

Deteksi dan Pengukuran Spektra dalam Analisis Spektrografi Emisi dengan Pengolahan Citra

Itmi Hidayat Kurniawan¹, Sahat Simbolon²

Abstract—Qualitative and quantitative analysis on emission spectrograph detector are important to identify impurities elements in nuclear fuel. the process is still using a densitometer based manual method which has limitations due mechanical factors on instrument and expert chemists requirements. To reduce measurement error on manual methods, we develops analytical methods by processing scanned digital image of a spectrogram. The aim of this paper is to identify impurities on nuclear fuel elements (boron and cadmium in uranium oxide). Image processing is done by cropping digital image to separate each the spectra result of excitation processes and identify impurities, which enlarged later to refine the distribution of signal intensity of pixels. Signal processing methods for quantitative analysis conducted with pulse peaks analysis. Results obtained then substituted into a standard curve obtained from regression analysis of sample reference to calculate concentration of the element. End results indicated that signal processing can be used to identify and analyze the elements in the detector, element concentrations value of image processing is not different from the results of analysis of densitometer on statistic significance level of 5%.

Keywords— Image Processing, Spectrograph Analysis, Scanned Spectral Image, Peak Detection

Intisari— Analisis kualitatif dan kuantitatif pada detektor spektrografi emisi dilakukan untuk uji takmurnian dalam bahan bakar nuklir. Saat ini perangkat yang digunakan untuk analisis spektra pada detektor dilakukan dengan pengukuran manual berbasis densitometer. Penelitian ini difokuskan pada penerapan metode untuk menganalisis unsur boron dan kadmium dalam uranium oksida menggunakan pengolahan citra digital. Metode ini diawali dengan akuisisi citra detektor spektrografi emisi ke dalam komputer menggunakan image scanner, selanjutnya piksel citra yang diidentifikasi sebagai unsur boron dan kadmium didistribusikan nilai intensitas pikselnya dalam bentuk kurva. Analisis kualitatif dilakukan dengan menentukan keberadaan kurva pada area yang diprediksi sebanding dengan spektra garis unsur yang dianalisis. Analisis kuantitatif dilakukan dengan mengukur ketinggian puncak kurva. Hasil pengukuran ketinggian kurva diamati untuk masing-masing unsur dan dibuat kurva kalibrasi. Masing-masing kurva standar dilakukan uji signifikansi dan linieritasnya, sedangkan hasilnya menunjukkan bahwa semua kurva standar dapat digunakan untuk menghitung konsentrasi sampel uji. Hasil analisis dan pengujian menunjukkan bahwa metode pengolahan citra dapat dipergunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis unsur. Nilai konsentrasi unsur dari analisis pengolahan citra tidak

berbeda dengan hasil analisis dari densitometer pada taraf signifikansi secara statistik sebesar 5%.

Kata Kunci— Pengolahan Citra, Analisis Spektrografi Emisi, Deteksi Puncak

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi sistem instrumentasi elektronis sangat membantu dalam menyelesaikan permasalahan yang dihadapi oleh manusia. Khususnya di bidang ilmu teknik yang menerapkan berbagai metode pengukuran besaran fisis sehingga dapat diperoleh informasi yang diinginkan.

Sebagai contoh dalam aplikasi di bidang kimia yaitu penerapan teknik pengukuran untuk menganalisis kualitas bahan bakar nuklir yakni uranium. Uranium merupakan bahan bakar nuklir yang sangat penting diuji kualitasnya sebelum digunakan. Uranium yang digunakan pada reaktor nuklir harus memiliki kemurnian yang sangat tinggi, terutama dari unsur-unsur yang mempunyai penampang lintang terhadap neutron yang besar [1]. Serbuk uranium-oksida (U_3O_8) merupakan salah satu bahan baku dalam pembuatan bahan bakar nuklir. Uji kualitas bahan tersebut diantaranya adalah analisis unsur takmurnian yang terdapat dalam bahan bakar tersebut. Untuk dapat digunakan sebagai bahan bakar nuklir, uranium harus memiliki persyaratan yaitu bebas atau sedikit mengandung unsur takmurnian yang dapat mengganggu efektifitas uranium. Pada tahap pemurnian dalam proses pembuatan bahan bakar uranium, akan dipisahkan beberapa unsur yang dapat mengganggu misalnya boron dan kadmium. Analisis spektra-kimia digunakan untuk mengklasifikasikan tingkat kemurnian bahan bakar nuklir serta untuk mengetahui komposisi suatu elemen. Metode yang biasa digunakan dalam proses analisis spektra-kimia yaitu spektrografi emisi [2]. Analisis kualitatif pada spektrografi emisi dilakukan dengan memperhatikan ada tidaknya garis spektrum yang terekam pada detektor spektrografi, sedangkan untuk analisis kuantitatif dapat dilakukan dengan memperhatikan tingkat intensitas spektrum pada panjang gelombang tertentu yang sebanding dengan posisi elektron yang tereksitasi [3].

