

Kesan Kehadiran Ion Ferik dalam Pemendakan Hidroksida Logam

Siti Rozaimah Sheikh Abdullah, Hii Hiong Wei dan Saleha Atan

ABSTRAK

Kajian dilakukan untuk mengkaji kesan kehadiran ion ferik dalam pemendakan logam-logam kuprum, zink, nikel, plumbum dan kromium secara individu dan juga campuran logam. Kaedah rawatan yang digunakan adalah pemendakan kimia oleh kalsium hidroksida dengan kehadiran ferik klorida sebagai bahan pencemar. Ujikaji dimulakan dengan penyediaan air sintetik stok dan diikuti pencairan larutan mengikut keperluan ujikaji. pH larutan akan diturunkan kepada pH 2 pada permulaannya dengan menggunakan asid nitrik pekat. Ujikaji diteruskan dengan penambahan kalsium hidroksida ke dalam larutan untuk meningkatkan pHnya. Beberapa sampel sebanyak 50 mL setiap satu akan diambil pada julat pH 2 hingga 12 dan sampel ini akan dituras dengan kertas turas jenis selulosa nitrat berliang 0.45 mm. Ujikaji diulangi dengan menambahkan larutan ferik klorida yang juga berfungsi sebagai logam pencemar. Daripada ujikaji, pH optimum bagi kelima-lima logam bagi pemendakan logam adalah pada medium alkali. Julat kebolehlarutan minimum bagi pemendakan hidroksida secara individu bagi logam Cu, Ni, Zn, Pb dan Cr adalah masing-masing 2.34-5.4 mgL⁻¹, 0-10.78 mgL⁻¹, 1.35-16.51 mgL⁻¹, 2.34-10.89 mgL⁻¹ dan 1.09-5.38 mgL⁻¹. Dengan kehadiran ion ferik sebanyak 50 mgL⁻¹, julat kebolehlarutan minimum bagi logam Cu, Ni, Zn, Pb dan Cr berkurangan menjadi masing-masing 2.00-3.00 mgL⁻¹, 0-9.07 mgL⁻¹, 1.01-16.1 mgL⁻¹, 2.00-9.44 mgL⁻¹ dan 0-4.17 mgL⁻¹. Kehadiran ion ferik telah meningkatkan keberkesanan pemendakan logam dalam larutan kerana ferik hidroksida yang terbentuk bertindak selaku kinetik perantaraan dalam pembentukan mendakan logam hidroksida. Kesan kehadiran ion ferik adalah lebih ketara dalam pemendakan logam bercampur berbanding logam individu.

Kata kunci : pemendakan logam, kebolehlarutan hidroksida, logam berat, ferik hidroksida

ABSTRACT

This research aims to investigate the effects of ferric ions on hydroxide precipitation of copper, zinc, lead, chromium and nickel metals individually as well as in mixed metals. The treatment method used was chemical precipitation using calcium hydroxide as the precipitation agent in the existence of ferric ions as one of the pollutants. The experiment was initially performed with the preparation of synthetic wastewater stocks that were diluted according to the experimental requirements. pH values of the solution were then initially reduced to pH 2 using nitric acid. 50 mL aliquots of sample were obtained at each pH increment and filtered through 0.45 mm porous cellulose nitrate membranes. The procedure was then repeated by

adding ferric chloride solutions as a polluting metal. The alkaline medium was found to be the most suitable for metal precipitation purposes since all the optimum pH for all five metals occurred at alkaline medium. The minimum solubility of individual hydroxide precipitation for Cu, Ni, Zn, Pb and Cr were 2.34-5.4 mgL⁻¹, 0-10.78 mgL⁻¹, 1.35-16.51 mgL⁻¹, 2.34-10.89 mgL⁻¹ and 1.09-5.38 mgL⁻¹ respectively. With the presence of 50 mgL⁻¹ ferric ions, the minimum solubility for Cu, Ni, Zn, Pb and Cr decreased to 2.00-3.00 mgL⁻¹, 0-9.07 mgL⁻¹, 1.01-16.1 mgL⁻¹, 2.00-9.44 mgL⁻¹ and 0-4.17 mgL⁻¹ respectively. Hence, the presence of ferric ions was able to effectively increase the metal precipitation as the formation of ferric hydroxide acted as an intermediate kinetic during metal hydroxide precipitation process. The precipitation effect in the presence of ferric ions was more noticeable in mixed metal solutions.

Keywords : metal precipitation, hydroxide solubility, heavy metals, ferric hydroxide

PENGENALAN

Dalam industri perkilangan, kebanyakan proses pembuatan barang melibatkan penggunaan logam-logam berat terutamanya dalam industri cat, pendawaian elektrik, penyaduran, dan sebagainya. Lazimnya, logam-logam berat yang digunakan ialah logam kuprum (Cu), nikel (Ni), zink (Zn), plumbum (Pb), dan kromium (Cr). Antara kaedah perawatan air sisa berlogam adalah kaedah penukaran ion, penyejatan, osmosis balikan, pengekstrakan bahan larut, elektrodialisis dan pemendakan ion logam tak larut. Dalam teori kebolehlarutan logam, Nernst pada tahun 1899 (Freiser & Fernando 1963) telah menunjukkan keseimbangan antara pepejal garam ion dan larutannya dalam air. Untuk suatu sebatian yang separa larut, persamaan penceraianannya adalah mengikut persamaan yang berikut:



Pemalar keseimbangan larutannya boleh ditulis sebagai $K=[C]^a[A]^b$. Ungkapan $[C_a A_b]$ boleh diabaikan kerana ia merupakan pepejal tulen yang berkepekatan tetap. Dalam kes logam hidroksida, persamaan penceraian logam hidroksida adalah mengikut persamaan berikut:



