

PENENTUAN KANDUNGAN Sn, Fe, Cr, Ni DAN PENGOTOR ZIRCALOY-2 SEBAGAI BAHAN KELONGSONG DAN TUTUP UJUNG ELEMEN BAKAR REAKTOR DAYA

Arif Nugroho⁽¹⁾, Dian Anggraeni⁽¹⁾, Rosika K⁽¹⁾ dan Djoko Kisworo⁽¹⁾

1. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir- BATAN
Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang

ABSTRAK

PENENTUAN KANDUNGAN Sn, Fe, Cr, Ni DAN PENGOTOR ZIRCALOY-2 SEBAGAI BAHAN KELONGSONG DAN TUTUP UJUNG ELEMEN BAKAR REAKTOR DAYA. Telah dilakukan pengukuran unsur pepadu dan pengotor dalam zircaloy-2 menggunakan alat spektrometer emisi dan X-Ray Fluorescence (XRF). Tujuan penelitian ini adalah memverifikasi spesifikasi bahan zircaloy-2 (Zry-2) yang digunakan secara kualitatif dan kuantitatif. Langkah pertama yang dilakukan adalah seluruh permukaan bahan sampel standar dan sampel zircaloy-2 dihaluskan menggunakan mesin bubut, dan dibersihkan menggunakan alkohol. Sampel yang sudah bersih dan kering diukur menggunakan alat spektrometer emisi dan XRF dengan tujuh kali pengulangan. Pengukuran bahan standar dengan berbagai variasi konsentrasi unsur digunakan untuk membuat kurva kalibrasi hubungan antara konsentrasi unsur dengan intensitas. Hasil pengukuran intensitas unsur dalam sampel zircaloy-2 kemudian diplotkan ke kurva kalibrasi sehingga konsentrasi unsur dalam sampel zircaloy-2 dapat diketahui. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dipakai sebagai metode analisis pengukuran zircaloy-2, karena alat spektrometer emisi dan XRF selektif untuk mengukur unsur-unsur logam dalam suatu bahan. Hasil pengukuran unsur pepadu dalam sampel zircaloy-2 adalah Sn 1,346%, Fe 0,2151%, Cr 0,12 % dan Ni 0,039%. Sedangkan kandungan unsur pengotor Al 42,7275 ppm, Cu 6,0335 ppm, Si 54,0706 ppm, Ti 39,9182 ppm, Co, Mn dan Mo tidak terdeteksi. Hasil analisis unsur yang diperoleh masih dalam kisaran nilai sertifikat zircaloy-2 sehingga zircaloy-2 dapat digunakan sebagai bahan kelongsong sesuai yang dipersyaratkan fabrikasi. Konsentrasi pengotor lainnya seperti B, C, Ca, Cd, Hf, H, Mg, N, Na, Nb, Pb, Ta, U, V, W dan O belum bisa ditentukan, karena keterbatasan bahan standar dan detektor yang digunakan pada alat spektrometer emisi.

Kata kunci : Zircaloy-2, metode spektrometri emisi dan X-ray fluorescence (XRF)

ABSTRACT

Determination of Sn, Fe, Cr, Ni and Zr-2 impurities as cladding material and end cup of fuel element for power reactor. A measurement of major and poison elements in zircaloy-2 using emission spectrometer and X-Ray Fluorescence (XRF) equipment has been conducted. The objective of this investigation is for verifying specification of zircaloy-2 material by qualitative and quantitative method. Firstly, the surface of standards and a Zr-2 sample were smoothed by lathe equipment, and cleaned by using alcohol. The clean and dry samples were measured by emission spectrometer and XRF equipment seven times. The measurement of standard elements with different concentrations was carried out to prepare calibration curves of element concentrations

versus intensity. Hence, the element intensities of zircaloy-2 sample were plotted to calibration curve so that the concentration can be found. The result of measurement is expected to be used as zircaloy-2 measurement analysis method, since emission spectrometer and XRF equipment are selective for measuring metal element in the materials. The results obtained were Sn 1.346%, Fe 0.2151%, Cr 0.12 % and Ni 0.039%, whilst the impurities were Al 42.7275 ppm, Cu 6.0335 ppm, Si 54.0706 ppm, Ti 39.9182 ppm, and Co, Mn and Mo were not detected. The result analysis showed that the specification of Zr-2 sample is still in the limit so that it can be used as a cladding material. The other impurities such as B, C, Ca, Cd, Hf, H, Mg, N, Na, Nb, Pb, Ta, U, V, W and O could not be measured because the standard materials and the detectors are not available in place.

Key words: Zircaloy-2, emission spectrometry method and X-ray fluorescence (XRF).

