawa koordinasi atau senyawa kompleks. Namun sayangnya banyak senyawa koordinasi yang tidak dapat diisolasi dalam keadaan murni. Oleh karena itu, banyak cara yang dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan senyawa koordinasi dalam suatu reaksi. Secara singkat beberapa metode penting akan dikemukakan berikut ini.

1. Metode Distribusi

Kelarutan I_2 dalam air sangat kecil, tetapi dalam larutan kalium Iodida (KI) cukup besar. Fenomena tersebut menunjukkan bahwa I_2 dalam larutan KI membentuk ion kompleks sesuai persamaan kimia sebagai berikut.



Hal yang menarik bagi kita adalah bagaimana menentukan banyaknya I_2 yang masih tinggal dalam larutan KI dan berapa banyak ion kompleks I_3^- yang terbentuk. Untuk memperoleh kuantitas tersebut, eksperimen pertama yang harus dilakukan adalah dengan mendistribusikan I_2 ke dalam air dan pelarut organik (seperti karbondisulfida, CS_2 ; klorotetraklorida, CCl_4 atau kloroform CHCl_3) hingga diperoleh perbandingan distribusinya. Sebaran zat dalam kedua pelarut tersebut akan mencapai suatu kesetimbangan dengan harga tertentu yang dinamakan koefisien distribusi (K) yang dinyatakan dengan rumus :

$$K = \frac{A_{aq}}{A_{org.}} \quad (5)$$

Contoh 1.1:

Pada suhu kamar, harga koefisien distribusi I_2 dalam air dan karbon tetraklorida (CCl_4) adalah 1/85. Ini berarti pada keadaan kesetimbangan konsentrasi I_2 dalam CCl_4 adalah 85 kali lebih besar daripada konsentrasi I_2 dalam air. Apabila Anda mengocok 100 mL air yang mengandung 0,2 gram

I_2 dengan 50 mL CCl_4 , dengan memisalkan x_1 gram I_2 yang berada dalam 100 mL air, berarti terdapat $x_1/100$ gram dalam 1 mL air. Adapun I_2 yang tersebar dalam CCl_4 adalah $(0,2 - x_1)$ gr/50 gr dalam setiap mL nya. Maka x_1 dapat dihitung sebagai berikut:

$$K = \frac{I_2 \text{ air}}{I_2 \text{ CCl}_4}$$

$$x_1/100 : (0,2 - x_1)/50 = 1/85$$

$$x_1 = 0,0046 \text{ gram} = 4,6 \text{ mg}$$

Karena 4,6 mg Iodium tertinggal dalam air, berarti sekitar 98% Iodium itu larut di dalam CCl_4 . Apabila pekerjaan dilanjutkan dengan memisahkan kedua lapisan zat cair, kemudian lapisan yang berpelarut air dikocok lagi dengan menambahkan 50 mL CCl_4 , ternyata pada percobaan kedua ini pun sekitar 98% I_2 yang tertinggal dalam air akan larut ke dalam CCl_4 . Jika Anda memisalkan I_2 yang tertinggal dalam air pada percobaan kedua adalah x_2 , maka:

$$x_2/100 : (0,0046 - x_2)/50 = 1/85$$

$$x_2 = 0,000106 \text{ gram} = 0,106 \text{ mg}$$

Untuk memperoleh rumusan umum tentang banyaknya zat yang masih tertinggal setelah melakukan n kali ekstraksi dapat diturunkan menjadi bentuk persamaan sebagai berikut :

a gram zat yang tertinggal dalam W mL air setelah melakukan n kali ekstraksi dengan L mL pelarut organik adalah:

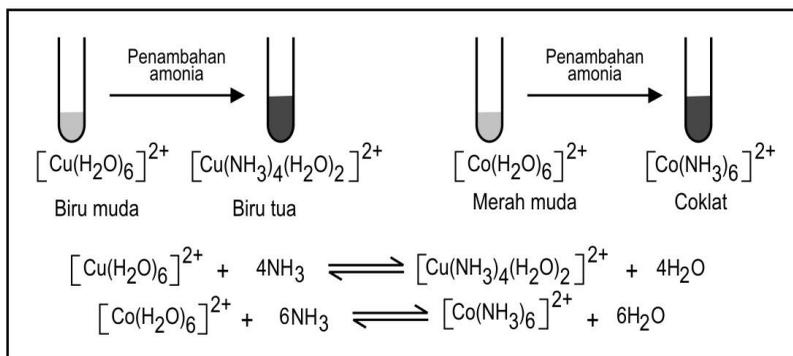
$K = \frac{A_{aq}}{A_{org.}}$	$x_1 = \text{zat yang tertinggal dalam air pada ekstraksi pertama}$ $a - x_1 = \text{jumlah zat yang tersebar dalam pelarut organik}$
-------------------------------	--

2. Metode Analisis Kualitatif

Apabila ion di dalam larutan tidak menunjukkan reaksi kimia seperti biasanya, ini berarti bahwa ion tersebut membentuk ion kompleks. Salah satu contoh, ion Cl^- ke dalam larutan yang mengandung ion Ag^+ dalam amonia tidak terbentuk endapan putih $AgCl$ karena ion perak berada dalam bentuk ion kompleks $[Ag(NH_3)_2]^+$.

3. Metode Spektroskopi (Spektroskopi Serapan)

Ion kompleks akan menunjukkan puncak serapan di daerah cahaya tampak (400 – 900 nm). Di dalam beberapa kasus ion logam akan diubah menjadi ion kompleks dengan intensitas warna yang semakin kuat atau berubah menjadi warna lain. Contoh berikut ini menunjukkan perubahan warna ion kompleks dalam air menjadi ion kompleks akibat penambahan ligan tertentu (Gambar 1.5).



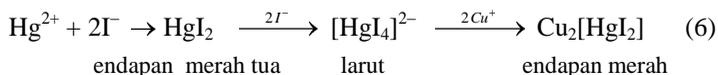
Gambar 1.5.

Apabila spektra serapan ion logam mengalami perubahan dalam daerah tampak, hal ini mengindikasikan terjadinya reaksi pengkompleksan. Teknik seperti ini dinamakan spektroskopi visibel.

4. Metode Pengendapan

Senyawa-senyawa kompleks dapat diendapkan melalui dua prinsip, yaitu:

Pembentukan kompleks kovalen netral dalam medium polar sebagai hasil pengkompleksan dari ion logam dengan ligan-ligan anionik yang berupa molekul organik hidrofob. Contoh reaksi berikut:



5. Metode Perubahan Sifat Kimia

Kereaktifan ion logam mengalami perubahan ketika berikatan dengan ligan dan bukan ligan. Ion Cu^{2+} tidak mengendap ketika ditambah hidroksida logam alkali apabila ada amina organik atau asam-asam hidroksi seperti asam tartrat atau asam sitrat. Ion Ag^+ akan larut di dalam larutan KCN atau HI karena membentuk kompleks $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ atau $[\text{AgI}_3]^{2-}$

6. Metode Pelarutan

Pembentukan ion kompleks ditunjukkan pula ketika garam sukar larut ditambah reagen pengkompleks atau ion senama. Misalnya pelarutan endapan AgCl dalam larutan amonia atau dalam HCl pekat seperti ditunjukkan pada persamaan kimia berikut.



7. Metode pH-Metrik

Ketika ligan sebagai HL ditambahkan terhadap ion logam, maka akan menghasilkan kompleks dengan melepaskan proton sebagaimana dinyatakan dengan persamaan kimia berikut, sehingga pH menjadi rendah.



Melalui studi kuantitatif tentang perubahan pH dalam sistem kompleks M^{n+} -HL dengan konsentrasi yang berbeda-beda, maka sifat dan tetapan kestabilan kompleks yang terbentuk dapat ditentukan.

8. Metode Potensiometri

Pengukuran potensial sel konsentrasi yang menggabungkan setengah sel yang mengandung ion logam bebas dengan setengah sel yang mengandung ion logam yang ditambahkan ligan (pembentukan kompleks). Dengan terukurnya potensial sel konsentrasi dan diketahuinya potensial reduksi ion logam bebas, maka potensial reduksi setengah sel ion kompleks dapat ditentukan. Ligan yang ditambahkan sangat efektif dalam menurunkan konsentrasi ion logam bebas sebagaimana ditunjukkan oleh contoh potensial reduksi setengah sel berikut:



Kompleks $[\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-}$ lebih stabil daripada $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ karena lebih sulit direduksi daripada $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$. Dengan demikian dari contoh di atas dapat dipastikan, apabila potensial sel harganya turun ketika larutan diberi penambahan ligan, berarti dalam larutan terjadi pembentukan ion kompleks.

Dengan menggunakan persamaan Nernst berikut:

$$E = E^0_{ox/red} = \frac{0,059}{n} \log \frac{[red_{aq}]}{[ox_{aq}]} \quad (13)$$

$$E^0 = \frac{0,059}{n} \log K_{eq} \quad (14)$$

metode potensiometri lebih lanjut digunakan sebagai salah satu cara untuk menentukan tetapan kestabilan kompleks (harga K_{eq} dalam persamaan (14)). Namun untuk keperluan pendeteksian, persamaan (13) dapat memberi gambaran bagi Anda ada dua kemungkinan indikasi harga E sel ketika terjadi pembentukan ion kompleks. Apabila penambahan ligan ternyata membentuk kompleks stabil dengan reduktor, tentu akan menurunkan konsentrasi reduktor daripada oksidator, sehingga fraksi $[\text{red}_{(aq)}]/[\text{ox}_{(aq)}]$ menjadi kecil dan harga E menjadi bertambah. Sebaliknya apabila penambahan ligan akan membentuk kompleks stabil dengan oksidator, maka konsentrasi oksidator menurun, fraksi $[\text{red}_{(aq)}]/[\text{ox}_{(aq)}]$ bertambah dan harga E menjadi turun. Misalnya ligan florida (F^-) akan membentuk kompleks stabil dengan Fe^{3+} daripada dengan Fe^{2+} . Jika sel yang tersusun atas setengah sel $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ dan I^-/I_2 dengan harga potensial reduksinya.

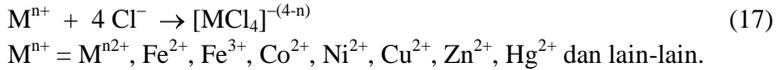
$$E^0 \text{ Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+} = 0,77\text{V} \quad (15)$$

$$E^0 \text{ I}_2/\text{I}^- = 0,56\text{V} \quad (16)$$

ion Fe^{3+} tentu akan mengoksidasi I^- menjadi I_2 , namun dengan adanya penambahan F^- akan terjadi pembentukan ion kompleks, sehingga berakibat turunnya harga potensial $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ dan oksidasi I^- menjadi I_2 kemungkinan tidak terbentuk. (persamaan 15 dan 16).

9. Metode Hantaran

Reaksi pengkompleksan akan mengubah jumlah ion-ion yang ada dalam larutan sebagaimana dinyatakan dalam persamaan:



Dengan adanya pembentukan kompleks akan mengakibatkan berubahnya daya hantar larutan, seperti tidak normalnya hantaran proton dan ion hidroksil dalam pelarut air ($350 \text{ ohm}^{-1} \text{ cm}^2 \text{ equiv}^{-1}$).

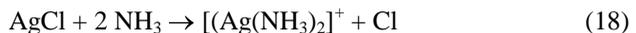
Metode lainnya yang dapat juga diterapkan adalah teknik penukar ion, analisis kromatografi, polarografi, spektroskopi massa, NMR, ESR, dan X-ray.

D. APLIKASI SENYAWA KOORDINASI

Aplikasi senyawa koordinasi dalam kehidupan sangatlah luas, namun pada Modul ini akan disajikan secara singkat terutama penerapannya dalam bidang analitik, industri, dan kimia biologis.

1. Aplikasi di Bidang Analitik

- a. Hampir semua analisis kualitatif melibatkan pembentukan ion kompleks biasanya ion kompleks dapat terbentuk ketika suatu endapan ditambah zat pengompleks atau ion senama. Misalnya endapan AgCl akan larut ketika ditambahkan larutan amonia dan membentuk ion kompleks diamin perak (I).



- b. Pembentukan kompleks biasanya ditandai oleh pembentukan larutan atau endapan berwarna yang dipakai untuk mendeteksi keberadaan ion logam dalam larutan. Misalnya keberadaan ion Cu^{2+} ditandai dengan terbentuknya warna larutan biru tua ketika ditambahkan amonia



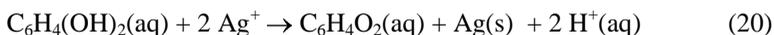
- c. Beberapa kation dapat dipisahkan berdasarkan kestabilan pembentukan ion kompleks sianidanya. Misalnya Cu^{2+} dapat membentuk $[Cu(CN)_4]^{2-}$ dengan penambahan KCN berlebih.

- 1) EDTA digunakan untuk memperkirakan adanya beberapa kation seperti Mg^{2+} , Ca^{2+} , Al^{3+} dan lain-lain melalui titrasi volumetri.

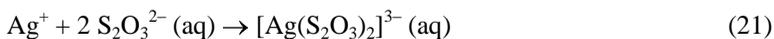
- 2) Beberapa bahan pengkelat organik digunakan di dalam kolorimetri seperti fenantrolin untuk menstabilkan ion fero. Demikian kolorimetri penentuan kadar ion feri biasanya digunakan ligan tiosianato sehingga membentuk kompleks berwarna merah.
- 3) Kesadahan air dapat ditentukan dengan menitrasi air sadah oleh EDTA.

2. Aplikasi dalam Industri

- a. Garam-garam besi yang larut dalam air dapat menyebabkan timbulnya penyakit, hal ini dapat dicegah dengan menambahkan EDTA. EDTA adalah zat pengkelat yang sangat kuat dapat mengikat ion Fe^{3+} melalui dua atom nitrogen dan empat atom oksigen sehingga membentuk ion kompleks $[\text{FeEDTA}]^-$ berupa cincin kelat beranggota lima. Dengan pembentukan ion kompleks tersebut konsentrasi ion Fe^{3+} menjadi berkurang sehingga tingkat keracunan diperkecil.
- b. Pembentukan ion kompleks $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ memiliki peran penting dalam fotografi. Film pemotretan dilapisi kristal halus AgBr dalam gelatin yang peka terhadap cahaya. Ketika film terkena cahaya, lapisan perak bromida akan mengurai. Sedikit banyaknya penguraian bergantung pada kekuatan cahaya dan waktu. Dalam kamar gelap film dicuci melalui dua proses yaitu pereduksian AgBr yang terkena cahaya oleh bahan pengembang, dan pelarutan lapisan AgBr pada film yang tidak terkena cahaya. Biasanya bahan pengembang foto yang sering digunakan adalah reduktor yang disebut hidroquinon $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2$ dengan persamaan kimia dinyatakan sebagai berikut. Ag^+ (dalam kristal AgBr)



Perak bromida yang tidak terkena cahaya tidak direduksi oleh bahan pengembang, dilepaskan dengan cara melarutkannya ke dalam larutan natriumtiosulfat, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ yang disebut dengan “fixer” sehingga membentuk ion kompleks menurut persamaan kimia berikut. Ag^+ (dalam kristal AgBr)



Setelah pencucian, film yang terkena cahaya menjadi gelap, dan bagian yang tidak terkena cahaya menjadi terang. Film ini dinamakan film negatif atau klise. Jika cahaya disorotkan terhadap film negatif yang

ditempelkan di atas kertas sensitif cahaya, maka akan dihasilkan cetakan positif atau potret.

- c. Logam-logam mulia seperti Ag dan Au diekstraksi dari bijihnya melalui pembentukan kompleks sianida seperti $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ dan $[\text{AuCl}_4]^-$.
- d. Reagen Schweitzer's yaitu tetraamintembaga(II) hidroksida $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$ digunakan sebagai pelarut selulosa di pabrik rayon buatan.
- e. Pelunakan air sadah dengan penambahan zat pengompleks seperti natrium metafosfat dan EDTA.

3. Penerapan dalam Sistem Biologis

Banyak kompleks logam yang merupakan bagian penting dalam sistem biologis seperti hemoglobin, cytochrome, dan klorofil. Semuanya mengandung ligan porfirin tetapi bervariasi dalam substituenya. Hemoglobin di dalam sel darah merah mengandung kompleks besi-porfirin. Unit heme merupakan bagian dari hemoglobin, cytochrome dan beberapa enzim. Mereka hanya berbeda dari jenis protein yang mengelilingi heme tersebut. Di dalam hemoglobin dan mioglobin, lima kedudukan koordinasi besi ditempati oleh nitrogen histidin (bagian dari protein), sedangkan kedudukan keenam secara reversibel dapat ditempati oksigen. Hemoglobin tersusun oleh empat unit heme. Hemoglobin berperan mentransformasi oksigen dari paru-paru ke sel tubuh dan mentransformasi oksigen ke mioglobin yang hanya mengandung satu unit heme. Mioglobin dapat menyebabkan oksigen dapat digunakan untuk reaksi pernapasan dari sel. Karbonmonoksida dan sianida dapat membentuk kompleks besi yang sangat stabil. Mereka akan menutup keenam tempat koordinasi heme sehingga mengakibatkan timbulnya peracunan. Porfirin juga merupakan bagian dari klorofil yang merupakan zat penting untuk melakukan fotosintesis dari tumbuhan hijau.

Vitamin B_{12} adalah kompleks dari kobal-corrin yang berperan dalam menjaga agar sel-sel berfungsi normal terutama sel-sel saluran pencernaan, sistem urat syaraf, sumsum tulang. Tubuh manusia mengandung senyawa seperti adrenalin, asam sitrat dan cortisone akan membentuk kompleks-kompleks yang tidak diinginkan dengan logam seperti Pb, Cu dan lain-lain, juga mencegah metabolisme secara normal. Keracunan Pb dan Cu dapat disembuhkan dengan menginjeksikan EDTA sehingga membentuk kompleks logam-EDTA yang dikeluarkan melalui urine.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Deskripsikan istilah-istilah berikut dan berikan masing-masing satu contohnya yang berbeda dari soal nomor 2 dan 3:
 - a. ion kompleks;
 - b. senyawa koordinasi;
 - c. muatan logam pusat;
 - d. bilangan koordinasi.

- 2) Isilah tabel berikut:

Rumus	Atom pusat	Biloks Atom Pusat	Jenis Ligan	Muatan kompleks	Ion penyeimbang (counter ion)	Bilangan Koordinasi
$K_4[Mn(CN)_6]$						

- 3) Jelaskan bahwa kompleks $[Co(NH_3)_5Cl]Cl_2$ dapat mempertahankan identitasnya dalam larutan berpelarut air!
- 4) Ketika larutan amonia berpelarut air ditambahkan ke dalam larutan garam kupri berpelarut air pula ternyata dapat membentuk warna larutan berwarna biru tua. Manakah di antara kompleks $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$, $[Cu(H_2O)_4]^{2+}$, dan $[Cu(OH)_4]^{2-}$ yang mendukung fenomena tersebut? Jelaskan!
- 5) Jelaskan penerapan senyawa kompleks dalam fotografi dan pelunakan air sadah !