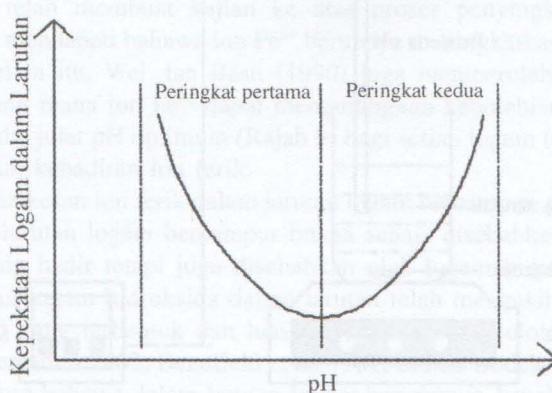
Pemalar keseimbangan larutan bagi tindak balas di atas adalah $K_{sp} = [M^{2+}][OH^-]^2$. K_{sp} merupakan suatu ukuran sejauh mana tindak balas itu menghala ke arah kanan pada keseimbangan (dalam larutan tenu). Pemalar ini digunakan untuk mewakili dan memerhatikan keadaan sesuatu larutan, sama ada larutan tersebut adalah tenu atau tidak. Jika hasil darab kebolehlarutan ion-ion tersebut adalah sama dengan K_{sp} keseimbangan maka larutan itu adalah tidak tenu. Sebaliknya jika hasil darab ion-ion adalah lebih daripada K_{sp} , maka mendakan akan terbentuk.

Dalam perawatan air sisa, keadaan beralkali adalah keadaan yang paling unggul untuk pemendakan logam. Ini kerana penambahan ion OH⁻ akan

mempengaruhi kebolehlarutan pepejal logam. Mengikut prinsip Le Chatelier, penambahan alkali atau ion hidroksida akan mengakibatkan persamaan teranjak ke sebelah kiri. Maka, lebih banyak mendakan akan terbentuk dan ion logam yang larut dalam air akan semakin berkurangan. Dengan terbentuknya mendakan yang banyak, maka penyingkiran atau rawatan air ini akan menjadi lebih berkesan. Oleh itu, peningkatan pH larutan akan menambahkan mendakan logam (Freiser & Fernando 1963). Selain daripada itu, agen pengental juga memberi kesan kepada kecekapan pemendakan logam. Aluminium sulfat, ferum klorida, ferum sulfida, kapur, polielektrolit (*polyelectrolytes*), dan soda kaustik merupakan bahan kimia dan agen pengental yang sering digunakan. Jenis agen pemendakan yang digunakan adalah bergantung kepada jenis logam yang perlu disingkirkan, pH air sisa, kos dan keberkesanan pemendakan yang ingin dicapai (Perry 1997).

Kepekatan setiap logam dengan peningkatan pH boleh dibahagikan kepada dua tahap seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1. Pada tahap pertama, kepekatan logam dalam setiap larutan adalah paling tinggi pada awal ujikaji dan kepekatan logam akan menurun secara perlahan-lahan dengan peningkatan pH. Kepekatan logam dalam larutan akan menurun sehingga ke suatu pH tertentu yang mana kepekatan logam dalam larutan adalah paling rendah dan seterusnya ia akan memasuki tahap kedua. Peningkatan pemendakan logam berlaku dengan penambahan agen mendakan. Maka, kepekatan logam yang dikesan dalam larutan semakin menurun sehingga pH optimum dicapai. Pada pH optimum ini, kebolehlarutan sesuatu logam berada pada paras minimum. Seterusnya pada tahap kedua, kepekatan logam dalam larutan akan meningkat dari pH optimum terbentuknya ion kompleks. Kepekatan logam dalam larutan adalah minimum pada medium alkali, yang membuktikan bahawa medium beralkali adalah medium yang paling sesuai untuk pemendakan logam (Freiser & Fernando 1963; Patterson 1982).

Objektif kajian ini adalah untuk mengkaji kesan kehadiran ion ferik ke atas pemendakan hidroksida bagi logam kuprum, nikel, zink, kromium dan plumbum. Lazimnya, ion ferik ditambahkan selepas pembentukan mendakan bagi mengental dan menggumpal mendakan supaya mudah diasingkan dari



RAJAH 1. Susuk umum bagi perubahan kebolehlarutan sesuatu logam terhadap pH

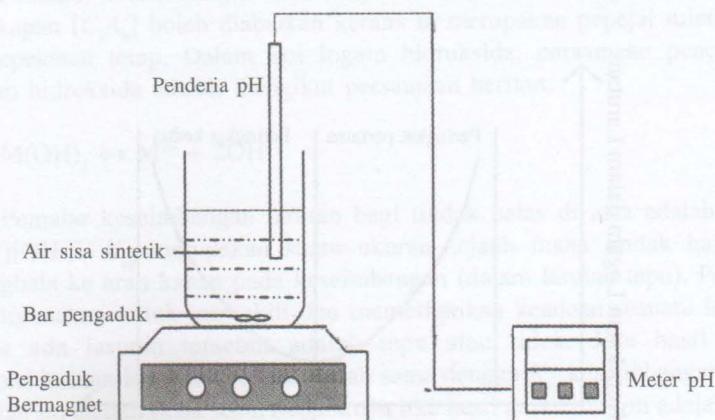
cecair pukalnya. Walau bagaimanapun, dalam kajian ini, ion ferik hadir sama sebagai salah satu logam pencemar.

