

PEMISAHAN LOGAM TRANSISI SECARA KROMATOGRAFI ION

Budi Setiawan, Dwi Purnomo, Djokowidodo
Pusat Penelitian Nuklir Yogyakarta

ABSTRAK

PEMISAHAN LOGAM TRANSISI SECARA KROMATOGRAFI ION. Telah dilakukan pemisahan logam transisi secara Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (KCKT), menggunakan pelarut campuran asam tartrat dan natrium oktanasulfonat, serta kolom Resolve Pak C18 5 μ . Hasil pemisahan dikomplekkan dengan piridilazoresolsinol, dan dideteksi dengan detektor UV-Vis Absorbansi. Penentuan panjang gelombang optimum untuk pemilihan filter dilakukan dengan spektrofotometer UV-VIS, diperoleh hasil optimum untuk filter dengan panjang gelombang 546 nm. Kondisi optimum pemisahan secara isokratis diperoleh untuk eluen yang terdiri atas campuran 30 mm asam tartrat - 5 mm natrium oktanasulfonat. Data yang diperoleh, waktu retensi berkisar antara 4,7 - 75,6 menit, mulai dari Fe-Cu-Pb-Zn-Ni-Co-Cd dan berakhir pada Mn. Resolusi antara dua unsur yang berdampingan berkisar antara 1,47 - 4,09. resolusi terendah antara Cu-Pb yaitu 1,418, dan terbesar antara Pb-Zn dengan resolusi 4,094.

ABSTRACT

SEPARATION OF TRANSITION ELEMENTS USING ION CHROMATOGRAPHIC METHOD. Separation of transition elements have been done by High Performance Liquid Chromatography (HPLC). The mixture of 5 mm SOS and 30 mm tartaric acid was used as the eluent in the Resolve Pak C 18 5 μ column. The separation products were complexed by PAR and detected by UV-Vis absorbance detector at 546 nm. The retention time and resolution between elements were investigated in many solvent condition, so to analyzed eight transition elements of Fe, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Cd and Mn in isocratic mode the eluent to used was of 30 mm tartaric acid - 5 mm SOS. Data showed that the retention times were in range of 4,7 - 75, 6 minutes, from -Fe-Cu-Pb-Zn-Ni-Co-Cd and Mn. The resolution between elements in the range of 1,47 - 4.09. The smallest resolution was 1.418 between Cu - Pb, and the largest was 4.094 between Pb-Zn

PENDAHULUAN

Logam transisi, antara lain Fe, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Cd dan Mn banyak terdapat di alam, dan banyak digunakan dalam industri. Tetapi di samping kegunaannya, maka logam-logam transisi khususnya, Pb, Cd, Mn, Cu penyebarannya harus dipantau, karena sifat toksisnya yang tinggi bagi manusia.

Logam transisi dapat dianalisis secara instrumen kimia, misalnya secara spektrofotometri, voltametri dan polarografi. Biasanya penentuan logam transisi dilakukan secara satu persatu, atau kalau dilakukan secara serentak misalnya pada voltametri dan polarografi jumlah dan jenis unsur yang bisa dianalisis secara serentak sangat terbatas^(1,2,3,4). Dengan demikian untuk campuran yang cukup banyak kemungkinan menimbulkan kesulitan dan terjadi kesalahan yang relatif besar.. Misalnya pada penentuan secara spektrofotometri, unsur-unsur dipisahkan, satu persatu kemudian dibentuk kompleks berwarna, baru diukur absorbansinya pada panjang gelombang yang sesuai dengan spektrofotometer⁽¹²³⁾.

Pada kegiatan ini dipelajari dan dikembangkan metoda analisis logam transisi secara kromatografi ion, yaitu dengan menggunakan perangkat KCKT, agar bisa diperoleh data kualitatif dan kuantitatif, secara cepat dan serempak. Metode analisis secara KCKT ada tiga hal yang saling terkait, yaitu antara kolom - eluen - detektor. Apabila sudah dipilih salah satu faktor, maka faktor berikutnya harus mengikuti. Pada kegiatan ini digunakan KCKT buatan Waters, detektor absorbansi, dan kolom Resolve C 18.