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Untuk dapat menjawab soal ini, diharapkan Anda sebelumnya mencermati konsep intinya dari Modul 1 Kegiatan Belajar 1 ini, kemudian Anda mencoba merumuskan dengan kalimat sendiri. Sebagai petunjuk :
 - a) Ion kompleks memiliki peciri yaitu: rumusnya dituliskan di dalam tanda kurung siku [...], harus memiliki muatan positif atau negatif,

memiliki atom pusat yang umumnya logam transisi dan sejumlah ion/molekul yang memiliki atom donor pasangan elektron. Misalnya $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$. Silakan Anda definisikan dengan kalimat yang singkat dan jelas dan nyatakan contoh selain ini.

- b) Senyawa koordinasi memiliki peciri yaitu: mengandung kation dan anion yang salah satunya berupa ion kompleks. Misalnya $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ terdiri atas 4 kation sederhana K^+ sebagai penyeimbang muatan dan anion kompleks $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$. Silakan Anda definisikan dengan kalimat sendiri dan cari contoh lain. Fokuskan pendefinisannya dengan melibatkan adanya ikatan koordinasi dalam ion kompleksnya.
 - c) Muatan logam pusat sama dengan bilangan oksidasi logam pusat. Cara menentukannya Anda terlebih dahulu harus menetapkan muatan dari sejumlah ligan yang terdapat dalam ion kompleks tersebut, kemudian selisihkan antara muatan ion kompleks dengan jumlah ligan yang ada. Misalnya untuk ion kompleks $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$, ada 6 ligan CN^- masing-masing bermuatan -1 , sehingga totalnya -6 . muatan logam Fe adalah $-4 - (-6) = +2$. Silakan Anda definisikan istilah tersebut, kemudian beri contoh ion kompleks lain dan tentukan muatan logam pusatnya.
 - d) Untuk menentukan bilangan koordinasi Anda harus memperhatikan jumlah ligan yang diikat atom pusat (hanya berlaku untuk ligan monodentat), agar lebih berlaku umum Anda sebaiknya menelaah jumlah pasangan elektron yang disumbangkan ligan. Misalnya bilangan koordinasi atom pusat Cu pada $[\text{Cu}(\text{en})_2]^{2+}$ adalah 4, karena setiap molekul etilendiamina (en) menyumbangkan 2 pasangan eletron bebas. Silakan Anda tentukan bilangan koordinasi dari ion kompleks lain .
- 2) Coba Anda perhatikan peciri-peciri atom pusat, bilangan oksidasi (biloks), jenis ligan, muatan kompleks, dan bilangan koordinasi seperti telah dikemukakan pada soal nomor satu. Khusus untuk menentukan ion penyeimbang, Anda perhatikan kation atau anion apa yang menetralkan muatan dari ion kompleks. Silakan isi tabel tersebut.
 - 3) Coba Anda identifikasi mana ion kompleksnya dan mana ion penyeimbangnya dari senyawa $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]\text{Cl}_2$. Buatlah persamaan ionisasinya dalam larutan berpelarut air (jangan lupa bubuhkan tanda fasa aq). Kemudian coba Anda perhatikan keadaan ion sebelum dan

sesudah berada dalam larutan dari senyawa tersebut, selanjutnya Anda hubungkan dengan apa yang dimaksud identitasnya tetap.

- 4) Sewaktu mempelajari topik larutan di Kimia Dasar tentu Anda masih ingat bahwa cara menuliskan ion kupri dalam pelarut air (berwarna biru muda) dinyatakan dengan $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ seolah-olah ion tersebut dipandang sebagai ion sederhana. Namun setelah Anda mempelajari senyawa koordinasi ini, Anda memiliki pandangan bahwa tanda aq tersebut sebenarnya menyatakan ligan H_2O yang diikat oleh Cu^{2+} . Di dalam larutan amonia berpelarut air akan terdapat molekul NH_3 , dan ion OH^- (dari NH_4OH), berarti penambahan larutan amonia ke dalam ion kupri ada penambahan ligan NH_3 dan OH^- . Penambahan larutan amonia masih sedikit akan terjadi penggantian ligan H_2O oleh OH^- ditunjukkan oleh endapan biru muda, dan apabila penambahan larutan amonia berlebih akan terjadi penggantian oleh ligan NH_3 . Silakan Anda tafsirkan fenomena yang diminta dalam soal tersebut.
- 5) Penerapan senyawa koordinasi dalam fotografi berkaitan dengan proses pencucian film. Perlu Anda ketahui film itu dilapisi senyawa AgBr , sedangkan bahan pencuci adalah larutan natrium tiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$). Silakan Anda tuliskan persamaan kimianya antara ion perak dengan ligan tiosulfato. Pelunakan air sadah berarti menurunkan atau menghilangkan ion Ca^{2+} atau Mg^{2+} yang terdapat dalam air. Cara yang efektif adalah dengan menambahkan ligan. Ligan yang umumnya digunakan adalah EDTA. Silakan Anda tuliskan persamaan kimianya.



RANGKUMAN

Beberapa terminologi atau peristilahan yang sering dijumpai dalam mempelajari senyawa koordinasi atau senyawa kompleks adalah : *ion kompleks, senyawa koordinasi, logam pusat, muatan logam pusat, muatan ion kompleks, ligan, dan bilangan koordinasi.*

Ion kompleks adalah ion yang terbentuk antara logam pusat dengan molekul atau ion penyumbang pasangan elektron melalui ikatan koordinasi dan ion yang dapat terdisosiasi serta berkesetimbangan dengan komponen pembentuknya. Senyawa koordinasi adalah senyawa yang di dalamnya mengandung molekul atau ion kompleks, oleh karena itu senyawa koordinasi disebut pula senyawa kompleks atau garam kompleks. Garam kompleks memiliki sifat dapat mempertahankan

ionnya dalam larutan, sementara garam rangkap akan terurai dalam larutan seperti ion-ion pembentuknya.

Logam pusat adalah atom atau ion logam yang terdapat dalam ion kompleks, sebagai pusat yang mengikat ligan-ligan. Muatan logam pusat adalah muatan logam sebagai selisih dari muatan kompleks dengan muatan ligan-ligan yang diikatnya, juga menyatakan bilangan oksidasi dari logam dalam ion kompleks. Muatan ion kompleks adalah muatan negatif, netral, atau positif sebagai hasil penjumlahan di antara muatan logam pusat dan muatan ligan-ligan dalam ion kompleks yang bersangkutan. Ligan adalah molekul atau ion yang memiliki pasangan elektron bebas dan berperan juga sebagai basa Lewis. Berdasarkan muatannya dikenal ligan negatif (anion), ligan netral, dan ligan positif (kation). Berdasarkan jumlah atom donor atau jumlah pasangan elektron bebas yang disumbangkannya dikenal ligan monodentat dan ligan polidentat. Ligan monodentat yaitu ligan yang hanya menyumbangkan satu pasangan elektron bebas terhadap logam pusat, sementara ligan polidentat mampu menyumbangkan dua atau lebih pasangan elektron. Ligan polidentat terdiri atas ligan bidentat, tridentat, tetradentat, pentadentat, heksadentat.

Ligan polidentat dapat membentuk senyawa kompleks bercincin kelat (sepit kepiting) beranggota empat, lima, dan enam. Ligan jembatan adalah ligan yang menghubungkan di antara dua atom pusat dalam senyawa kompleks polinuklir. Ligan ambidentat adalah ligan yang memiliki dua jenis atom donor yang memungkinkan terjadinya alternatif pengikatan salah satu atom donor oleh logam pusat.

Bilangan koordinasi menyatakan jumlah ligan yang diikat oleh logam pusat (jika ligan monodentat), atau menyatakan jumlah pasangan elektron yang disumbangkan ligan (untuk ligan polidentat maupun monodentat).

Senyawa koordinasi memiliki karakteristik yaitu atom pusat umumnya terdiri dari logam transisi, sifatnya berbeda dengan ion pembentuknya, dalam larutan dapat mempertahankan identitasnya, mengadakan kesetimbangan dengan ion pembentuknya, senyawa kelatnya lebih stabil dari bukan kelat.

Ion kompleks dapat dideteksi melalui : metode distribusi yang menekankan pada pendistribusian spesi dalam dua pelarut yang saling tak bercampur; metode kualitatif yang menekankan adanya reaksi positif terhadap penambahan reagen khas; metode spektra serapan yang menekankan terjadinya serapan spektra yang khas didaerah cahaya tampak; metode pengendapan yang menekankan pembentukan endapan terhadap reagen khas; metode perubahan sifat kimia yang menekankan kereaktifan ion logam terhadap ligan atau bukan ligan; metode pelarutan

yang menekankan terhadap pelarutan garam sukar larut dengan adanya penambahan reagen pengkompleks atau ion senama; metode pH-metrik, potensiometri, dan daya hantar yang menekankan pada perubahan harga pH larutan, perubahan potensial sel dan perubahan daya hantar larutan ketika terjadi pembentukan kompleks.

Dalam bidang analisis kimia, pembentukan ion kompleks dimanfaatkan untuk uji kualitatif kation, pemisahan campuran kation, uji kuantitatif kompleksometri, kolorimetri dan serapan spektra. Dalam industri dimanfaatkan untuk menurunkan racunan (toksisitas) logam berat, memproses fotografi, ekstraksi logam mulia, pelarut selulose, dan pelunakan air sadah. Dalam sistem biologis, senyawa koordinasi dijumpai dalam hemoglobin sebagai pentransfer oksigen, klorofil untuk melangsungkan fotosintesis, Vitamin B₁₂ sebagai pengatur fungsi sel, Na₂H₂EDTA atau Na₂Hsitrat sebagai anti koagulan darah, dan Na₃HEDTA sebagai pelarut batu ginjal.



TES FORMATIF 1

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Di dalam senyawa koordinasi, atom donor dari suatu ligan merupakan
 - A. asam Lewis
 - B. ion penyeimbang
 - C. atom logam pusat
 - D. atom dalam ligan yang menyumbang pasangan elektron

- 2) Di dalam senyawa koordinasi Na₂[Pt(CN)₄] yang berperan sebagai asam Lewis adalah
 - A. Na⁺
 - B. Pt
 - C. Pt²⁺
 - D. CN⁻

- 3) Di dalam senyawa koordinasi K₄[Cu(CN)₄], ikatan kovalen koordinat berada diantara
 - K⁺ dan CN⁻
 - Cu²⁺ dan CN⁻
 - K⁺ dan [Cu(CN)₄]²⁻
 - K⁺ dan Cu²⁺

- 4) EDTA ketika ditambahkan terhadap kation akan membentuk
- kelat
 - polimer
 - resin penukar ion
 - polidentat
- 5) Semua pernyataan berikut menggambarkan pembentukan kompleks dengan benar, *kecuali*
- bilangan koordinasi menunjukkan jumlah ikatan di antara logam dan ligan
 - muatan atom pusat menentukan bilangan koordinasi
 - ion kompleks dapat bereaksi dengan mempertukarkan ligan
 - senyawa koordinasi selalu mengandung ion kompleks
- 6) Pernyataan berikut yang benar tentang senyawa koordinasi $K_2[MoBr_4Cl_2]$ adalah
- memiliki dua K^+ sebagai ion penyeimbang
 - kalium berikatan langsung kepada molybdenum
 - muatan ion kompleks adalah +4
 - ion molibdenum mempunyai bilangan oksidasi +2
- 7) Senyawa koordinasi berikut yang akan membentuk endapan ketika ditambahkan larutan $AgNO_3$ adalah
- $[Cr(NH_3)_3Cl_3]$
 - $[Cr(NH_3)_6]Cl_3$
 - $[Cr(NH_3)Cl]SO_4$
 - $Na_3[Cr(CN)_6]$
- 8) Pendeteksian terbentuknya ion kompleks dengan cara menambakan HCl pekat terhadap $AgCl(s)$ dinamakan metode
- distribusi
 - pengendapan
 - pelarutan
 - spektroskopi
- 9) Pernyataan di bawah ini merupakan penggunaan EDTA yang biasa dilakukan, *kecuali* untuk
- memproduksi aquades
 - menurunkan toksisitas ion besi dalam tubuh
 - menghilangkan kesadahan tetap air cuci
 - bahan pengelat yang efektif

10) Kompleks besi berwarna merah yang biasa digunakan dalam analisis kolorimetri adalah

- A. $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5\text{CNS}]^{2+}$
- B. $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$
- C. $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$
- D. $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{CN})_2]^+$

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 2

Klasifikasi Senyawa Koordinasi

Mungkin Anda masih ingat ketika garam kuprisulfat atau fero sulfat dilarutkan dalam air, karena kelarutannya besar sering kali penulisan rumus kimianya dinyatakan dengan $\text{CuSO}_{4(\text{aq})}$ dan $\text{FeSO}_{4(\text{aq})}$. Tanda aq menyatakan bahwa garam tersebut larut dalam air. Demikian pula cara menuliskan ion-ionnya yang terbentuk dalam larutan untuk kuprisulfat dinyatakan dengan $\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}$ dan $\text{SO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$, sedangkan untuk ferosulfat dinyatakan dengan $\text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})}$ dan $\text{SO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$. Pada saat Anda belajar Kimia Dasar ataupun Kimia Anorganik 1 dan Kimia Anorganik 2, ion-ion seperti $\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}$ dan $\text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})}$ sering kali dipandang sebagai ion sederhana. Padahal kalau Anda mencermati berdasarkan konsep ion kompleks, ion-ion tersebut tidak lain adalah berupa ion kompleks $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ dan $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ yang tergolong sebagai ion kompleks hidrat atau ion kompleks berligan aqua. Banyak variasi jenis kation dengan anion yang dapat membentuk ion kompleks, akan tetapi yang akan dibahas pada bagian ini adalah ion-ion kompleks yang banyak dijumpai termasuk di dalamnya jenis ion kompleks kelat.

Secara umum ion-ion kompleks diklasifikasi ke dalam tiga jenis, yaitu :

1. Ion kompleks yang terbentuk melalui penggabungan kation dengan molekul anorganik seperti hidrat dan amoniak.
2. Ion kompleks yang terbentuk melalui penggabungan kation dengan anion anorganik seperti halida, hidroksida, sianida, tiosianat, tiosulfat, sulfida, dan anion homo atom.
3. Ion kompleks yang terbentuk melalui penggabungan kation anorganik dengan anion dan molekul organik.

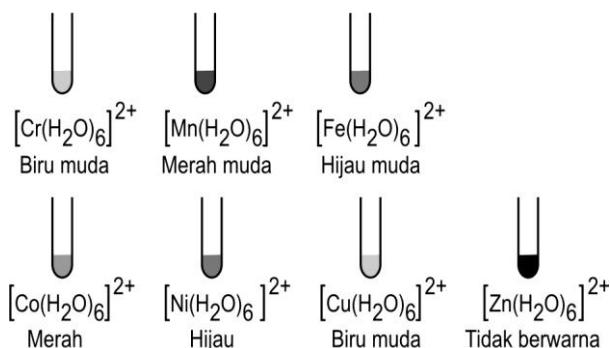
Sementara ion kompleks kelat diklasifikasi ke dalam tiga jenis, yaitu:

1. Senyawa kelat bidentat: dua gugus asam, satu gugus asam dan satu gugus koordinasi, dua gugus koordinasi.
2. Senyawa kelat tridentat, dua gugus asam dan satu gugus koordinasi, satu gugus asam dan dua gugus koordinasi, tiga gugus koordinasi.
3. Senyawa kelat kuadridentat, empat gugus asam, tiga gugus asam dan satu gugus koordinasi, dua gugus asam dan dua gugus koordinasi, satu gugus asam dan tiga gugus koordinasi, empat gugus koordinasi.

A. ION KOMPLEKS YANG TERSUSUN DARI KATION DAN MOLEKUL ANORGANIK

1. Ion hidrat

Sebagian besar ion hidrat berada dalam pelarut air. Kestabilannya ditentukan oleh berbagai faktor seperti tetapan kestabilan, konsentrasi, sifat ion pusat, sifat ligan, dan kesiklisan. Contoh yang banyak dikenal untuk ion ini adalah ion hidronium, $[\text{H}_3\text{O}]^+$, ion berilium hidrat, $[\text{Be}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$, ion aluminium hidrat $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$, dan beberapa ion kompleks transisi periode ke tiga seperti ion krom hidrat, $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$, ion mangan hidrat, $[\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$, ion fero hidrat, $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$, ion kobalt hidrat, $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$, ion nikel hidrat, $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$, ion kupri hidrat, $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$, dan ion seng hidrat $[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ dengan warna-warna khas sebagaimana ditunjukkan pada (Gambar 1.6) berikut.



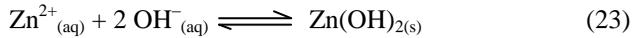
Gambar 1.6.
Ion Kompleks Hidrat dari Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn

2. Amoniat

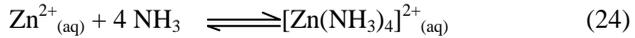
Beberapa kation dapat membentuk senyawa koordinasi dengan amonia. Ion amonium, NH_4^+ dihasilkan dari gabungan antara molekul amonia dengan proton seperti ditunjukkan oleh persamaan kimia berikut:



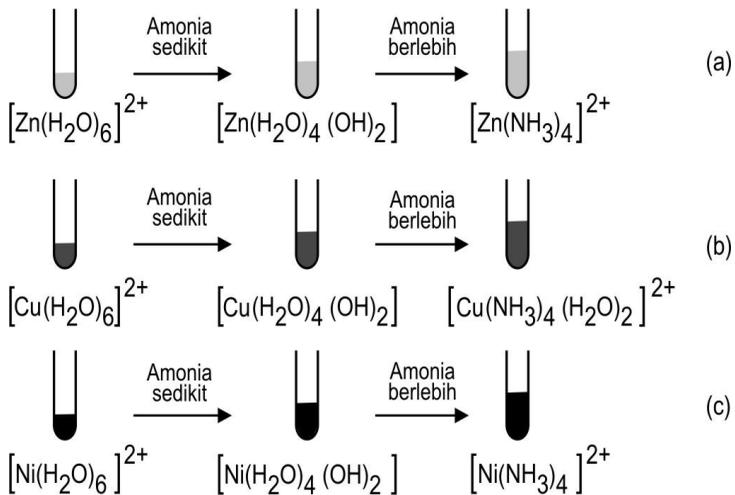
Persamaan ini menunjukkan bahwa NH_3 dalam pelarut air akan mengandung ion hidroksida. Dalam konsentrasi amonia rendah, ion hidroksida yang dihasilkan akan bereaksi dengan kation membentuk endapan hidroksida.