Adanya teknologi komputer sangat mendukung perkembangan metode analisis spektrografi optik. Dengan melakukan proses analisis kimia menggunakan komputer memiliki kelebihan antara lain dapat memudahkan dalam penyimpanan data dari hasil analisis sehingga dapat dengan mudah diakses kembali apabila diperlukan, selain itu dengan perkembangan teknologi pengolahan sinyal serta komputasi menggunakan metode numerik dapat dilakukan pengolahan data hasil analisis yang bertujuan untuk mengurangi derau, diagnosa kesalahan dari hasil pengukuran dalam skala

¹Universitas Muhamadyyah Purwokerto, Jl. Raya Dukuh Waluh, PO BOX 202 Purwokerto, 53182, itmi.hidayat.kurniawan@gmail.com

²Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan (PTAPB-BATAN), Jalan Babarsari PO BOX 6101 Yogyakarta

komputasi yang besar, dan dapat memecah sinyal hasil pengukuran yang kompleks sehingga memungkinkan untuk dianalisis dengan lebih mudah [4-5]. Penelitian mengenai penerapan pengolahan citra detektor spektrografi berbasis komputer telah dilakukan. Pengembangan aplikasi yang dapat digunakan untuk melakukan analisis kuantitatif pada detektor spektrografi emisi. Tingkat intensitas piksel citra yang berbanding terbalik dengan tingkat konsentrasi unsur dijadikan sebagai pedoman dalam membuat kurva intensitas piksel. Titik data pada kurva yang merepresentasikan nilai intensitas pada masing-masing piksel dalam suatu area citra yang telah diubah dalam bentuk *fotometrik*, sehingga dapat digunakan dalam proses identifikasi dan analisis suatu unsur [6-7].

Pada penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan metode yang dapat digunakan dalam analisis spektrografi emisi dengan menerapkan teknik pengolahan citra digital sehingga dapat dijadikan alternatif untuk mempermudah proses analisis kualitatif dan kuantitatif spektrografi emisi khususnya untuk metode deteksi dan pengukuran spektra pada detektor. Dengan merujuk pada referensi [7] tentang proses analisis kualitatif spektra, dilakukan penerapan algoritma pendeteksian puncak spektra dengan menerapkan pengolahan sinyal intensitas piksel citra dengan merujuk pada referensi [4],[8]. Untuk analisis kuantitatif dilakukan dengan perhitungan statistik merujuk pada metode yang ditunjukkan referensi [6].

II. CITRA DIGITAL

Citra adalah representasi optis dari sebuah obyek yang disinari oleh sebuah sumber radiasi. Pada dasarnya citra yang dilihat terdiri atas berkas-berkas cahaya yang dipantulkan oleh benda-benda disekitarnya, sehingga secara alamiah fungsi intensitas cahaya merupakan fungsi sumber cahaya yang menerangi obyek, serta jumlah cahaya yang dipantulkan oleh obyek, dinotasikan [9]:

$$f(x,y) = i(x,y) \times r(x,y) \quad (1)$$

Dengan:

$0 < i(x,y) < \infty$ merupakan iluminasi sumber cahaya

$0 < r(x,y) < 1$ merupakan koefisien pantul obyek

Citra digital (*digital image*) adalah citra kontinu $f(x,y)$ yang sudah didiskritkan baik koordinat spasial maupun tingkat kecerahannya. Setiap titik biasanya memiliki koordinat sesuai dengan posisinya dalam citra. Koordinat ini biasanya dinyatakan indeks x dan y hanya bernilai bilangan bulat positif, yang dapat dimulai dari 0 atau 1. Citra digital yang selanjutnya akan disingkat "citra" sebagai matrik ukuran $M \times N$ yang baris dan kolomnya menunjukkan titik-titik yang diperlihatkan pada persamaan 2 [9].