PENDAHULUAN

Pemakaian paduan logam zirconium khususnya zircaloy sebagai bahan kelongsong dan tutup ujung pada elemen bakar reaktor daya didasarkan pada kemampuan yang tinggi bahan tersebut dalam hal ketahanan terhadap korosi dalam air pada temperatur tinggi, bertitik lebur tinggi dan tidak mudah ditembus oleh gas hasil fisi. Dibandingkan dengan zircaloy-1 (zry-1), paduan zircaloy-2 (zry-2) mempunyai ketahanan korosi yang lebih baik pada temperatur tinggi [1]. Selain dari sifat-sifat di atas, spesifikasi bahan zircaloy-2 yang digunakan sebagai bahan elemen bakar reaktor juga harus memenuhi standar *chemical grade* dan *nuclear grade* yang dipersyaratkan pada bidang fabrikasi dan reaktor. *Chemical grade* didasarkan pada sifat kimia dari unsur pepadu dan pengotor yang terkandung dalam bahan zircaloy-2, secara kualitatif dan kuantitatif harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Standar *nuclear grade* didasarkan pada sifat baik bahan pepadu ataupun pengotor dalam bahan zircaloy-2 terhadap daya serap neutron termal. Unsur-unsur yang mempunyai nilai tampang serapan neutron yang tinggi harus dibatasi jumlahnya, karena akan menyerap neutron pada saat bahan bakar nuklir tersebut dipakai di dalam teras reaktor. Untuk menjamin kualitas bahan zircaloy-2 yang digunakan telah sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan fabrikasi maupun reaktor, maka perlu dilakukan pengujian kendali kualitas. Salah satu

pengujian kendali kualitas yang dilakukan adalah pengukuran kandungan unsur pepadu dan pengotor yang terkandung dalam zircaloy-2. Langkah ini dilakukan untuk memverifikasi kandungan unsur dalam zircaloy-2 sesuai dengan sertifikat. Ada beberapa metode pengukuran yang digunakan untuk menentukan kandungan unsur dalam bahan zircaloy-2 diantaranya adalah metode spektrometri *Inductively Coupled Plasma Spectrometer* (ICPS), *Atomic Absorption Spectrometer* (AAS), emisi dan XRF. Pada penelitian ini untuk menentukan kandungan unsur dalam bahan zircaloy-2 digunakan metode spektrometri emisi dan XRF. Kelebihan dari kedua metode ini adalah selektif terhadap unsur yang akan dianalisis, preparasi sampel yang relatif sederhana dan waktu analisis yang relatif singkat, sedangkan kekurangannya adalah perlunya memakai detektor analisis yang sesuai dengan unsur yang akan diukur serta penyediaan bahan standar yang bervariasi konsentrasi dan kandungannya (mahal). Hasil penelitian ini diharapkan dapat dipakai sebagai metode analisis untuk penentuan kandungan Sn, Fe, Cr, Ni dan pengotor lainnya dalam bahan zircaloy-2.

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran kandungan unsur pepadu dan pengotor dalam bahan standar *Certified Reference Material* (CRM) zirconium-zircaloy dari JAERI. Bahan standar digunakan untuk membuat kurva kalibrasi antara konsentrasi dan intensitas. Kurva kalibrasi untuk setiap unsur

spesifik bentuknya. Kurva kalibrasi berfungsi untuk mengestimasi intensitas unsur dalam sampel sehingga bisa diketahui konsentrasi unsur dalam sampel tersebut. Hasil pengukuran unsur yang terkandung dalam sampel kemudian dibandingkan dengan nilai konsentrasi yang ada dalam sertifikat bahan zircaloy- 2.

TEORI

Metode spektrometri emisi dan XRF merupakan metode analisis permukaan yang dapat mewakili kandungan unsur dalam bahan dengan persyaratan utama adalah bahan yang dianalisis harus homogen [2]. Pada metode spektrometri emisi, permukaan sampel diatomisasi dengan menggunakan sumber energi berupa lucutan listrik yang menyebabkan elektron terluar dalam atom mengalami peristiwa eksitasi. Atom yang tereksitasi akan mengalami proses deeksitasi dengan memancarkan energi berupa sinar ultraviolet atau sinar tampak. Setiap kulit atau sub kulit dalam suatu atom mempunyai tingkat energi tertentu, maka energi sinar yang dilepaskan dalam proses di atas juga karakteristik untuk suatu atom. Intensitas sinar yang diemisikan sesuai dengan kandungan suatu unsur dalam bahan yang teratomisasi dan tereksitasi [3].