Dengan diberikan amonia berlebih, endapan hidroksida akan larut membentuk ion kompleks berikut.



Perubahan reaksi antara $\text{Zn}^{2+}_{(\text{aq})}$, $\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}$, dan $\text{Ni}^{2+}_{(\text{aq})}$ dengan penambahan sedikit amonia hingga penambahan amonia berlebih (pembentukan kompleks) ditunjukkan pada Gambar 1.7 berikut.



Gambar 1.7.

Pembentukan Kompleks Amonia dari (a) Zn^{2+} , (b) Cu^{2+} , dan (c) Ni^{2+}

Kompleks amonia lainnya dapat juga terbentuk dengan kation lain seperti $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$, $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, dan $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$. Hidroksida ataupun kompleks amonia yang terbentuk tidak hanya bergantung pada konsentrasi amonia, tetapi juga pada tetapan kestabilan kompleks. Misalnya ion aluminium dan ion besi selalu membentuk endapan hidroksida ketika ditambahkan larutan amonia, karena kestabilan kompleks amonia tidak cukup mampu untuk menarik hidroksida ke dalam larutan.

B. ION KOMPLEKS YANG TERSUSUN DARI KATION DAN ANION ANORGANIK

Pada umumnya anion-anion dapat membentuk kompleks ketika berikatan dengan logam yang kereaktifannya rendah dan cenderung membentuk ikatan kovalen koordinasi. Beberapa anion anorganik tersebut di antaranya adalah halida, hidroksida, sianida, tiosianat, tiosulfat, sulfida, dan anion homo atom.

1. Kompleks Halida

Apabila ke dalam klorida-klorida yang sukar larut ditambahkan ion klorida dengan konsentrasi tinggi, maka terbentuklah ion kompleks. Komposisi ion kompleks yang terbentuk bergantung pada konsentrasi ion klorida yang ditambahkan. Misalnya,



Ion kompleks klorida lainnya yang telah diidentifikasi di antaranya adalah $[\text{CuCl}_2]^-$, $[\text{CuCl}_4]^{2-}$, $[\text{HgCl}_4]^{2-}$, $[\text{AuCl}_4]^{2-}$, $[\text{PtCl}_6]^{2-}$, $[\text{SnCl}_6]^{2-}$, $[\text{CdCl}_4]^{2-}$, dan $[\text{CoCl}_6]^{3-}$.

Ion bromida dan ion Iodida dapat membentuk ion kompleks mirip sebagaimana ditunjukkan oleh ion klorida. Salah satu ion kompleks Iodida yang sering dikenal adalah hasil dari penambahan ion Iodida berlebih terhadap merkuri Iodida yang dinyatakan dengan persamaan berikut.



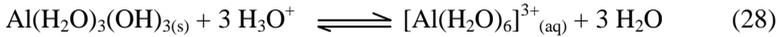
Kompleks bromida dan Iodida lainnya yang dikenal adalah $[\text{AgBr}_2]^-$, $[\text{PbBr}_4]^{2-}$, $[\text{PbI}_4]^{2-}$, $[\text{BiI}_4]^-$, dan $[\text{SbI}_4]^-$.

Di antara ion-ion halida, ternyata ion florida merupakan ion yang paling efektif dalam membentuk kompleksnya yang ditandai dengan kestabilannya yang tinggi. Misalnya $[\text{SiF}_6]^{2-}$, $[\text{FeF}_6]^{3-}$, $[\text{AlF}_6]^{3-}$, dan $[\text{BF}_4]^-$.

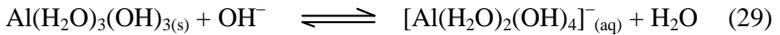
2. Kompleks Hidroksida

Hidroksida-hidroksida yang sukar larut memiliki sifat dapat bereaksi dengan asam dan basa membentuk garam kompleks. Hidroksida semacam ini dinamakan hidroksida amfoter. Reaksi hidroksida sukar larut dengan asam

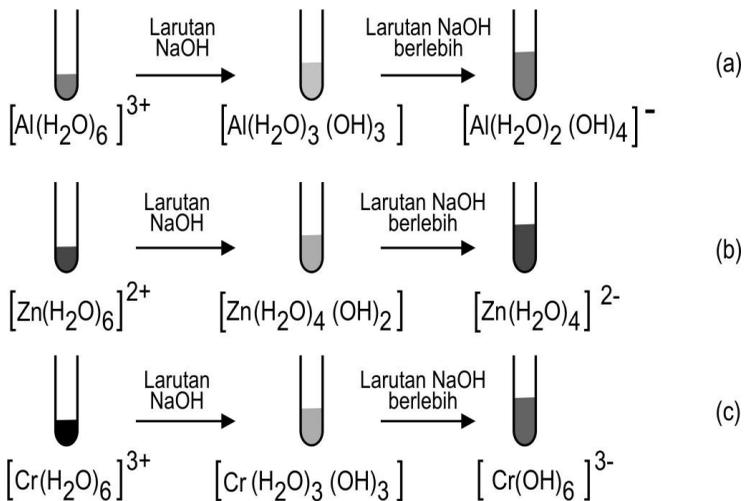
dapat membentuk kompleks hidrat yang dinyatakan dengan contoh-contoh reaksi berikut.



Demikian pula reaksi hidroksida sukar larut dengan basa dapat membentuk kompleks hidroksida yang dinyatakan dengan contoh-contoh reaksi berikut.



Berdasarkan contoh di atas pembentukan ion kompleks hidroksida dari $\text{Al}^{3+}(\text{aq})$, $\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ dan $\text{Cr}^{3+}(\text{aq})$ dengan penambahan sedikit ion hidroksida hingga penambahan ion hidroksida berlebih ditunjukkan pada Gambar 1.8 berikut.

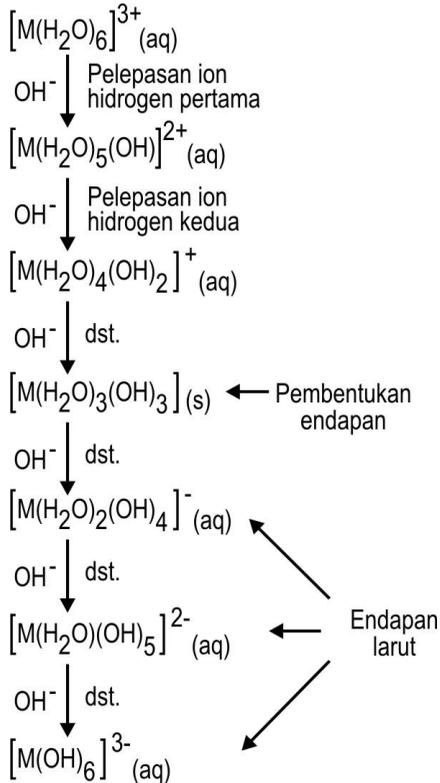


Gambar 1.8.
Pembentukan Ion Kompleks Hidroksida dari
(a) $\text{Al}^{3+}(\text{aq})$, (b) $\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$, dan (c) $\text{Cr}^{3+}(\text{aq})$

Secara umum dapat dinyatakan bahwa pembentukan ion kompleks hidroksida dari ion kompleks hidrat dapat dilakukan dengan penambahan ion hidroksida secara berkelanjutan melalui tahapan yang ditunjukkan pada Gambar 1.9 berikut. Sebaliknya pembentukan ion kompleks hidrat dapat dilakukan dengan penambahan ion hidrogen secara berkelanjutan terhadap ion kompleks hidroksida sebagaimana dicontohkan pada Gambar 1.10.

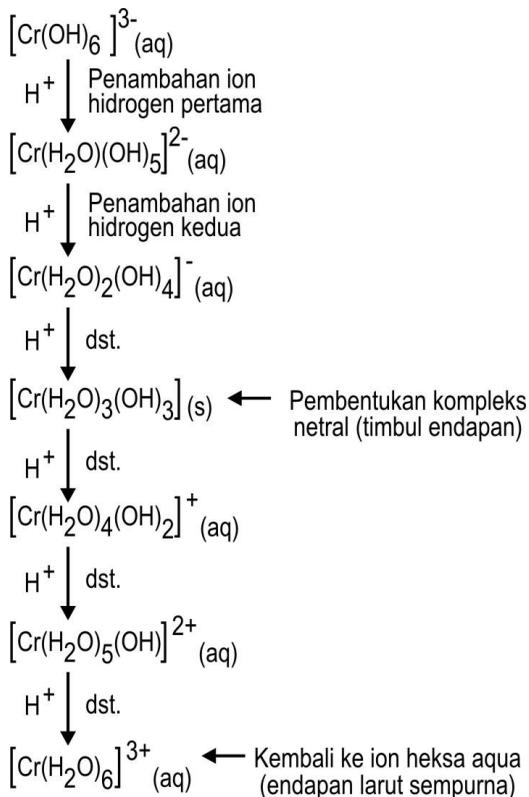
3. Kompleks Sianida

Ion sianida, tiosianat, dan tiosulfat sering kali dinyatakan sebagai ion pseudohalogen karena sifat kimia mirip dengan ion-ion halida. Beberapa senyawa sianida yang sukar larut dapat membentuk ion kompleks sianida katika ditambahkan ion sianida secara berlebih. Berikut ini merupakan contoh kompleks sianida dari perak, kadmium dan besi.



Gambar 1.9.

Tahapan Pembentukan Ion Kompleks Hidroksida dari Ion Kompleks Hidrat



Gambar 1.10.
 Tahapan Pembentukan Ion Kompleks Krom Hidrat dari Ion Kompleks Krom Hidroksida

Ion kompleks ferisianida dan ferisianida relatif stabil walaupun agak terurai sedikit dalam asam kuat. Beberapa ion kompleks sianida lainnya yang telah ditemukan di antaranya adalah $[\text{Cu}(\text{CN})_4]^{2-}$, $[\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-}$, $[\text{Hg}(\text{CN})_4]^{2-}$, $[\text{Co}(\text{CN})_6]^{3-}$, dan $[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$

4. Kompleks Tiosianat

Kompleks tiosianat mirip sekali sifatnya dengan kompleks halida. Perak tiosianat dan merkuri tiosianat sukar larut dalam air. Namun kedua senyawa tersebut akan larut membentuk ion kompleks ketika ditambahkan ion tiosianat secara berlebihan.



Ion feri dan ion tiosianat dapat membentuk ion kompleks berwarna merah dengan komposisi bervariasi mulai dari $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5\text{CNS}]^{2+}$ hingga $[\text{Fe}(\text{CNS})_6]^{3-}$.

5. Kompleks Tiosulfat

Endapan perak klorida dan perak bromida ketika dilarutkan ke dalam larutan natrium tiosulfat akan larut membentuk anion kompleks perak tiosulfat. Anda dapat melihat kembali pada Kegiatan Belajar 1 Modul 1 ini khususnya pada bagian aplikasi senyawa koordinasi. Di sana dikemukakan bahwa reaksi pembentukan perak tiosulfat terjadi pada proses pencucian film dengan persamaan sebagai berikut.



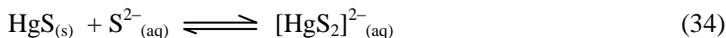
Ion kompleks tiosulfat lainnya yang telah dikenal di antaranya adalah $[\text{Hg}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{2-}$, $[\text{Bi}(\text{S}_2\text{O}_3)_3]^{3-}$, $[\text{Cu}_2(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{2-}$, dan $[\text{Pb}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{2-}$.

6. Kompleks Sulfida

Ion-ion sulfida dari As, Sb, dan Sn larut dalam anion sulfida berlebih membentuk ion-ion kompleksnya yang stabil. Pembentukan kompleks ini sering digunakan dalam pemisahan kation dalam analisis kualitatif. Pembentukan ion kompleks dari ketiga ion tersebut dinyatakan dengan persamaan berikut.



Dengan konsentrasi ion sulfida yang sangat tinggi, ion tersebut dapat pula melarutkan merkuri sulfida untuk membentuk ion kompleksnya.

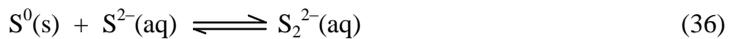


7. Kompleks dari Anion Homo Atom

Kompleks ini dihasilkan dari gabungan antara atom atau molekul netral dengan ionnya. Dua kompleks dari anion homo atom yang banyak dikenal adalah ion tri-Iodida dan ion sulfur-sulfida. Sebagaimana Anda ketahui bahwa molekul I_2 sedikit larut dalam air, tetapi sangat larut dalam larutan kalium Iodida. Persamaan yang menunjukkan bertambahnya kelarutan Iodin adalah:



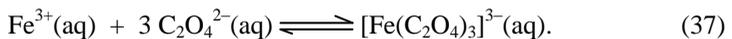
Amonium polisulfida adalah suatu reagen yang dapat melarutkan sulfida arsen, antimon dan timah. Dalam analisis kualitatif, reagen ini digunakan untuk memisahkan sulfida-sulfida golongan II. Adapun pembuatan reagen ini dilakukan dengan melarutkan sulfur ke dalam larutan amonium sulfida menurut persamaan:



Reaksi ini tidak hanya terbatas pada pembentukan ion diatomik tetapi juga dapat membentuk ion-ion S_3^{2-} , S_4^{2-} , dan S_5^{2-} .

C. ION KOMPLEKS YANG TERSUSUN DARI KATION DAN ANION ATAU MOLEKUL ORGANIK

Kation anorganik tertentu dapat membentuk senyawa koordinasi dengan anion atau molekul organik tertentu. Apabila kation berikatan dengan anion organik, maka akan dihasilkan ion kompleks negatif yang larut dalam air. Misalnya elektrolit yang dihasilkan antara ion feri dengan ion oksalat dapat membentuk ion kompleks sesuai persamaan:



D. SENYAWA KELAT YANG PENTING

Bidang kimia kelat dapat dikatakan relatif baru, sehingga penelitian-penelitian terus digalakkan. Salah satu penelitian penting yang telah dilakukan Wilstatter dan H. Fischer adalah ditemukannya rumus umum klorofil dan hemin (heme).

Beberapa peneliti berpendapat bahwa ketika kloroplas pecah, maka klorofilnya akan keluar. Klorofil dalam daun yang masih hidup berikatan dengan protein. Pada proses pemanasan proteinnya terdenaturasi, sehingga klorofil dapat dikeluarkan. Klorofil yang berwarna hijau akan berubah menjadi hijau kecokelatan dan mungkin berubah juga menjadi cokelat apabila atom magnesium diganti dengan atom hidrogen membentuk feofitin (klorofil yang kehilangan magnesium). Reaksi tersebut berjalan cepat dalam larutan yang bersifat asam.

Hemin (heme) adalah zat warna merah pada darah yang merupakan kelat besi. Senyawa ini mengandung cincin porfirin dengan empat inti pirol dan strukturnya dinyatakan mirip dengan struktur klorofil.

Struktur heme untuk hewan invertebrata seperti siput (*Crustaceans*) dan kerang (*mollusks*), atom pusat Fe diganti oleh Cu. Pengangkut oksigen lainnya di dalam darah invertebrata adalah senyawa kelat dari unsur Mn dan vanadium (V). Cincin porfirin induk yang pernah disintesis Fischer memiliki atom pusat Cu.

Bahan pengkelat menjadi sangat penting penggunaannya di dalam kimia analitik terutama dalam analisis kualitatif ion nikel, magnesium, dan aluminium yang diidentifikasi berdasarkan pembentukan kompleks kelat berwarna. Di dalam analisis gravimetri magnesium dan nikel diendapkan secara kuantitatif oleh penambahan bahan pengkelat. Di dalam analisis volumetri bahan pengkelat sering kali digunakan sebagai indikator dalam melakukan titrasi ion logam tertentu.

Bahan pengkelat banyak digunakan sebagai obat, detergen, antioksidan, pewarna, pelunak air sadah, deaktivator enzim dan lain-lain. Kelat pelepas ini tidak hanya penting dalam bidang komersial seperti di pabrik pencucian (*laundring*) dan ketel uap tetapi juga bahan pengkelat seperti EDTA digunakan untuk mempercepat penghilangan peracunan logam radioaktif dalam tubuh manusia. Adapun kelat pengendap sangat efektif digunakan dalam proses ekstraksi pelarut. Misalnya penggunaan kelat tenoiltrifluoroaseton dalam pelarut benzen mampu memisahkan di antara logam zirkonium dengan hafnium dengan koefisien distribusi sekitar 20.



LATIHAN

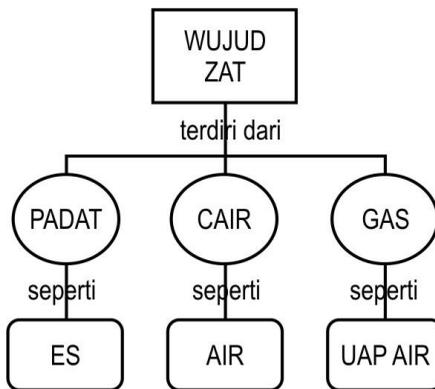
Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Buatlah peta konsep berpola hierarki tentang pengklasifikasian senyawa koordinasi bukan kelat dan senyawa koordinasi kelat berdasarkan komposisi kation dan anion penyusunnya, jenis ligan pembentuknya, dan jenis ikatan yang terlibat beserta masing-masing contohnya! Coba Anda deskripsikan!
- 2) Mengapa kompleks aqua seperti $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ harus distabilkan dalam larutan asam?

- 3) Mengapa kompleks $[\text{Al}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ tidak terbentuk dalam larutan berpelarut air?
- 4) Mengapa HCl yang dilepaskan bukannya H_2O ketika $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dipanaskan!
- 5) Hubungan antara hidrosida amfoter dengan ion kompleks hidroksida amfoter?

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Peta konsep berpola hierarki adalah penyusunan konsep-konsep atas dasar tingkatannya, mulai dari konsep yang bersifat umum ke bersifat khusus hingga contohnya. Dua konsep dihubungkan dengan kata penghubung sehingga membentuk suatu makna (proposisi). Misalnya Anda diharuskan menyusun peta konsep pola hierarki dari kumpulan konsep-konsep sebagai berikut (ujud zat, padat, cair, gas, es, air, uap air), maka peta konsep yang dikehendaki adalah:



Melalui uraian singkat tentang pengertian peta konsep, silakan Anda baca dengan seksama uraian materi pada Kegiatan Belajar 2 Modul 1 ini hingga Anda memperoleh pengertian dari konsep esensi pengklasifikasian senyawa koordinasi ini sesuai yang diminta dalam soal. Identifikasi konsep-konsep esensi tersebut berikut contoh-contohnya, kemudian Anda pertimbangkan posisinya dalam peta konsep. Silakan Anda coba !