Proses kromatografi unsur-unsur logam transisi akan dipisahkan satu persatu, sehingga tidak akan saling mengganggu dalam pendeteksiannya. Dalam pekerjaan ini unsur-unsur dideteksi secara spektrofotometri. Dengan menggunakan detektor absorbansi UV-Vis model 440. Detektor absorbansi UV-VIS model 440 adalah detektor absorbansi yang menggunakan filter dengan panjang gelombang tertentu, sehingga untuk mengetahui panjang gelombang

filter yang akan digunakan harus diketahui lebih dulu spektrum serapan unsur yang akan ditentukan. Penentuan spektrum untuk pemilihan panjang gelombang maksimum dilakukan dengan spektrofotometer.

Untuk meningkatkan kepekaan detektor, unsur-unsur transisi direaksikan dengan pereaksi pengomplek agar menjadi senyawa berwarna, yang mengabsorpsi pita cahaya pada panjang gelombang tertentu dan dengan kepekaan yang jauh lebih tinggi. Reaksi pengomplekan dilakukan dalam Reaktor Pasca Kolom, RPK, (*Reagent Delivery Modul, RDM*).

Panjang gelombang maksimum untuk setiap kompleks unsur transisi ditentukan secara spektrofotometri dengan spektrofotometer UV-Vis. Dari perolehan panjang gelombang maksimum tersebut dapat dipilih filter yang sesuai untuk pengukuran senyawa kompleks logam transisi dengan detektor absorpsi UV-Vis. Karena dalam peristiwa kromatografi tersebut cuplikan dipisahkan menjadi komponen unsur-unsur yang terkandung di dalamnya, maka unsur-unsur logam tersebut akan dikomplekkan di dalam RPK secara berurutan dan dideteksi oleh detektor yang kemudian direkam oleh rekorder menjadi puncak-puncak kromatogram.

Masing-masing puncak kromatogram akan mempunyai jarak tertentu dari titik awal saat cuplikan disuntikkan ke dalam kolom, jarak dari titik awal penyuntikan sampai ke puncak kromatogram disebut waktu hambat atau waktu retensi, t_R . Waktu retensi sangat dipengaruhi oleh jenis kolom dan komposisi eluen yang digunakan. Dengan demikian untuk kondisi komposisi eluen tertentu, suatu unsur akan mempunyai t_R yang tertentu, suatu unsur akan mempunyai t_R yang tertentu atau khas untuk unsur tersebut, dan t_R ini merupakan data kualitatif untuk setiap unsur.

Selain waktu retensi, karena di dalam peristiwa kromatografi ini terdapat banyak unsur yang akan ditentukan secara kuantitatif, maka juga harus diperhatikan daya pisah antara dua unsur yang berdampingan, resolusi, R.

Secara bertahap dicoba berbagai komposisi eluen, untuk memperoleh kondisi optimum resolusi masing-masing unsur ≥ 1 , agar bisa digunakan untuk analisis kuantitatif pada puncak-puncak kromatogram^(4,5,6,7).

TATA KERJA

Alat

Perangkat alat KCKT, terdiri atas :

- Pompa
- *Injector Port* (pemasukan cuplikan)
- *Radial Compression Module* dan kolom *Resolve Pak C18 5 μ*
- Reaktor Pasca Kolom, RPK (*Reagent Delivery Module*)
- Detektor Absorbansi (*UV-Vis Absorbance Detector*), model 440
- Recorder Servogor 120.