Pada metode XRF, atom-atom pada permukaan sampel akan ditumbuk oleh sinar-x yang berasal dari sumber sinar-x. Interaksi ini menyebabkan elektron dalam orbital kulit K akan terlempar dan terjadi kekosongan elektron pada kulit tersebut. Kekosongan elektron ini akan diisi oleh elektron dari orbital di atasnya dan perpindahan elektron ini diikuti dengan pelepasan sinar-x karakteristik sesuai dengan atom yang mengalami proses tersebut. Analisis kandungan unsur dalam bahan ditentukan atas dasar sinar-x karakteristik yang dideteksi [4].

Pada metode spektrometri emisi bentuk sampel yang telah diukur akan mengalami kerusakan/cacat yang diakibatkan oleh spark/lucutan listrik, sedangkan pada metode

XRF bentuk sampel tetap. Hal inilah yang membedakan fungsi dari kedua alat tersebut digunakan, dimana spektrometer emisi selektif untuk pengukuran sampel dalam orde ppm sedangkan XRF dalam orde persen (%).

TATA KERJA

Dalam penelitian ini digunakan bahan standar *Certified Reference Material* (CRM) zirkonium-zircaloy dari JAERI, bahan sampel zircaloy-2 dan bahan-bahan pendukung seperti N₂ cair, gas Argon dan alkohol.

Pada penelitian ini tahapan kerja yang dilakukan dibagi menjadi tiga yaitu:

Tahap pertama adalah preparasi sampel; berdasarkan pustaka *American Standard Testing Material* ASTM [5] dan manual alat spektrometer emisi & XRF dipersyaratkan bahwa permukaan bahan yang akan dianalisis harus rata, halus dan bersih. Untuk itu sebelum dilakukan analisis, salah satu permukaan dari bahan tersebut dibubut sampai rata dan halus dengan menggunakan mesin bubut. Kemudian dibersihkan dengan alkohol dan didiamkan di udara sampai kering. Setelah kering sampel tersebut di tempatkan pada *sample holder* alat spektrometer XRF selanjutnya divakum sampai tekanan mencapai 300 miliTorr, untuk spektrometer emisi sampel diletakkan dalam *sample holder* dengan jarak sekitar ± 4 mm. Tahap kedua adalah pengaturan kondisi pengukuran, dengan uraian sebagai berikut:

- Alat spektrometer emisi, dapat digunakan bila nilai kevakuman telah mencapai sekitar 150 Hz yang setara dengan 40 bar dan suhu spektrometer sekitar 27°C. Aliran gas argon diatur sampai mencapai 10 L/jam untuk *flashing* dan 5 L/menit untuk proses analisis. Kondisi lucutan (*pre-burn*) pada 1600 dengan tegangan 20 kV dan kapasitor berkisar 20-30 μ Farad [3].
- Alat spektrometer XRF siap digunakan untuk pengukuran bila kevakuman dalam *chamber* sudah mencapai 300

mili Torr (setara dengan 0,4 mili Bar). Untuk kalibrasi energi berupa paduan AlCu digunakan tegangan 14 kV dan kuat arus 100 μ Ampere, sedangkan pengukuran standar dilakukan pada tegangan 16 kV dan kuat arus 100 μ Ampere^[4].

Tahap ketiga adalah pengukuran bahan standar CRM zirkonium-zircaloy JAERI dan sampel zircaloy-2. Alat spektrometer emisi digunakan untuk mengukur unsur Sn, Cr, Ni, Al, Cu, Si, Ti, Co, Mn dan Mo, sedangkan untuk mengukur unsur Fe digunakan alat XRF. Hal ini disebabkan spektrometer emisi tidak mempunyai detektor yang cocok untuk pengukuran unsur Fe. Pengukuran bahan standar CRM zirkonium-zircaloy JAERI dilakukan sebanyak tujuh kali pengulangan yang hasil pengukuran intensitasnya digunakan untuk membuat kurva kalibrasi antara konsentrasi dan intensitas untuk masing-masing unsur. Selanjutnya dilakukan pengukuran bahan sampel zircaloy-2 sebanyak tujuh kali pengulangan, kemudian dievaluasi sehingga diperoleh hasil analisis kandungan unsur Fe, Sn, Cr, Ni, dan pengotor Al, Cu, Si, Ti, Co, Mn, Mo dalam zircaloy-2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penentuan kandungan unsur pemadu dan impuritas bahan zircaloy-2 dapat dilihat dalam Tabel 1,. Penentuan unsur pemadu dalam zircaloy-2 pernah dilakukan oleh peneliti lain (Dian A. dkk.^[2]), bedanya pada kesempatan ini peneliti juga melakukan pengukuran terhadap unsur pengotor lainnya. Hal ini bertujuan sebagai data banding kestabilan alat dengan selang waktu 1 tahun. Unsur pemadu Fe diukur menggunakan alat spektrometer XRF, sedangkan unsur pemadu lainnya seperti Sn, Cr, Ni dan unsur pengotor seperti Al, Co, Cu, Mn, Mo, Si, Ti diukur menggunakan alat spektrometer emisi. Syarat bahan yang akan diukur atau dianalisis harus berbentuk pejal dan homogen. Hal ini diharapkan pada saat pengukuran dengan posisi dimana pun sudah mewakili sifat bahan secara keseluruhan. Pada saat preparasi sampel dilakukan penghalusan dan pembersihan permukaan sampel dengan alkohol bertujuan untuk memperkecil pengaruh oksida luar pada saat pengukuran, sehingga akan memperkecil kesalahan pengukuran.