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix} \quad (2)$$

Setiap titik juga memiliki nilai berupa angka digital yang merepresentasikan informasi yang diwakili titik tersebut misalnya nilai intensitas piksel yang sebanding dengan tingkat kecerahan warna pada citra. Sebagai contoh pada Citra *grayscale* yang direpresentasikan 8 bit maka memiliki 256

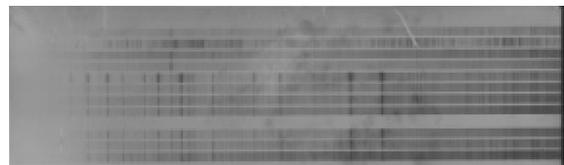
derajat keabuan dengan nilai 0 mewakili warna hitam dan nilai 255 mewakili warna putih.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini secara umum terdiri dari tahap pembuatan sampel standar dan sampel uji, perancangan sistem akuisisi data citra digital detektor, pembuatan perangkat lunak pengolahan citra untuk analisis detektor spektrografi emisi dan pengujian sistem. Rincian dari tiap langkah-langkahnya diuraikan sebagai berikut:

- 1) Pembuatan sampel standar dan uji berupa detektor film sinar-X yang diperoleh dari hasil eksitasi unsur boron dan kadmium dengan konsentrasi unsur pada sampel referensi adalah 0,1; 0,3; 1; 2 dan 2,5 ppm dalam 100 mg uranium oksida. Spesifikasi spektrograf yang digunakan:

<i>Type Grating</i>	: 590 <i>lines mm⁻¹</i>
<i>Grating Angle</i>	: 5,4
<i>Exposure periode</i>	: 35 <i>second</i>
<i>Electrode</i>	: <i>Graphite</i>
<i>Electrode gap</i>	: 4 mm
<i>Excitation</i>	: Model <i>Jarell Ash</i>
- 2) Akuisisi data citra detektor film spektrografi emisi ke dalam komputer. Akuisisi data citra dilakukan dengan menggunakan perangkat *digital scanner* dengan *mode* transmisi 600 dpi (*dot per inch*) sehingga diperoleh citra digital dengan resolusi 5488x1184 piksel.
- 3) Dilakukan pemotongan citra yang diprediksi sebagai unsur yang dianalisis. Proses pengolahan citra dalam penelitian ini dilakukan dengan aplikasi MATLAB versi 7. Proses pemotongan citra bertujuan untuk mendapatkan citra yang diduga sebagai bagian citra yang merepresentasikan spektra unsur yang akan diidentifikasi dan dianalisis pada suatu koordinat piksel citra, serta untuk mengurangi beban kerja komputasi pada aplikasi.



(a)



(b)

Gbr. 1 (a) citra hasil akuisisi; (b) citra hasil 1 kali proses eksitasi

- 4) Pendistribusian nilai intensitas piksel citra hasil pemotongan dalam bentuk kurva.
- 5) Dilakukan deteksi dan pengukuran ketinggian puncak kurva untuk analisis kualitatif yang bertujuan untuk mengetahui ada tidaknya unsur takmurnian (boron kadmium). Secara umum langkah-langkah untuk mendeteksi puncak sinyal untuk mendeteksi unsur boron adalah sebagai berikut:
 - (a) Inisialisasi variabel y , sebagai masukan sinyal berupa data intensitas piksel.
 - (b) Inisialisasi variabel x , sebagai masukan sinyal berupa posisi piksel pada sumbu x .
 - (c) Hitung fungsi aproksimasi menggunakan polinomial

order 2 dari runtun data x dan y , dengan persamaan umum:

$$f(x) = ax^2 + bx + c + e \quad (3)$$

(d) Algoritma deteksi puncak sinyal:

– Hitung bentuk turunan pertama dari kurva intensitas piksel, dengan persamaan umum:

$$f'(x) = 2ax + b \quad (4)$$

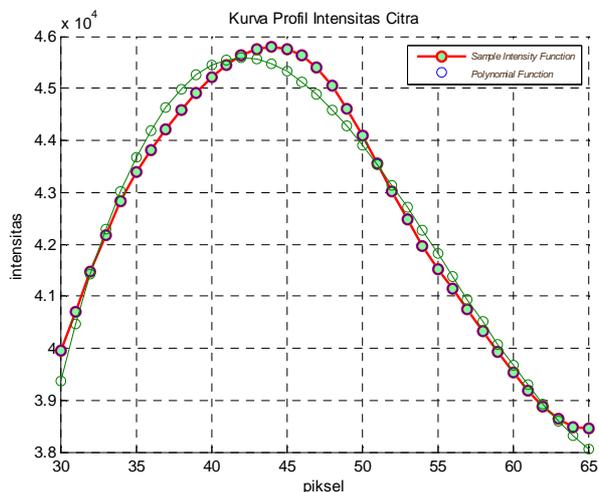
– Hitung koordinat puncak kurva pada sumbu x (x_p) dengan menggunakan persamaan 5:

$$x_p = -\frac{b}{2a} \quad (5)$$

– Hitung koordinat puncak kurva pada sumbu y (y_p), dengan mensubstitusikan nilai x_p pada (4).

– Didapatkan titik koordinat kuva intensitas piksel (x_p, y_p).

Identifikasi unsur kedepan digunakan untuk proses analisis kualitatif spektrografi emisi yang berguna untuk mengetahui ada tidaknya unsur yang dianalisis dalam sampel. Paramater ketinggian sinyal y_p yang diperoleh dari deteksi puncak, selanjutnya digunakan untuk tahapan analisis kuantitatif spektrografi emisi yang bertujuan untuk menghitung tingkat konsentrasi unsur.



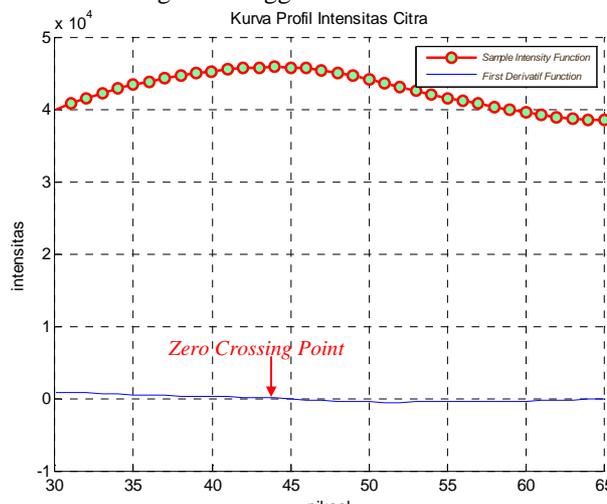
Gbr. 2 Kurva Intensitas Piksel Unsur Boron 2 ppm

- 6) Perhitungan nilai konsentrasi unsur berdasarkan nilai intensitas maksimum kurva untuk analisis kuantitatif. Proses ini dilakukan dengan memasukkan nilai ketinggian puncak kurva yang mewakili intensitas dan nilai luas area kurva ke dalam persamaan regresi linier dari kurva kalibrasi. Kurva kalibrasi dibuat menggunakan regresi linier dengan *least square method* (LSM).
- 7) Dilakukan pengujian unjuk kerja metode yang dikembangkan dengan membandingkan hasil pengukuran konsentrasi unsur dengan alat ukur konsentrasi standar menggunakan Densitometer.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan memanfaatkan teknik pengolahan citra digital dapat dilakukan pengukuran tingkat intensitas piksel citra. Sehingga dapat diketahui nilai intensitas piksel citra yang sebanding dengan intensitas spektra pada panjang gelombang

tertentu yang merepresentasikan konsentrasi suatu unsur. Semakin rendah tingkat intensitas suatu piksel berarti semakin gelap tingkat intensitas piksel yang sebanding dengan semakin tingginya tingkat konsentrasi suatu unsur. Identifikasi piksel citra yang diprediksi sebagai panjang gelombang unsur dilakukan dengan menentukan bentuk derivatif pertama dari fungsi polinomial orde 2 yang merupakan aproksimasi kurva intensitas piksel citra yang diprediksi sebagai panjang gelombang boron. Sebagai contoh untuk proses identifikasi unsur boron dengan konsentrasi 2 ppm, diperlihatkan pada Gbr. 3, dua buah kurva intensitas piksel yang merupakan bentuk fungsi asli dan fungsi dalam bentuk derivatif pertama. Diperlihatkan *zero crossing point* yang merupakan lokasi titik puncak kurva pada sumbu x dan nilai intensitas tertinggi pada sumbu y , sehingga dapat diperoleh juga posisi puncak kurva pada titik koordinat $(x ; y) = (44, 4 ; 4,4978 \times 10^4)$. Dari titik koordinat kurva yang diperoleh, koordinat pada sumbu y juga dapat digunakan sebagai masukan dalam analisis kuantitatif untuk menghitung konsentrasi unsur yang dilakukan berdasarkan tingkat ketinggian kurva.