- 2) Air terionisasi menghasilkan H^+ dan OH^- sekalipun konsentrasi OH^- sangat kecil, dalam waktu lama ion hidroksida akan berperan juga sebagai ligan hidroksido yang akan menggantikan molekul air dalam kompleks hidrat $[Cu(H_2O)_6]^{2+}$ hingga pada keadaan tertentu membentuk endapan. Proses ini mungkin Anda telah mengenalnya yaitu proses hidrolisis. Silakan Anda perhatikan tahapan-tahapan penggantian molekul air oleh OH^- pada uraian Kegiatan Belajar 2 ini, dan tetapkan senyawa yang berbentuk endapan tersebut. Dengan terbentuknya endapan tersebut, maka larutan tembaga hidrat tidak akan jernih lagi. Cara untuk mengatasinya adalah dilakukan dengan penambahan asam, di mana ion hidrogen akan mengikat ion hidroksi dan membentuk air kembali. Reaksi terakhir ini tidak lain adalah reaksi kebalikan dari proses hidrolisis.
- 3) Penjelasannya mirip dengan soal No. 2., tetapi pada soal ini $[Al(H_2O)_6]^{3+}$ ditambah dengan larutan amonia (terdapat molekul NH_3 , NH_4^+ , dan OH^-), sehingga ligan yang dapat mengganti molekul H_2O pada ion Al-hidrat adalah amina dan hidroksido. Tentukan kompleks yang berbentuk endapannya, kemudian kaitkan dengan kelarutannya.
- 4) Coba Anda tuliskan rumus $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ dalam bentuk penulisan senyawa koordinasi. Tetapkan mana ligan yang terkoordinasi ke atom pusat dan mana ion penyeimbang dari ion kompleks. Pengaruh pemanasan akan menimbulkan beberapa kemungkinan di antaranya: penguapan molekul air, ionisasi air menjadi H^+ dan OH^- , penggabungan silang kation dan anion atau penggantian ligan yang diikat. Fakta menunjukkan yang menguap adalah molekul HCl . Silakan Anda tafsirkan, tentukan kompleks baru yang terbentuk, dan mungkinkah mendapatkan $AlCl_3$ anhidros melalui pemanasan kristal $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ ini?
- 5) Dengan menuliskan persamaan kimia seperti dilakukan di Kimia Dasar, sifat amfoter $Al(OH)_3(s)$ dinyatakan sebagai berikut :
- $$Al(OH)_3(s) + 3 HCl(aq) \rightarrow AlCl_3(aq) + 3H_2O(l) \text{ reaksi dengan asam}$$
- $$Al(OH)_3(s) + NaOH(aq) \rightarrow NaAlO_2(aq) + 2 H_2O \text{ reaksi dengan basa}$$
- Dengan memperhatikan tahapan-tahapan reaksi yang ditunjukkan pada kompleks aqua dan hidroksido sebelumnya, silakan Anda tuliskan rumus $Al(OH)_3(s)$, $AlCl_3(aq)$ dan $NaAlO_2 + 2H_2O$ dalam bentuk penulisan senyawa koordinasi. Kemudian anda deskripsikan keterkaitan sifat amfoternya sesuai yang dimintakan soal di atas.



Senyawa koordinasi diklasifikasi berdasarkan atas komposisi, jenis ligan dan jenis ikatan yang menyusunnya. Berdasarkan komposisinya terdapat tiga jenis senyawa koordinasi yaitu: (1) senyawa koordinasi yang tersusun dari kation dengan molekul anorganik seperti senyawa hidrat dan senyawa amoniak, (2) senyawa koordinasi yang tersusun dari kation dengan anion anorganik seperti senyawa halida, hidroksida, sianida, tiosianat, tiosulfat, sulfida, dan anion homo atom, (3) senyawa koordinasi yang tersusun dari kation dengan anion dan molekul organik

Berdasarkan jenis ligan, dikenal senyawa koordinasi monodentat, kelat bidentat, kelat tridentat, kelat tetradentat dan kelat heksadentat. Berdasarkan jenis ikatannya dikenal senyawa koordinasi gugus asam yang membentuk ikatan kovalen, gugus koordinasi yang membentuk ikatan koordinasi, dan senyawanya koordinasi hasil gabungan ikatan kovalen dan kovalen koordinasi.

Senyawa koordinasi hidrat memiliki struktur umum $[M(H_2O)_x]^{n+}$, amonia $[M(NH_3)_x]^{n+}$, halida $[M(X)_x]^{n-}$, hidroksida $[M(OH)_x]^{n-}$, sianida $[M(CN)_x]^{n-}$, tiosianat $[M(CNS)_x]^{n-}$, tiosulfat $[M(S_2O_3)_x]^{n-}$, sulfida $[M(S)_x]^{n-}$.

Dengan penambahan basa (OH^-) terus menerus senyawa kompleks hidrat dapat diubah secara bertahap menjadi kompleks hidroksida yang dinyatakan dengan persamaan $[M(H_2O)_x]^{n+} + xOH^- \rightarrow [M(OH)_x]^{n-}$. Demikian kompleks hidroksida dapat diubah menjadi kompleks hidrat dengan penambahan H^+ secara terus menerus.

Klorofil dan heme merupakan senyawa kompleks kelat yang terdapat dalam sistem biologis masing-masing terdiri atas Mg-porfirin dan Fe-porfirin. Heme dalam hewan seperti siput dan kerang tersusun oleh senyawa kelat Cu-porfirin.



TES FORMATIF 2

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Ion sederhana terdapat dalam senyawa dengan rumus molekul atau ion
 - A. $CuSO_4(s)$
 - B. $CuSO_4 \cdot 5H_2O(s)$
 - C. $Cu^{2+}(aq)$
 - B. $Cu(H_2O)_6^{2+}$

- 2) Senyawa koordinasi yang dalam larutan akan menghasilkan endapan putih paling banyak ketika ditambahkan larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2(\text{aq})$ adalah
- $\text{CoCl}_3 \cdot 5\text{NH}_3(\text{s})$
 - $\text{CoCl}_3 \cdot 4\text{NH}_3(\text{s})$
 - $\text{Co}(\text{NH}_3)_6\text{Cl}_3(\text{s})$
 - $\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{ClCl}_2(\text{s})$
- 3) Ion kompleks hidrat yang menunjukkan warna merah adalah
- $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$
 - $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$
 - $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$
 - $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$
- 4) Rumus yang tepat dari senyawa koordinasi berikut yang ion kompleksnya terbentuk dari kation dan anion anorganik adalah
- $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]_2(\text{SO}_4)_3$
 - $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Br}_3$
 - $\text{Na}_2[\text{Co}(\text{ox})_3]$
 - $\text{Ca}_3[\text{Co}(\text{OH})_6]_2$
- 5) Senyawa yang memiliki rumus $[\text{Mn}(\text{en})_2\text{FBr}]\text{NO}_3$ merupakan senyawa koordinasi yang ion kompleks-nya tersusun dari
- kation dengan dua anion organik dan dua molekul anorganik
 - kation dengan dua anion anorganik dan dua molekul pembentuk kelat
 - kation dengan dua anion anorganik dan dua molekul anorganik
 - kation dengan dua anion pembentuk kelat dan dua molekul anorganik
- 6) Apabila ke dalam larutan senyawa koordinasi $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{SO}_4$ ditambahkan larutan NaOH secara bertahap, maka senyawa koordinasi baru yang berbentuk endapan adalah
- $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})]_2\text{SO}_4$
 - $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2]$
 - $\text{Na}[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_3(\text{OH})_3]$
 - $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{OH})_4]$
- 7) Senyawa koordinasi berikut yang memiliki gugus asam dan gugus koordinasi adalah
- $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{Br})]\text{I}$
 - $\text{K}[\text{Fe}(\text{en})(\text{C}_2\text{O}_4)\text{Br}_2]$

- C. $[\text{Co}(\text{en})_2(\text{bipy})]\text{SO}_4$
 D. $\text{Ca}[\text{Ni}(\text{C}_2\text{O}_4)(\text{SO}_4)]$
- 8) Pernyataan-pernyataan berikut semuanya benar tentang senyawa $\text{Na}_2[\text{CaEDTA}]$, *kecuali* senyawa koordinasi kelat
- dengan ion kompleks terdiri atas empat ikatan kovalen dan dua ikatan kovalen koordinasi
 - dengan ion kompleks terdiri atas empat gugus asam dan dua gugus koordinasi
 - dengan ion kompleks terdiri atas ligan heksadentat
 - beranggota enam dengan ion kompleks terdiri atas dua atom donor nitrogen dan empat atom donor oksigen
- 9) Senyawa koordinasi berikut yang ion kompleksnya memiliki dua ikatan kovalen dan empat ikatan kovalen koordinasi adalah
- $[\text{Fe}(\text{o-fenantrolin})_3]\text{Br}_2$
 - $[\text{Fe}(\text{bipiridin})_3]\text{Br}_2$
 - $[\text{Fe}(\text{diaminopropionato})_2]\text{Br}_2$
 - $[\text{Fe}_2(\text{tetrapiridil})_3]\text{Br}_2$
- 10) Senyawa dengan rumus $\text{Mg}[\text{Fe}(\text{ox})(\text{acac})_2]$ tergolong senyawa koordinasi yang memiliki
- ligan bidentat dengan 6 ikatan kovalen
 - cincin kelat beranggota lima dan enam
 - ligan tridentat dengan 6 ikatan koordinasi
 - cincin kelat dengan 2 ikatan kovalen dan 4 ikatan koordinasi

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali
 80 - 89% = baik
 70 - 79% = cukup
 < 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 3. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 3

Tatanama dan Isomerisasi Senyawa Koordinasi

Pada Kegiatan Belajar 3 ini, Anda akan mempelajari tatanama dan isomerisasi senyawa koordinasi. Dari uraian materi ini, diharapkan Anda dapat mendeskripsikan dan menerapkan tatanama dan isomerisasi senyawa koordinasi dengan tepat, baik dalam memberi nama beberapa senyawa yang telah diketahui rumus molekulnya atau sebaliknya dapat menuliskan rumus kimianya dan mengetahui jenis isomerisasi.

A. TATANAMA SENYAWA KOORDINASI

Seiring dengan sejarah penemuannya, diketahui ada tiga cara dalam memberikan penamaan senyawa koordinasi yaitu penamaan yang didasarkan atas nama penemunya, warna yang ditunjukkan, serta komposisi dan struktur yang dimiliki senyawa itu. Dasar penamaan terakhir direkomendasikan oleh *International of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) khususnya *Division of Chemical Nomenclature and Structure Representation* yang dipandang lebih ilmiah karena mencerminkan karakteristik dari senyawa yang bersangkutan, sistematis, konsisten, mudah dipelajari, dapat diterima oleh kalangan luas juga memudahkan dalam mengomunikasikannya.

Pengamatan ilmiah tentang senyawa koordinasi dirintis oleh Andreas Libavius pada tahun 1597 dengan hasil temuannya adalah ion kompleks $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ yang berwarna biru campuran antara air kapur, NH_4Cl dan logam kuning (aliansi dari Cu dengan Zn). Contoh senyawa koordinasi adalah zat yang berwarna biru Prussia dengan rumus $\text{KCN} \cdot \text{Fe}(\text{CN})_2 \cdot \text{Fe}(\text{CN})_3$ atau sekarang dinyatakan dengan $\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ (biru Berlin) yang telah digunakan sebagai pewarna lukisan di abad ke-18 oleh Diesbach seorang penata warna di Berlin. Contoh lainnya yang ditemukan pada tahun 1760 adalah kalium heksakloroplatinat(IV), $\text{K}_2[\text{PtCl}_6]$ digunakan untuk memurnikan logam platina.

Pada tahun 1798, seorang ahli kimia Perancis bernama B.M.Tassaert melarutkan CoCl_3 ke dalam larutan amonia (pelarut air) diperoleh $\text{CoN}_6\text{H}_{18}\text{Cl}_3$.

Perkembangan berikutnya, senyawa koordinasi diperoleh dengan anion-anion lain seperti CN^- , NO_2^- , NCS^- , dan Cl^- . Pada saat itu Tassaert belum dapat menjelaskan mengapa senyawa stabil seperti CoCl_3 dan NH_3 dapat bereaksi membentuk senyawa baru $\text{Co}(\text{NH}_3)_6\text{Cl}_3$, sehingga hampir 100 tahun penjelasan tentang senyawa koordinasi mengalami kemandegan. Namun demikian dengan pertimbangan untuk memberikan penghargaan kepada para penemunya senyawa koordinasi diberi nama sesuai penemunya seperti contoh yang dinyatakan Tabel 1.3:

Tabel 1.3.
Nama Senyawa Koordinasi Berdasarkan Penemunya

Senyawa Koordinasi	Nama	Rumus Sekarang
$\text{Cr}(\text{SCN})_3 \cdot \text{NH}_4\text{SCN} \cdot 2\text{NH}_3$	Garam Reinecke's	$\text{NH}_4[\text{Cr}(\text{NH}_3)_2(\text{NCS})_4]$
$\text{PtCl}_2 \cdot 2\text{NH}_3$	Garam Hijau Magnus's	$[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4][\text{PtCl}_4]$
$\text{PtCl}_2 \cdot 2\text{NH}_3$	Garam Pink Magnus's	$[\text{Pt}(\text{NH}_3)_3\text{Cl}]_2[\text{PtCl}_4]$
$\text{Co}(\text{NO}_2)_3 \cdot \text{KNO}_2 \cdot 2\text{NH}_3$	Garam Erdmann's	$\text{K}[\text{Co}(\text{NH}_3)_2(\text{NO}_2)_4]$
$\text{PtCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot \text{C}_2\text{H}_4$	Garam Zeise's	$\text{K}[\text{Pt}(\text{C}_2\text{H}_4)\text{Cl}_3]$
$\text{Co}(\text{NO}_2)_3 \cdot 3\text{KNO}_2$	Garam Fischer's	$\text{K}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$
$\text{PtCl}_4 \cdot 6\text{NH}_3$	Klorida Drechsel's	$[\text{Pt}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_4$
$\text{PtCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot \text{NH}_3$	Garam Cossas's Pertama	$\text{K}[\text{Pt}(\text{NH}_3)\text{Cl}_3]$
$\text{PtCl}_4 \cdot \text{KCl} \cdot \text{NH}_3$	Garam Cossas's Kedua	$\text{K}[\text{Pt}(\text{NH}_3)\text{Cl}_5]$

Penamaan akan menemui kesulitan sebab senyawa tersebut tidak mencerminkan karakteristik atau identitas dari senyawa yang bersangkutan terutama mengenai komposisinya, sehingga tidak ada pola yang konsisten untuk dijadikan patokan.

Penamaan kemudian berdasarkan atas warna, di mana yang berwarna kuning diberi awalan *luteo*, ungu dengan *purpureo*, hijau dengan *praseo* seperti contoh yang dinyatakan pada Tabel 1.4.

Ketika senyawa tersebut menunjukkan warna senyawanya yang relatif sama karena memiliki jumlah amonia sama, maupun tidak berwarna, seperti masing-masing isomer dari senyawa $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}_2]\text{Cl}$ ataupun

$[\text{Co}(\text{NH}_3)_4(\text{NO}_2)_2]\text{Cl}$ menunjukkan warna yang berbeda maka hal tersebut merupakan kelemahan dari penamaan tersebut. Akhirnya aturan penamaan senyawa koordinasi yang dipakai sekarang mengacu pada hasil rekomendasi dari IUPAC.

Tabel 1.4.
Nama Senyawa Koordinasi Berdasarkan Warna (Tassaert-Fremy)

Rumus awal	Rumus sekarang	Warna	Nama
$\text{CoCl}_3 \cdot 6\text{NH}_3$	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$	Kuning	Luteo kobaltat klorida
$\text{CoCl}_3 \cdot 5\text{NH}_3$	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]\text{Cl}_2$	Ungu	Purpleo kobaltat klorida
$\text{CoCl}_3 \cdot 4\text{NH}_3$	$\text{trans}-[\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}_2]\text{Cl}$	Hijau	Praseo kobaltat klorida
$\text{CoCl}_3 \cdot 4\text{NH}_3$	$\text{cis}-[\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}_2]\text{Cl}$	Violet	Violeo kobaltat klorida
$\text{CoCl}_3 \cdot 5\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_5(\text{H}_2\text{O})]\text{Cl}_3$	Merah-pink	Roseo kobaltat klorida
$\text{Co}(\text{NO}_2)_2\text{Cl} \cdot 4\text{NH}_3$	$\text{cis}-[\text{Co}(\text{NH}_3)_4(\text{NO}_2)_2]\text{Cl}$	Kuning-coklat	Flavo kobaltat klorida
$\text{Co}(\text{NO}_2)_2\text{Cl} \cdot 4\text{NH}_3$	$\text{trans}-[\text{Co}(\text{NH}_3)_4(\text{NO}_2)_2]\text{Cl}$	Oranye-kuning	Croseo kobaltat klorida
$\text{IrCl}_3 \cdot 6\text{NH}_3$	$[\text{Ir}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$	Putih	Luteo iridium klorida

Lingkup tatanama senyawa koordinasi yang menjadi perhatian IUPAC menekankan pada kaidah bahasa, pembentukan dan konfigurasi senyawa koordinasi

B. KAIDAH BAHASA DALAM TATA NAMA KIMIA SENYAWA KOORDINASI

Di samping definisi istilah, hal lain yang perlu diperhatikan dalam pengkajian tatanama senyawa koordinasi adalah kaidah bahasa seperti penggunaan tanda baca, simbol, imbuhan, kata dan lain-lain.

1. Penggunaan Tanda Kurung

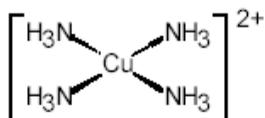
Ada tiga jenis tanda kurung yang digunakan untuk menyatakan rumus dan nama kimia, yaitu : tanda kurung biasa (), kurung kurawal { }, dan kurung siku [].

Di dalam *rumus kimia*, kurung biasa, kurung kurawal, dan kurung siku disusun sesuai urutan [], [()], [{}], [{}()], [{}({})], dan seterusnya. Di dalam *nama kimia* sesuai urutan (), [()], [{}()], ({}({})), dan seterusnya.

Misalnya: $[\text{Rh}_3\text{Cl}(\mu\text{-Cl})(\text{CO})_3\{\mu_3\text{-Ph}_2\text{PCH}_2\text{P}(\text{Ph})\text{CH}_2\text{PPh}_2\}_2]^+$

Penggunaan [] dalam rumus mengikuti aturan, di antaranya yaitu :

- Untuk masing-masing kation dan anion kompleks dalam senyawa koordinasi seperti $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6][\text{Cr}(\text{CN})_6]$.
- Untuk menutup rumus struktur molekul atau ion kompleks seperti



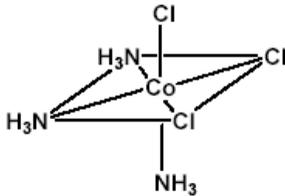
Penggunaan [] dalam nama kimia adalah untuk menspesifikasi simbol nuklida dengan penulisan sebelum nama senyawa. Misalnya ^{13}C pentakarbonilbesi dari rumus kimianya yaitu $^{13}\text{C}[\text{Fe}(\text{CO})_5]$.