Perangkat distilasi air

Perangkat Penyaring Pelarut (*Solvent Clarification Kit*)

Perangkat Penyaring Cuplikan (*Sample Clarification Kit*)

- Pompa vakum
- Spektrofotometer Beckman 25
- pH meter
- Pengaduk magnit
- Neraca analitis
- Bejana ultrasonic, Branson
- Alat-alat gelas laboratorium

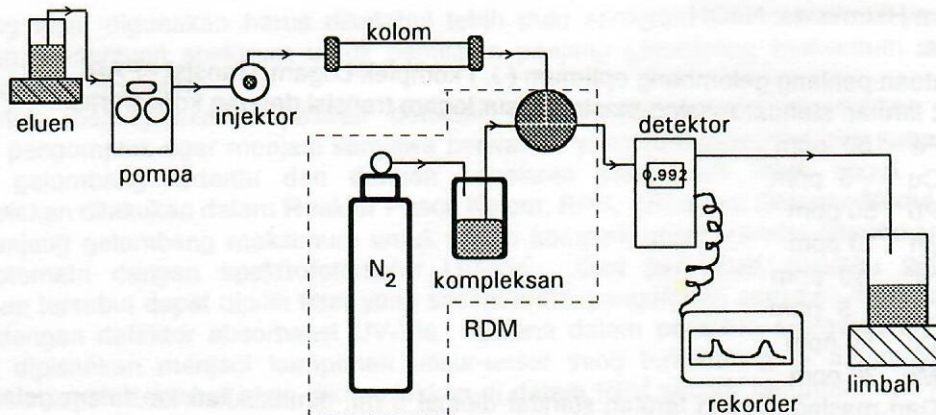
Bahan :

- Air (aquatrides)
- Larutan standar logam transisi : Fe, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Cd, Mn
- Asam tartrat: (C₄H₄O₆)
- Sodium Oktanasulfonat (SOS) : CH₃ (CH₂)₇SO₃Na
- Monosodium (2-Pyridylazo)-resorcinol: PAR / C₁₁H₈N₃NaO₂.H₂O
- Asam asetat glasial CH₃COOH
- Larutan amoniak : NH₄OH
- Metanol: CH₃OH

- Natrium Hidroksida: NaOH

Cara Kerja:

1. Penentuan panjang gelombang optimum (λ) kompleks Logam Transisi - PAR
2. Dibuat larutan standar masing-masing unsur logam transisi dengan konsentrasi
 - Fe 100 ppm
 - Cu 5 ppm
 - Pb 50 ppm
 - Zn 10 ppm
 - Ni 10 ppm
 - Co 5 ppm
 - Cd 50 ppm
 - Mn 20 ppm
 - Dari masing-masing larutan standar dipipet 5 ml, dimasukkan ke dalam gelas piala, dan ditambahkan 5 ml asam tartrat.
 - Dengan larutan NaOH 0,1 M, diatur hingga pH 3,4.
 - Kemudian ke dalam masing-masing larutan ditambahkan PAR 0,2 M 2ml
 - Komplek unsur transisi-PAR diukur absorbansinya pada rentangan panjang gelombang mulai dari 450 - 650 nm dengan Spektrofotometer, spektrum yang diperoleh digunakan untuk memilih filter detektor absorbansi UV-VIS model 440.
3. Preparasi eluen.
 - Ditimbang asam tartrat 3,7522 gram, dimasukkan ke dalam labu takar 500 ml dan ditambahkan 50 ml larutan induk SOS 20 mm, kemudian ditambah air hingga tepat sampai tanda batas, sehingga diperoleh larutan campuran dengan konsentrasi 50 mm asam tartrat dan 2 mm SOS.
 - Larutan campuran diatur pH nya dengan menambahkan NaOH 2 N dan 0,1 N hingga pH 3,4
 - Eluen disaring dengan perangkat penyaring pelarut (*solvent clarification kit*) menggunakan filter jenis HA 0,45 μ m.
 - Selanjutnya eluen di *degassing* untuk menghilangkan udara terlarut, menggunakan vibrasi ultrasonik selama 15 menit.
4. Dengan cara yang sama dibuat larutan yang mengandung :
 - 50 mm Asam Tartrat dan 2 mm SOS
 - 50 mm Asam Tartrat dan 3 mm SOS
 - 50 mm Asam Tartrat dan 4 mm SOS
 - 50 mm Asam Tartrat dan 5 mm SOS
 - 40 mm Asam Tartrat dan 5 mm SOS
 - 30 mm Asam Tartrat dan 5 mm SOS
5. Preparasi kompleksan PAR 0,2 mm, NH₄OH 3 M, Asam Asetat 1 M
 - Dibuat larutan induk PAR 10 mm dengan menimbang 0,2552 gram dan dilarutkan dengan 100ml aquatrides.
 - Dipipet 10 ml larutan PAR dari larutan induk dimasukkan ke dalam labu ukur 500 ml, ditambah 112,30 ml NH₃ pekat dan 29,50 asam asetat pekat, kemudian ditepatkan dengan aquatrides hingga 500 ml, sehingga diperoleh campuran PAR 0,2 mm, NH₄OH 3 M dan asam asetat 1 M.
 - Kemudian disaring dengan perangkat penyaring **WATERS**, filter 0,45 μ m.
 - Setelah itu larutan di *degassing* untuk menghilangkan udara terlarut menggunakan vibrasi ultrasonik selama 15 menit.
6. Preparasi Standar logam transisi Fe, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Cd dan Mn.
 - Dibuat larutan standar unsur logam transisi tunggal, sebagaimana untuk penentuan panjang gelombang.
 - Kemudian dibuat juga larutan standar campuran logam transisi sebanyak 20 ml, dengan masing-masing konsentrasi sama dengan standar tunggal.
 - Masing-masing larutan standar disaring menggunakan perangkat penyaring cuplikan (*sample clarification kit*) dari **WATERS**.
7. Penyiapan perangkat KCKT
 - Perangkat KCKT disiapkan dengan rangkaian seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Perangkat KCKT dan Reagent Delivery Module (RDM)