BAHAN DAN KAEDAH

Kajian ini merangkumi uji kaji terhadap pemendakan logam hidroksida dengan menggunakan kalsium hidroksida (Fisher Scientific UK Limited, U.K.) dan kesan pemendakan logam dengan kehadiran ion ferik dalam larutan. Asid nitrik pekat (Fluka Chemie AG, Switzerland) pula digunakan sebagai agen penurun pH. Pada peringkat permulaan, stok untuk setiap jenis logam (AJAX Chemicals, Australia) disediakan dengan mlarutkan garam logam dalam 1000 mL air. Bagi kajian pemendakan logam tanpa kehadiran ion ferik, setiap larutan stok 1000 mg/L ion logam dicairkan masing-masing kepada 20 mg/L, 50 mg/L, dan 80 mg/L. Isipadu yang diperlukan bagi setiap larian adalah sebanyak 2.0 L.

Peralatan radas (Rajah 2) disediakan dan uji kaji dimulakan dengan larutan berkepekatan 20 mg/L. pH larutan dimulakan berhampiran dengan nilai pH 2 dan peningkatan pH akan dilakukan dengan menambahkan larutan kalsium hidroksida sedikit demi sedikit sehingga mencapai pH 12. Pada setiap nilai pH yang dicapai, 50 mL sampel larutan diambil dan dituras dengan kertas turas jenis selulosa nitrat dengan saiz liang 0.45 mm (Whatman, England). Hasil larutan yang diperoleh daripada turasan sampel itu kemudian dititiskan dengan beberapa titis asid nitrik pekat, HNO_3 , untuk tujuan pengawetan. Selepas itu, sampel tersebut disimpan untuk analisis kandungan logam menggunakan alat *Atomic Absorption Spectrometer Model Analyst 800* (Perkin Elmer Instruments, U.S.).

Dalam kajian kesan ion ferik ke atas pemendakan logam individu, satu larutan logam individu akan dicampurkan dengan ferik klorida dengan peningkatan kepekatan masing-masing sebanyak 20 mgL^{-1} , 50 mgL^{-1} , dan 80 mgL^{-1} . Peralatan seperti dalam Rajah 2 disediakan dan prosedur ujikaji seperti uji kaji sebelum ini dilakukan. Uji kaji ini akan dijalankan ke atas setiap logam yang hadir secara induvidu dalam larutan dengan kehadiran 20, 50 dan 80 mgL^{-1} ion ferik dalam larutan logam yang telah disediakan.



RAJAH 2. Penyediaan alat radas untuk uji kaji pemendakan logam

Bagi kajian kesan ion ferik ke atas pemendakan logam bercampur, satu campuran logam yang terdiri dari lima logam utama (kuprum, zink, nikel, plumbum, dan kromium) pada pelbagai kepekatan disediakan. Larutan logam campuran ini juga dicampurkan dengan ferik klorida pada kepekatan 20 mgL^{-1} , 50 mgL^{-1} dan 80 mgL^{-1} pada permulaannya.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Bagi kajian kesan ion ferik dalam larutan logam individu, tindak balas antara ferik klorida dan kalsium hidroksida telah menyebabkan pembentukan ferik hidroksida. Ferik hidroksida pula mempunyai keupayaan menggumpal dan menjerap mendakan logam yang lain (Burton & Stensel 2003, Benjamin 2002; Cotton et al. 1999). Produk hidrolisis atau dengan lebih jelas ferik hidroksida akan membentuk seperti kinetik perantaraan dalam pembentukan mendakan logam hidroksida. Peneutralan cas dan penggumpalan dalam pemendakan kedua-dua campuran akan membentuk penggumpalan. Oleh itu, kepekatan logam dalam larutan akan semakin berkurang akibat penarikan ion logam dalam larutan oleh ferik hidroksida.

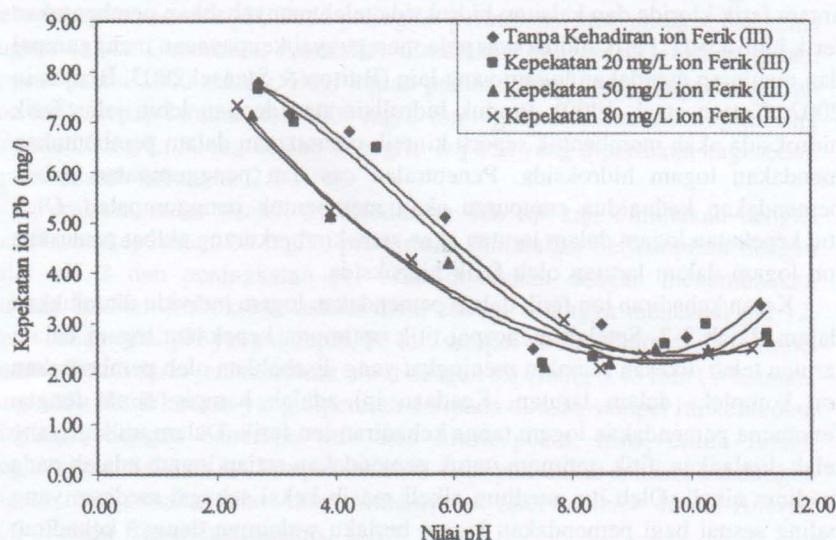
Kesan kehadiran ion ferik dalam pemendakan logam individu ditunjukkan dalam Rajah 3-7. Setelah mencapai titik optimum, kepekatan logam dalam larutan telah dikesan semakin meningkat yang disebabkan oleh pembentukan ion kompleks dalam larutan. Keadaan ini adalah hampir sama dengan fenomena pemendakan logam tanpa kehadiran ion ferik. Dalam uji kaji yang telah dijalankan, titik optimum untuk pemendakan setiap logam adalah pada medium alkali. Oleh itu, medium alkali masih kekal sebagai medium yang paling sesuai bagi pemendakan logam berlaku walaupun dengan kehadiran ion ferik.