Penggunaan () dalam rumus mengikuti aturan, di antaranya yaitu:

- Untuk menutup gugus atom yang identik baik ion, molekul, atau gugus substituen. Biasanya diikuti oleh angka *subscript*. Misalnya $[\text{Ni}(\text{CO})_5]$.
- Untuk menutup molekul atau ligan bermuatan dalam senyawa koordinasi, seperti $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5(\text{ONO})]\text{SO}_4$.
- Untuk menutup singkatan nama ligan, seperti $[\text{Co}(\text{en})_3]^{3+}$.

Penggunaan () dalam nama kimia mengikuti aturan, di antaranya yaitu:

- Untuk menyertai awalan kelipatan seperti bis, tris dan seterusnya. Misalnya $[\text{CuCl}_2(\text{NH}_2\text{Me})_2]$ dikloridobis(metilamina) tembaga(II).
- Untuk menutup bilangan oksidasi dan muatan seperti $\text{Na}[\text{B}(\text{NO}_3)_4]$ dengan nama natrium tetranitratoborat(III) atau natrium tetranitratoborat(1-).
- Untuk menutup deskriptor stereokimia seperti



- d. $[\text{CoCl}_3(\text{NH}_3)_3]$ (*OC-6-22*)-triamminatrikloridokobal(III)
Tanda kurung kurawal { } digunakan di dalam rumus dan nama kimia sesuai urutan yang telah dikemukakan di atas.

2. Penggunaan Spasi

Di dalam tatanama anorganik, spasi digunakan di dalam nama senyawa dengan mengikuti kaidah bahasa masing-masing negara. Spasi tidak digunakan untuk rumus kimia. Spasi digunakan untuk :Untuk memisahkan nama-nama ion di dalam garam. Misalnya : NaCl , $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$

Di dalam senyawa biner, untuk memisahkan bagian yang elektropositif dengan bagian elektronegatif. Misalnya: P_4O_{10} **tetrafosfor dekaoksida**

Untuk memisahkan angka arab dari simbol atom pusat yang ditulis dengan huruf miring diantara tanda kurung () pada akhir nama senyawa polinuklir.

Misalnya : $[\text{Os}_3(\text{CO})_{12}]$ *cyclo*-tris(tetrakarbonilosmium)(**3 Os—Os**)

3. Penggunaan Angka

Angka romawi

Angka romawi digunakan didalam rumus sebagai *superscript* kanan untuk menandai bilangan oksidasi. Misalnya: $[\text{Co}^{\text{II}}\text{Co}^{\text{III}}\text{W}_{12}\text{O}_{42}]^{7-}$
 $[\text{Mn}^{\text{VII}}\text{O}_4]^-$

Di dalam nama senyawa menunjukkan bilangan oksidasi atom yang diberi tanda kurung ().

Misalnya: $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ heksaaquabesi(**II**)

4. Alfabet Yunani

η = *eta*, untuk menandai atom donor ligan yang bertetangga dekat dengan atom pusat.

κ = *kappa*, penanda atom yang terikat logam pusat.

Λ = *lambda kapital*, untuk menunjukkan konfigurasi absolut.

μ = *mu*, untuk menandai ligan jembatan.

5. Awalan yang Menyatakan Kelipatan

Jumlah bagian kimia identik di dalam nama senyawa dinyatakan dengan awalan angka. Di dalam ligan monoatom, awalan yang menyatakan kelipatan dinyatakan dengan **di**, **tri**, **tetra**, **penta** dan seterusnya.

Awalan bis, tris, tetrakis, pentakis dan seterusnya. digunakan di dalam ligan organik tersubstitusi atau untuk menghindari kekeliruan dengan ligan sederhana. Nama ligannya berada dalam tanda kurung ().

Misalnya: $[\text{Fe}(\text{CCPh})_2(\text{CO})_4]$ **tetrakarbonilbis**(feniletinil)besi

C. MENGGAMBARAKAN PEMBENTUKAN SENYAWA KOORDINASI

Ada tiga metode utama untuk menggambarkan pembentukan suatu senyawa yaitu menggambarkan struktur, menuliskan nama dan rumus. Gambar struktur memberikan informasi tentang posisi komponen molekul dalam bentuk ruang. Nama suatu senyawa koordinasi memberikan informasi yang rinci tentang komponen struktural yang ada dan memsistematisasikan penggunaan rumus agar lebih baik.

1. Penamaan Senyawa Koordinasi

Nama-nama senyawa koordinasi diturunkan berdasarkan gugus yang mengelilingi atom pusat ditentukan namanya. Gugus (ligan) tersebut harus diberi awalan untuk menyatakan jumlahnya kemudian disebutkan sebelum nama atom pusat. Awalan yang diberikan dinyatakan dengan sederhana kemudian diikuti nama ligan.

a. Mengurutkan nama ligan dan atom pusat

- 1) Nama ligan disebutkan sebelum nama atom pusat, Nama ion/molekul kompleks dituliskan dengan satu suku kata tanpa spasi.
- 2) Nama-nama ligan diurutkan secara alfabetis (awalan angka yang menunjukkan jumlah ligan tidak menjadi penentu urutan).
- 3) Nama senyawa tidak disingkat.

Contoh: $[\text{CoCl}(\text{NH}_3)_5]\text{Cl}_2$ **pentaamminakloridokobal(2+)** klorida.

b. *Menyatakan jumlah ligan dalam ion/molekul kompleks*

Ada dua jenis cara memberikan awalan terhadap angka yang menyatakan jumlah ligan dalam ion/molekul kompleks yaitu:

- 1) Awalan **di**, **tri**, **tetra** dan seterusnya. digunakan untuk ligan sederhana (monodentat). Tidak menggunakan tanda kurung.
- 2) Awalan **bis**, **tris**, **tetrakis** dan seterusnya. digunakan untuk ligan polidentat atau untuk menghindari kekeliruan. Digunakan tanda kurung pada nama ligan. Contoh: 1. $(\text{NH}_3)_2$ diammina, 2. $(\text{en})_2$ bis (etilenadiamina).

c. *Menyajikan nama ligan*

Nama sistematis dan alternatif dari beberapa ligan secara umum dinyatakan:

- 1) Nama-nama ligan anion anorganik maupun organik mengalami perubahan nama dengan ketentuan sebagai berikut:
akhiran anion : ida, it, at dan nama ligan ido, ito, ato
Nama-nama ligan netral dan kation termasuk ligan organik digunakan tanpa perubahan nama (tetap menggunakan akhiran ida, it atau at).
- 2) Tanda kurung digunakan untuk nama-nama ligan netral, kation, anion anorganik yang memiliki awalan angka (seperti trifosfato), nama komposisional (seperti karbon disulfida), ligan organik tersubstitusi. Demikian untuk ligan-ligan seperti aqua, ammina, karbonil, nitrosil, metil, etil, dan seterusnya. tidak perlu menggunakan tanda kurung kecuali kalau menimbulkan kerancuan.
- 3) Ligan-ligan yang terikat logam melalui atom karbon secara khusus dibahas dalam senyawa organologam (tidak dibahas dalam Modul ini). Contoh: Cl^- (klorido); CN^- (sianido), MeNH_2 (metanamina) dan lainnya.

d. *Jumlah muatan, bilangan oksidasi dan proporsi ionik*

Metode berikut dapat digunakan untuk membantu dalam menggambarkan komposisi senyawa.

- 1) Semua ion kompleks anion diberi akhiran **at**, sedangkan nama akhir ion kompleks netral dan kation tidak dibedakan.
- 2) Bilangan oksidasi atom pusat ditunjukkan dengan membubuhkan Angka Romawi yang diberi tanda kurung setelah nama atom pusat disertai, ini dilakukan apabila bilangan oksidasinya tidak diragukan. Jika perlu tanda

negatif, maka ditempatkan sebelum angka. Nol Arab menunjukkan bilangan oksidasi nol.

- 3) Alternatif lain, muatan ion kompleks dituliskan dengan angka arab, diikuti muatan dan diberi tanda kurung, kemudian diikuti nama atom pusat tanpa spasi.
- 4) Perbandingan ion dinyatakan dengan menggunakan awalan stoikiometri pada kedua ion tersebut.

Contoh:

- (a) $K_4[Fe(CN)_6]$ kalium heksasianidoferat(II) atau kalium heksasianioferat(4-) atau tetrakalium heksasianidoferat.
- (b) $[Co(NH_3)_6]Cl_3$ heksaamminakobal(III) klorida.
- (c) $[CoCl(NH_3)_5]Cl_2$ pentaamminakloridokobal(3+) klorida.
- (d) $[Fe(CNMe)_6]Br_2$ heksakis(metil isosianida)besi(II) bromida.
- (e) $[Co(en)_3]Cl_3$ tris(etana-1,2-diamina)kobal(III) triklorida.

2. Rumus Senyawa Koordinasi

Rumus senyawa ini lebih fleksibel dapat digunakan dalam berbagai keperluan. Oleh karena itu, aturan yang diberikan diharapkan dapat memberi informasi yang cukup tentang struktur senyawa.

a. Mengurutkan simbol atom di dalam rumus senyawa koordinasi

- 1) Atom pusat harus dituliskan pertama kemudian diikuti rumus ligan.
- 2) Senyawa kompleks yang memiliki dua atau lebih atom pusat, urutan penulisan atom pusat diurutkan berdasarkan keelektronegatifannya.
- 3) Penulisan ligan-ligan dalam rumus diurutkan secara alfabetis dari huruf pertama rumusnya seperti **CH₃CN**, **MeCN** dan **NCMe** **urutannya adalah C, M, kemudian N**. Penempatan urutan ligan tidak bergantung muatannya termasuk ligan-ligan polidentat.
- 4) Apabila ligan dituliskan dalam bentuk singkatannya, maka urutannya didasarkan atas huruf pertama dari singkatan tersebut, misalnya (en) adalah **e** dan (py) adalah **p**.
- 5) Apabila ligan harus dituliskan secara lengkap rumus molekulnya, maka urutan penulisan didasarkan atom donor yang terdekat ke atom pusat (aturan ini sangat direkomendasikan)
- 6) Kadang-kadang penulisan ligan diperlukan secara linier.

Contoh : $[PtCl_2\{P(OEt)_3\}_2]$, $[Al(OH)(OH_2)_5]^{2+}$

b. *Penggunaan tanda kurung*

Rumus kompleks baik yang bermuatan ataupun tidak harus dituliskan di dalam tanda kurung siku [], sedangkan ligan poliatom atau singkatan ligan diberikan tanda kurung (). Penulisan rumus senyawa koordinasi tidak ada spasi. Contoh : $[\text{Co}(\text{en})_3]\text{Cl}_3$.

c. *Muatan ion dan bilangan oksidasi*

Apabila kompleks bermuatan dituliskan tanda adanya ion penyeimbang (*counter ion*), maka muatan kompleks tersebut dituliskan di sebelah kanan atas kurung siku (*superscript*) dengan lebih mendahulukan angka kemudian tanda. Bilangan oksidasi atom pusat dituliskan dengan Angka Romawi di sebelah kanan atas lambang unsur.

Contoh: 1. $[\text{PtCl}_6]^{2-}$

2. $[\text{Cr}^{\text{III}}(\text{NCS})_4(\text{NH}_3)_2]^-$

d. *Penggunaan singkatan*

- 1) Singkatan tersebut dituliskan dalam tanda kurung ().
- 2) Singkatan ligan harus dituliskan di bagian awal buku atau publikasi ilmiah misalnya Me untuk metil, Et untuk etil, en untuk etilenadiamina. Singkatan harus ringkas dan praktis, tetapi harus mengandung lebih dari satu huruf atau simbol, dan sistematis.
- 3) Dari nama ligan, misalnya (ida) untuk menyatakan iminodiasetato.
- 4) Singkatan biasanya menggunakan, atau mengikuti ketentuan sebagai berikut:

Singkatan alkil, aril dan gugus sejenis ini dinyatakan dengan huruf pertamanya kapital (huruf besar) dan berikutnya dengan huruf kecil. Misalnya Me (untuk metil), Ac (untuk asetil), Cp untuk (cyclopentadienil) dan sebagainya.

- 5) Dalam kasus ligan yang memiliki lebih dari satu atom donor, maka penulisannya adalah menggunakan sistem kappa (κ). Misalnya ligan anion glisinay (gly) yang ikatan koordinasinya terjadi pada atom nitrogen (N, maka singkatan ligan tersebut dinyatakan dengan gly- κ -N sebagaimana tercantum dalam kompleks $[\text{M}(\text{gly-}\kappa\text{-N})_3\text{X}_3$

Beberapa Singkatan ligan dapat Anda lihat pada Tabel 1.5 berikut ini.

Tabel 1.5.
Beberapa Singkatan Ligan

Singkatan	Nama Sistematis	Nama Lain
Ac acac edta en Ph	Asetil 2,4-dioksopentan-3-ido 2,2',2'',2'''-(etana-1,2- diildinitrilo)tetraasetato etana-1,2-diamina fenil	Asetilasetonato bis(asetilasetonato)etilenediamina etilenadiaminatetraasetato

3. Menspesifikasi Atom Donor

Menspesifikasi atom donor diperlukan untuk ligan-ligan yang memiliki lebih dari satu atom donor. Ada dua aturan yang digunakan yaitu aturan kappa (κ) dan eta (η) seperti yang akan dijelaskan berikut:

a. Penggunaan simbol kappa

- 1) Simbol kappa digunakan untuk menunjukkan titik pengikatan (atom donor) di dalam senyawa kompleks. Atom donor tersebut harus ditunjukkan oleh lambang unsurnya yang ditulis dengan huruf miring dan diawali simbol kappa. Simbol-simbol ini ditempatkan setelah nama ligan baik yang berupa cincin, rantai atau gugus substituen. Dalam ligan NCS ada dua kemungkinan atom donor yang dapat diikat atom pusat yaitu atom nitrogen (N) dan atom belerang (S). Untuk menandai terjadinya pengikatan melalui atom N, maka penamaannya dinyatakan dengan tiosianato- κN , sedangkan pengikatan melalui atom S dinamakan tiosianato- κS . Di dalam kasus dua ligan identik atau lebih maupun bagian-bagian dari ligan polidentat, penandaannya dilakukan dengan membubuhkan *superscript* pada simbol kappa.

Contoh: $[\text{NiBr}_2(\text{Me}_2\text{PCH}_2\text{CH}_2\text{PMe}_2)]$

dibromido[etana-1,2-diilbis(dimetilfosfana)- $\kappa^2 P$]nikel(II)

- 2) Atom-atom donor dibedakan dengan membubuhkan *superscript* sebelah kanan atas dari simbol unsur dengan tanda petik berbeda seperti N dan N' atau N'' .

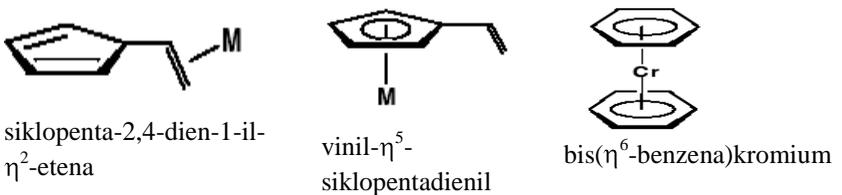
$[\text{N}-(2\text{-amino-}\kappa N\text{-etil})\text{-}N'-(2\text{-aminoetil})\text{etana-1,2-diamina-}\kappa^2 N, N']\text{-}$

klorido-platinum(II), menunjukkan hanya ada satu amina primer yang terkoordinasi. Gugus ini tidak ditunjukkan dengan menggunakan awalan

bis sebagai pengulangan (2-aminoetil) melainkan dengan memasukan indeks kappa hanya pada unit pertama seperti (2-amino- κN -etil). Adapun keterlibatan atom nitrogen dalam pengkelatan etana-1,2-diamina ditunjukkan oleh indeks $\kappa^2 N, N'$. Awalan yang menyatakan jumlah ligan seperti bis harus dioperasikan juga terhadap simbol kappa (simbol kappanya ada dalam tanda kurung). Gunakan nama parsial bis(2-amino- κN -etil) jangan bis(2-amino- $\kappa^2 N$ -etil)

b. *Penggunaan simbol eta*

Simbol η (eta) menyatakan jumlah atom donor yang terikat oleh atom pusat baik dari ligan biasa (penyumbang pasangan elektron) maupun ligan sistem π yang terdapat dalam hidrokarbon tak jenuh. Jika jumlah atom donor yang terikat logam adalah 3, 4, atau 5, maka penulisan simbol eta dinyatakan dengan η^3 (eta tiga atau trihapto untuk sistem π), η^4 (eta empat atau tetrahapto) dan η^5 (eta lima atau pentahapto). Pada penulisan nama senyawa kompleks simbol eta ditambahkan sebagai awalan pada nama ligan atau bagian dari ligan seperti ditunjukkan pada (Gambar 1.11) seperti contoh berikut.



Gambar 1.11

Contoh: $[(OC)_5 Re^1 Co^2(CO)_4]$ nonakarbonil-1 $\kappa^5 C, 2\kappa^4 C$ -reniumkobal(*Re—Co*)

4. Kompleks Multi Inti (*Polynuclear*)

a. *Ligan jembatan*

Ligan jembatan ditunjukkan dengan menggunakan simbol μ (**mu**) yang ditulis sebelum nama ligan dan dipisahkan dengan tanda hubung (-). Misalnya μ -klorido dipisahkan dari nama ligan oleh tanda hubung sebagaimana terdapat dalam **amina- μ -klorido-klorido**, atau diberi tanda

kurung () untuk ligan yang lebih rumit. Jumlah ligan jembatan sejenis harus diberi awalan seperti **tri- μ -klorido**, atau **bis(μ -difenilfosfido)**.

b. Ikatan logam-logam

- 1) Dalam penulisan nama, ikatan logam-logam ditunjukkan oleh simbol-simbol atom logam berhuruf miring yang dipisahkan dengan tanda sambung panjang, diberi tanda kurung (), dan ditempatkan sebelum muatan ion
- 2) Simbol-simbol atom logam diurutkan sesuai prioritas keelektronegatifannya

Jumlah ikatan antara logam-logam ditunjukkan dengan angka arab yang ditempatkan sebelum simbol atom logam pertama dan diberi spasi

Contoh: 1. $[\text{Br}_4\text{ReReBr}_4]^{2-}$ bis(tetrabromidorenat)

D. ISOMERISASI

Senyawa yang memiliki komposisi kimia sama tetapi berbeda sifatnya disebut *isomer*, sedangkan prosesnya dinamakan *isomerisasi*. Perbedaan sifat tersebut diakibatkan berbedanya struktur dari atom yang menyusunnya. Secara umum ada dua jenis isomerisasi yang diketahui dalam senyawa koordinasi, yaitu isomerisasi struktural dan isomerisasi ruang (stereoisomerisasi). Isomerisasi struktural meliputi isomerisasi ionisasi, isomerisasi hidrat, isomerisasi koordinasi, isomerisasi polimerisasi, dan isomerisasi pertautan (*linkage*). Adapun stereoisomerisasi meliputi isomerisasi geometri dan isomerisasi optik.