Tabel 1. Data hasil Pengukuran unsur pemadu dan impuritas bahan zircaloy- 2

Unsur	Konsentrasi sertifikat	Konsentrasi pengukuran	R ² (%)	RSD (%)	Keterangan
Pemadu	% berat	% berat			
Fe	0,07 – 0,2	0,215	99,72	2,777	-
Sn	0,20 – 1,70	1,2566	99,90	1,169	-
Cr	0,05 – 0,15	0,1035	98,57	0,839	-
Ni	0,03 – 0,08	0,006	98,46	0,812	-
Impuritas	ppm	ppm			
Al	75	42,7275	99,43	0,812	
Co	20	ttd	99,86	0,4639	Diluar rentang kurva kalibrasi (< 6 ppm)
Cu	50	6,0335	99,87	0,709	-
Mn	50	ttd	99,88	0,551	Diluar rentang kurva kalibrasi (< 4 ppm)

Tabel 1 (Lanjutan)

Unsur	Konsentrasi sertifikat	Konsentrasi pengukuran	R ² (%)	RSD (%)	Keterangan
Mo	50	ttd	99,98	0,464	Di luar rentang kurva kalibrasi (< 2 ppm)
Si	120	54,0706	99,80	0,569	-
Ti	50	39,9182	97,06	0,4399	-

Keterangan : R² adalah Koefisien Linier Regresi
 RSD adalah *Relative Standard Deviation*

Pengukuran standar dan sampel dilakukan sebanyak tujuh kali pengulangan^[6] untuk mendapatkan hasil pengukuran mendekati nilai sebenarnya dan memenuhi kriteria persyaratan perhitungan secara statistik. Pada tabel 1 dan Gambar 1-11 (terlampir), terlihat bahwa nilai R² dari persamaan regresi unsur pepadu dan impuritas berkisar antara 96% sampai 99%. Menurut pustaka ASTM^[7] menyatakan bahwa nilai R² pada metode spektrometri umumnya dalam kisaran atau lebih besar 98% dan bila berada lebih kecil dari 90% ketepatan antara persamaan dan data ukur kurang baik. Untuk meningkatkan nilai R² dapat dilakukan dengan menambah bahan standar.

Besaran presisi ditunjukkan oleh nilai *Relative Standard Deviation* (RSD) yang dihitung dari data pengukuran berulang pada suatu titik tertentu menggunakan rumus sebagai berikut ;

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (X_i - X_{rerata})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(1)$$

$$RSD = (SD / x_{rerata}) \times 100 \% \dots\dots\dots(2)$$

dengan,

- x = nilai pengukuran
- x_{rerata} = nilai pengukuran rata-rata
- n = jumlah pengukuran
- SD = Standar Deviasi

Rata-rata nilai presisi yang dihasilkan berada di bawah 3 %, hal ini menunjukkan pengulangan pengukuran yang dihasilkan sangat

baik mengingat nilai presisi yang dipersyaratkan sesuai literatur adalah dibawah 5 %^[8].

Akurasi dilakukan dengan mengukur sampel standar yang memiliki konsentrasi pada daerah linier, kemudian dibandingkan dengan nilai benar yaitu nilai yang tercantum dalam sertifikat bahan standar. Nilai akurasi menggambarkan ketepatan pengukuran alat. Pada Tabel 2 hingga 12 dalam Lampiran, terlihat bahwa semakin besar konsentrasi unsur semakin besar pula akurasi pengukuran yang diperoleh. Hal itu disebabkan dengan semakin besar konsentrasi unsur berarti jumlah unsur tersebut dalam sampel semakin banyak sehingga nilai pengukuran unsur dalam sampel semakin mendekati nilai sebenarnya. Nilai akurasi tergantung dengan limit deteksi pengukuran alat terhadap unsur yang dianalisis. Sebagai contoh pengukuran unsur Mn, pada konsentrasi 4 ppm diperoleh nilai akurasi sebesar 89,486% sedangkan pada konsentrasi 28 ppm diperoleh nilai akurasi sebesar 99,897%. Hal ini menunjukkan bahwa untuk mendapatkan akurasi pengukuran yang baik pada pengukuran unsur Mn dengan alat spektrometer emisi adalah di atas konsentrasi 4 ppm.