- Disiapkan eluen (fasa gerak), air dan metanol yang telah disaring dan di *degassing*.
- Kolom Resolve Pak C18 5 μ dipasang pada RCM (*Radial Compression Module*), pada tekanan 170 atm (daerah kuning)
- Eluen, air dan metanol dihubungkan dengan pompa, sesuai dengan nomor urut pada *solvent select* dan diberi nomor kode.
- Stavolt dihidupkan, tunggu 5 menit, kemudian tombol listrik pada KCKT, di ON kan
- *Solvent Select* diputar ke arah metanol, kemudian dihidupkan (ON, kecepatan aliran dinaikkan secara bertahap setiap 0,1 ml/menit sampai diperoleh kecepatan alir 1 ml/menit.
- Jarum penunjuk pada skala tekanan diamati, apabila menunjukkan gejala gerakan ke kanan dan ke kiri (tidak stabil), dilakukan *preming pump*, yaitu cara untuk menghilangkan udara di dalam pompa.
- Kecepatan aliran dinaikkan kembali sampai 1 ml/menit, selama 30 menit, untuk mengaktifkan kolom.
- Kemudian aliran ke kolom diganti aquatrides, selama 60 menit, lalu diganti dengan eluen (fasa gerak) yang dimaksudkan (asam tartrat - SOS), pada kecepatan 1 ml/menit.
- Kompleksan PAR, dipasang pada RDM, kemudian dialiri gas nitrogen pada tekanan 80 psi, sehingga PAR mengalir.
- Detektor UV-Vis Absorbansi yang telah dilengkapi filter 546 nm dihidupkan (ON), dan diperhatikan kestabilannya pada panel digital.
- Rekorder dihidupkan (ON), kecepatan kertas diatur 1 ml/menit.