Gbr. 3 Ilustrasi proses deteksi puncak kurva pada analisis boron 2 ppm

A. Pembuatan Kurva Kalibrasi Unsur boron dan kadmium

Dengan menggunakan deteksi dan pengukuran puncak kurva yang telah dijelaskan di depan, dilakukan pengamatan dan pengukuran detektor sehingga didapatkan data nilai intensitas piksel dengan kedalaman variasi tingkat keabuan piksel sebesar 16-bit atau 65535 tingkat warna keabuan.

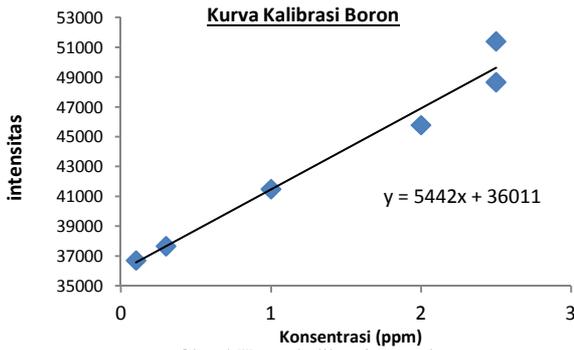
TABEL I

NILAI INTENSITAS UNSUR STANDAR BORON DAN CADMIUM DALAM U_3O_8

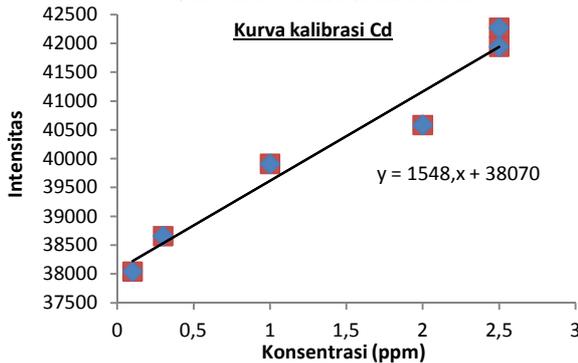
Konsentrasi (ppm)	Intensitas	
	Boron	Kadmium
0,1	$3,6721 \times 10^4$	$3,769 \times 10^4$
0,3	$3,7679 \times 10^4$	$3,824 \times 10^4$
1	$4,1505 \times 10^4$	$4,160 \times 10^4$
2	$4,5794 \times 10^4$	$4,300 \times 10^4$
2,5	$4,8674 \times 10^4$	$4,423 \times 10^4$
2,5	$5,1409 \times 10^4$	$4,391 \times 10^4$

Berdasarkan pengamatan intensitas piksel dari masing-masing unsur standar yang diperlihatkan pada Tabel I, dibuat

kurva kalibrasi untuk menentukan persamaan regresi linier yang digunakan untuk menghitung konsentrasi unsur.

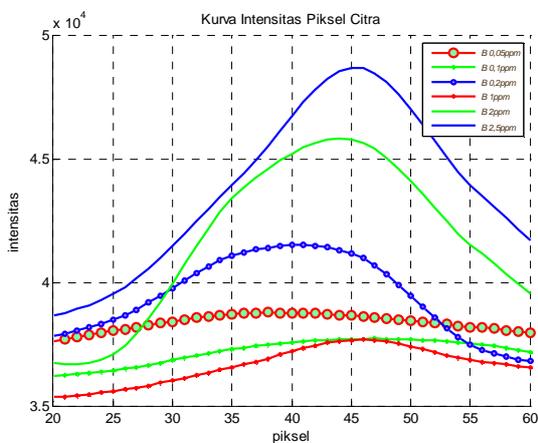


Gbr. 4 Kurva kalibrasi unsur boron

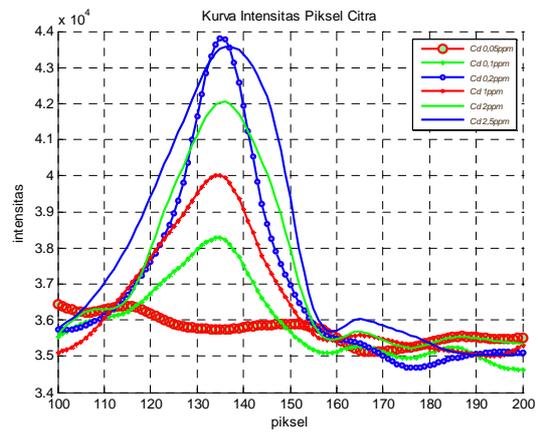


Gbr. 5 Kurva kalibrasi unsur cadmium

Perbandingan secara keseluruhan kurva intensitas piksel sampel standar B dan Cd yang digunakan dalam pembuatan kurva kalibrasi diperlihatkan pada Gbr. 6 dan Gbr.7.