Pada Tabel 1, unsur Co, Mn dan Mo dalam zircaloy-2 tidak terdeteksi, disebabkan kandungan Co, Mn dan Mo dalam zircaloy-2 berada dibawah konsentrasi bahan standar terkecil. Kondisi ini merupakan salah satu keterbatasan metode spektrometer emisi,

dimana sampel yang dipakai berbentuk pejal, sehingga untuk menaikkan konsentrasi sampel yang terlalu kecil tidak bisa dilakukan dengan penambahan bahan standar (metoda adisi). Secara garis besar, pengukuran unsur pepadu dan impuritas zircaloy-2 menggunakan alat spektrometer emisi dan XRF masih dalam kisaran nilai pada sertifikat zircaloy-2. Hal ini dapat dipakai sebagai dasar bahwa zircaloy-2 yang digunakan layak dipakai untuk bahan kelongsong dan tutup ujung pada bahan bakar nuklir.

Pada penelitian ini unsur yang dianalisis tidak seluruhnya seperti yang ada pada spesifikasi zircaloy-2, disebabkan keterbatasan detektor yang terpasang pada alat dan konsentrasi standar yang digunakan. Keterbatasan detektor yang terpasang pada alat spektrometer emisi mempengaruhi kemampuan alat untuk mengukur semua unsur yang terkandung dalam sampel. Detektor yang dipakai tidak bisa untuk mengukur unsur B, C, Ca, Cd, Hf, H, Mg, N, Na, Nb, Pb, Ta, U, V, W dan O. Keterbatasan konsentrasi standar yang digunakan mempengaruhi ketelitian penghitungan konsentrasi dalam sampel, sebaiknya konsentrasi sampel ada pada kisaran konsentrasi standar yang digunakan (sesuai prosedur interpolasi). Sebagai saran perlu dilakukan pengukuran dengan metode lain yang sekiranya dapat mengukur unsur-unsur yang lain yang mempunyai tingkat selektifitas tinggi dan batas pengukuran yang dapat diatur, seperti AAS atau ICPS.

SIMPULAN

Hasil pengukuran unsur pepadu dalam sampel zircaloy-2 menggunakan alat spektrometer emisi dan spektrometer XRF adalah Sn 1,2566%, Cr 0,1035 %, Fe 0,2151% dan Ni 0,006%, sedangkan unsur pengotor Al 42,7275 ppm, Cu 6,0335 ppm, Si 54,0706 ppm, Ti 39,9182 ppm, Co, Mn dan Mo tidak terdeteksi. Hasil pengukuran menggunakan

alat spektrometer emisi dan XRF masih dalam kisaran nilai sertifikat zircaloy-2. Konsentrasi pengotor lainnya seperti B, C, Ca, Cd, Hf, H, Mg, N, Na, Nb, Pb, Ta, U, V, W dan O belum bisa ditentukan karena belum memiliki bahan standar dan detektor yang diperlukan untuk pengukuran unsur-unsur tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

1. HARI W., " Studi Proses Pemungutan Zircaloy dari Gagal/Skrup Hasil Fabrikasi Elemen Bakar Nuklir", Laporan Teknis Pusat Elemen Bakar Nuklir Tahun 1989/1990.
2. DIAN A., ROSIKA K., YUSUF N., " Penentuan Unsur Pepadu Dalam Bahan Zircaloy-2 Dengan Metode Spektrometri Emisi dan XRF", Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir. Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan, BATAN, Yogyakarta, 10 Juli 2007.
3. ANONIM, "Operation Manual, Emission Spectrometer System PV 8030 Series", Philips, 1987
4. ANONIM, "Operation Manual XRF-EDAX", Phillip, 1995
5. ASTM, "Optical Emission Spectrometric Analysis of Aluminium and Aluminium Alloy By The Point to Plane Technic", Volume 03.05, 2000
6. ROBERT L. ANDERSON, "Practical Statistics of Analytical Chemist", Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1987
7. ASTM, "Use Of Statistics In The Evaluation of Spectrometric Data", Volume 03.05, 2000
8. YULIA KANTASUBRATA, " Validasi Metode, Ketidakpastian Pengukuran Hasil Uji Laboratorium", PUSDIKLAT BATAN, Serpong, 2003

LAMPIRAN

Tabel 1. Nilai intensitas unsur Sn pada berbagai konsentrasi

Konsentrasi (%)	Intensitas	Konsentrasi terhitung (%)	Akurasi (%)	Presisi
Standar:				
1,83	22064,3	1,8107	98,9488	
0,92	13357	0,9249	99,4693	
1,48	19046,3	1,5037	98,4225	
0,47	8793,3	0,4606	98,0034	
Sampel:				
Zry-2	17249,429	1,2566		0,0117