1. Operasi KCKT

- Setelah kondisi KCKT, stabil, maka disiapkan standar logam transisi yang akan dianalisis.
- Masing-masing unsur secara berturutan Fe, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Cd dan Mn diinjeksikan sebanyak 100 μ l (5 kali volume loop pada rheodyne), bersamaan dijalankannya recorder.
- Dicatat waktu sejak diinjeksikan dengan keluaran puncak pada rekorder, masing-masing unsur logam transisi.
- Kemudian diinjeksikan campuran standar logam transisi, dan diperhatikan bentuk puncak pada recorder.
- Mematikan sistem KCKT.
- Setelah injeksi yang terakhir selesai dan ditunggu sampai semua unsur telah keluar dari kolom, detektor dimatikan, aliran dipindah pada aquatridest sampai 45 menit.
- Aliran gas nitrogen pada RDM di-nol-kan, dan kran regulator ditutup.
- Setelah aquatrides 45 menit, aliran dipindah ke metanol, selama 30 menit.
- Kecepatan pompa di-nol-kan, secara bertahap.
- Pompa dimatikan, kemudian semua aliran listrik dimatikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

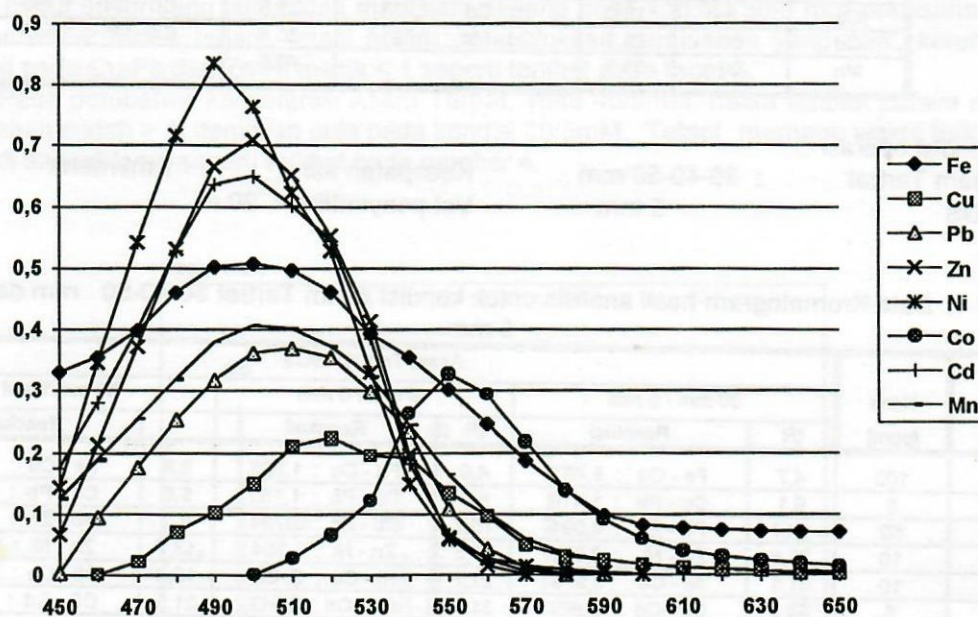
Hasil Analisis

- Penentuan Panjang Gelombang (λ) Optimum
- Data absorbansi dan rentangan panjang gelombang kompleks unsur-unsur logam transisi - PAR dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1. Data absorbansi dan rentangan panjang gelombang kompleks unsur-unsur logam transisi-PAR

λ	Absorbansi							
	Fe	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Cd	Mn
450	0,330		0,004	0,066	0,144		0,174	0,126
460	0,354	0	0,094	0,214	0,346		0,281	0,188
470	0,398	0,021	0,177	0,373	0,541		0,401	0,256
480	0,460	0,070	0,253	0,531	0,716		0,527	0,319
490	0,502	0,103	0,318	0,665	0,836		0,636	0,380
500	0,506	0,151	0,361	0,710	0,763	0	0,650	0,408
510	0,496	0,210	0,368	0,651	0,622	0,026	0,601	0,402
520	0,462	0,223	0,355	0,553	0,527	0,067	0,544	0,373
530	0,393	0,194	0,299	0,415	0,330	0,120	0,386	0,324
540	0,354	0,180	0,235	0,196	0,149	0,262	0,181	0,245
550	0,303	0,134	0,108	0,061	0,058	0,326	0,066	0,164
560	0,246	0,086	0,042	0,014	0,026	0,293	0,023	0,101
570	0,187	0,048	0,011	0	0,014	0,219	0,005	0,058
580	0,138	0,031	0	0	0,007	0,140	0,001	0,034
590	0,097	0,022	0		0,004	0,089	0	0,023
600	0,080	0,015			0	0,058		0,016
610	0,077	0,011				0,039		0,011
620	0,074	0,008				0,029		0,008
630	0,072	0,005				0,023		0,006
640	0,070	0,003				0,018		0,005
650	0,070	0,002				0,014		0,004