Rajah 8 dan 9 meringkaskan nilai kebolehlarutan minimum ion logam dan julat pH optimum di mana pemendakan secara maksimum telah berlaku, yang diperolehi berdasarkan kepada keputusan dalam Rajah 3-7. Berdasarkan kepada Rajah 8, purata nilai kebolehlarutan minimum bagi setiap logam menunjukkan tanda-tanda penurunan dengan pertambahan kepekatan ion ferik yang hadir dalam larutan, disebabkan oleh faktor pemendakan bersama oleh mendakan ferik hidroksida. Keputusan yang diperolehi ini selari dengan peyelidikan yang dijalankan oleh Macchi et al. (1996) dan Marani et al. (1995) yang telah membuat kajian ke atas proses penyingkiran logam plumbum dan mendapat bahawa ion Fe^{3+} berupaya meningkatkan kecekapan proses ini. Selain itu, Wei dan Basu (1990) juga memperolehi keputusan yang sama yang mana ion Fe^{3+} dapat mengurangkan kebolehlarutan logam zink.. Manakala, julat pH optimum (Rajah 9) bagi setiap logam tidak banyak berubah dengan kehadiran ion ferik.

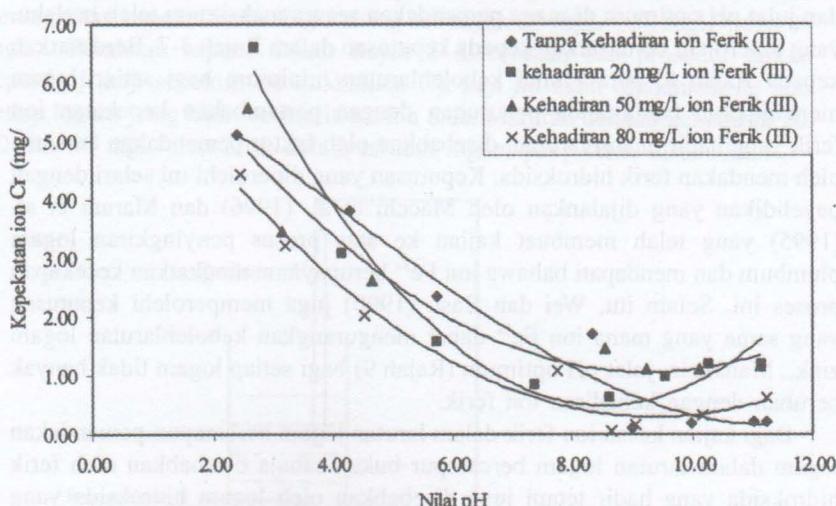
Bagi kajian kesan ion ferik dalam larutan logam bercampur, pemendakan logam dalam larutan logam bercampur bukan sahaja disebabkan oleh ferik hidroksida yang hadir tetapi juga disebabkan oleh logam hidroksida yang lain. Kehadiran logam hidroksida dalam larutan telah mengakibatkan lebih banyak koloid yang terbentuk dan luas permukaan bagi koloid turut juga bertambah (Benjamin 2002; Benefield et al. 1982; Itamar Bodek et al. 1988)). Ini menunjukkan bahawa dalam larutan logam bercampur, kepekatan logam dalam larutan adalah lebih rendah dan keberkesanan pemendakan logam adalah lebih tinggi. Manakala, pH optimum untuk setiap logam adalah

berlainan yang mana logam zink, nikel, plumbum, kuprum, dan kromium masing-masing mempunyai julat pH optimum 9-10, 10, 8-10, 9-10, dan 8-9 (Rajah 10-14).

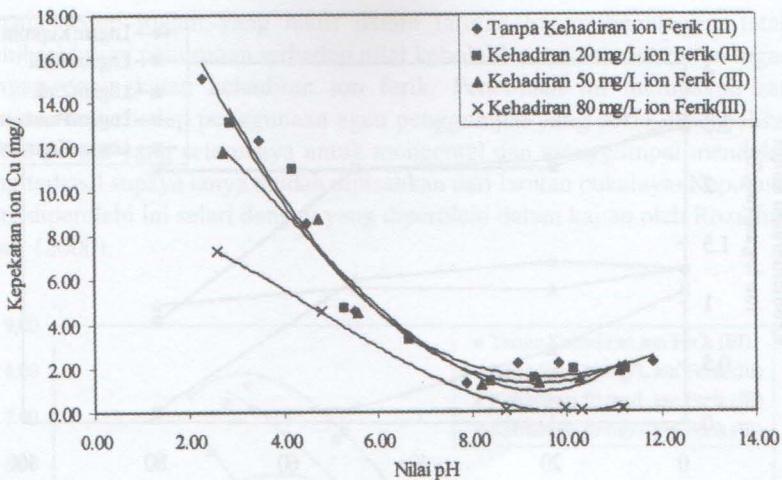
Secara perbandingan, kesan ion ferik dalam larutan logam bercampur adalah lebih ketara jika dibandingkan dengan larutan logam tunggal. Dalam larutan logam bercampur, mendakan logam yang terbentuk adalah lebih banyak. Ini telah dibuktikan daripada uji kaji dengan kepekatan logam adalah lebih rendah dalam larutan logam bercampur jika