Gbr. 6 Perbandingan kurva intensitas piksel sampel standar Boron



Gbr. 7 Perbandingan kurva intensitas piksel sampel standar Kadmium

B. Uji Linieritas Persamaan Garis Regresi Pada Kurva Kalibrasi

Terdapat kriteria yang harus dipenuhi agar kurva kalibrasi dapat digunakan untuk menghitung konsentrasi unsur dalam analisis kuantitatif spektrografi emisi yaitu persamaan garis regresi harus bersifat linier dan terdapat korelasi yang signifikan antara variabel x (konsentrasi unsur) dengan variabel y (intensitas spektra).

Untuk melakukan uji linieritas dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut:

1) Menentukan persamaan garis regresi [10]:

$$b = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \tag{6}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \tag{7}$$

2) Uji signifikansi korelasi x dan y [10]:

$$r = \frac{n \sum (x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \times \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}} \tag{8}$$

Berdasarkan hasil perhitungan untuk uji signifikansi korelasi x dan y pada kurva kalibrasi unsur boron nilai r_{hitung} yaitu 0,9849 atau lebih besar daripada harga r_{tabel} untuk jumlah data 6 yaitu 0,917. Sedangkan analisis regresi untuk kurva kalibrasi sampel referensi unsur kadmium berdasarkan ketinggian kurva memiliki koefisien korelasi $r_{hitung}=0,9771$ atau lebih besar daripada harga r_{tabel} untuk jumlah data 6 yaitu 0,917.

Hal ini menunjukkan bahwa adanya korelasi yang signifikansi antara variabel x dan y sehingga kurva kalibrasi dapat digunakan untuk perhitungan konsentrasi.

3) Uji linieritas garis regresi[11-12]:

Untuk mengetahui tingkat linieritas garis regresi dilakukan dengan cara menghitung harga F regresi. Apabila F regresi lebih dari F tabel maka garis regresi tersebut linier. Uji F regresi dilakukan pada taraf signifikansi 5%.

Untuk menghitung F-regresi :

$$F_{reg} = \frac{RJK_{reg}}{RJK_{res}} \tag{9}$$

Nilai $F_{regresi}$ dari persamaan garis kurva kalibrasi unsur boron adalah sebesar 13,934 sedangkan Nilai $F_{regresi}$ dari persamaan garis kurva kalibrasi unsur kadmium adalah sebesar 9,536. Hal ini menunjukkan bahwa nilai $F_{regresi}$ lebih besar dibandingkan dengan F_{tabel} dengan $db_{pembilang}=1$ dan $db_{penyebut}=4$ pada taraf signifikansi 5% yaitu 7,71 sehingga persamaan garis regresi pada kurva kalibrasi merupakan garis regresi linier sehingga dapat digunakan dalam perhitungan unsur.

C. Perhitungan Konsentrasi Unsur Boron dan Kadmium serta Pengujian Sistem

Dengan menggunakan metode yang sama dengan pengukuran intensitas piksel unsur standar boron dan kadmium, untuk mengukur konsentrasi sampel uji dilakukan dengan memasukkan nilai intensitas pada puncak spektra ke dalam persamaan garis linier dari masing-masing unsur. Pada Tabel II diperlihatkan hasil pengukuran konsentrasi sampel uji unsur boron menggunakan metode yang dikembangkan dibandingkan dengan densitometer.

