

Penentuan Pemalar-Pemalar Kestabilan Kompleks-Kompleks Lantanida La(III), Pr(III), Eu(III), Ga(III), Er(III) dan Lu(III) dengan Terbitan-Terbitan Berfluorin 1-Fenil-3-Metil-4-Benzoil-5-Pirazolona (HPMBP) dengan menggunakan Kaedah Pentitratan

Determination of the Stability Constants of the Complexes of Lantanides La(III), Pr(III), Eu(III), Ga(III), Er(III) and Lu(III) with Fluorinated Derivatives of 1-phenyl-3-methyl-4-benzoyl-5-pyrazolone (HPMBP) by Using Titration Method

Mustaffa Ahmad¹, Illyas Md Isa¹ & Muhammad Idiris Saleh²

¹Department of Chemistry, Faculty of Science and Mathematics,
Universiti Pendidikan Sultan Idris, Tanjong Malim, 35900, Perak, Malaysia
²School of Chemical Sciences, University Sains Malaysia, 11800, Minden, Penang
¹E-mail: mustaffa@fsm.tps.edu.my

Abstrak

Ligan-ligan terbitan-terbitan berfluorin 1-fenil-3-metil-4-benzoil-5-pirazolona (HPMBP), 1-fenil-3-metil-4-(2-fluorobenzoil)-5-pirazolona (HPM_oFBP), 1-fenil-3-metil-4-(3-fluorobenzoil)-5-pirazolona (HPM_mFBP) dan 1-fenil-3-metil-4-(4-fluorobenzoil)-5-pirazolona (HPM_pFBP) telah disediakan bagi tujuan mengkaji kestabilan kompleks-kompleks La(III), Pr(III), Eu(III), Ga(III), Er(III) dan Lu(III). Didapati pemalar kestabilan untuk semua kompleks adalah mengikut turutan: La(III) < Pr(III) < Gd(III) < Eu(III) < Lu(III) < Er(III). Dapatan ini sepadan dengan pemecahan orbital *f* apabila kompleks-kompleks ini terbentuk.

Kata kunci Pemalar kestabilan kompleks-kompleks lantanida, terbitan berfluorin 5-pirazolona.

Abstract

The fluorinated derivatives ligands of 1-phenyl-3-methyl-4-benzoyl-5-pyrazolone (HPMBP), 1-phenyl-3-methyl-4-(2-fluorobenzoyl)-5-pyrazolone (HPM_oFBP), 1-phenyl-3-methyl-4-(3-fluorobenzoyl)-5-pyrazolone (HPM_mFBP) and 1-phenyl-3-methyl-4-(4-fluorobenzoyl)-5-pyrazolone (HPM_pFBP) were prepared for the purpose of studying the complexes stability constant of La(III), Pr(III), Eu(III), Ga(III), Er(III) and Lu(III) with HPMBP, HPM_oFBP, HPM_mFBP and HPM_pFBP. The trend in the stability constants of all complexes were in the following order: La(III) < Pr(III) < Gd(III) < Eu(III) < Lu(III) < Er(III). This is consistent to the splitting of the *f* orbitals when complexes were formed.

Keywords Stability constants of lantanides complexes, derivatives of fluorinated 5-pyrazolone.

Pengenalan

Irving dan Rossotti (1954) telah mengemukakan satu kaedah pentitratan bagi tujuan penentuan kestabilan kompleks-kompleks. Kaedah ini masih digunakan kerana ianya mudah dilaksanakan (McBryrid, 1973; Fukushima *et al.*, 2001; Hammud & El Jamal, 2007; Arzik *et al.*, 2008; Latif *et al.*, 2010; Murhekar & Raut, 2010). Tujuan utama kajian ini adalah untuk menentukan pemalar kestabilan proton-ligan untuk terbitan-terbitan berfluorin 1-fenil-3-metil-4-benzoil-5-pirazolona (HPMBP) dan pemalar kestabilan kompleks-kompleks yang terbentuk antara terbitan-terbitan berfluorin HPMBP dengan lantanida.

