

PENENTUAN KADAR RADIONUKLIDA PADA LIMBAH CAIR PABRIK GALVANIS DENGAN METODE ANALISIS AKTIVASI NEUTRON THERMAL REAKTOR KARTINI

P. Dwijananti^{1*}, Widarto², Y. Darmawati¹

¹Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Semarang, Indonesia, 50229

²Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Maju, Badan Tenaga Atom Nasional, Yogyakarta, Indonesia

Diterima: 9 September 2009. Disetujui: 7 Oktober 2009. Dipublikasikan: Januari 2010

ABSTRAK

Kadar unsur-unsur pada limbah cair pabrik galvanis perlu diketahui, hal ini penting dilakukan sebelum limbah cair pabrik galvanis dibuang ke lingkungan. Metode Analisis Aktivasi Neutron (AAN) digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif. Metode kualitatif dapat mengetahui unsur yang terkandung, sedangkan analisis kuantitatif untuk mengetahui kadar unsurnya. Sampel limbah cair diaktivasi menggunakan sumber neutron dari Reaktor Kartini, kemudian dicacah menggunakan spektrometri- γ , setelah itu dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif. Hasil analisis kualitatif teridentifikasi 7 unsur pada limbah cair pabrik galvanis. Unsur tersebut adalah Mangan (Mn), Zirkon (Zr), Chlorine (Cl), Seng (Zn), Bromine (Br), Natrium (Na), dan Besi (Fe). Analisis kuantitatif menunjukkan kadar unsur tersebut yaitu: Mn (1,89 - 1,92).10⁻⁹gram/l, Zr (5,65 - 5,66).10⁻⁴gram/l, Cl (4,39 - 4,50).10⁻⁸ gram/l, Zn (6,47 - 6,65).10⁻⁵ gram/l, Br (1,32 - 1,35).10⁻³gram/l, Na (4,18 - 4,19).10⁻⁴ gram/l, dan Fe (5,65.10⁻⁵) gram/l. Berdasarkan perhitungan dan setelah dibandingkan dengan baku mutu limbah dan baku mutu air, maka limbah cair pabrik galvanis dalam batas aman.

ABSTRACT

The content of elements in liquid waste of galvanise factory are recommended to be determined first before the waste is expelled into environment. The Neutron Activation Analysis was used to have qualitative and quantitative analysis. The qualitative method was used to identify the element contained, while the quantitative one was used to measure the decay rate of the element. The sample of liquid was activated by using neutron source at Kartini Reactor. It was then counted by using γ -spectrometer and analysed quantitatively and qualitatively. From analysis, seven elements contained in liquid waste of galvanise factory were identified, those were Mangan (Mn), Zirkon (Zr), Chlorine (Cl), Zink (Zn), Bromine (Br), Sodium (Na) and Ferrum (Fe). The quantitative analysis shows the content of each elements as follows. Mn (1.89 - 1.92) x 10⁻⁹ g/l; Zr (5.65 - 5.66) x 10⁻⁴ g/l; Cl (4.39 - 4.50) x 10⁻⁸ g/l; Zn (6.47 - 6.65) x 10⁻⁵ g/l, Br (1.32 - 1.35) x 10⁻³ g/l; Na (4.18 - 4.19) x 10⁻⁴ g/l, and Fe (5.65 x 10⁻⁵ g/l). Based on the calculation and after comparing it to the waste and water standard quality, it can be concluded that the liquid waste of galvanise factory is on the safe limit.

© 2010 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: Element rate; factory liquid waste; neutron activation analysis method

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir telah menarik perhatian banyak orang dalam pemanfaatan teknologi nuklir baik yang bersifat kimia maupun radioaktif. Di Indonesia pemanfaatan teknologi nuklir digunakan untuk tujuan damai antara lain dalam bidang kedokteran, bidang industri, bidang pertanian, bidang hidrologi dan bidang arkeologi. Efek samping dari pemanfaatan tersebut adalah adanya limbah yang harus dikelola keberadaannya agar tidak berdampak negatif bagi manusia maupun lingkungannya. Di industri khususnya pabrik galvanis, limbah yang berupa zat cair diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Pengolahan ini bertujuan mengetahui jenis dan kadar unsur yang terkandung.