Dari data tabel 1, dibuat kurva seperti terlihat pada Gambar 2



Gambar 2. Rentangan spektrum serapan kompleks logam transisi-PAR

- Hasil analisis KCKT
- Kondisi operasi :
 Asam Tartrat : 50 mm Kecepatan alir : 1 ml/menit
 SOS : 2 - 3 mm Vol penyuntikan: 20 µl

Tabel 2. Data Kromatogram hasil analisis untuk kondisi Asam Tartrat 50 mm dan SOS 2-3 mm

Unsur	Kons [ppm]	Asam Tartrat / SOS			
		50 mm / 2 mm		50 mm / 3 mm	
		tR	Resolusi	tR	Resolusi
Fe	100			3,8	Fe - Cu : 0,917
Cu	5	4,50	Cu - Pb : 0,512	4,9	Cu - Pb : 0,622
Pb	50	5,60	Pb - Zn : 1,088	6,3	Pb - Zn : 1,137
Zn	10	8,70	Zn - Ni : 0,258	9,2	Zn - Ni : 0,717
Ni	10	9,50	Ni - Co : 1,000	11,1	Ni - Co : 1,438
Co	5	12,80	Co - Cd : 0,986	15,7	Co - Cd : 1,351
Cd	50	16,30	Cd - Mn : 1,304	20,7	Cd - Mn : 1,521
Mn	20	22,30		28,0	

- Kondisi operasi :
 Asam Tartrat : 50 mm Kecepatan alir : 1 ml/menit
 SOS : 4 - 5 mm Vol penyuntikan: 20 µl

Tabel 3. Data Kromatogram hasil analisis untuk kondisi Asam Tartrat 50 mm dan SOS 4-5 mm

Unsur	Kons [ppm]	Asam Tartrat / SOS			
		50 mm / 4 mm		50 mm / 5 mm	
		tR	Resolusi	tR	Resolusi
Fe	100	3,8	Fe - Cu : 1,304	3,8	Fe - Cu : 1,172
Cu	5	5,3	Cu - Pb : 0,622	5,5	Cu - Pb : 0,844
Pb	50	7,6	Pb - Zn : 1,137	8,2	Pb - Zn : 1,774
Zn	10	12,1	Zn - Ni : 0,717	13,7	Zn - Ni : 0,861
Ni	10	13,5	Ni - Co : 1,438	15,25	Ni - Co : 2,273
Co	5	19,0	Co - Cd : 1,351	21,5	Co - Cd : 1,780
Cd	50	25,3	Cd - Mn : 1,521	30,4	Cd - Mn : 1,519
Mn	20	35,0		40,5	