Teori Penentuan Kestabilan Kompleks

Menurut Beck (1970) dan Beck dan Nagypal (1990), sekiranya ion logam membentuk kompleks, pembentukannya akan melibatkan langkah demi langkah. Sekiranya M dan L mewakili logam dan ligan, pembentukan kompleks boleh diberikan seperti berikut:



Mengikut persamaan (1) - (4) di atas, setiap langkah pembentukan kompleks memberikan satu pemalar keseimbangan seperti berikut:

$$K_1 = [ML] / [M][L] \quad (5)$$

$$K_2 = [ML_2] / [ML][L] \quad (6)$$

$$K_3 = [ML_3] / [ML_2][L] \quad (7)$$

$$K_n = [ML_n] / [ML_{n-1}][L] \quad (8)$$

Yang mana $K_1, K_2, K_3, \dots, K_n$ adalah pemalar keseimbangan kompleks bagi setiap langkah. Daripada persamaan (1) - (4), pembentukan keseluruhan kompleks adalah:



Yang mana N adalah nombor koordinatan logam. Sekiranya β adalah pemalar keseimbangan keseluruhan kompleks maka:

$$M + L \rightleftharpoons ML\beta = [ML] / [M][L] = K_1 \quad (10)$$

$$M + 2L \rightleftharpoons ML_2\beta_2 = [ML_2] / [M][L]^2 = K_1K_2 \quad (11)$$

$$M + 3L \rightleftharpoons ML_3\beta_3 = [ML_3] / [M][L]^3 = K_1K_2K_3 \quad (12)$$

$$M + nL \rightleftharpoons ML_n\beta_n = [ML_n] / [M][L]^n = K_1K_2K_3\dots K_n \quad (13)$$