Salah satu metode yang digunakan adalah metode Analisis Aktivasi Neutron (AAN). Metode ini untuk menentukan banyaknya unsur secara serentak tanpa

merusak cuplikan dalam waktu yang relatif singkat. Unsur yang teraktivasi neutron akan menjadi unsur radioaktif yang memancarkan sinar- γ . Analisis ini digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif. Metode kualitatif dapat mengetahui jenis unsur, sedangkan analisis kuantitatif untuk mengetahui kadar unsurnya. Sampel limbah cair diaktivasi menggunakan sumber neutron dari reaktor. Reaktor yang digunakan adalah Reaktor Kartini, reaktor ini merupakan jenis reaktor fisi. Sinar- γ yang dipancarkan oleh berbagai unsur dalam sampel yang telah diradiasi dapat dianalisis secara spektrometri- γ .

Limbah cair pabrik galvanis merupakan hasil buangan sisa proses kegiatan di pabrik galvanis yang sudah tidak dimanfaatkan kembali. Sebelum limbah ini di-buang ke lingkungan harus diketahui jenis dan kadar unsur yang terkandung di dalamnya. Pengolahan limbah ini perlu dilakukan dengan teliti agar tidak berdampak negatif terhadap lingkungan (Perda Jawa Tengah No. 10 Tahun 2004).

Reaktor Kartini merupakan jenis reaktor TRIGA MARK II (Training, Research and Isotop Production by General Atomic) yang digunakan untuk keperluan irradiasi, ekspe-rimen dan latihan personal. Sampel yang

*Alamat korespondensi:

Jl. Dewi Sartika Timur XIV/3 Semarang
Telp/Fax. +622486457696
Email: p_dwijananti@yahoo.com

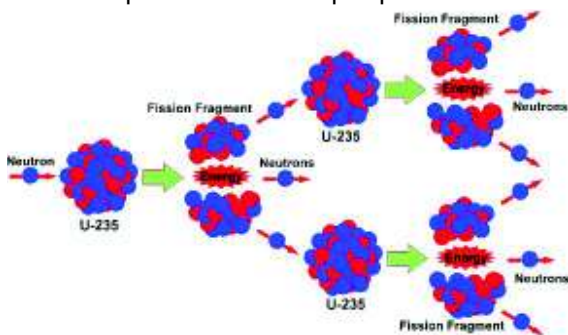
tidak radioaktif diaktivasi agar menjadi radioaktif dengan cara diiradiasi menggunakan fasilitas dari Reaktor Kartini.

Reaktor Kartini tersusun atas beberapa komponen peralatan dan fasilitas eksperimen serta radiasi. Untuk keperluan eksperimen, pada beberapa bagian dari reflektor ditembus oleh beberapa tabung berkas (beam port) radial dari satu buah tabung berkas tangensial. Ruang untuk iradiasi terdapat di bagian atas reflektor dan tengah-tengah teras, sedangkan dibagian teras dilengkapi dengan sistem pneumatik. Teras reaktor terdiri dari elemen-elemen bahan bakar dan batang-batang kendali reaktor. Elemen bahan bakar yang digunakan merupakan campuran bahan bakar uranium dan moderator zirkonium hibrida (U-ZrH) dengan pengkayaan 20%. Reaktor dikendalikan dengan tiga buah batang kendali, yang merupakan material penyerap neutron terbuat dari boron karbida (B₄C).

Panas dari reaksi inti di dalam teras dibuang ke lingkungan sekitar secara konveksi alam. Sistem pendinginan reaktor terdiri dari sistem pendinginan primer dan sekunder. Dengan menggunakan pompa-pompa, air pendinginan pada sistem primer membawa panas dari air kolam dan dipindahkan ke air pendingin sistem sekunder dengan alat pengukur panas. Selanjutnya panas dibuang melalui kontak antara air dengan udara (Suratman; 1998).