TABEL II
HASIL ANALISIS UNSUR BORON DALAM U3O8 DENGAN PENGOLAHAN CITRA DAN DENSITOMETER

Image Processing System		Densitometer		
I	Conc.(ppm)	T(%T)	I	Conc.(ppm)
43919	1,753	60,8	0,216	1,756
45379	2,021	57,7	0,239	2,155
47058	2,330	58,2	0,235	2,089
43305	1,640	61,7	0,210	1,644
46622	2,250	54,9	0,260	2,534
45546	2,052	58	0,237	2,115
47314	2,377	56,3	0,249	2,342
41060	1,228	66,8	0,175	1,039
44269	1,817	59,4	0,226	1,934
44269	1,817	59,6	0,225	1,908
42316	1,759	61,1	0,214	1,719
41662	1,838	60,8	0,216	1,756
40218	1,573	64,3	0,192	1,330
43572	2,389	57,3	0,242	2,208
37679	0,606	72,4	0,140	0,300
41505	1,310	60,5	0,218	1,000
45794	2,098	58,1	0,236	2,000
48674	2,627	56	0,252	2,500
51409	2,929	56,1	0,251	2,500
41060	1,228	66,8	0,175	1,039

Keterangan tabel : I= intensitas, T= Transmittansi, Conc.: Konsentrasi Unsur

Pada Tabel III diperlihatkan hasil pengukuran konsentrasi sampel uji unsur kadmium berdasarkan pengukuran sistem dan densitometer.

TABEL III
HASIL ANALISIS UNSUR KADMIUM DALAM U3O8 MENGGUNAKAN SISTEM PENGOLAHAN CITRA DAN DENSITOMETER

Image Processing System		Densitometer		
I	Conc. (ppm)	T(%T)	I	Conc.(ppm)
37471	0,099	76,800	0,115	0,201
37976	0,101	74,700	0,127	0,222
38316	0,102	74,100	0,130	0,228
37304	0,099	76,800	0,115	0,201
39094	0,104	72,400	0,140	0,246
38185	0,101	77,000	0,114	0,199
38943	0,103	76,700	0,115	0,202
37490	0,099	78,000	0,108	0,189
37551	0,100	77,600	0,110	0,193
37551	0,100	78,200	0,107	0,187
37659	0,100	77,500	0,111	0,194
37740	0,100	80,700	0,093	0,163
36901	0,098	84,400	0,074	0,129
38369	0,102	73,100	0,136	0,239
37685	0,100	74,500	0,128	0,100
40235	0,558	67,500	0,171	0,300
41996	1,308	65,200	0,186	1,000
42097	1,955	64,500	0,190	2,000
44230	2,937	62,500	0,204	2,500
43910	2,790	62,500	0,204	2,500

Keterangan tabel : I= intensitas, T= Transmittansi, Conc.: Konsentrasi Unsur

Pengujian secara statistik untuk membandingkan dua hasil pengukuran densitometer dengan metode yang dikembangkan dilakukan dengan menggunakan uji statistik *t-student* [12]. Secara umum langkah-langkah dalam uji ini untuk pengukuran unsur boron adalah sebagai berikut.

Sebagai contoh diketahui:
 U_1 =pengukuran densitomer; U_2 =pengukuran dengan metode yang dikembangkan
 Rata-rata U_1 , $U_1 = 1,93$; Varian U_1 , $S^2U_1 = 0,3505$
 Rata-rata U_2 , $U_2 = 1,882$; Varian U_2 , $S^2U_2 = 0,2943$
 Dengan hipotesis:

$H_0: [(\mu U_1 - \mu U_2) = 0]$, $H_A: [(\mu U_1 - \mu U_2) \neq 0]$
 Sehingga nilai *t* dapat dihitung sebagai berikut[12]:

$$t_{hitung} = \frac{\mu U_1 - \mu U_2}{\sqrt{\frac{S^2U_1}{n_1} + \frac{S^2U_2}{n_2}}} = -0,494 \tag{10}$$

Dengan uji statistik *t-student* dengan derajat kebebasan (dk) = ($n_1 + n_2 - 2$) = 38 dan dengan taraf signifikansi $\alpha = 5\%$. Kriteria penerimaan hipotesis nol (H_0) jika dibandingkan dengan tabel *t-student* diperoleh $-t_{1-(1/2)\alpha} < t_{hitung} < t_{1-(1/2)\alpha}$. Berdasarkan data, $t_{1-(1/2)\alpha}$ dengan $dk=38$ adalah 2,024. Dengan demikian terlihat bahwa $-2,024 < -0,494 < 2,024$.