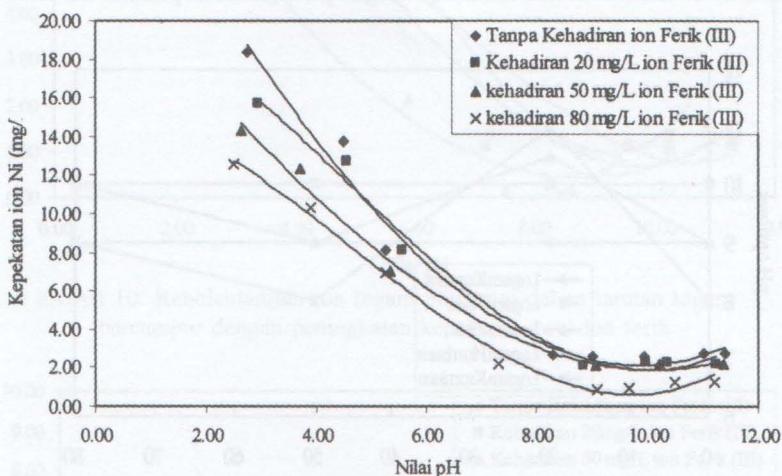
RAJAH 3. Kebolehlarutan ion plumbum pada berlainan kepekatan awal ion ferik



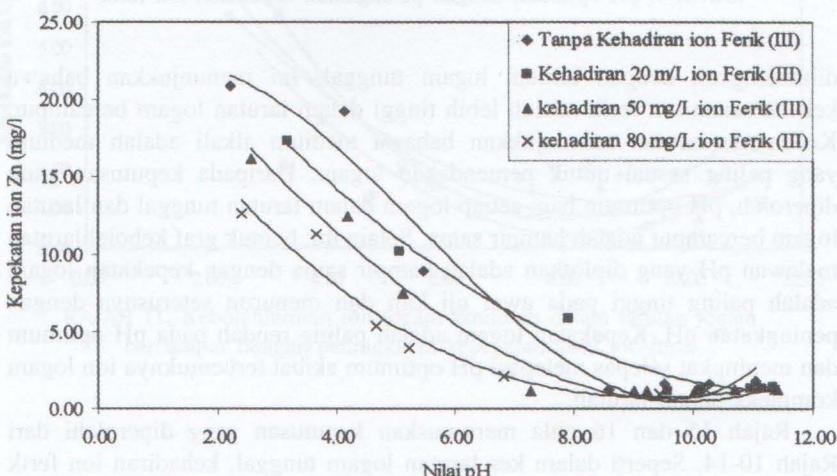
RAJAH 4. Kebolehlarutan ion kromium pada berlainan kepekatan awal ion ferik



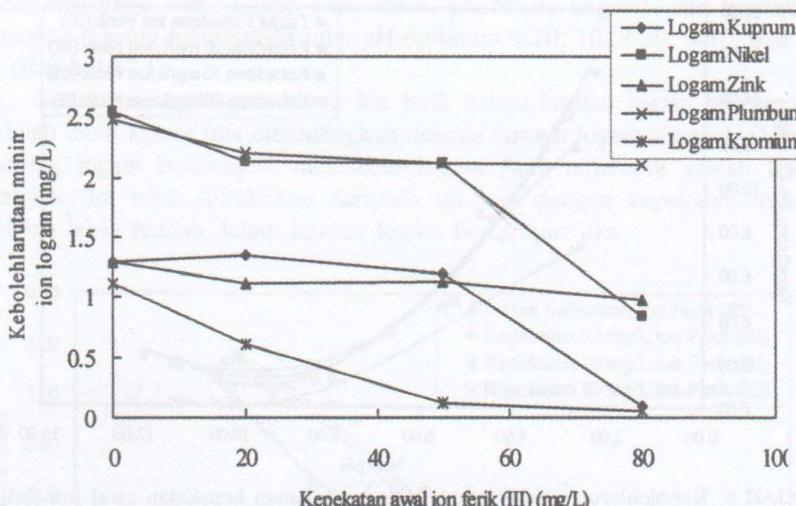
RAJAH 5. Kebolehlarutan ion kuprum pada berlainanan kepekatan awal ion ferik



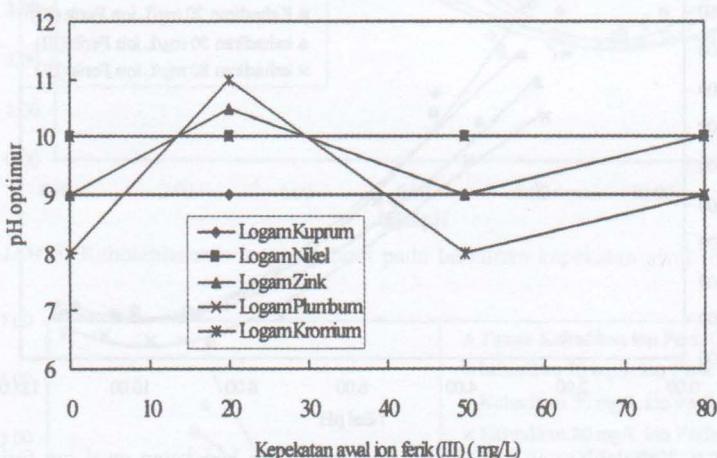
RAJAH 6. Kebolehlarutan ion nikel pada berlainanan kepekatan awal ion ferik