Catatan: Hasil pengukuran ini merupakan nilai rerata dari tujuh pengulangan

Tabel 2. Nilai intensitas unsur Cr pada berbagai konsentrasi

Konsentrasi (%)	Intensitas	Konsentrasi terhitung (%)	Akurasi (%)	Presisi
Standar:				
0,041	157676	0,0462	88,7747	
0,013	127626	0,0069	52,8538	
0,098	203397,25	0,1060	92,4530	
0,15	232629,25	0,1442	96,1619	
Sampel:				
Zry-2	201467	0,1035		0,0084

Tabel 3. Nilai intensitas unsur Ni pada berbagai konsentrasi

Konsentrasi (%)	Intensitas	Konsentrasi terhitung (%)	Akurasi (%)	Presisi
Standar:				
0,021	151184,3	0,0184	87,619	
0,094	166837,3	0,0913	97,128	
0,058	160816,5	0,0633	91,627	
Sampel:				
Zry-2	148545,62	0,006		0,8392

Tabel 4. Nilai intensitas unsur Fe pada berbagai konsentrasi

Bahan	Konsentrasi (% berat)	Intensitas
Standar:		
Z-11	0,209	14,6371
Z-12	0,129	11,1843
Z-13	0,136	11,3133
Z-14	0,093	9,2614
Sampel:		
Zry-2	0,215	14,9729

Tabel 5. Nilai intensitas unsur Cu pada berbagai konsentrasi

Konsentrasi (ppm)	Intensitas	Konsentrasi terhitung (ppm)	Akurasi (%)	Presisi
Standar:				
40	11079	42,2525	94,669	
98	18368.6667	97,2232	99,207	
8	6423.33333	7,1445	89,306	
11	6853	10,3846	94,405	
Sampel:				
Zry-2	6276	6,0335		0,4406

Tabel 6. Nilai intensitas unsur Mn pada berbagai konsentrasi

Konsentrasi (ppm)	Intensitas	Konsentrasi terhitung (ppm)	Akurasi (%)	Presisi
Standar:				
4	30278.5	4,47	89,486	
5	30280.3	4,5272	90,545	
28	31019	28,0288	99,897	
Sampel:				
Zry-2	26888	Diluar rentang kurva kalibrasi		0,7725

Tabel 7. Nilai intensitas unsur Mo pada berbagai konsentrasi

Konsentrasi (ppm)	Intensitas	Konsentrasi terhitung (ppm)	Akurasi (%)	Presisi
Standar:				
2	1637,75	1,76412	83,706	
10	1675	10,39594	96,191	
46	1826,75	45,92709	99,841	
Sampel:				
Zry-2	1577	Diluar rentang kurva kalibrasi		0,5163

Tabel 8. Nilai intensitas unsur Co pada berbagai konsentrasi

Konsentrasi (ppm)	Intensitas	Konsentrasi terhitung (ppm)	Akurasi (%)	Presisi
Standar:				
6	1041	6,6188	90,6505	
20	1081,333	19,0936	95,4679	
49	1179	49,301	99,3895	
Sampel:				
Zry-2	993	Diluar rentang kurva kalibrasi		8,2171

Tabel 9. Nilai intensitas unsur Ti pada berbagai konsentrasi

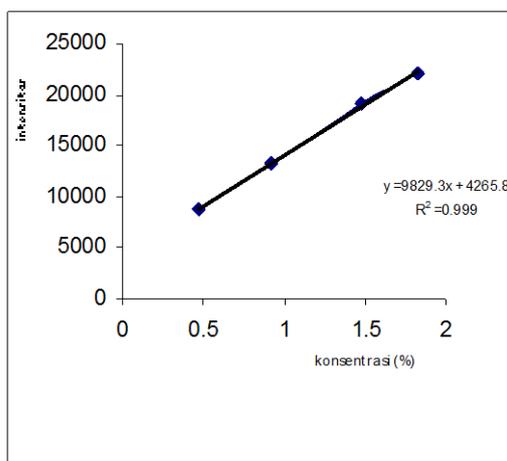
Konsentrasi (ppm)	Intensitas	Konsentrasi terhitung (ppm)	Akurasi (%)	Presisi
Standar:				
3	3939	8,3045	36,125	
4	3928	6,5744	60,842	
28	3995	17,1123	61,115	
93	4496,5	95,9893	96,886	
Sampel:				
Zry-2	4140	39,9182		0,4399