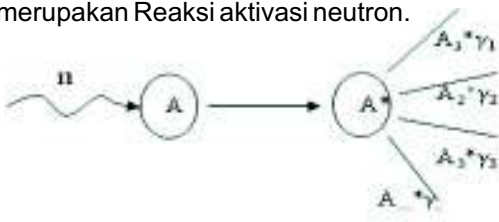
Reaktor Kartini merupakan tempat berlangsungnya reaksi fisi yang dihasilkan dari interaksi neutron dengan elemen bahan bakar reaktor. Sebuah neutron menumbuk inti U²³⁵, akan terjadi suatu inti atom majemuk yang bersifat sangat tidak stabil dan dengan segera akan menjadi dua buah inti hasil, ditambah 2 sampai 3 neutron baru disertai beberapa partikel dan energi.

Reaksi fisi pada Reaktor tampak pada Gambar 1.



Gambar 1. Reaksi fisi

Sampel limbah cair pabrik galvanis yang tidak aktif diiradiasi didalam reaktor kartini agar sampel menjadi aktif sehingga memancarkan sinar- γ . Pengaktifan ini dengan cara sampel ditembak dengan neutron. Gambar 2 merupakan Reaksi aktivasi neutron.



Gambar 2. Reaksi aktivasi neutron dengan materi

Keterangan :

n : partikel penembak (neutron.)

A : Sampel tidak aktif.

A* : Sampel aktif.

A** : Sampel aktif disertai energi.

Sinar- γ yang dihasilkan oleh sampel setelah diiradiasi akan dicacah dengan detektor HPGe dalam suatu sistem pencacahan. Pada spektrometri- γ terdapat 3 proses interaksi sinar- γ dengan materi, yaitu efek fotolistrik, efek Compton dan produksi pasangan (Pratiwi; 2004). Ketiga proses tersebut menghasilkan spektrum- γ yang bersifat unik. Masing-masing inti memiliki energi gamma yang berbeda sehingga spektrum- γ dari sampel dapat digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif (Susetyo, 1988).

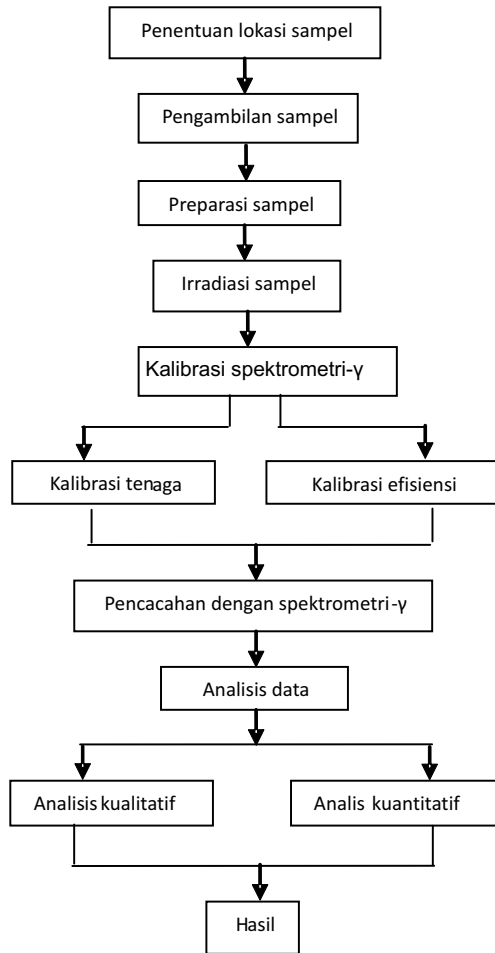
Analisis aktivasi neutron adalah suatu metode analisis yang didasarkan pada pengukuran keradio-aktifan imbas jika suatu sampel ditembak neutron dalam selang waktu tertentu. Selama mengalami penembakan neutron, sampel mengalami aktivitas peningkatan nomor massa inti atom, hal ini berarti sampel bersifat radioaktif. Aktivitas ini tidak berlangsung terus-menerus, tetapi pada suatu saat akan terjadi aktivitas jenuh (*saturation activity*). Pada kondisi ini tidak akan terjadi peningkatan nomor massa inti unsur sampel meskipun penembakan terus berlangsung. Lamanya waktu jenuh biasanya sebesar $T_{1/2}$ (waktu paruh). Setelah paparan radiasi neutron dianggap cukup, sampel dikeluarkan dari sumber neutron. Sampel tersebut sekarang mengandung unsur-unsur yang memancarkan sinar- γ sinar radio-aktif. Sinar- γ yang dipancarkan oleh berbagai unsur dalam sampel dianalisis secara spektrometri- γ karena setiap unsur dalam sampel memancarkan sinar- γ dengan karakteristik tersendiri. Analisis kualitatif dilakukan berdasarkan penentuan energi sinar- γ sedangkan analisis kuantitatif dilakukan berdasarkan penentuan intensitas sinar- γ .