RAJAH 7. Kebolehlarutan ion zink pada berlainanan kepekatan awal ion ferik



RAJAH 8. Kebolehlarutan minimum dengan peningkatan kepekatan ion ferik

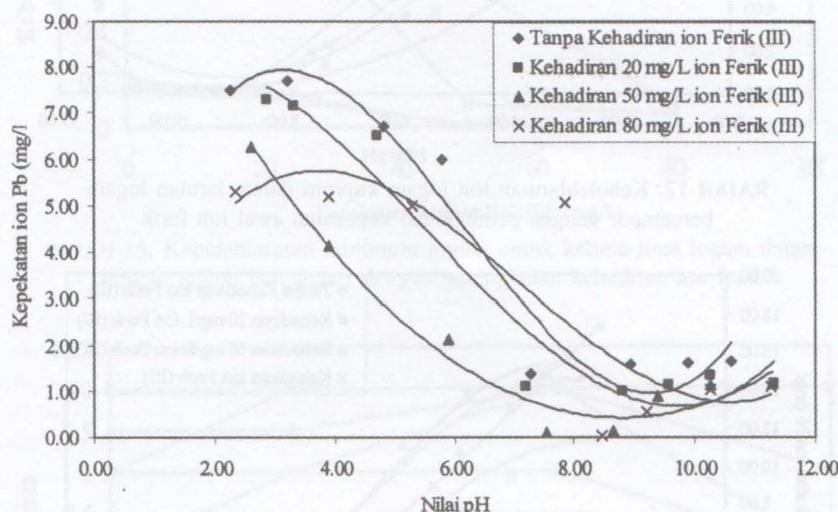


RAJAH 9. pH optimum dengan peningkatan kepekatan ion ferik

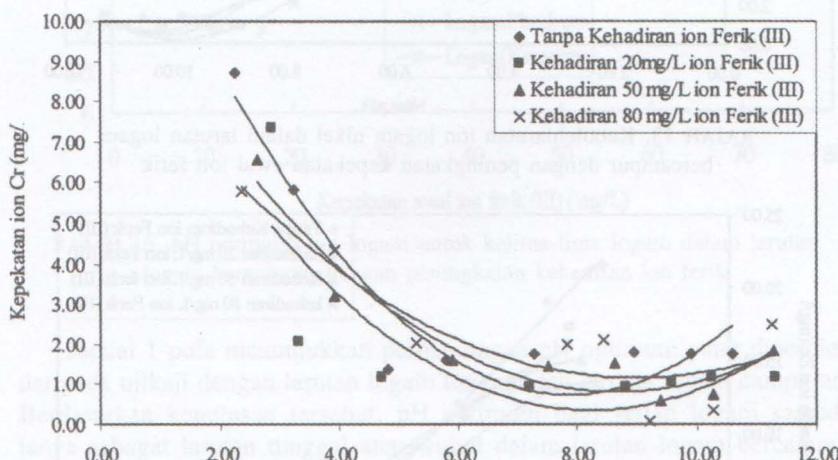
dibandingkan dengan larutan logam tunggal. Ini menunjukkan bahawa keberkesanan ion ferik adalah lebih tinggi dalam larutan logam bercampur. Kedua-dua larutan menunjukkan bahawa medium alkali adalah medium yang paling sesuai untuk pemendakan logam. Daripada keputusan yang diperoleh, pH optimum bagi setiap logam dalam larutan tunggal dan larutan logam bercampur adalah hampir sama. Selain itu, bentuk graf kebolehlarutan melawan pH yang diplotkan adalah hampir sama dengan kepekatan logam adalah paling tinggi pada awal uji kaji dan menurun seterusnya dengan peningkatan pH. Kepekatan logam adalah paling rendah pada pH optimum dan meningkat selepas melepassi pH optimum akibat terbentuknya ion logam kompleks dalam larutan.

Rajah 15 dan 16 pula merumuskan keputusan yang diperolehi dari Rajah 10-14. Seperti dalam kes larutan logam tunggal, kehadiran ion ferik secara keseluruhan tidak memberi apa-apa kesan terhadap julat pH optimum

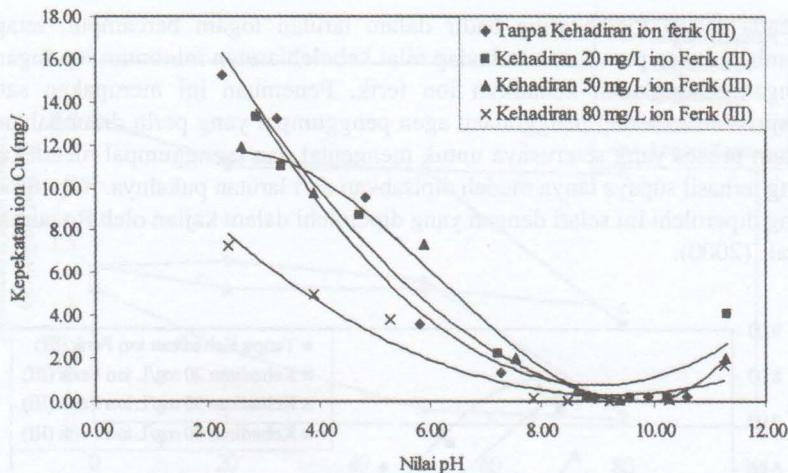
kepada setiap logam yang hadir dalam larutan logam bercampur, tetapi memberi kesan penurunan terhadap nilai kebolehlarutan minimum ion logam dengan peningkatan kehadiran ion ferik. Penemuan ini merupakan satu penjimatan terhadap penggunaan agen penggumpal yang perlu ditambahkan dalam proses yang seterusnya untuk mengental dan menggumpal mendakan yang terhasil supaya ianya mudah dipisahkan dari larutan pukalnya. Keputusan yang diperolehi ini selari dengan yang diperolehi dalam kajian oleh Rozaimah et al. (2000).