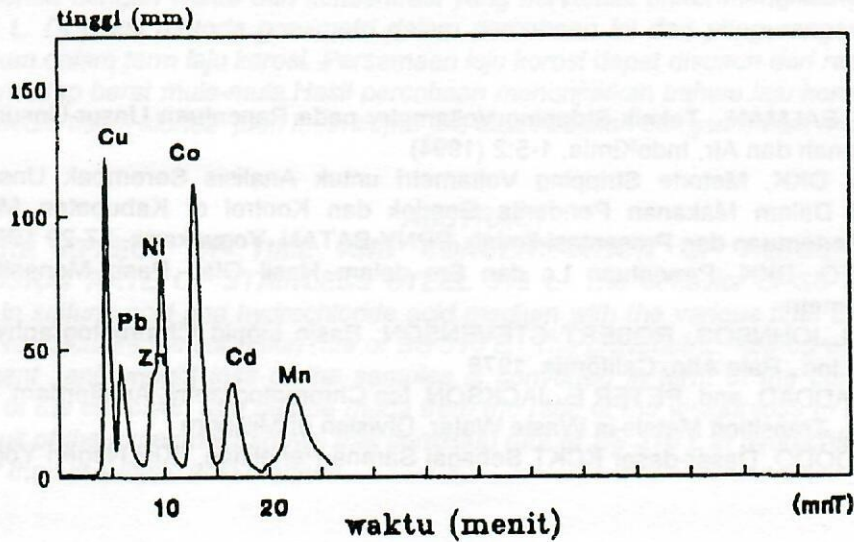
- Kondisi operasi :
 Asam Tartrat : 30-40-50 mm Kecepatan alir : 1 ml/menit
 SOS : 5 mm Vol penyuntikan: 20 µl

Tabel 4. Data Kromatogram hasil analisis untuk kondisi Asam Tartrat 30-40-50 mm dan SOS 5 mm

Unsur	Kons [ppm]	Asam Tartrat / SOS					
		30 mm / 5 mm		40 mm / 5 mm		50 mm/5mM	
		tR	Resolusi	tR	Resolusi		Resolusi
Fe	100	4,7	Fe - Cu : 1,467	4,0	Fe - Cu : 1,526	3,8	Fe - Cu : 1,172
Cu	5	9,1	Cu - Pb : 1,418	6,9	Cu - Pb : 1,152	5,5	Cu - Pb : 0,844
Pb	50	14,7	Pb - Zn : 4,094	10,7	Pb - Zn : 2,794	8,2	Pb - Zn : 1,774
Zn	10	27,8	Zn - Ni : 2,031	19,5	Zn - Ni : 1,354	13,7	Zn - Ni : 0,861
Ni	10	31,1	Ni - Co : 3,970	21,7	Ni - Co : 3,495	15,3	Ni - Co : 2,273
Co	5	44,3	Co - Cd : 2,684	31,4	Co - Cd : 2,643	21,5	Co - Cd : 1,780
Cd	50	60,0	Cd - Mn : 2,245	42,5	Cd - Mn : 2,467	30,4	Cd - Mn : 1,519
Mn	20	75,6		55,7		40,5	

PEMBAHASAN

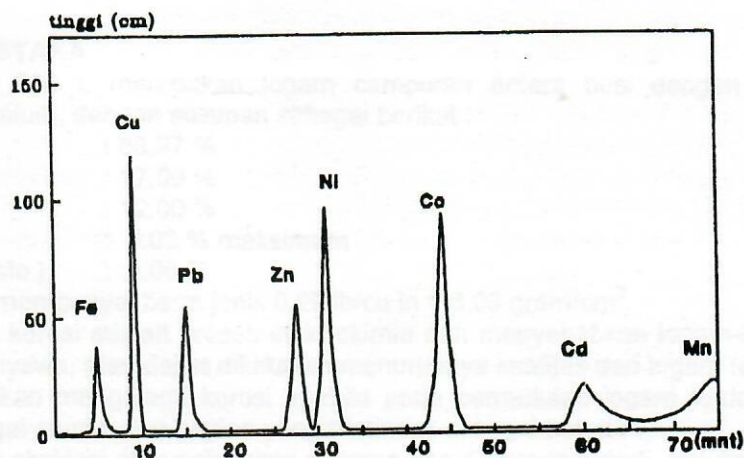
Dari data rentangan spektrum panjang gelombang kompleks logam transisi-PAR, bisa dilihat bahwa masing-masing kompleks unsur logam transisi-PAR, mempunyai panjang gelombang optimum yang berbeda, tetapi saling tumpang tindih, yang untuk analisis masing-masing unsur secara Spketrofotometri, kurang akurat. Tetapi justru dengan KCKT, ketumpangtindihan spektrum panjang gelombang seluruh kompleks tersebut dapat dimanfaatkan, karena kompleks campuran unsur-unsur sebelumnya sudah dipisahkan di dalam kolom, yang dengan demikian detektor akan mendeteksi setiap kompleks secara terpisah. dengan menggunakan filter 546 nm.