Spektrometri- γ didefinisikan sebagai suatu metode pengukuran dan identifikasi unsur-unsur radioaktif di dalam suatu sampel dengan jalan mengamati spektrum karakteristik yang ditimbulkan oleh interaksi sinar- γ yang dipancarkan oleh zat-zat radio-aktif tersebut dengan detektor (Susetyo, 1988).

Spektrometri- γ adalah suatu metode pengukuran yang bersifat nisbi (relatif). Sehingga sebelum perangkat spektrometri- γ dapat dipakai untuk melakukan analisis, alat tersebut perlu dikalibrasi lebih dahulu secara cermat dan teliti. Ada dua macam kalibrasi yang perlu dilakukan, yaitu kalibrasi tenaga dan kalibrasi efisiensi.

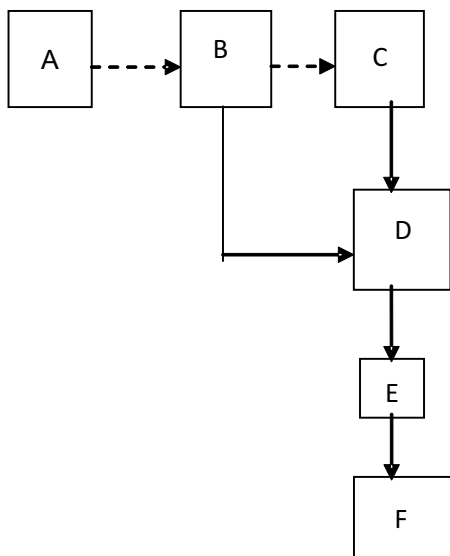
METODE

Pengumpulan data dilakukan dengan mengaktifasi sampel, mencacah sampel kemudian dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif. Gambar prosedur penelitian tampak pada Gambar 3.



Gambar 3. Prosedur penelitian

Skema pengambilan sampel limbah cair di pabrik galvanis disajikan pada Gambar 4



Gambar 4. skema pengambilan sampel

Keterangan :

- A : Pickling
- B : Rinsing I
- C : Rinsing II
- D : Rinsing I dan II

- E : Pengolahan Limbah
- F : Limbah setelah diolah
- : Aliran limbah secara langsung
- : Aliran limbah secara tidak langsung

Analisis Data

Analisis kualitatif dilakukan untuk menentukan jenis unsur dalam sampel limbah cair galvanis. Langkah analisis kualitatif sebagai berikut: (a) Menentukan tenaga-γ

$$m = \frac{A_c B_a \lambda}{\phi \cdot \tau \cdot \epsilon \cdot Y \cdot N_A} (1 - e^{-\lambda_a t}) (1 - e^{-\lambda_c t_c}) (e^{-\lambda_d t_d}) \quad (1)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pencacahan sampel berupa spektrum energi-γ. Berdasarkan spektrum energi gamma yang muncul dari hasil pencacahan sampel tersebut, maka selanjutnya dilakukan analisis kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan dengan menentukan puncak-puncak pada spektrum energi gamma. Setelah puncak-puncak pada spektrum energi ditentukan, kemudian dicocokkan dengan Neutron Activation Table, maka jenis unsur yang terkandung dalam sampel limbah cair pabrik galvanis dapat diketahui.