1. Isomerisasi Struktural

Isomerisasi struktural adalah proses pembentukan isomer-isomer dari senyawa yang memiliki rumus molekul sama tetapi berbeda struktur molekulnya (jumlah dan jenis ikatan kimianya) misal isomerisasi ionisasi, hidrat, koordinasi, polimerisasi, dan pertautan.

a. Isomerisasi ionisasi

Senyawa yang memiliki komposisi kimia sama tetapi pembentukan ion dalam larutan berbeda disebut isomerisasi ionisasi.

Misalnya $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Br}]\text{SO}_4$ yang berwarna violet merupakan isomer ionisasi dari $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{SO}_4]\text{Br}$ yang berwarna merah. Kedua senyawa

tersebut mempunyai rumus kimia yang sama tetapi ion-ion dalam larutannya berbeda.

Senyawa yang berwarna violet terionisasi menghasilkan $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Br}]^{2+}$ dan SO_4^{2-} , sehingga jika ke dalam senyawa kompleks tersebut ditambahkan larutan BaCl_2 , maka akan terbentuk endapan putih BaSO_4 . Gejala ini menunjukkan bahwa ion sulfat tidak terikat atom pusat.

Larutan yang berwarna merah akan terionisasi menjadi $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{SO}_4]^+$ dan ion Br^- , sehingga jika ditambahkan larutan perak nitrat, maka larutan kompleks tersebut menghasilkan endapan krem AgBr . Gejala ini menunjukkan bahwa ion bromida tidak terikat ke atom pusat.

Isomer (A) tidak bereaksi dengan larutan perak nitrat tetapi terbentuk endapan putih BaSO_4 , ion klorida terikat ke atom pusat, sedangkan ion sulfat tidak. Isomer (B) tidak bereaksi dengan larutan barium klorida tetapi memberikan endapan putih dengan larutan perak nitrat, ion sulfat terikat atom pusat, sedangkan ion klorida satu terikat ke atom pusat dan satu lagi tidak.

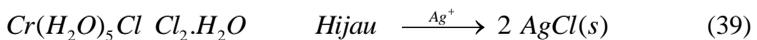
b. Isomerisasi hidrat

Senyawa yang memiliki komposisi kimia sama tetapi berbeda dalam jumlah molekul air yang diikat atom pusat disebut isomer hidrat karena seringkali air digunakan sebagai pelarut contoh: senyawa koordinasi $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Melalui pengukuran hantaran listrik, senyawa koordinasi ini mempunyai rumus molekul sebagai berikut jika ditambah kan larutan AgNO_3 :



tidak menghasilkan air ketika dimasukkan ke dalam alat pemanas desikator



menghasilkan 2 mol AgCl , dan jika disimpan pada desikator melepaskan 1 mol air



menghasilkan 1 mol AgCl dan pada desikator melepaskan 2 mol air. Jadi ion klorida yang bereaksi dengan larutan AgNO_3 tersebut tidak terikat ke ion pusat $\text{Cr}(\text{III})$, demikian juga molekul yang air yang lepas atau hilang dalam desikator tidak terikat ke atom pusat.

c. *Isomerisasi koordinasi*

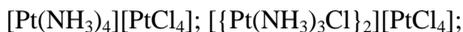
Di dalam senyawa koordinasi ini, baik kation maupun anion adalah berupa ion kompleks, namun sebaran ligan di antara dua logam atom pusat berbeda, isomer seperti ini dinamakan isomer koordinasi.

Senyawa $\text{Pt}(\text{NH}_3)_4]^{2+}[\text{PtCl}_4]^{2-}$ dan $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_3\text{Cl}]^+; [\text{Pt}(\text{NH}_3)\text{Cl}_3]$ merupakan isomer koordinasi. Adapun senyawa $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ walaupun memiliki perbandingan jumlah atom-atomnya sama, tetapi rumus secara keseluruhan berbeda. Oleh karena itu rumus tersebut bukan merupakan isomer koordinasinya. Isomer $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} [\text{PtCl}_4]^{2-}$ dan $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4]^{2+} [\text{CuCl}_4]^{2-}$ kedua senyawa ini memiliki komposisi kimia yang sama tetapi ion kompleks pembentuknya berbeda.

d. *Isomerisasi polimerisasi*

Isomerisasi jenis ini terjadi ketika senyawa memiliki komposisi stoikiometri sama tetapi komposisi molekuler nyata merupakan kelipatan dari susunan stoikiometri paling sederhana. Fenomena ini terjadi diantara senyawa yang memiliki rumus empiris sama tetapi berbeda dalam massa molekulnya.

Contoh: $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$;



Senyawa kedua, ketiga, dan keempat dapat dikatakan sebagai polimer dari senyawa pertama.

e. *Isomerisasi pertautan (linkage)*

Ligan tertentu (ambidentat) memiliki lebih dari satu atom alternatif yang dapat diikat oleh logam pusat. Isomerisasi seperti ini dinamakan isomerisasi pertautan (*linkage*).

Contoh: Senyawa koordinasi $\text{CoCl}_2(\text{NO}_2) \cdot 5\text{NH}_3$ telah berhasil dibuat menjadi dua senyawa berbeda, yang masing-masing mengandung ion NO_2^- . Kedua senyawa ini menghasilkan dua mol AgCl ketika ditambah larutan AgNO_3 . Oleh karena itu kedua ion klorida tidak terikat ke atom pusat kobalt. Larutannya dalam pelarut air menunjukkan sifat basa (mengubah warna kertas lakmus merah menjadi biru). Hal ini menandakan bahwa molekul amonia terikat ke atom pusat.

Perlu Anda perhatikan bahwa ligan-ligan lain yang dapat membentuk isomer partautan adalah :



2. Stereoisomerisasi

Stereoisomerisasi adalah proses pembentukan isomer-isomer dari senyawa yang memiliki rumus molekul dan ikatan yang sama tetapi berbeda susunan atomnya dalam ruang. Stereoisomerisasi terdiri atas dua bagian yaitu isomerisasi geometri dan isomerisasi optis.

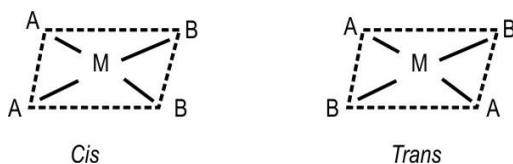
a. Isomerisasi geometri

Isomerisasi geometri merupakan salah satu postulat dari teori Werner. Isomerisasi jenis ini menyatakan proses di mana senyawa yang memiliki komposisi sama tetapi berbeda dalam posisi relatif dari susunan atom atau gugus (ligan) dalam ruang. Ligan-ligan yang berposisi saling memihak satu dengan yang lainnya dinamakan isomer *cis*, sedangkan posisi yang saling berlawanan dinamakan isomer *trans*. Oleh karena itu, isomerisasi jenis ini sering disebut isomerisasi *cis-trans*.

Isomerisasi geometri faktornya ditentukan oleh bilangan koordinasi dari logam pusat. Adapun susunan isomer geometri senyawa koordinasi yang paling banyak ditemukan adalah untuk bilangan koordinasi 4 dan 6.

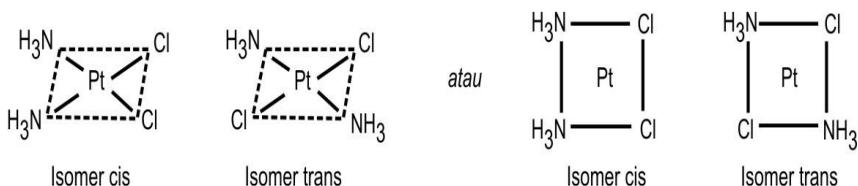
1) Isomerisasi geometri bilangan koordinasi empat

Senyawa koordinasi dengan bilangan koordinasi empat kebanyakan memiliki bentuk planar atau tetrahedral. Isomerisasi *cis-trans* tidak mungkin terjadi dalam kompleks tetrahedral karena keempat ligan memiliki jarak yang sama di antara yang satu dengan yang lainnya, (Gambar 1.12).



Gambar 1.12.
Isomer Geometri Senyawa Koordinasi MA_2B_2

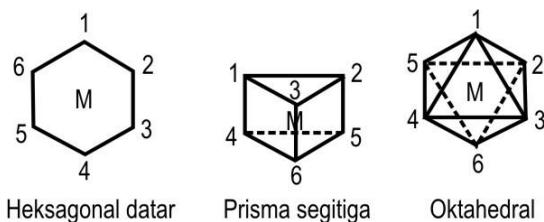
Isomer cis dan trans dari $[PtCl_2(NH_3)_2]$ ditunjukkan pada Gambar 1.13 berikut.



Gambar 1.13.
Struktur Isomer Cis dan Trans dari $[PtCl_2(NH_3)_2]$

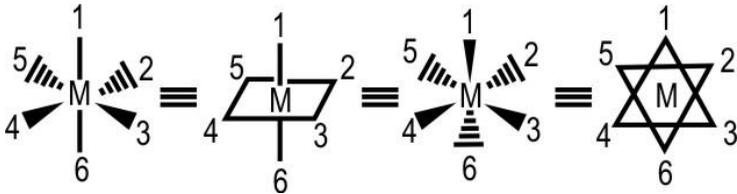
2) Isomerisasi geometri bilangan koordinasi enam

Senyawa koordinasi dengan bilangan koordinasi enam merupakan senyawa yang paling umum. Enam gugus yang terkoordinasi ke atom pusat dapat tersusun dalam tiga bentuk yaitu: (1) heksagonal datar, (2) prisma alas segitiga, dan (3) oktahedron beraturan seperti ditunjukkan pada Gambar 1.14 berikut.



Gambar 1.14.
Struktur Senyawa Koordinasi Bilangan Koordinasi Enam

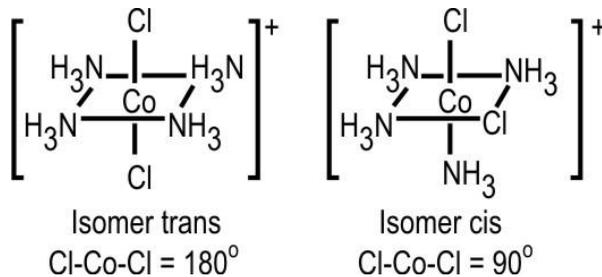
Bentuk oktahedral dapat juga ditampilkan dengan struktur, contoh (Gambar 1.15).



Gambar 1.15.
Bentuk-bentuk Struktur Oktahedral

Werner menyimpulkan bahwa dalam senyawa koordinasi dengan bilangan koordinasi 6, penyusunan 6 ligan tersebut selalu terjadi dalam bentuk oktahedron (oktahedron beraturan memiliki 8 muka dan 6 puncak). Di dalam kompleks oktahedron logam ditempatkan pada pusat dan ligan ditempatkan pada puncak-puncaknya.

Ion tetraaminadikloridokobal(III) juga memiliki isomer geometri cis dan trans seperti dinyatakan pada Gambar 1.16.

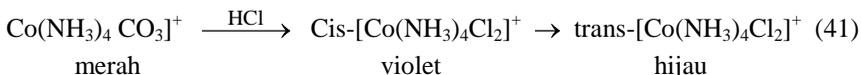


Gambar 1.16.

E. METODE MEMBEDAKAN ISOMER CIS DAN TRANS

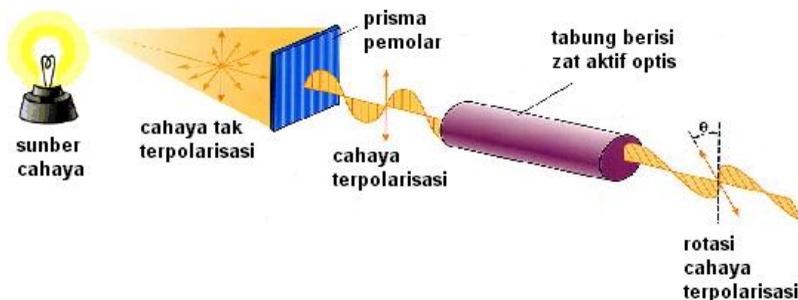
Isomer trans mempunyai bidang simetri, sehingga tidak dapat menunjukkan sifat isomer optik. Sebaliknya isomer cis tidak mempunyai bidang simetri, sehingga dikategorisasi sebagai isomer d (dextro) dan l (laevo). Isomer yang aktif optis adalah isomer cis, sedangkan isomer trans tidak. Ketika karbonat tetraaminakobal(III) klorida $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{CO}_3]\text{Cl}$ yang merupakan padatan merah direaksikan dengan HCl pekat akan membentuk larutan berwarna violet diklorido-tetraaminakobal (III) klorida

$[\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}_2]\text{Cl}$. Dengan lambat senyawa ini berubah menjadi hijau. Senyawa violet yang ditentukan dari padatan merah mengandung ligan bidentat (CO_3^{2-}) adalah isomer Cis dan isomer transnya berwarna hijau.



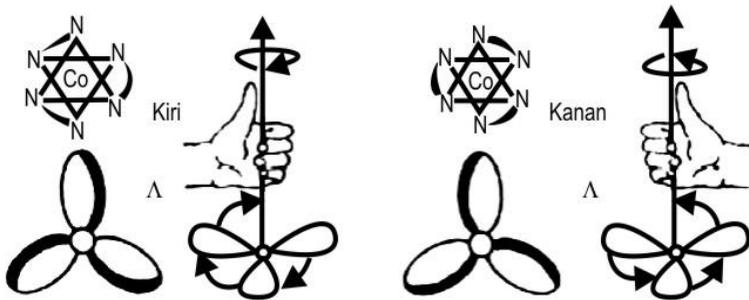
F. ISOMERISASI OPTIK

Isomer optik adalah isomer yang berbeda di dalam kemampuan memutar bidang cahaya terpolarisasi. Seperti ditunjukkan pada Gambar 1.17 ketika cahaya melewati prisma, cahaya tersebut mengamali polarisasi, dan apabila terus dilewatkan ke dalam larutan sampel yang berisi zat aktif optis, maka cahaya terpolarisasi dapat diputar ke arah kiri atau arah kanan.



Gambar 1.17.
Rotasi cahaya terpolarisasi oleh isomer aktif optis

Isomer-isomer yang mampu memutar bidang cahaya terpolarisasi dinamakan enantiomer (bentuk yang berlawanan). Enantiomer yang satu dengan yang lainnya merupakan bayangan cerminnya, dimana struktur dari keduanya bersifat tidak dapat ditumpuk (*non-superimposable*). Fenomena ini mirip seperti pencerminan tangan kiri dengan tangan kanan, tetapi jika tangan kanan ditumpukan ke tangan kiri ternyata berbeda. Oleh karena itu dalam memberikan notasi isomer optik sering kali menggunakan pendekatan rotasi tangan kanan dan tangan kiri seperti ditunjukkan oleh Gambar 1.18 sebagai berikut.



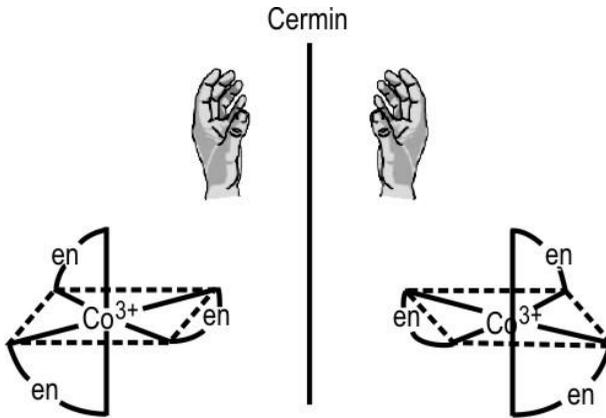
Gambar 1.18.

Penandaan isomer Optik menurut sistem Tangan kiri dan tangan kanan

Enantiomer memiliki sifat fisik dan kimia yang identik, mereka hanya berbeda dalam arah untuk merotasi bidang cahaya terpolarisasi (vibrasi berkas cahaya pada satu bidang) yang di transmisi melalui mereka. Apabila bidang cahaya terpolarisasi di rotasi ke arah kanan disebut dextro (D) atau (+) atau (Λ) dan di rotasi ke kiri disebut laevo (L) atau (-) atau (Δ). Rotasi bidang cahaya terpolarisasi oleh dua isomer adalah sama. Ketika konsentrasi larutan dari dua isomer sama, maka rotasi akan saling berlawanan sehingga larutan tidak merotasi bidang cahaya terpolarisasi. Campuran D dan L yang tidak aktif optis disebut campuran rasemik. Secara umum dapat dinyatakan bahwa suatu molekul atau ion memiliki sifat aktif optis apabila molekul tersebut tidak memiliki bidang simetri atau dinamakan memiliki sifat khiralitas. Isomer optik kebanyakan ditemukan dalam kompleks dengan bilangan koordinasi 4 dan 6.

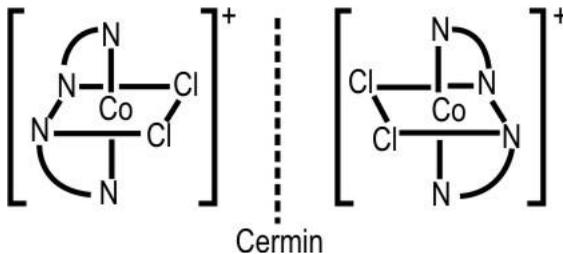
Isomer Optik dari Senyawa Koordinasi dengan Bilangan Koordinasi Enam

Isomer optik yang merupakan kelat tris oktahedral merupakan ligan bidentat simetris ataupun asimetris yang memiliki sifat khiral, oleh karena itu kompleks ini memiliki isomer optik. Misalnya $[\text{Co}(\text{en})_3]^{3+}$ seperti pada Gambar 1.19.



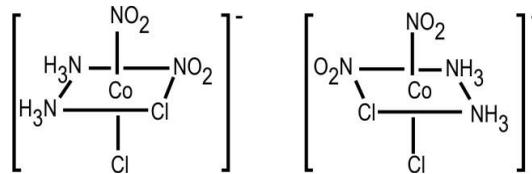
Gambar 1.19.
Isomer optik dari $[\text{Co}(\text{en})_3]^{3+}$

Adapun isomer optik dari $[\text{Co}(\text{en})_2\text{Cl}_2]^+$ ditunjukkan sebagai berikut (Gambar 1.20).