Bjerrum (1941) telah mentakrifkan,

\bar{n} = jumlah purata ligan terikat pada satu ion logam

n_A = jumlah purata proton yang terikat pada ligan

T_H = jumlah kepekatan hidrogen di dalam sistem

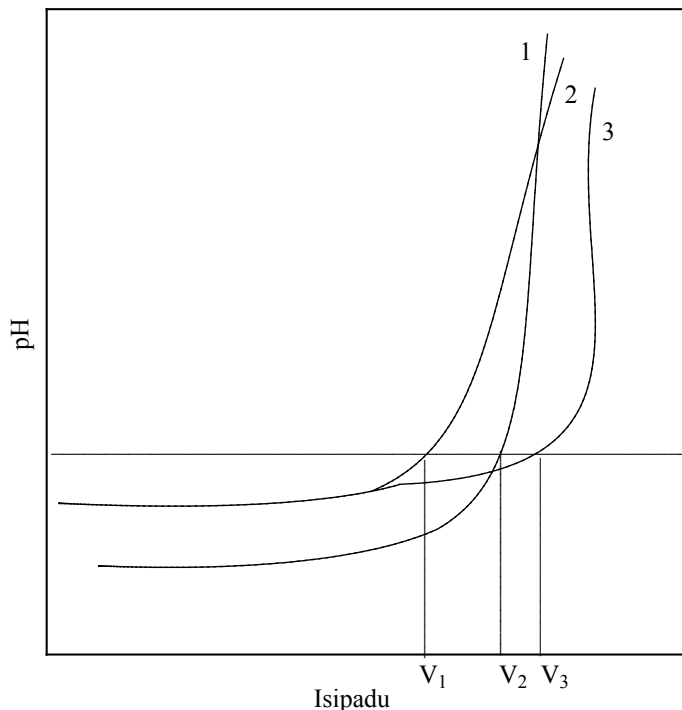
T_M = jumlah kepekatan logam

T_L = jumlah kepekatan ligan

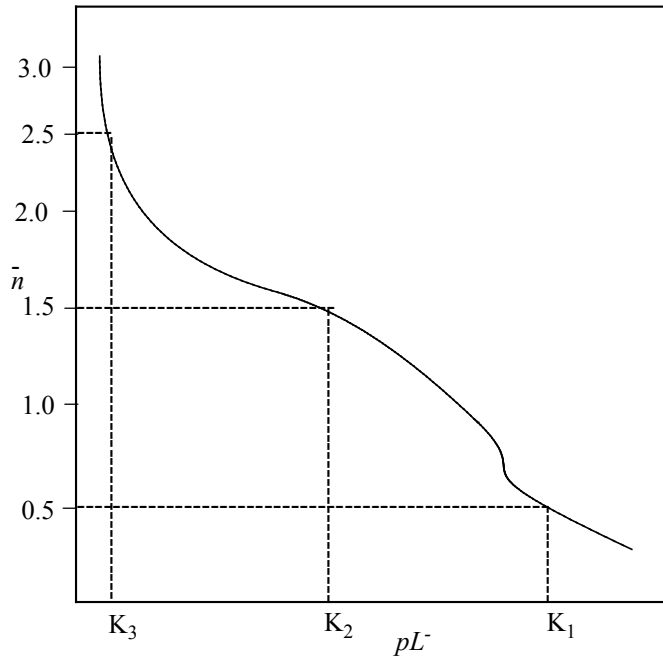
Maka itu, K_1 , K_2 , dan K_3 boleh ditentukan pada plot pembentukan \bar{n} lawan $\log_{10} [L]$ pada \bar{n} di 0.5, 1.5, dan 2.5.

$$pL = \log_{10} \left[\sum_{j=0}^{j=J} {}^c\beta_j^H [H]^j / (T_L - \bar{n}T_M) \right] \quad (14)$$

Yang mana ${}^c\beta_j^H$ adalah pemalar kestabilan keseluruhan pembentukan proton-ligan yang boleh ditentukan melalui pentitratan larutan berkenaan. Dengan menggunakan kaedah pentitratan pemalar kestabilan kompleks langkah demi langkah boleh ditentukan. Untuk menentukan pemalar kestabilan kompleks, tiga jenis larutan perlu disediakan. Larutan ini kemudiannya dititratkan dengan larutan NaOH dan setiap perubahan $[H^+]$ dibaca terus pada meter pH. Rajah 1 menunjukkan graf pH melawan isipadu untuk pelbagai campuran. Daripada Rajah 1, keluk 1 adalah larutan asid mineral sahaja, keluk 2 adalah campuran asid mineral dan ligan manakala keluk 3 adalah campuran asid mineral, ligan dan logam. Nilai K_1 , K_2 , dan K_3 boleh ditentukan dengan memplotkan satu graf \bar{n} melawan pL seperti diberikan pada Rajah 2.



Rajah 1 Graf pH melawan isipadu bagi pentitratan bes dengan pelbagai campuran asid mineral



Rajah 2 Graf \bar{n} melawan pL^- yang membentuk keluk pembentukan ligan dengan logam

Eksperimen

Semua kajian kestabilan kompleks dan proses keseimbangan telah dilakukan dalam rendaman air suhu tetap pada 30 ± 1 °C. Semua bacaan pH telah dilakukan pada meter pH Radiometer PHM28 lengkap dengan sepasang elektrod kaca-kalomel dan telah dipiawaikan pada pH 4.00, 7.00 dan 9.20 dengan larutan penimbal piawai pada 30 °C. Analisis elemental untuk C, H dan N bagi sebatian-sebatian yang disediakan telah dilakukan di makmal kimia Universiti National Singapura.

Larutan simpanan Ln(III) untuk kajian kestabilan kompleks

2.0 g Ln_2O_3 ditimbang dengan tepat dan dilarutkan dengan 0.0975 M larutan HClO_4 ($\text{Ln(III)} = 5.0 \times 10^{-3}$ M) dan dididihkan dengan larutan pekat asid HClO_4 sehingga kering. Proses ini diulangi sebanyak dua kali. Seterusnya pendidihan diulangi dengan air suling ternyahion sebanyak tiga kali sehingga kering untuk mengeluarkan asid yang berlebihan. Hasil proses ini telah dipindahkan ke dalam kelalang piawai dan dilarutkan dengan 0.0495 M larutan HClO_4 hingga paras 2000 ml. Banyaknya Ln(III) yang ada di dalam larutan telah ditentukan dengan penitratan bersama EDTA di mana xilenol oren telah digunakan sebanyak penunjuk (Kinnenen & Wennesstand, 1957). Asid HClO_4 yang ada pada larutan Ln(III) telah dipiawaikan sekali lagi dengan larutan NaOH.