Analisis kualitatif pada limbah cair pabrik galvanis disajikan pada Tabel 1. dan Tabel 2.

Tabel 1. Data Kualitatif Unsur-Unsur Hasil Aktivasi Waktu Peluruhan Umur Pendek yang Terkandung di Dalam Limbah Cair Pabrik Galvanis

No	Identitas Sampel	Tenaga (KeV)	Unsur	Cps
1	Limbah cair pabrik galvanis proses pickling	847.64	Mn ⁵⁷	100.18
		1146.41	Zr ⁹⁷	50.71
		1643.28	Cl ³⁸	382.49
2	Limbah cair pabrik galvanis proses rinsing I	846.69	Mn ⁵⁷	3.09
		1145.58	Zr ⁹⁷	2.21
		1642.08	Cl ³⁸	17.47
3	Limbah cair pabrik galvanis proses rinsing II	846.48	Mn ⁵⁷	0.37
		1146.41	Zr ⁹⁷	*
		1642.17	Cl ³⁸	1.27
4	Limbah cair pabrik galvanis proses rinsing I dan II	846.36	Mn	0.80
		1145.10	Zr ⁹⁷	0.74
		1641.96	Cl ³⁸	4.42
5	Limbah cair pabrik galvanis setelah proses pengolahan	846.36	Mn	*
		1145.10	Zr ⁹⁷	*
		1641.82	Cl ³⁸	3.91

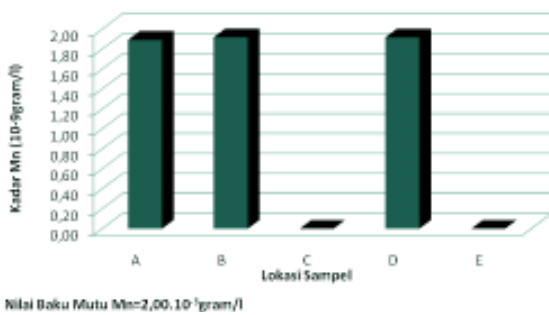
Tabel 4. Data Kuantitatif Unsur-Unsur Hasil Aktivasi Waktu Peluruhan Umur Panjang yang Terkandung di Dalam Limbah Cair Pabrik Galvanis

No	Identitas Sampel	Unsur	Kadar ± Ralat Kadar (gram/l)
1	Limbah cair pabrik galvanis proses pickling	Zn ⁶⁹	$6,65 \cdot 10^{-5} \pm 1,8 \cdot 10^{-11}$
		Br ⁸²	$1,32 \cdot 10^{-3} \pm 2,0 \cdot 10^{-11}$
		Na ²⁴	$4,19 \cdot 10^{-4} \pm 1,0 \cdot 10^{-11}$
		Fe ⁵⁹	$5,65 \cdot 10^{-5} \pm 8,0 \cdot 10^{-11}$
2	Limbah cair pabrik galvanis proses rinsing I	Zn ⁶⁹	$6,47 \cdot 10^{-6} \pm 5,6 \cdot 10^{-11}$
		Br ⁸²	$1,32 \cdot 10^{-3} \pm 1,0 \cdot 10^{-9}$
		Na ²⁴	$4,19 \cdot 10^{-4} \pm 1,2 \cdot 10^{-9}$
		Fe ⁵⁹	*
3	Limbah cair pabrik galvanis proses rinsing II	Zn ⁶⁹	$6,52 \cdot 10^{-6} \pm 6,8 \cdot 10^{-10}$
		Br ⁸²	*
		Fe ⁵⁹	*
4	Limbah cair pabrik galvanis proses rinsing I dan II	Zn ⁶⁹	$4,19 \cdot 10^{-4} \pm 7,2 \cdot 10^{-11}$
		Br ⁸²	$6,56 \cdot 10^{-6} \pm 2,8 \cdot 10^{-10}$
		Al ²⁴	$1,15 \cdot 10^{-3} \pm 9,6 \cdot 10^{-11}$
		Fe ⁵⁹	*
5	Limbah cair pabrik galvanis setelah proses pengolahan	Zn ⁶⁹	*
		Br ⁸²	*
		Na ²⁴	$4,19 \cdot 10^{-4} \pm 1,3 \cdot 10^{-10}$
		Fe ⁵⁹	*