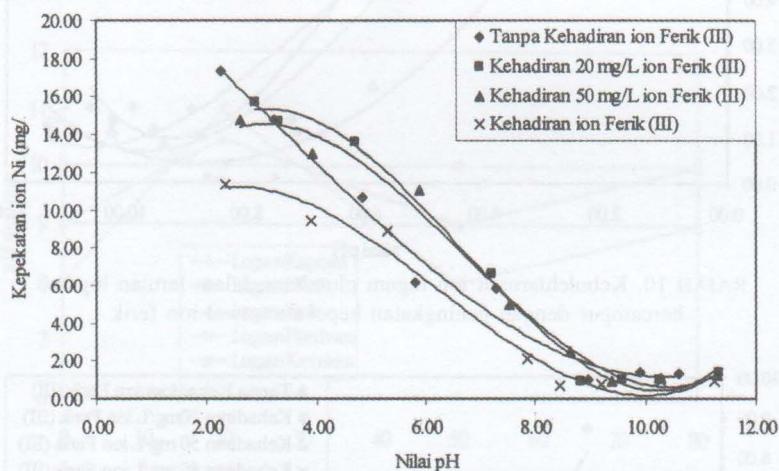
RAJAH 10. Kebolehlarutan ion logam plumbum dalam larutan logam bercampur dengan peningkatan kepekatan awal ion ferik



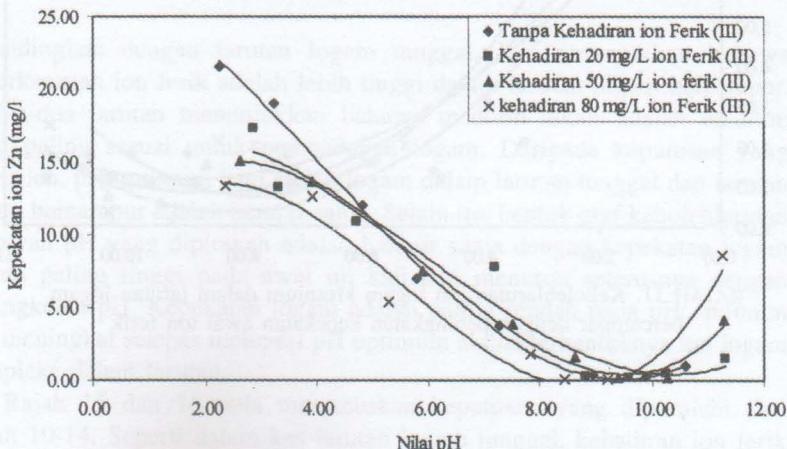
RAJAH 11. Kebolehlarutan ion logam kromium dalam larutan logam bercampur dengan peningkatan kepekatan awal ion ferik



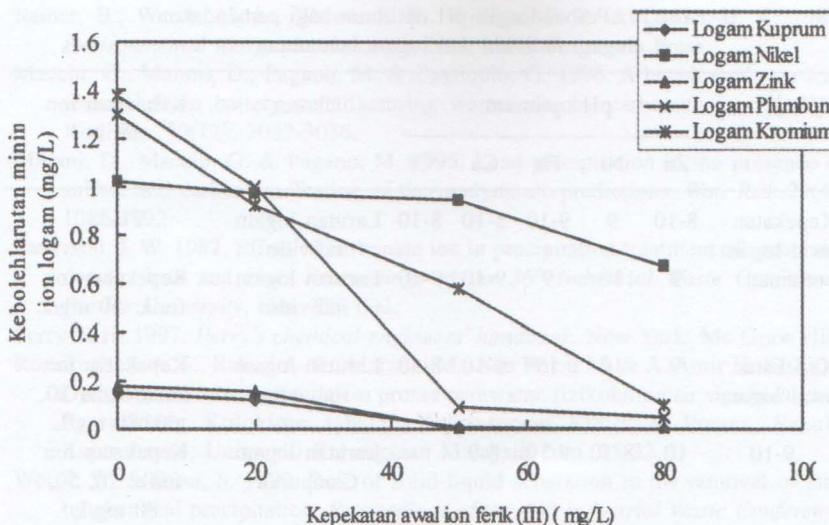
RAJAH 12. Kebolehlarutan ion logam kuprum dalam larutan logam bercampur dengan peningkatan kepekatan awal ion ferik



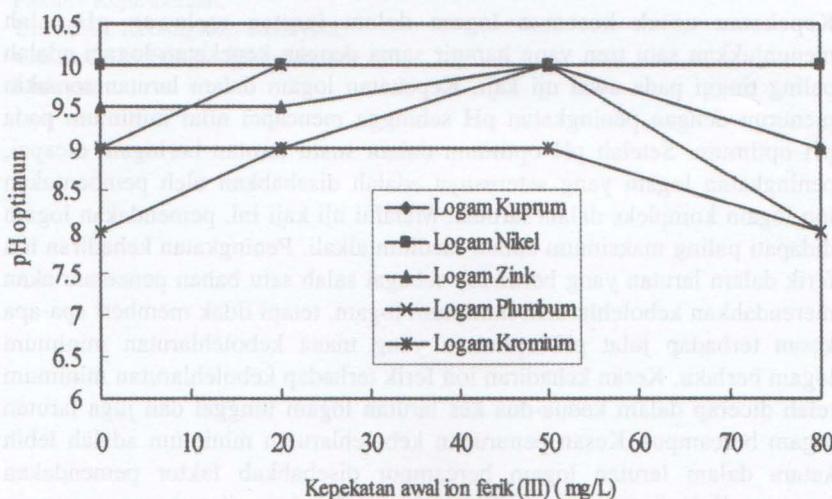
RAJAH 13. Kebolehlarutan ion logam nikel dalam larutan logam bercampur dengan peningkatan kepekatan awal ion ferik