Sedangkan uji statistik untuk membandingkan pengukuran konsentrasi unsur kadmium dengan cara yang sama dengan uji pada unsur boron didapatkan nilai $t_{hitung} = -0,2363$. Kriteria penerimaan hipotesis nol (H_0) jika dibandingkan dengan tabel *t-student* diperoleh $-t_{1-(1/2)\alpha} < t_{hitung} < t_{1-(1/2)\alpha}$. Berdasarkan data, $t_{1-(1/2)\alpha}$ dengan $dk=38$ adalah 2,024. Dengan demikian terlihat bahwa $-2,024 = -0,2363 < 2,024$. Sehingga H_0 diterima yang berarti kedua macam hasil

pengukuran konsentrasi unsur boron dan kadmium yakni pengukuran menggunakan densitometer memberikan hasil yang tidak terdapat perbedaan yang signifikan terhadap hasil pengukuran dengan metode pengolahan citra dengan tingkat kepercayaan 95%.

V. KESIMPULAN

Dari hasil pengamatan dan pengujian unjuk kerja metode yang dikembangkan pada penelitian ini, menunjukkan bahwa metode analisis citra detektor spektrografi emisi dengan pendeteksian dan pengukuran puncak spektra dapat mengidentifikasi unsur pengotor bahan bakar nuklir (boron dan kadmium) serta mengukur tingkat konsentrasinya dengan baik. Metode yang dikembangkan dapat dioperasikan menggunakan aplikasi komputer yang didalamnya dapat menampilkan posisi unsur yang dianalisis, bentuk spektrum intensitas pikselnya, bentuk kurva kalibrasinya dan diketahui nilai konsentrasi unsur takmurnian (boron dan kadmium) yang dianalisis dalam satuan ppm (*part per million*). Analisis unsur yang dilakukan pada penelitian memiliki jangkauan pengukuran konsentrasi unsur untuk boron dan kadmium dari 0,1 sampai dengan 2,5 ppm sehingga untuk pengukuran konsentrasi diluar jangkauan pengukuran dapat mengurangi tingkat akurasi. Nilai konsentrasi unsur boron dan kadmium dari hasil analisis pengolahan citra detektor tidak berbeda secara signifikan dengan hasil analisis dari densitometer pada taraf signifikansi secara statistik sebesar 5%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Bapak Aryadi, personil di Departemen Kimia dan Teknologi Proses Bahan, Pusat Akselerator dan Proses Bahan, Badan Tenaga Nuklir Nasional yang telah

memberikan ilmu praktis teknik pengukuran spektrografi emisi.

REFERENSI

- [1] S.Simbolon and Supriyono, "Fuzzy Logic Application in Boron and Cadmium Analysis in U3O8 use of Emission Spectrograph Method," *Jurnal Atom Indonesia*, vol.37, pp. 36-43, 2011.
- [2] Francis Rouessac and Annick Rouessac, *Chemical Analysis: Modern Instrumentation Methods And Techniques*, England: Willey, 2007.
- [3] Charles B. Boss and Kenneth J. Fredeen, *Concept, Instrumentation and Techniques in Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*, Perkin Elmer, 1997.
- [4] (2008) Tom O, Haver website. [Online]. Available: <http://terpconnect.umd.edu/~toh/spectrum/Introduction.html>
- [5] Z. Navratil and D. Trunec, "A Software for Optical Emission Spectroscopy - Problem Formulation and Application to Plasma Diagnostic," *Czechoslovak Journal Of Physics*, vol.56, pp. B944-B951, October 2006.
- [6] S. Simbolon and Aryadi, "The Use Of Digital Image Processing In Analysis Of Boron, Cadmium In Thorium Oxide Without Carrier Distillation with Emission Spectrograph Method," *Jurnal Iptek Nuklir Ganendra*, vol.15(1), p.: 39-48, Januari 2012.
- [7] Lizzy Pious, S.Kar, V.M. Joshi and G. Rajappan, "Image Processing Software For Spektrography Analysis," in *The National Conference On Machine Vision And Image Processing*, December 2011, p.1-5.
- [8] E. Marasco, A. Ross, J.Dawson, T. Moroose and T. Ambrose, "Detecting STR Peak in Degraded DNA Samples," *International Convergence on Bioinformatics Computational Biology*, vol. IV, p.8, 2012.
- [9] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods. *Digital Image Processing Third Edition*, New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2008.
- [10] Steven C. Chapra, *Applied Numerical Methods With Matlab For Engineers and Scientists*, New York: McGraw-Hill Book Company, 2012.
- [11] Sutrisno Hadi, *Analisis Regresi edisi 2*, Yogyakarta: Penerbit Andy Offset, 2004.
- [12] Tedjo N. Reksoatmodjo, *Statistika Teknik*, Bandung: Refika Aditama, 2009.