Keterangan : * = Tidak terdeteksi

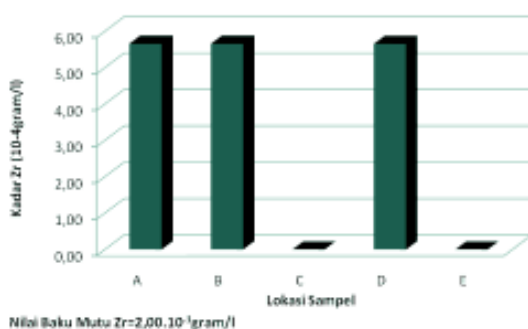
Untuk kadar unsur di atas dapat digambarkan dalam bentuk diagram sebagai berikut :

Grafik Hubungan Antara Kadar Mn Terhadap Lokasi



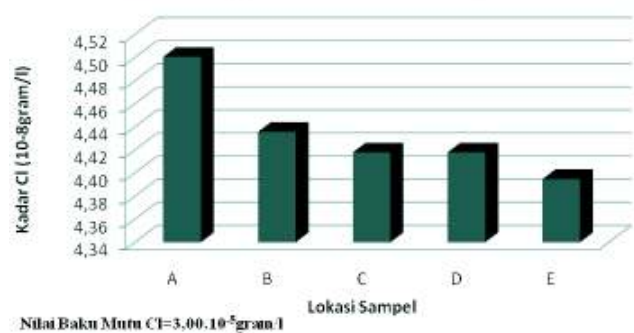
Gambar 5. Diagram Batang Kadar Unsur Mn Waktu Peluruhan Umur Pendek Pada Lokasi A, B, C,D dan E

Grafik Hubungan Antara Kadar Zr Terhadap Lokasi



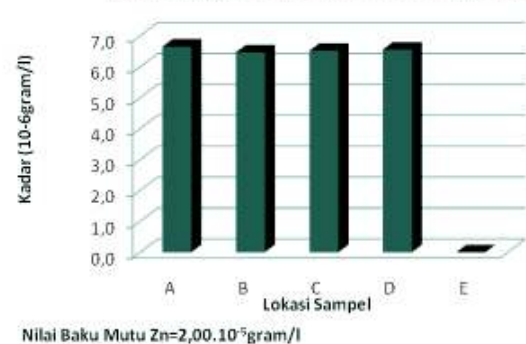
Gambar 6. Diagram Batang Kadar Unsur Zr Waktu Peluruhan Umur Pendek Pada Lokasi A, B, C,D dan E

Grafik Hubungan Antara Kadar Cl Terhadap Lokasi



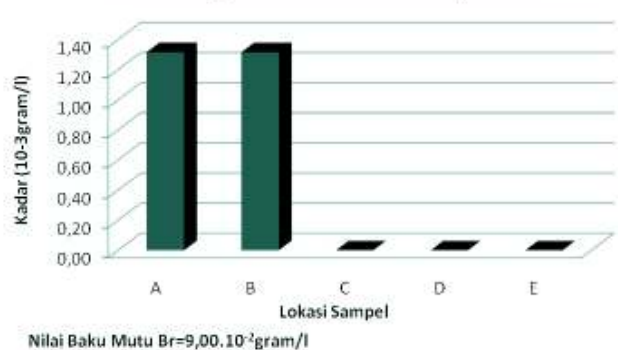
Gambar 7. Diagram Batang Kadar Unsur Cl Waktu Peluruhan Umur Pendek Pada Lokasi A, B, C,D dan E