Tabel 10. Nilai intensitas unsur Al pada berbagai konsentrasi

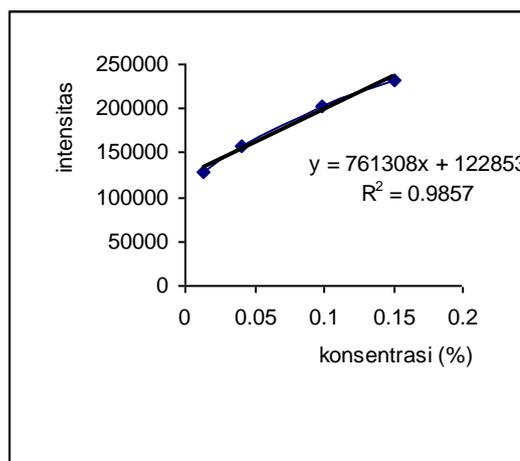
Konsentrasi (ppm)	Intensitas	Konsentrasi terhitung (ppm)	Akurasi (%)	Presisi
Standar:				
15	255	11,8839	79,226	
53	327	55,4279	95,62	
86	384	89,9002	95,662	
130	445	126,7917	97,532	
Sampel:				
Zry-2	306	42,7275		0,812

Tabel 11. Nilai intensitas unsur Si pada berbagai konsentrasi

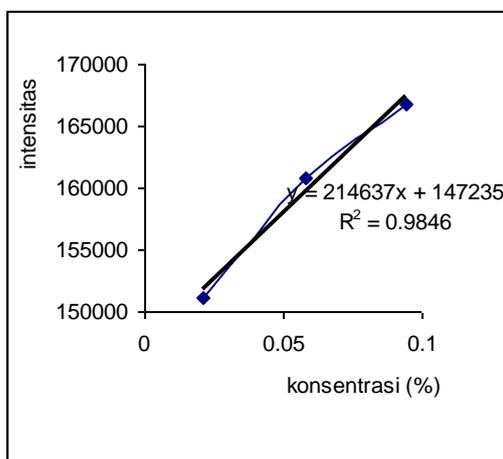
Konsentrasi (ppm)	Intensitas	Konsentrasi terhitung (ppm)	Akurasi (%)	Presisi
Standar:				
95	34281,25	92,3128	97,171	
21	30823	21,7507	96,549	
124	35928,5	125,9233	98,473	
Sampel: Zry-2	32407	54,0706		0,569