RAJAH 14. Kebolehlarutan ion logam zink dalam larutan logam bercampur dengan peningkatan kepekatan awal ion ferik



RAJAH 15. Kebolehlarutan minimum logam untuk kelima-lima logam dalam larutan logam bercampur dengan peningkatan kehadiran ion ferik



RAJAH 16. pH optimum ion logam untuk kelima-lima logam dalam larutan logam bercampur dengan peningkatan kehadiran ion ferik

Jadual 1 pula menunjukkan perbandingan pH optimum yang diperoleh daripada ujian dengan larutan logam tunggal dan larutan logam campuran. Berdasarkan keputusan tersebut, pH optimum bagi setiap logam samada ianya sebagai larutan tunggal atau wujud dalam larutan logam bercampur dan samada tanpa atau dengan kehadiran ion ferik tidak banyak mengalami perubahan.

JADUAL 1. Perbandingan pH optimum bagi pemendakan logam individu dan logam bercampur

Ujikaji	pH optimum					Ulasan	Kehadiran ion ferik
	Zn	Ni	Pb	Cu	Cr		
Kepekatan awal logam berlainan	8-10	9	9-10	8-10	8-10	Larutan logam individu	Tiada
	9	10	9	9-10	9-10	Larutan logam individu	Kepekatan ion ferik: 50 mg/L
Kepekatan awal logam	9	10	10	9-10	8-10	Larutan logam individu	Kepekatan ion ferik: sama 20, 50, 80 mg/L
	9-10	10	8-10	9-10	8-9	Larutan logam Campuran	Kepekatan ion ferik: 20, 50, 80 mg/L

KESIMPULAN

Kepekatan untuk kesemua logam dalam larutan melawan pH telah menunjukkan satu tren yang hampir sama dengan kepekatan logam adalah paling tinggi pada awal uji kaji. Kepekatan logam dalam larutan semakin menurun dengan peningkatan pH sehingga mencapai nilai minimum pada pH optimum. Setelah pH optimum dalam suatu larutan berlogam dicapai, peningkatan logam yang seterusnya adalah disebabkan oleh pembentukan ion logam kompleks dalam larutan. Melalui uji kaji ini, pemendakan logam didapati paling maksimum dalam medium alkali. Peningkatan kehadiran ion ferik dalam larutan yang bertindak sebagai salah satu bahan pencemar akan merendahkan kebolehlarutan minimum logam, tetapi tidak memberi apa-apa kesan terhadap julat pH optimum yang mana kebolehlarutan minimum logam berlaku. Kesan kehadiran ion ferik terhadap kebolehlarutan minimum telah dicerap dalam kedua-dua kes larutan logam tunggal dan juga larutan logam bercampur. Kesan penurunan kebolehlarutan minimum adalah lebih ketara dalam larutan logam bercampur disebabkan faktor pemendakan bersama. Kehadiran ion ferik dalam air sisa dapat menjimatkan penggunaan agen penggumpal yang diperlukan dalam proses pengentalan-penggumpalan bagi meningkatkan kecekapan pemisahan mendakan dari cecair pukalnya.

RUJUKAN

- Benefield, L. D., Judkins, Jr., J. F. & Wead, B. L. 1982. *Process chemistry for water treatment and wastewater treatment*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Benjamin, M. M. 2002. *Water chemistry*. Boston: McGraw-Hill.
- Burton, F. L. & Stensel, H. D. 2003. *Wastewater engineering treatment and reuse*. Ed. ke-4. New York: McGraw Hill.
- Cotton, F. A., Wilkinson, G., Murillo, C. A. & Bochman, M. 1999. *Advanced inorganic chemistry*. Ed. ke-6. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Freiser, H. & Fernando, Q. 1963. *Ionic equilibria in analytical chemistry*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

- Itamar, B., Warren, J. L., Waren, F. R., William, F. R. & David, H. R. 1988. *Environmental inorganic chemistry*. New York: Pergamon Press.

Macchi, G., Marani, D., Pagano, M. & Bagnuolo, G. 1996. A bench study on lead removal from battery manufacturing wastewater by carbonate precipitation. *Wat. Res.* 30(12): 3032-3036.

Marani, D., Macchi, G. & Pagano, M. 1995. Lead precipitation in the presence of sulfate and carbonate: Testing of thermodynamic predictions. *Wat. Res.* 29(4): 1085-1092.

Patterson, J. W. 1982. Effect of carbonate ion in precipitation treatment of cadmium, copper, lead and zinc. *Proceedings of the 36th Industrial Waste Conference Purdue University*, hlm. 579-602.

Perry, R.H. 1997. *Perry's chemical engineers' handbook*. New York: Mc Graw Hill.

Rozaimah, S. A. S., Rakmi A. R., Marzuki M., Abu Bakar M. & A. Amir H. K. 2000. Dwi-peranan ferus sulfat dalam proses perawatan fizikokimia air sisa berlogam. Pascasidang Kolokium Jabatan Kejuruteraan Kimia & Proses, Fakulti Kejuruteraan, Universiti Kebangsaan Malaysia, hlm. 15-22.

Wei, I. W. & Basu, S. 1990. Role of solid-liquid separation in the removal of zinc by chemical precipitation. *Proceedings of the 44th Industrial Waste Conference Purdue University*, hlm. 631-635.

Jabatan Kejuruteraan Kimia dan Proses
Fakulti Kejuruteraan,
Universiti Kebangsaan Malaysia,
43600 UKM Bangi, Selangor D.E
Malaysia