Grafik Hubungan Antara Kadar Zn Terhadap Lokasi



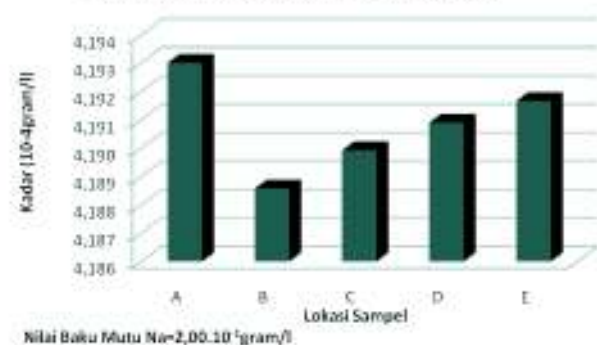
Gambar 8. Diagram Batang Kadar Unsur Zn Waktu Peluruhan Umur Panjang Pada Lokasi A, B, C,D dan E

Grafik Hubungan Antara Kadar Br Terhadap Lokasi



Gambar 9. Diagram Batang Kadar Unsur Br Waktu Peluruhan Umur Panjang Pada Lokasi A, B, C,D dan E

Grafik Hubungan Antara Kadar Na Terhadap Lokasi



Gambar 10. Diagram Batang Kadar Unsur Na Waktu Peluruhan Umur Panjang Pada Lokasi A, B, C,D dan E



Gambar 11. Diagram Batang Kadar Unsur Fe Waktu Peluruhan Umur Panjang Pada Lokasi A, B, C, D dan E
Keterangan gambar :

A : Lokasi limbah cair pabrik galvanis proses pickling.
B : Lokasi limbah cair pabrik galvanis proses rinsing I.
C : Lokasi limbah cair pabrik galvanis proses rinsing II.
D : Lokasi limbah cair pabrik galvanis proses rinsing I&II.
E : Lokasi limbah cair pabrik galvanis setelah proses pengolahan

Sampel yang telah diaktivasi kemudian dicacah. Berdasarkan Sampel yang telah diaktivasi kemudian dicacah. Berdasarkan spektrum tenaga- γ yang nampak, selanjutnya dilakukan analisa kualitatif dan analisa kuantitatif dengan berpedoman pada tabel radionuklida dan Neutron Activation Tabel. Analisis kualitatif pada sampel limbah cair pabrik galvanis diperoleh jenis unsur-unsur yaitu unsur Mangan (Mn), Zirkon (Zr), dan Chlorine (Cl) untuk waktu peluruhan umur pendek. Sedangkan untuk waktu peluruhan umur panjang yaitu unsur Seng (Zn), Bromine (Br), Natrium (Na), dan Besi (Fe). Dari tabel tersebut tampak bahwa dengan waktu peluruhan yang berbeda maka jenis unsur yang dihasilkannya juga berbeda. Hal ini terjadi karena inti radionuklida terus mengalami peluruhan dengan bertambahnya waktu aktivasi, sehingga jenis unsur yang dihasilkan juga bermacam-macam.

Untuk hasil analisis kuantitatif, yaitu penentuan kadar jenis unsur yang didapat dari analisis kualitatif, yaitu untuk waktu peluruhan umur pendek rentang kadar unsur Mn $(1,89 - 1,92) \cdot 10^{-9}$ gram/l, kadar unsur Zr $(5,65 - 5,66) \cdot 10^{-4}$ gram/l, kadar unsur Cl $(4,39 - 4,50) \cdot 10^{-8}$ gram/l. Untuk waktu peluruhan umur panjang kadar unsur Zn $(6,47 - 6,65) \cdot 10^{-5}$ gram/l, kadar Br $(1,32 - 1,35) \cdot 10^{-3}$ gram/l, kadar unsur Na $(4,18 - 4,19) \cdot 10^{-4}$ gram/l, dan kadar Fe $5,65 \cdot 10^{-5}$ gram/l.