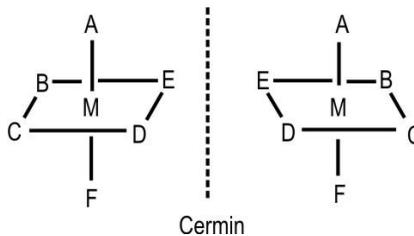
Gambar 1.20.
Isomer optik $[\text{Co}(\text{en})_2\text{Cl}_2]^+$

Isomer cis-cis-cis dari $\text{MA}_2\text{B}_2\text{C}_2$ adalah khiral. Ion Cis-diamina-cis-diklorido-cis-di-N-nitritokobaltat(III), satu dari lima isomer geometri $[\text{CoCl}_2(\text{NH}_3)_2(\text{NO}_2)_2]^-$ yang telah ditunjukkan sebelumnya, tidak mempunyai bidang simetri, oleh karena itu memiliki isomer optik (Gambar 1.21).



Gambar 1.21.
Isomer Optik

Tidak semua isomer dengan komposisi ini dapat disintesis, namun demikian dapat diprediksi akan memiliki khiral dan isomer optik (Gambar 1.21 dan Gambar 1.22).



Gambar 1.22.
Khiral dan Isomer Optik



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Buatlah peta konsep model hierarki yang melingkupi tatanama senyawa koordinasi berdasarkan nama penemu, warna dan IUPAC hingga contohnya!
- 2) Berikan nama sistematik senyawa koordinasi berikut!
 - a) $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_3(\text{H}_2\text{O})_3]\text{Cl}_3$
 - b) $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2][\text{Ag}(\text{CN})_2]$
 - c) $[\text{Co}(\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2)_3](\text{SO}_4)_3$
 - d) $\text{K}_4[(\text{C}_2\text{O}_4)_2\text{Co}(\mu\text{-OH})(\mu\text{-OH})\text{Co}(\text{C}_2\text{O}_4)_2]$
 - e) Budotitana adalah senyawa koordinasi titanium oktahedral (bilangan koordinasi telah dikembangkan untuk pengobatan kanker. Rumus molekulnya adalah $[\text{Ti}(\text{bzac})_2(\text{OEt})_2]$, bzac adalah ligan

benzoilasetonato. Ligan OEt adalah etoksido, $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}-$. Gambarkan struktur dari isomer geometri yang memungkinkan!

- f) Gambarkan struktur isomer geometri kompleks oktahedral $[\text{Co}(\text{dien})\text{Br}_2\text{Cl}]$. dien adalah ligan tridentat linir yaitu $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$.

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Identifikasi konsep-konsep penting tentang tatanama senyawa koordinasi pada kegiatan Belajar 3 ini, pahami maknanya untuk dijadikan pertimbangan dalam menentukan kata hubungan yang tepat diantar dua konsep. Tempatkan konsep-konsep tersebut menurut tingkatannya. Silakan Anda coba !
- 2) Pelajari dengan baik aturan tatanama dari IUPAC
 - a) $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_3(\text{H}_2\text{O})_3]\text{Cl}_3$
 - (1) senyawa koordinasi ini terdiri dari kation sebagai ion kompleks dan anion sebagai ion sederhana (Cl^-). Oleh karena itu ion kompleks harus dituliskan lebih awal kemudian diikuti nama anionnya, ingat harus ada spasi.
 - (2) penamaan untuk ion kompleks , urutkan secara alfabetis antara ligan amina dengan dua huruf awal “**am**” dengan ligan aqua dengan huruf awal “aq”, tambahkan masing-masing awalan untuk angka 3 ligan monodentat sebelum nama ligannya, tuliskan nama atom pusatnya kromium karena ion kompleks ini bermuatan positif, kemudian tuliskan bilangan oksidasi kromium dengan angka romawi yang sebelumnya dihitung dari muatan ion kompleks +3 (mengimbangi muatan 3 Cl^- yang masing-masing bermuatan -1). Ingat bahwa ligan amonia dan aqua bersifat netral (muatannya nol).
 - (3) silakan Anda nyatakan nama senyawa koordinasi tersebut dengan lengkap (cocokan jawaban Anda dengan kunci jawaban latihan pada bagian akhir modul ini)
 - b) $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2][\text{Ag}(\text{CN})_2]$
soal ini menggambarkan bahwa kation dan anionnya berupa ion kompleks. Perhatikan bahwa pemberian nama logam bisa berbeda walaupun ion logamnya sama seperti Ag^+ . Ingat penamaan ion

kompleks positif dan negatif. Cocokan hasilnya dengan kunci jawaban!



- (1) senyawa koordinasi ini termasuk dinuklir dengan kedua atom pusatnya Co, dan senyawa ini bersifat simetris
- (2) perhatikan tanda kurung, untuk mewakili angka 2 berikan awalan “bis” karena melingkupi ligan bidentat dan atom pusat, untuk mewakili angka 3 beri awalan tris karena yang dicakupnya adalah ligan bidentat
- (3) tuliskan awalan yang menyatakan angka yang cakupannya paling luas, gunakan tanda kurung dengan urutan [()], tanda kurung biasa hanya diisi nama ligan, sebelah kirinya dituliskan awalan angka yang cakupan lebih agak sempit, di sebelah kanannya ditulis nama logam pusat. Di sebelah kanan tanda kurung siku nyatakan ikatan di antara atom pusat, beri spasi kemudian tuliskan nama anion dari senyawa koordinasi tersebut.
- (4) cara lain penulisan senyawa koordinasi ini yaitu menghitung jumlah keseluruhan ligan, berikan awalan sesuai dengan jumlah ligan yang didapat (ingat dalam kasus ini ligannya adalah bidentat), tuliskan nama ligan dalam tanda kurung biasa.
- (5) diidentifikasi bahwa dua atom donor yang terdapat dalam ligan tersebut adalah nitrogen dengan simbol atom N, cantumkan simbol kappa sebagai berikut $1\kappa^3\text{N},\text{N}'; 2\kappa^3\text{N},\text{N}'$. Setelah diberi simbol kappa, penulisan nama senyawa dilanjutkan dengan mencantumkan awalan jumlah atom pusat, nama atom pusat, tanda ikatan atom pusat dengan atom pusat, kemudian beri spasi dan tuliskan nama anion.
- (6) Silakan Anda tuliskan secara lengkap nama senyawa tersebut. Periksalah hasilnya dengan kunci jawaban.



- (1) pada soal ini ion kompleksnya berupa anion, beratombanya dua yaitu kobalt. Ingat ion kompleks negatif setelah nama atom pusat harus diberi akhiran “at” dan sebelumnya diberi awalan “di”;
- (2) ligan jembatannya adalah hidroksido (beri awalan di dan tanda jembatan) dan ligan bukan jembatan adalah oksalato (berikan

awalan tetrakis), dalam penulisan nama kedua ligan tersebut harus diurutkan secara alfabetis;

- (3) tentukan bilangan oksidasi atom pusatnya, dan cantumkan dengan angka romawi.

Silakan Anda tuliskan nama senyawa tersebut, bandingkan hasilnya dengan kunci jawaban.

- e) Buatlah struktur oktahedralnya, atom donor dari ligan bzac adalah O_{Me} dan O_{Ph} , sedangkan atom donor dari etoksida adalah oksigen (OEt). Ada 5 struktur yang harus Anda temukan, silakan mencobanya! Cocokkan jawaban Anda dengan kunci jawaban di akhir Modul ini.
- f) Ada empat struktur untuk rumus ini, ligan dien dapat terkoordinasi mer atau fac, sedangkan klorido dan bromido dapat berposisi trans terhadap atom N tengah (dalam ligan dien). Silahkan Anda mencobanya, cocokkan hasilnya dengan kunci jawaban!



RANGKUMAN

Tatanama senyawa koordinasi bertujuan untuk memberikan identitas terhadap senyawa agar karakteristiknya dikenali dengan jelas. Tatanama senyawa koordinasi ditentukan atas tiga acuan yaitu berdasarkan penemunya, warna yang ditunjukkan, serta komposisi dan struktur molekulnya.

Senyawa koordinasi yang dikenal berdasarkan nama penemunya di antaranya adalah: garam Reinecke's dengan rumus $NH_4[Cr(NH_3)_2(NCS)_4]$; garam hijau Magnus's, $[Pt(NH_3)_4][PtCl_4]$; garam Fischer's, $K_3[Co(NO_2)_6]$;

Berdasarkan warnanya, pemberian nama senyawa koordinasi yang memberikan warna **kuning** dengan awalan *luteo*, warna **hijau** dengan awalan *praseo*, warna **ungu** dengan awalan *purpureo*.

Beberapa penelitian senyawa koordinasi sebelumnya telah menemukan pemberian nama senyawa koordinasi yang akhirnya berdasarkan teori daya hantarnya Werner dapat menentukan struktur senyawa koordinasi $[Pt(NH_3)_6]Cl_4$, $[Pt(NH_3)_5Cl]Cl_3$, $[Pt(NH_3)_4Cl_2]Cl_2$, $[Pt(NH_3)_3Cl_3]Cl$, $[Pt(NH_3)_2Cl_4]$, $K[Pt(NH_3)Cl_5]$ dan $K_2[PtCl_6]$.

Tatanama senyawa koordinasi yang digunakan hingga sekarang didasarkan atas rekomendasi *International Union of Pure and Applied*

Chemistry (IUPAC) khususnya Division of Chemical Nomenclature and Structure Representation (2001).

Kaidah bahasa dalam tatanama meliputi penggunaan:

Urutan tanda kurung dalam rumus kimia : [], [()], [{}()], [{}({})], [{}({})({})],

Urutan tanda kurung dalam nama senyawa (), [()], {[()]}, {[()]}, dan seterusnya.

Spasi digunakan untuk:

1. memisahkan nama-nama ion di dalam nama garam.
2. memisahkan bagian elektropositif dan elektronegatif dalam senyawa biner memisahkan angka arab dan simbol ikatan logam-logam dalam senyawa koordinasi multi inti.

Penamaan senyawa koordinasi

1. Mengurutkan nama ligan dan atom pusat
 - a) nama ligan dituliskan sebelum nama atom pusat
 - b) nama kompleks dituliskan dengan satu suku kata tanpa spasi
 - c) nama-nama ligan diurutkan secara alfabetis tanpa memperhatikan awalan angka
 - d) nama senyawa tidak disingkat
2. Menyatakan jumlah ligan
 - a) jumlah ligan monodentat diberi awalan di, tri, tetra dan seterusnya.
 - b) jumlah ligan polidentat diberi awalan bis, tris, tetrakis dan seterusnya.
3. Menyajikan nama ligan
 - a) anion anorganik atau organik berakhiran “ida”, “at”, dan “it” diubah menjadi “ido”, “ato” dan “ito”;
 - b) ligan netral dan kation anorganik atau organik sesuai nama asalnya;
 - c) berikan tanda kurung () untuk ligan netral, anion atau kation anorganik yang berawalan angka, ligan komposisional, atau ligan organik tersubstitusi
4. Jumlah muatan, bilangan oksidasi dan proporsi ionik
 - a) anion kompleks diberi akhiran “at”, ion kompleks netral dan kation sesuai nama asal
 - b) bilangan oksidasi atom pusat dituliskan dengan angka romawi
 - c) muatan ion kompleks dituliskan dengan angka arab
 - d) perbandingan ion diberi awal angka stoikiometrinya

Angka romawi digunakan untuk menunjukkan bilangan oksidasi atom pusat, ditulis sebagai *superscript* kanan dalam rumus dan sejajar dalam nama senyawa

Alfabet Yunani :

- Δ dan Λ untuk menyatakan konfigurasi absolut rotasi kanan dan kiri
- δ dan λ untuk menyatakan konformasi rotasi kanan dan kiri
- κ untuk menyatakan jenis atom donor yang terikat logam pusat
- η untuk menyatakan jumlah atom donor yang terikat logam pusat
- μ untuk menyatakan ligan jembatan

Penulisan Rumus Senyawa Koordinasi

1. Urutan simbol atom
 - a) atom pusat dituliskan lebih dahulu kemudian ligan
 - b) dalam senyawa koordinasi multi ini, atom pusat yang memiliki keelektronegatifan lebih rendah dituliskan lebih awal
 - c) ligan-ligan dituliskan secara alfabetis dari huruf pertama rumusnya
 - d) ligan yang ditulis singkatannya diurutkan menurut huruf pertama singkatannya
2. Penggunaan tanda kurung
 - a) Rumus kompleks lengkap atau ionnya diberi tanda kurung siku []
 - b) Rumus ligan atau singkatannya diberi tanda kurung biasa ()
3. Muatan ion dan bilangan oksidasi
 - a) muatan ion kompleks dituliskan dengan angka arab diikuti tanda plus atau negatif dan diletakkan sebagai superscript kanan
 - b) bilangan oksidasi atom pusat ditulis dengan angka romawi yang berada dalam tanda kurung biasa ()
- 4) Penggunaan singkatan
 - a) singkatan nama ligan ditulis dengan huruf kecil dan berada dalam tanda kurung ()
 - b) singkatan alkil ditulis dengan dua huruf, huruf pertama dengan huruf kapital dan huruf kedua dengan huruf kecil seperti metil (Me)
 - c) ligan yang memiliki lebih dari satu atom donor dipenulisannya harus ditambahkan simbol kappa seperti $[M(\text{gly-}\kappa\text{-N})_3\text{X}_3]$
 - d) singkatan-singkatan ligan yang biasanya digunakan adalah :
 - (1) Ac (asetilasetonato)
 - (2) acac bis(asetilasetonato)etilenediamina

Menspesifikasi Atom Donor

1. Penggunaan simbol kappa (κ)
 - a) tiosianato- κN artinya pengikatan ligan tiosianato oleh atom pusat terjadi melalui atom nitrogen
 - b) tiosianato- κS artinya pengikatan ligan tiosianato oleh atom pusat terjadi melalui atom sulfur
 - c) etana-1,2-diamina- $\kappa^2 N, N'$ artinya pengikatan ligan bidentat etana-1,2-diamina oleh atom pusat terjadi melalui 2 atom donor yaitu atom nitrogen ke satu (N) dan atom nitrogen lain (N')
 - d) nonakarbonil- $1\kappa^5 C, 2\kappa^4 C$ -reniumkobal($Re-CO$) artinya pengikatan ligan karbonil oleh atom pusat Re (atom pusat ke-1) melalui 4 atom donor C (karbon) dan pengikatan ligan karbonil oleh atom pusat Co (atom pusat ke-2) melalui 4 atom donor C (karbon)
2. Penggunaan simbol eta (η)
bis(η^6 -benzena)kromium artinya jumlah ikatan dari setiap molekul benzena sebagai ligan dengan atom pusat kromium adalah 6
3. Ligan jembatan
 - a) ligan jembatan ditunjukkan dengan simbol mu (μ)
 - b) ligan-ligan jembatan diurutkan secara alfabetis
4. Ikatan logam-logam
ikatan logam-logam dinyatakan dengan tanda atomnya dan ditulis dengan huruf miring seperti ($Re-Re$)

Dua senyawa yang memiliki rumus kimia sama tetapi berbeda dalam susunan atomnya disebut isomer. Proses pembentukan isomer disebut isomerisasi. Dalam senyawa koordinasi dikenal dua jenis isomerisasi yaitu isomerisasi struktural dan stereoisomer. isomer struktural memiliki perbedaan pada ikatannya, sedangkan stereoisomer memiliki ikatan yang sama tetapi susunan ikatan dalam ruangnya berbeda.

Isomerisasi struktural terdiri atas isomerisasi ionisasi, isomerisasi hidrat, isomerisasi koordinasi, isomerisasi polimerisasi, dan isomerisasi pertautan (*linkage*).

Stereoisomerisasi terdiri atas isomerisasi geometri dan isomerisasi optik.

Isomerisasi ionisasi adalah proses pembentukan senyawa yang memiliki komposisi kimia sama tetapi pembentukan ion dalam larutan berbeda. Misalnya $[Co(NH_3)_5Br]SO_4$ dan $[Co(NH_3)_5SO_4]Br$. *Isomerisasi hidrat* adalah proses pembentukan senyawa yang memiliki komposisi kimia sama tetapi berbeda dalam jumlah molekul air yang diikat atom

pusat. Misalnya $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_3$ dan $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_5\text{Cl}]\text{Cl}_2$. *Isomerisasi koordinasi* adalah proses pembentukan senyawa dengan perbedaan sebaran ligan di antara dua logam atom pusat. Misalnya $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4]^{2+}[\text{PtCl}_4]^{2-}$ dan $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_3\text{Cl}]^+[\text{Pt}(\text{NH}_3)_3\text{Cl}_3]^-$. *Isomerisasi polimerisasi* adalah proses pembentukan senyawa yang memiliki komposisi stoikiometri sama tetapi komposisi molekuler nyata merupakan kelipatan dari susunan stoikiometri paling sederhana. Misalnya $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ dan $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4][\text{PtCl}_4]$

Isomerisasi geometri adalah proses pembentukan senyawa yang memiliki perbedaan posisi relatif susunan atom atau gugus (ligan) dalam ruang. Dikenal isomer cis (gugus sejenis berposisi memihak) dan trans (gugus sejenis posisinya berlawanan).

Isomer cis dan trans dijumpai dalam senyawa koordinasi jenis MA_2B_2 (segiempat datar).

Molekul cis tidak memiliki bidang simetri, tetapi trans memilikinya. Keberadaan isomer cis ditandai dari kemampuan dapat bereaksi dengan ligan bidentat, kemampuan dapat memutar bidang cahaya terpolarisasi, dan energi molekuler yang didasarkan atas warna yang ditunjukkannya.

Isomer optik adalah proses pembentukan senyawa enantiomer yang mampu memutar bidang cahaya terpolarisasi, memiliki bayangan cermin, molekulnya tidak dapat ditumpuk dengan struktur bayangan cerminnya juga tidak memiliki bidang simetri (kiral).

Isomer optik yang mampu memutar bidang cahaya terpolarisasi ke arah kanan diberikan simbol D, (+), atau Λ , sedangkan yang mampu memutar ke arah kiri ditandai dengan L, (-) atau Δ .

Isomer optik dijumpai pada senyawa koordinasi oktahedral seperti $[\text{Co}(\text{en})_2\text{Cl}_2]^+$.