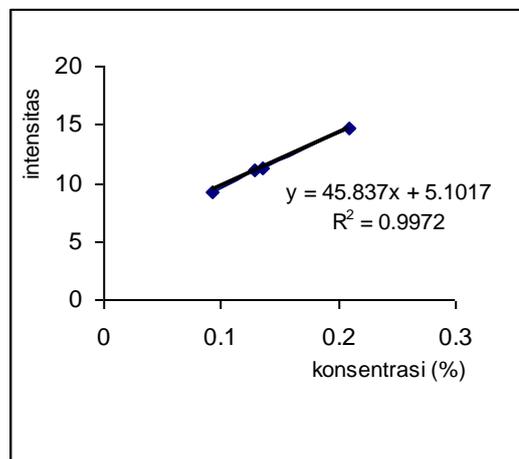
Gambar 1. Kurva kalibrasi unsur Sn



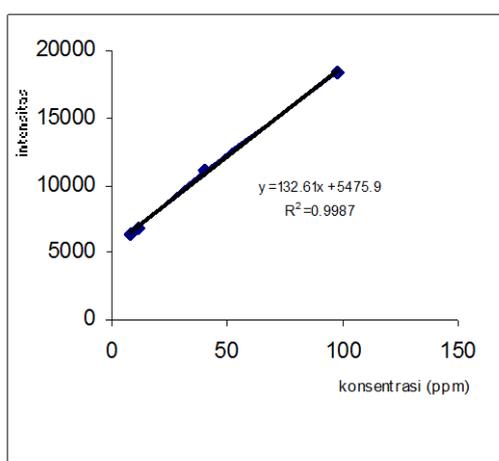
Gambar 2. Kurva kalibrasi unsur Cr



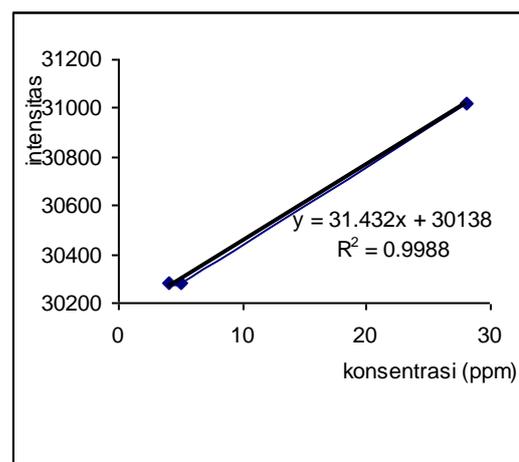
Gambar 3. Kurva kalibrasi unsur Ni



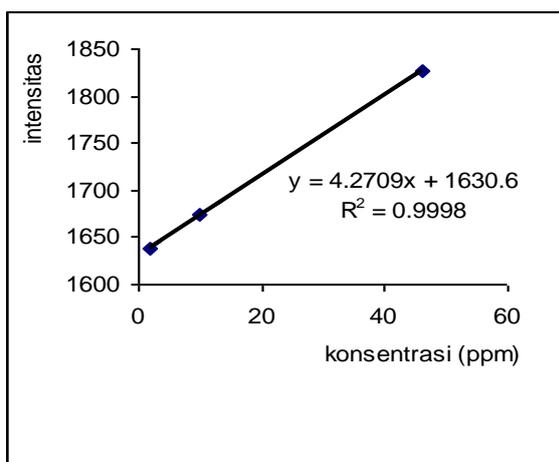
Gambar 4. Kurva kalibrasi unsur Fe



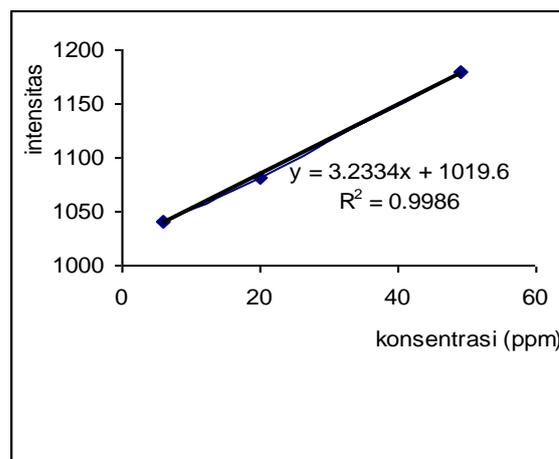
Gambar 5. Kurva kalibrasi unsur Cu



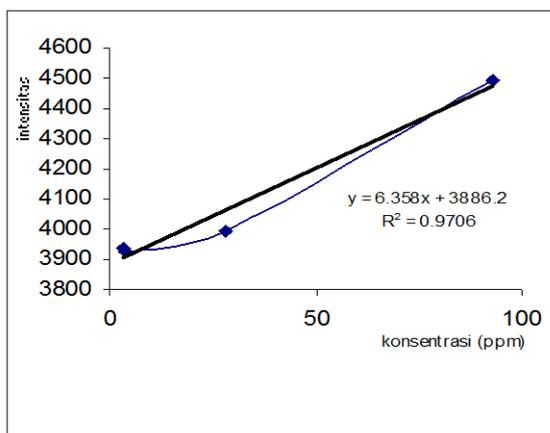
Gambar 6. Kurva kalibrasi unsur Mn



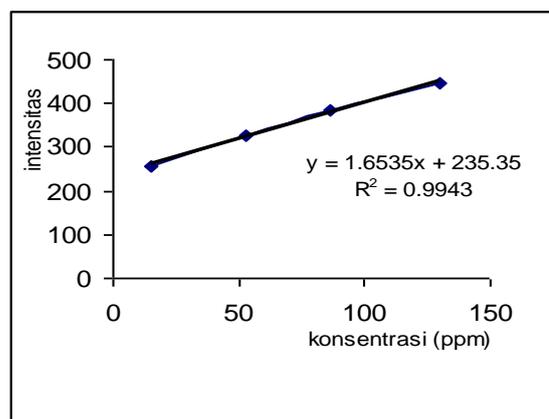
Gambar 7. Kurva kalibrasi unsur Mo



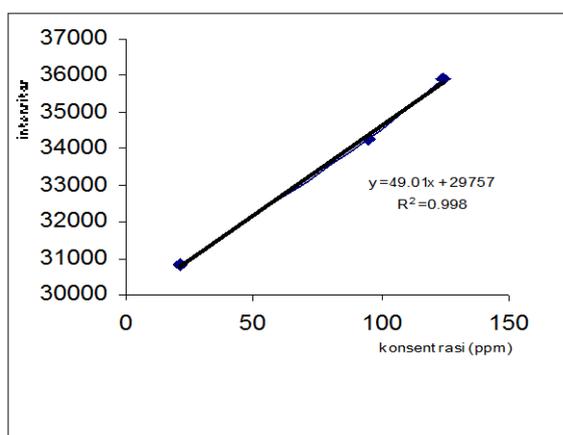
Gambar 8. Kurva kalibrasi unsur Co



Gambar 9. Kurva kalibrasi unsur Ti



Gambar 10. Kurva kalibrasi unsur Al



Gambar 11. Kurva kalibrasi unsur Si