Penyediaan HPMBP

Di dalam kelalang tiga leher dimasukkan 1-fenil-3-metil-5-pirazolona (30 g), dioksan (180 ml) dan dipanaskan sehingga semuanya melarut. Ca(OH)_2 (24 g) ditambah dan

digoncangkan dengan kuat. Setelah semua $\text{Ca}(\text{OH})_2$ habis dicampurkan, larutan dibiarkan sejuk pada suhu bilik dan benzoil klorida (20 ml) dicampurkan. Semua campuran ini direfluks selama 1 jam. Setelah sejuk, campuran ini dituang ke dalam air berasid (3 M, 300 ml) di mana mendakan terhasil dan dicuci dengan metanol-air.

Penyediaan HPM_oFBP , HPM_mFBP atau HPM_pFBP

Di dalam kelalang tiga leher dimasukkan 1-fenil-3-metil-5-pirazolona (30 g), dioksan (180 ml) dan dipanaskan sehingga semuanya melarut. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (24 g) ditambah dan digoncang dengan kuat. Setelah semua $\text{Ca}(\text{OH})_2$ habis dicampurkan larutan dibiarkan sejuk pada suhu bilik dan 2,3 atau 4-fluorobenzoil klorida (20 ml) dicampurkan. Semua campuran ini direfluks selama 1 jam. Setelah sejuk, campuran ini dituang ke dalam air berasid (3 M, 300 ml) di mana mendakan terhasil dan dicuci dengan metanol-air.

Penentuan kestabilan kompleks

Kaedah ini melibatkan penyediaan tiga jenis larutan dan dititratkan dengan 0.5378 M larutan NaOH.

i) Larutan asid:

Larutan HClO_4 (25, ml, 0.0495 M) dan NaClO_4 (25, 0.05050 M) dan 175 ml dioksan dimasukkan ke dalam kelalang piawai 250 ml. Air suling ternyahion ditambah kepada campuran hingga ke paras 250 ml. Sebanyak 100 ml larutan dipipet untuk pentitratan.

ii) Larutan HPMP , HPM_oFBP , HPM_mFBP atau HPM_pFBP :

HPMP , HPM_oFBP , HPM_mFBP atau HPM_pFBP (0.2341 g dan dioksan 175 ml) dimasukkan ke dalam kelalang piawai 250 ml. Air suling ternyahion ditambah pada campuran hingga ke paras 250 ml. Sebanyak 100 ml larutan dipipet untuk pentitratan.

iii) Larutan logam:

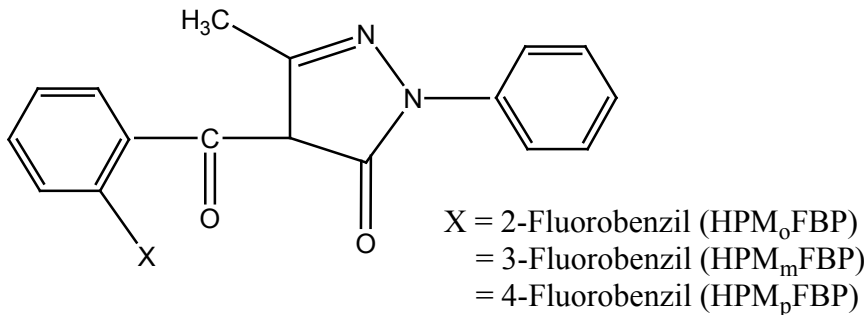
$\text{Ln}(\text{II})$ (25ml, 5.00×10^{-3} M), HPMP (0.2341 g dan dioksan 175 ml) dan NaClO_4 (25 ml, 0.5050 M). Air suling ternyahion ditambah pada campuran hingga para 250 ml. Sebanyak 100 ml larutan dipipet untuk pentitratan.