Gambar 3. Kromatogram Logam transisi pada kondisi AsamTartrat 50 mm - SOS 2 mm

Kromatogram yang dihasilkan menunjukkan bahwa pada kondisi pelarut Asam Tartrat/SOS 50/2 mm, dari tujuh unsur logam transisi, yaitu Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Cd, dan Mn terlihat bahwa Cu-Pb dan Zn-Ni belum terpisah dengan baik, seperti dilihat pada gambar 3, demikian pula pada kondisi pelarut 50/3 mm. Kemudian pada kondisi pelarut 50/4 mm, kecuali Zn-Ni, maka unsur yang lain sudah memisah, sedang pada kondisi 50/5 mm pemisahan pada delapan unsur sudah terjadi, tetapi belum menunjukkan pemisahan yang baik, karena nilai resolusi pada Cu-Pb dan Zn-Ni masih < 1 seperti terlihat pada tabel 3.

Pada perubahan konsentrasi Asam Tartrat, yaitu 40/5mM, maka terlihat bahwa resolusi pemisahan sudah > 1 , demikian pula pada kondisi 30/5mM. Tetapi memang waktu tunggu (t_R) menjadi sangat lama seperti terlihat pada gambar 4.



Gambar 4. Kromatogram Pemisahan Logam transisi kondisi Asam Tartrat 30 mm - SOS 5 mm

KESIMPULAN

1. Pemilihan filter dilakukan dengan spektrofotometer UV-VIS, diperoleh filter dengan panjang gelombang 546 nm.
2. Delapan unsur logam transisi (Fe, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Cd, Mn) dapat dianalisis secara serempak menggunakan KCKT, dengan kolom Resolve C 18, eluen campuran 30mM asam tartrat - 5 mm SOS, detektor absorbansi UV-VIS Model 440 secara isokratis.
3. Diperoleh data, waktu retensi berkisar antara 4,7 - 75,6 menit, mulai dari Fe-Cu-Pb-Zn-Ni-Co-Cd dan berakhir pada Mn. Resolusi antara dua unsur yang berdampingan berkisar antara 1,42 - 4,09. resolusi terendah antara Cu-Pb yaitu 1,418, dan terbesar antara Pb-Zn dengan resolusi 4,094.

PUSTAKA

1. ISWANI G. SALMAN, Teknik Stripping Voltametry pada Penentuan Unsur-Unsur Kelumit di dalam Tanah dan Air, IndoKimia, 1-5:2 (1994)
2. ISWANI S, DKK, Metode Stripping Voltametri untuk Analisis Serempak Unsur-Unsur Kelumit DI Dalam Makanan Penderita Gondok dan Kontrol di Kabupaten Magelang. Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah, PPNY-BATAN, Yogyakarta, 27-29 1993.
3. ISYUNIARTO, DKK, Penentuan La dan Sm dalam Hasil Olah Pasir Monasit Secara Spektrofotometri
4. EDWARD L.JOHNOS, ROBERT STEVENSON, Basic Liquid Chromatography, Varian Associates, Inc., Palo Alto, California, 1978
5. PAUL R. HADDAD, and PETER E. JACKSON, Ion Chromatography, Amsterdam, 1990
6. JIM KROLL, Transition Metals in Waste Water, Division of Millipore
7. DJOKOWIDODO, Dasar-dasar KCKT Sebagai Sarana Penelitian, IKIP Negeri Yogyakarta, 1994