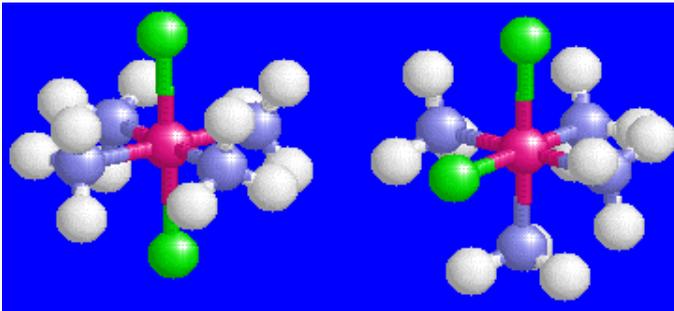
TES FORMATIF 3

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Nama yang tepat dari ion $[\text{FeF}_4(\text{OH})_2]^-$ menurut IUPAC adalah
 - A. ion diaquatetrafluoridoferum(III)
 - B. ion diaquatetrafluoridoferat(III)
 - C. ion diaquatetrafluoridoferum(I)
 - D. ion diaquatetrafluoriferat(I)

- 2) Pasangan rumus dan nama senyawa/ion kompleks berikut yang *tidak tepat* adalah
- $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4(\text{OH}_2)\text{I}]\text{SO}_4$ tetraaminadiaquaiodidokobal(III) sulfat
 - $\text{K}[\text{Cr}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_4]$ kalium diaminatetrakloridokromat(III)
 - $[\text{Mn}(\text{CN})_5]^{2-}$ ion pentasianidomanganat(II)
 - $\text{Ca}[\text{PtCl}_4]$ kalsium tetrakloridoplatinat(II)
- 3) Rumus senyawa yang mengandung tetraaminakloridoonitritokobal(III) adalah
- $[\text{CoCl}(\text{NH}_3)_4(\text{NO}_2)]\text{NO}_3$
 - $\text{NO}_3[(\text{NH}_3)_4\text{ClCo}(\text{NO}_2)]$
 - $[(\text{NH}_3\text{Cl})_4(\text{NO}_2)\text{Co}]\text{NO}_3$
 - $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}(\text{NO}_2)]\text{NO}_3$
- 4) Rumus kimia yang tepat dari ion heksafluoridokobaltat(III) adalah
- $[\text{CoF}_6]^{3+}$
 - $[\text{CoF}_6]^{3-}$
 - $[\text{Co}_3\text{F}_6]^{3+}$
 - $[\text{Co}(\text{FO})_6]^{3-}$
- 5) Rumus kimia yang tepat untuk pentaaminasulfatokobal(III) klorida adalah
- $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5]\text{SO}_4\text{Cl}$
 - $[\text{Cl}(\text{NH}_3)_5(\text{SO}_4)\text{Co}]$
 - $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5(\text{SO}_4)]\text{Cl}$
 - $[\text{CoCl}_2(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}$
- 6) Pasangan rumus dan nama ion kompleks berikut semuanya benar, *kecuali*
- $[\text{CoCl}(\text{NH}_3)_5]^{2+}$ ion pentaaminakloridokobal(III)
 - $[\text{Ni}(\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2)_3]^{2+}$ ion tris(etilendiamina)nikel(III)
 - $[\text{Fe}(\text{CO})_5]$ pentakarbonilferum(III)
 - $[\text{Al}(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_5]^{2+}$ pentaquahidroksidoaluminium(III)
- 7) Nama yang tepat untuk senyawa koordinasi dengan rumus $[(\text{NH}_3)_5\text{Cr}-\text{OH}-\text{Cr}(\text{NH}_3)_5]\text{Cl}_5$ adalah
- μ -hiroksido-bis(pentaaminakromium(III) klorida
 - μ -hiroksido-bis[(pentaamina-1 κ^5 H,2 κ^5 H- kromium(III)] klorida
 - μ -hiroksido-dodekaaminadikromat(III) klorida
 - μ -hiroksido-di(pentaaminabiskromium(III) klorida

- 8) Salah satu senyawa/ion kompleks berikut yang menunjukkan adanya isomer polimerisasi adalah
- $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ (segiempat datar)
 - $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ (tetrahedral)
 - $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ (segiempat datar)
 - $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]^{2+}$ (oktahedral)
- 9) Jenis isomerisasi yang mungkin terjadi dalam senyawa koordinasi $[\text{Co}(\text{en})_2\text{Cl}_2]$ adalah isomerisasi
- geometri dan optik
 - geometri dan ionisasi
 - geometri dan koordinasi
 - optik dan ionisasi
- 10) Model molekul dari dua ion kompleks dengan rumus $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}_2]^+$ menunjukkan



- isomer cis-trans
- isomer optik
- isomer pertautan
- isomer hidrat

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 3 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 3.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali
80 - 89% = baik
70 - 79% = cukup
< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan modul selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 3, terutama bagian yang belum dikuasai.

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

- 1) D. Sebagai basa Lewis.
- 2) D. Ion logam pusat.
- 3) B. Ikatan antara ion pusat dengan ligan.
- 4) A. EDTA sebagai ligan polidentat.
- 5) C. muatan atom pusat bukan penentu bilangan koordinasi.
- 6) A. 2K^+ sebagai penyeimbang $[\text{MoBr}_4\text{Cl}_2]^{2-}$
- 7) B. Cl^- sebagai anion.
- 8) C. Karena endapan AgCl jadi larut.
- 9) A. Aquades dibuat dengan destilasi.
- 10) A. Berupa Fe^{2+} dengan CNS^- .

Tes Formatif 2

- 1) A. Cu^{2+} dalam $\text{CuSO}_4(\text{s})$ tidak mengikat ligan.
- 2) C. Memiliki ion Cl^- terbanyak (3 ion).
- 3) B. Ion kompleks hidrat kobal(II).
- 4) C. Ion hidroksida (OH^-) termasuk anion anorganik.
- 5) B. Ion F^- dan Br^- adalah anion anorganik, sedangkan en adalah molekul pembentuk kelat.
- 6) D. Jumlah ligan H_2O sama banyak dengan OH^- (kompleks kelarutannya kecil).
- 7) B. en dan Br^- sebagai gugus koordinasi dan $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ sebagai gugus asam
- 8) D. EDTA⁴⁻ membentuk 3 kelat 5 anggota dan 2 kelat 6 anggota.
- 9) C. Setiap diaminopropionato memiliki 2 gugus koordinasi dan 1 gugus asam.
- 10) B. ox membentuk kelat beranggota 5 dan acac beranggota 6.

Tes Formatif 3

- 1) B. Pemberian nama anion anorganik dengan akhiran at bilangan oksidasi III.
- 2) C. Dengan menghitung muatan logam rumus tersebut tidak benar.
- 3) A. Sudah sesuai penamaan senyawa koordinasi
- 4) B. Rumus senyawa koordinasi sudah sesuai dengan Co (III) dengan cara menghitung muatan logam.

- 5) C. Jumlah ligan amina 5 dengan penulisan kurung siku sudah tepat.
- 6) C. Akhiran yang benar adalah ferat.
- 7) A. μ adalah ligan jembatan dari 2 ligan bidentat $\text{Cr}(\text{NH}_3)_5(\text{bis})$
- 8) A. Mempunyai rumus empiris sama tetapi berbeda massa molekul
- 9) A. Merupakan senyawa koordinasi oktahedral ligan bidentat simetris merupakan bayangan cermin.
- 10) A. Selalu terjadi pada senyawa oktahedral (jika berurutan mempunyai 8 muka dan 6 puncak).

Glosarium

- μ : menyatakan ligan jembatan.
- κ : menyatakan jenis atom donor yang terikat logam pusat.
- η : menyatakan jumlah atom donor yang terikat logam pusat.
- δ dan λ : menyatakan konformasi rotasi kanan dan kiri.
- Δ dan Λ : menyatakan konfigurasi absolut rotasi kanan dan kiri.
- (3 *Re*—*Re*) : menyatakan ada 3 ikatan logam Re dengan logam Re.
- Ac** : singkatan untuk (asetilasetonato).
- acac** : singkatan untuk bis(asetilasetonato) etilenediamina.
- Bilangan koordinasi** : jumlah ligan yang diikat oleh logam pusat (jika ligan monodentat), atau menyatakan jumlah pasangan elektron yang disumbangkan ligan (untuk ligan polidentat maupun monodentat).
- bis(η^6 -benzena)kromium** : menyatakan jumlah ikatan dari setiap molekul benzena sebagai ligan dengan atom pusat kromium adalah 6.
- bpy** : singkatan untuk (2,2'-bipiridina).
- dien** : singkatan untuk (dietilenatriamina).
- diox** : singkatan untuk (dioksan).
- dma** : singkatan untuk (dimetilasetamida).
- dme** : singkatan untuk (1,2-dimetoksietana).
- dmf** : singkatan untuk (*N,N*-dimetilformamida).
- dmg** : singkatan untuk (dimetilglioksimate).
- dmsO** : singkatan untuk (dimetil sulfoksida).
- edta** : singkatan untuk (etilenadiaminatetraasetato).
- en** : singkatan untuk (etana-1,2-diamina).
- Et** : singkatan untuk (etil).
- etana-1,2-diamina- κ^2N,N'** : menyatakan pengikatan ligan bidentat etana-1,2-diamina oleh atom pusat terjadi melalui 2

- atom donor yaitu atom nitrogen ke satu (N) dan atom nitrogen lain (N').
- Garam Fischer** : senyawa koordinasi yang memiliki rumus molekul $K_3[Co(NO_2)_6]$.
- Garam hijau Magnus** : senyawa koordinasi yang memiliki rumus molekul, $[Pt(NH_3)_4][PtCl_4]$.
- Garam pink Magnus** : senyawa koordinasi yang memiliki rumus molekul $[Pt(NH_3)_3Cl]_2[PtCl_4]$.
- Garam Reinecke** : senyawa koordinasi yang memiliki rumus molekul $NH_4[Cr(NH_3)_2(NCS)_4]$.
- Garam Zeise** : senyawa koordinasi yang memiliki rumus molekul $K[Pt(C_2H_4)Cl_3]$.
- gly** : singkatan untuk (glisinato).
- ida** : singkatan untuk (iminodiasetato).
- Ion kompleks** : ion yang terbentuk antara logam pusat dengan molekul atau ion penyumbang pasangan elektron melalui ikatan koordinasi.
- Isomer cis** : isomer yang memiliki gugus sejenis berposisi memihak.
- Isomer fac (facial)** : isomer yang memiliki gugus sejenis yang posisinya terdapat dalam salah satu bidang (muka) yang tidak melewati atom pusat.
- Isomer mer (meridional)** : isomer yang memiliki gugus sejenis yang posisinya terdapat pada bidang yang melewati logam pusat.
- Isomer optik** : isomer yang mampu memutar bidang cahaya terpolarisasi, memiliki bayangan cermin, molekulnya tidak dapat ditumpuk dengan struktur bayangan cerminnya juga tidak memiliki bidang simetri (khiral).
- Isomer struktur** : isomer yang memiliki perbedaan dalam ikatannya.
- Isomer trans** : isomer yang memiliki gugus sejenis yang posisinya berlawanan.
- Isomerisasi** : proses pembentukan senyawa dengan susunan atom berbeda yang berasal dari senyawa dengan rumus kimia yang sama.

- Isomerisasi geometri** : proses pembentukan senyawa yang memiliki perbedaan posisi relatif susunan atom atau gugus (ligan) dalam ruang. Dikenal isomer cis (gugus sejenis berposisi memihak) dan trans (gugus sejenis posisinya berlawanan).
- Isomerisasi hidrat** : proses pembentukan senyawa yang memiliki komposisi kimia sama tetapi berbeda dalam jumlah molekul air yang diikat atom pusat.
- Isomerisasi ionisasi** : proses pembentukan senyawa yang memiliki komposisi kimia sama tetapi pembentukan ion dalam larutan berbeda.
- Isomerisasi koordinasi** : proses pembentukan senyawa dengan perbedaan sebaran ligan di antara dua logam atom pusat
- Isomerisasi polimerisasi** : proses pembentukan senyawa yang memiliki komposisi stoikiometri sama tetapi komposisi molekuler nyata merupakan kelipatan dari susunan stoikiometri paling sederhana.
- Ligan** : molekul atau ion yang memiliki pasangan elektron bebas dan berperan juga sebagai basa Lewis.
- Ligan ambidentat** : ligan yang memiliki dua jenis atom donor yang memungkinkan diikat oleh logam pusat.
- Ligan bi, tri, tetra, dentat**: ligan penyumbang dua, tiga, empat ... pasangan elektron bebas.
- Ligan jembatan** : ligan penghubung di antara dua atom pusat dalam senyawa kompleks polinuklir.
- Ligan monodentat** : ligan penyumbang sepasang elektron bebas.
- Ligan negatif** : ligan anion (bermuatan listrik negatif).
- Ligan netral** : ligan molekuler (bermuatan listrik nol).
- Ligan polidentat** : ligan penyumbang lebih dari sepasang elektron bebas.
- Ligan positif** : ligan kation (bermuatan listrik positif).
- Logam pusat** : atom atau ion logam yang terdapat dalam ion kompleks sebagai pusat yang mengikat ligan-ligan.
- Me** : singkatan untuk (metil).

- Metode daya hantar** : metode untuk mengenali suatu spesi berdasarkan perubahan daya hantar pembentukan kompleksnya.
- Metode distribusi** : metode untuk mengenali suatu spesi dengan mendistribusikan bahan ke dalam dua pelarut yang saling tak bercampur.
- Metode kualitatif** : metode untuk mengenali adanya suatu spesi dengan memberikan reagen khas.
- Metode pelarutan** : metode untuk mengenali suatu spesi berdasarkan mudah tidaknya larut terhadap reagen pengkompleks atau ion senama.
- Metode pengendapan** : metode untuk mengenali suatu spesi berdasarkan terjadinya endapan terhadap reagen khas.
- Metode perubahan sifat kimia** : metode untuk mengenali suatu spesi berdasarkan kereaktifannya.
- Metode pH-metrik** : metode untuk mengenali suatu spesi berdasarkan perubahan harga pH pembentukan kompleksnya.
- Metode potensiometri** : metode untuk mengenali suatu spesi berdasarkan perubahan harga potensial pembentukan kompleksnya.
- Metode spektra serapan** : metode untuk mengenali suatu spesi dengan mengukur serapan spektra khas di daerah cahaya tampak.
- Muatan ion kompleks** : muatan negatif, netral, atau positif sebagai hasil penjumlahan di antara muatan logam pusat dan muatan ligan-ligan dalam ion kompleks yang bersangkutan.
- Muatan Logam pusat** : muatan logam sebagai selisih dari muatan kompleks dengan muatan ligan-ligan yang diikatnya.
- nonakarbonil-1 κ^5 C,2 κ^4 C-reniumkobal(Re—Co)**: menyatakan pengikatan ligan karbonil oleh atom pusat Re (atom pusat ke-1) melalui 4 atom donor C (karbon) dan pengikatan ligan karbonil oleh atom pusat Co

(atom pusat ke-2) melalui 4 atom donor C (karbon).

- ox** : singkatan untuk (oksalato).
- Ph** : singkatan untuk (fenil).
- phen** : singkatan untuk (1,10-fenantrolin).
- py** : singkatan untuk (piridina).
- Senyawa kelat** : senyawa koordinasi (kompleks) yang membentuk cincin (sepit kepiting).
- Senyawa koordinasi (senyawa kompleks)** : senyawa yang di dalamnya mengandung molekul atau ion kompleks.
- Senyawa koordinasi bergugus asam** : senyawa koordinasi yang terbentuk melalui ikatan kovalen.
- Senyawa koordinasi bergugus koordinasi** : senyawa koordinasi yang terbentuk melalui ikatan kovalen koordinasi.
- Senyawa koordinasi croseo** : senyawa koordinasi berwarna oranye-kuning.
- Senyawa koordinasi flavo** : senyawa koordinasi berwarna kuning-cokelat.
- Senyawa koordinasi kation-anion** : senyawa koordinasi yang terbentuk dari ion positif logam pusat dan ligan negatif.
- Senyawa koordinasi kation-anion-molekuler** : senyawa koordinasi yang terbentuk dari ion positif logam pusat dan ligan negatif beserta ligan molekuler.
- Senyawa koordinasi kation-molekuler** : senyawa koordinasi yang terbentuk dari ion positif logam pusat dan ligan molekuler.
- Senyawa koordinasi luteo** : senyawa koordinasi berwarna kuning.
- Senyawa koordinasi praseo** : senyawa koordinasi berwarna hijau.
- Senyawa koordinasi purpureo** : senyawa koordinasi berwarna ungu.
- Senyawa koordinasi roseo** : senyawa koordinasi berwarna merah-pink.
- Senyawa koordinasi violeo** : senyawa koordinasi berwarna violet.
- Stereoisomer** : isomer yang memiliki ikatan yang sama tetapi ikatan dalam ruangnya berbeda.
- terpy** : singkatan untuk (terpiridina).
- thf** : singkatan untuk (tetrahidrofuran).
- tiosianato-κN** : menyatakan pengikatan ligan tiosianato oleh atom pusat terjadi melalui atom nitrogen.

- tiosianato- κS** : menyatakan pengikatan ligan tiosianato oleh atom pusat terjadi melalui atom sulfur
- tri- μ -klorido** : menyatakan ada 3 ligan jembatan Cl.
- trien** : singkatan untuk (trietilenatetraamina).
- triiodido(1,4,8,12-tetratiasiklopentadekana- $\kappa^3 S^{1,4,8}$** : menyatakan pengikatan ligan triiodido (1,4,8,12-tetratiasiklopentadekana oleh atom pusat terjadi melalui 3 atom donor yaitu sulfur dengan nomor posisi 1, 4, dan 8.
- tu** : singkatan untuk (tiourea).

Daftar Pustaka

- Charlesworth, Paul. (2004). *Transition Elements and Coordination Chemistry*. Michigan Technological University.
- Cotton, F. Albert. (1990). *Chemical Applications of Group Theory*. Singapore : John Wiley & Sons.
- Douglas, Bodie et al. (1994). *Concepts and Models of Inorganic Chemistry*. Singapore : John Wiley & Sons Inc.
- Huheey, J.E., Keiter, E.A., and Keiter, R.L. (1993). *Inorganic Chemistry: Principles of Structure and Reactivity*, 4th Ed. New York : Harper Collins College Publishers.
- IUPAC. (2004). *Nomenclature of Inorganic Chemistry*. United Kingdom: University of Bristol.
- Kozlowski, Andrienne W. (1986). *Searching of Coordination Compounds*. Columbus : American Chemical Society.
- Lee, J.D. (1994). *Concise Inorganic Chemistry*. Madras : Chapman & Hall.
- Miessler, G.L. & Tarr, D.A. (1991). *Inorganic Chemistry*. Englewood Cliffs. New Jersey: Prentice Hall.
- Richardson, M.F. (2001). *Isomerism in Transition Metal Complexes : Structural Isomers and Stereoisomers*. Brock University. http://chemiris.labs.brocku.ca/~chemweb/courses/chem232/CHEM2P32_Lecture_6.html.
- Shriver, D.F., Atkins, P.W., and Langford, C.H. (1996). *Inorganic Chemistry*, 2nd Ed. Tokyo : Oxford University Pres.