Pada setiap larutan yang disediakan nisbah dioksan : air telah ditetapkan pada 70 : 30. Sebelum kajian kestabilan kompleks dimulakan kesemua larutan telah dibiarkan semalaman pada suhu 30 °C untuk mencapai keseimbangan jisim. Dengan menggunakan meter pH, pH larutan telah diambil bagi setiap campuran NaOH.

Keputusan dan Perbincangan

Kami telah menyediakan agen-agen pengekstrakan terbitan berfluoro 1-fenil-3-metil-4-(2-fluorobenzoil)-5-pirazolona (HPM_oFBP), 1-fenil-3-metil-4-(3-fluorobenzoil)-5-pirazolona (HPM_mFBP) dan 1-fenil-3-metil-4-(4-fluorobenzoil)-5-pirazolona (HPM_pFBP) seperti

disyorkan oleh Jensen, 1959 (Rajah 3). Pada semua spektrum inframerah (IM) HPM_oFBP, HPM_mFBP dan HPM_pFBP menunjukkan $\nu(\text{C-H})$, 3060 cm^{-1} ; $\nu(\text{kelet OH}\cdots\text{O})$, 2600 cm^{-1} ; $\nu(\text{regangan gelang pirazolona})$, 1458 cm^{-1} $\nu(\text{C-O})$, 1200 cm^{-1} dan $\nu(\text{pembengkukkan dari enol})$, jalur dublet 800 cm^{-1} . Jalur untuk C=O keto tidak kelihatan pada semua spektrum sebatian. Daripada pemerhatian kami melalui spektrum IM untuk semua sebatian mencadangkan bahawa HPM_oFBP, HPM_mFBP dan HPM_pFBP adalah dalam tautomer enol.



Rajah 3 Sebatian-sebatian pirozolona berfluorin

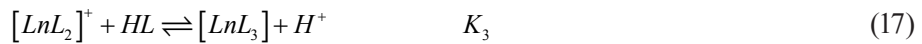
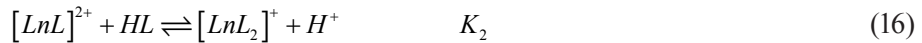
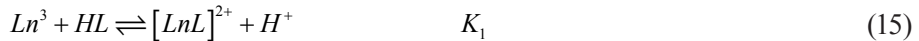
Pada spektrum RMN ¹H untuk HPMBP, HPM_oFBP, HPM_mFBP dan HPM_pFBP menunjukkan anjakan resonan ¹H untuk OH pada 12.60 (l) ppm, anjakan pada 7.20-8.00 (m) merupakan isyarat-isyarat resonan untuk proton-proton dari fenil dan 2.30 (s) ppm adalah isyarat-isyarat resonan untuk proton-proton metil. Daripada spektrum RMN ¹H bagi HPM_oFBP, HPM_mFBP dan HPM_pFBP menunjukkan bahawa semua sebatian adalah dalam keadaan tautomer enol. Pemerhatian ini sama yang didapati oleh Okafor (1982) yang mengkaji struktur untuk sebatian 1-fenil-3-metil-4-(trifluoroasetil)-5-pirazolona.

Penentuan pemalar penguraian keasidaan K_a untuk HPMBP, HPM_oFBP, HPM_mFBP dan HPM_pFBP dilakukan secara pentitratan dengan larutan NaOH di mana pK_a HPMBP = 4.60, HPM_oFBP = 4.10, HPM_mFBP = 4.30 dan HPM_pFBP = 4.50. Oleh itu turutan nilai pK_a sebatian-sebatian adalah seperti,