Berdasarkan Gambar 5, dari diagram batang tersebut kadar Mn hanya terdapat pada lokasi A, B, dan C. Pada Gambar 6, dari diagram batang tersebut kadar Zr hanya terdapat pada lokasi A, B, dan C. Pada Gambar 7, dari diagram batang tersebut kadar Cl terdapat pada semua lokasi pengambilan sampel. Pada Gambar 8, dari diagram tersebut kadar Zn terdapat pada lokasi A, B, C, D dan E. Pada Gambar 9, dari diagram tersebut kadar Br

hanya terdapat pada lokasi A dan B. Pada Gambar 10, dari diagram tersebut kadar Na terdapat pada semua lokasi pengambilan sampel. Pada Gambar 11, dari diagram tersebut kadar Fe hanya terdapat pada lokasi A.

Berdasarkan kadar hasil penelitian dengan kadar baku mutu air. menurut Daftar Persyaratan Kualitas Air Minum sesuai dengan Peraturan Pemerintah Kesehatan RI No. 03 tahun 1991 dan menurut Peraturan Pemerintah Daerah Propinsi Jawa Tengah No. 10 Tahun 2004. Berdasarkan Tabel 4.6 tersebut di atas maka limbah cair pabrik galvanis dalam batas aman.

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan teridentifikasi 7 jenis unsur yang terkandung dalam limbah cair pabrik galvanis yaitu, Mangan (Mn), Zirkon (Zr), Chlorine (Cl), Seng (Zn), Bromine (Br), Natrium (Na), dan Besi (Fe) dengan kadar berturut-turut:

Tabel 5. Kandungan unsur dalam limbah pabrik cair

No.	Unsur	Kandungan (gram/l)
1.	Mn	$(1,89 - 1,92) \cdot 10^{-9}$
2.	Zr	$(5,65 - 5,66) \cdot 10^{-4}$
3.	Cl	$(4,39 - 4,50) \cdot 10^{-8}$
4.	Zn	$(6,47 - 6,65) \cdot 10^{-5}$
5.	Br	$(1,32 - 1,35) \cdot 10^{-3}$
6.	Na	$(4,18 - 4,19) \cdot 10^{-4}$
7.	Fe	$5,65 \cdot 10^{-5}$
8.	Cl	$(4,39 - 4,50) \cdot 10^{-8}$
9.	Zn	$(6,47 - 6,65) \cdot 10^{-5}$
10.	Br	$(1,32 - 1,35) \cdot 10^{-3}$
11.	Na	$(4,18 - 4,19) \cdot 10^{-4}$
12.	Fe	$5,65 \cdot 10^{-5}$

Berdasarkan kadar dari hasil penelitian dan Kadar baku mutu air menurut Daftar Persyaratan Kualitas Air Minum, maka unsur-unsur yang terkandung dalam limbah cair pabrik galvanis dalam batas aman.

Penelitian ini perlu dilakukan lebih lanjut atau dilakukan secara rutin agar dapat dipantau perkembangan pencemaran limbah cair pabrik galvanis. Pada penelitian lebih lanjut dapat menggunakan sampel limbah padat pabrik galvanis.

DAFTAR PUSTAKA

- Dwijananti, P. 2004. *Diktat Mata Kuliah Fisika Inti*. Semarang: Jurusan Fisika, FMIPA UNNES.
- Peraturan Daerah Propinsi Jawa Tengah Nomor 10 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Limbah
- Suratman. 1996. *Introduksi Proteksi Radiasi Bagi/Mahasiswa Praktek*. Yogyakarta: Batan.
- Susetyo, W. 1988. *Spektrometri Gamma dan Penerapannya dalam Analisis Pengaktifan Neutron*. Yogyakarta: UGM