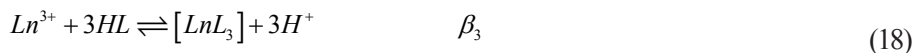


Semua penentuan pemalar kestabilan kompleks-kompleks telah dilakukan seperti kaedah yang cadangkan (Irving & Rossotti, 1954; Jamal & Hammud, 2007; Latif *et al*, (2010); & Murhekar & Raut, 2010). Dengan menggunakan kaedah ini didapati nilai ${}^c\beta_j^H$ untuk HPMBP (4.60), HPM_oFBP (4.10), HPM_mFBP (4.30) dan HPM_pFBP (4.50). Semua nilai ${}^c\beta_j^H$ untuk ligan telah didapati daripada plot graf \bar{n}_A melawan pL^- dan pada dari julat 0 hingga 1 pada skala \bar{n}_A . Ini menunjukkan bahawa hanya satu proton sahaja yang dapat ditukargantikan dengan logam bersama HPMBP, HPM_oFBP, HPM_mFBP atau HPM_pFBP. Pemalar kestabilan kompleks-kompleks sebagai 1 : 1, 1 : 2 dan 1 : 3 boleh ditentukan pada $\bar{n} = 0.5, 1.5$ dan 2.5 daripada plot graf graf \bar{n} melawan pL^- . Pada Jadual 1 diberikan pemalar kestabilan kompleks langkah demi langkah untuk La(III), Pr(III), Eu(III), Ga(III), Er(III) dan Lu(III) dengan HMMBP, HPM_oFBP, HPM_mFBP dan HPM_pFBP. Untuk semua pemalar kestabilan kompleks yang dikaji nilai \bar{n} hanya dilakukan di bawah pH = 9.00, kerana selepas pH ini mendakan mula terbentuk. Semua plot graf \bar{n} melawan pL^- hanya dapat dilakukan dari julat 0 hingga 3 pada skala \bar{n} . Ini membuktikan bahawa satu mol logam

telah bertindakbalas dengan 3 mol ligan-ligan untuk membentuk kompleks LnL_3 di mana Ln adalah lantanida yang berkompleks dengan ligan-ligan (L). Seandainya pembentukan kompleks melibatkan langkah demi langkah, pemalar kestabilan pembentukan kompleks sebagai 1 : 1, 1 : 2 dan 1 : 3 boleh ditentukan pada $\bar{n} = 0.5, 1.5$ dan 2.5. Oleh itu kami mencadangkan bahawa pembentukan kompleks adalah seperti berikut:



Pembentukan kompleks keseluruhannya ialah:



Yang mana $K_1, K_2,$ dan K_3 merupakan pemalar kestabilan kompleks logam-ligan pada langkah (15), (16) dan (17) dan β_3 (18) adalah pemalar kestabilan keseluruhan kompleks logam-ligan. Oleh itu,

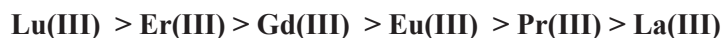
$$K_1 = \frac{[LnL_3]^{2+} [H]}{[Ln^{3+}] [HL]} \quad (19)$$

$$K_2 = \frac{[LnL_2]^+ [H^+]}{[LnL]^{2+} [HL]} \quad (20)$$

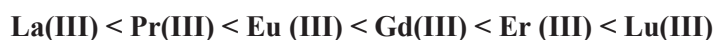
$$K_3 = \frac{[LnL_3] [H^+]}{[LnL_2]^+ [HL]} \quad (21)$$

$$\beta_3 = K_1 K_2 K_3 \quad (22)$$

Ini memberikan pemalar kestabilan kompleks bagi pembentukan 1 : 1 (K_1), 1 : 2 (K_2) dan 1 : 3 (K_3) seperti yang dilaporkan dalam Jadual 1. Pada jadual ini didapati turutan $\log\beta_3$ semua kompleks yang terbentuk adalah,



Dari persamaan Born didapati kolerasi kestabilan logam-logam adalah bersangkut paut dengan e^2/r (di mana $e =$ cas ion logam dan $r =$ jejari ion) (Miessler & Tarr, 2006). Oleh itu adalah dijangkakan kestabilan kompleks logam nadir bumi meningkat apabila jejari ionnya menurun. Oleh itu, turutan kestabilan kompleks logam nadir bumi adalah mengikut aturan,

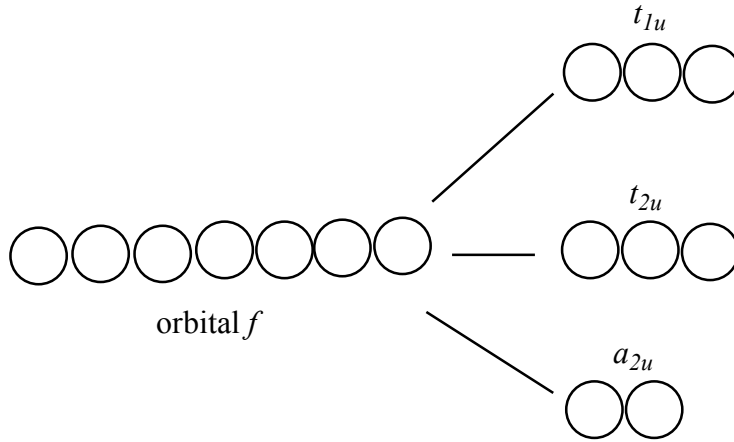


Walau bagaimanapun dapatan eksperimen seperti dalam Jadual 1 menunjukkan, turutan kestabilan Ln(III) adalah mengikut aturan,



Ini menunjukkan bahawa pemecahan orbital-orbital f telah berlaku seperti yang dicadangkan oleh teori ikatan medan hablur (Rajah 4) (Rodgers, 2005). Pemecahan ini adalah hasil daripada saling tindak cas elektrostatik antara cas positif logam dengan cas negatif ligan. Pemecahan orbital ini juga menyumbang kepada penambahan tenaga kestabilan bagi elektron-elektron yang ada pada orbital-orbital f seperti diberikan pada Jadual 2 (Ahmad, 2007).

Oleh kerana La(III) tidak mempunyai elektron pada $4f$ (f^0), Gd (III) mempunyai 7 elektron pada $4f$ (f^7) dan Lu(III) mempunyai 14 elektron $4f$ (f^{14}), tidak akan menyumbangkan penambahan tenaga kestabilan pada pembentukan kompleksnya seperti yang diberikan pada Jadual 1.

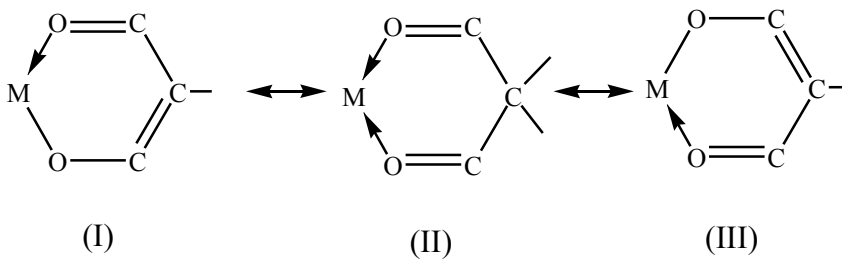


Rajah 4 Pemecahan orbital f

Pada Jadual 1 juga didapati bagi satu jenis logam Ln(III) kestabilan kompleks bagi setiap ligan yang digunakan adalah,



Ini adalah sepadan dengan sifat bes HPMBP yang lebih secara bandingan dengan ligan-ligan yang lainnya. Menurut Thompson, (1971), pengkelatan logam dengan β -diketon digambarkan seperti pada Rajah 5.



Rajah 5 Pengkelatan logam dengan β -diketon

Ini bermaksud, melibatkan pendermaan elektron dari orbital atom oksigen kepada orbital atom logam. Oleh kerana HPMBP bersifat bes yang lebih daripada ligan-ligan yang lain, HPMBP dapat menderma elektronnya lebih senang dibandingkan dengan HPM_pFBP , HPM_mFBP dan HPM_oFBP . Ini menyebabkan ikatan antara HPMBP dengan logam lebih kuat lagi.

Jadual 1 Pemalar kestabilan kompleks langkah demi langkah untuk La(III), Pr(III), Eu(III), Ga(III), Er(III) atau Lu(III) dengan HBMBP, HPM_pFBP, HPM_mFBP atau HPM_oFBP

Logam	Pemalar kestabilan kompleks	HPMBP	HPM _p FBP	HPM _m FBP	HPM _o FBP
La(III)	log K ₁	4.85	4.75	4.56	4.38
	log K ₂	4.34	4.28	4.04	3.84
	log K ₃	3.01	2.98	2.90	2.80
	log β ₃	12.20	12.01	11.50	11.10
Pr(III)	log K ₁	5.24	5.15	4.95	4.79
	log K ₂	4.66	4.58	4.40	4.17
	log K ₃	3.18	3.29	3.18	2.95
	log β ₃	13.08	13.02	12.53	11.01
Eu(III)	log K ₁	5.62	5.52	5.32	5.12
	log K ₂	4.98	4.90	4.69	4.48
	log K ₃	4.37	4.12	4.05	3.65
	log β ₃	14.97	14.54	14.06	13.25
Gd(III)	log K ₁	5.58	5.47	5.28	5.09
	log K ₂	4.90	4.81	4.62	4.47
	log K ₃	4.18	4.09	3.89	3.65
	log β ₃	14.66	14.37	13.79	13.21
Er(III)	log K ₁	5.89	5.78	5.58	5.39
	log K ₂	5.51	5.40	5.29	5/05
	log K ₃	4.96	4.85	4.68	4.44
	log β ₃	16.36	16.03	15.55	14.98
Lu(III)	log K ₁	5.73	5.62	5.43	5.23
	log K ₂	5.43	5.32	5.12	4.94
	log K ₃	4.87	4.78	4.52	4.33
	log β ₃	16.03	15.72	15.07	14.50

Jadual 2 Sumbangan tenaga kestabilan untuk orbital f

Konfigurasi elektron orbital f	Sumbangan tenaga kestabilan (Dq)
$f^0(f^7, f^{14})$	0
$f^1(f^8)$	12
$f^2(f^9)$	14
$f^3(f^{10})$	16
$f^4(f^{11})$	18
$f^5(f^{12})$	12
$f^6(f^{13})$	6

Rujukan

- Ahmad, M. (2007). *Basic Concepts of Coordinations Chemistry*. Tanjong Malim: Penerbit Universiti Pendidikan Sultan Idris.
- Arzik, S., Ayan, E. M., & Celebi, A. S. (2008). *Turk. J. Chem.*, 32, 721.
- Beck, M.T. (1970). *Chemistry of Complex Equilibria, J. Amer., Chem., Soc.*, 57, 2003.
- Beck, M. T., & Nagypal, I. (1990). *Chemistry of Complexes Equilibria*, Horwood.
- Bjerrum, J. (1941). *Metal-Ammine Formation in Aqueous Solution*, Copenhagen, Hase.
- Fukushima, M., Tassumi, K., & Wada, S. (2001). *Analytical Sciences*, 17, 2001.
- Hammud, H.H. & El Jamal, M.M. (2007). *J. University of Chemical Tech., & Metallurgy*, 42, 97.
- Irving, H.M. & Rossotti, H.S. (1954). *J. Chem. Soc.*, 2904.
- Jensen, B. S. (1959), *Acta Chem Scand.*, 13, 1668..
- Kinnenen, J. & Wennesstand B. (1957). *Determination of Metal Ions with Indictors, Chemist-Analyst*, 46, 92.
- Latif, S. A., Mansour, S. E., & Fatouh, A. A. (2010). *Natural Science*, 2(8), 793.
- McBryride, W. A. E. (1973). *Can. J. Chem.*, 51, 3572.
- Murhekar, G. H., & Raut, A. R. (2010). *Archives of Applied Science Research*, 2(10), 8.
- Okafor, E. C. (1980). *J. Inorg. Nucl. Chem.*, 42, 1155.
- Rodger, G. E. (2005). *Descriptive Inorganic, Coordination and Solid-State Chemistry* (2nd Edition). Singapore: Brooks/Cole Thompson Learning.
- Rossotti, F. J.C., & Rossotti, H; (1961). *The Determination of Stability Constant*, 8.
- Thompson, D.W. (1971). *Structure and Bonding*, Springer-Verlag, Berlin, 9, 27.