



**PENENTUAN KANDUNGAN UNSUR PADA LIMBAH
RUMAH SAKIT DENGAN METODE ANALISIS
AKTIVASI NEUTRON**

Skripsi

disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
gelar Sarjana Sains Program Studi Fisika

oleh

Alwiyah
4211412057

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2017

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi dengan judul "Penentuan Kandungan Unsur Pada Limbah Rumah Sakit dengan Metode Analisis Aktivasi Neutron" telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.

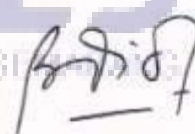
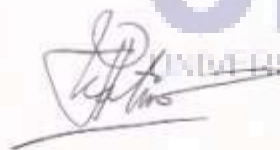
Hari : Rabu

Tanggal : 29 Maret 2017

Semarang, 29 Maret 2017

Pembimbing I

Pembimbing II



Dra. Pratiwi Dwijananti, M.Si.

Dr. Budi Astuti, M.Sc.

NIP. 196203011989012001

NIP. 197902162005012001

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi ini bebas plagiat, dan apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan.

Semarang, 29 Maret 2017



Alwiyah

4211412057

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

**Penentuan Kandungan Unsur Pada Limbah Rumah Sakit dengan
Metode Analisis Aktivasi Neutron**

disusun oleh

Alwiyah

4211412057

telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA Unnes pada
tanggal 29 Maret 2017



Prof. Dr. Zaenuri, S.E., M.Si.,Akt.

NIP.196412231988031001

Sekretaris

Dr. Suharto Limwih, M.Si.

NIP.196807141996031005

Ketua Penguji

Prof. Dr. Susilo M.S.

NIP. 195208011976031006

Anggota Penguji/

Pembimbing I

Dra. Pratiwi Dwijananti, M.Si.

NIP. 196203011989012001

Anggota Penguji/

Pembimbing II

Dr. Budi Astuti, M.Sc.

NIP. 197902162005012001

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan yang lain). Dan hanya kepada Tuhan-Mu lah hendaknya kamu berharap.

(Q.S. Al Insyirah: 6-8)

Janganlah bekerja keras, tapi bekerja lah dengan bijak.

Persembahan

Skripsi ini kupersembahkan kepada Allah,
Bapak, Ibu, dan Adik-Adik.



UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PRAKATA

Bismillahirrahmanirrahim,

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Penentuan Kandungan Unsur Pada Limbah Rumah Sakit dengan Metode Analisis Aktivasi Neutron” dengan baik. Skripsi ini merupakan salah satu syarat wajib dalam memenuhi tugas pelaksanaan perkuliahan jenjang Sarjana (S1) di Program Studi Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Zaenuri S.E., M.Si., Akt., dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang;
2. Dr. Suharto Linuwih M.Si., ketua jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang;
3. Dr. Mahardika Prasetya Aji, M.Si., ketua program studi Fisika, Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang;
4. Dra. Pratiwi Dwijananti, M.Si., dosen pembimbing I yang telah membimbing dengan penuh kesabaran serta meluangkan waktu untuk memberi masukan, saran, dan motivasi dalam proses penyusunan skripsi;
5. Dr. Budi Astuti, M.Sc., dosen pembimbing II yang dengan sabar membimbing, mengarahkan, memberikan saran, kepada penulis hingga terselesaikannya skripsi ini;
6. Sukirno dan Dwi Purnama, laboran BATAN, yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan penelitian di laboratorium;
7. Widya Kresna, penanggung jawab IPAL di Rumah Sakit Bhakti Wira Tamtama, yang telah banyak membantu dalam penyediaan sampel dan berdiskusi;
8. Bapak, Mamah, dan adik-adik yang telah memberikan bantuan baik bantuan secara materi, spiritual, motivasi, doa, dukungan kepada penulis dan selalu menjadi tempat ternyaman dalam setiap keadaan;

9. Lela, Herdita, Dodoh, Ayu, Dian, Dwi, Asti, Miftachul, Diah, Saum, Uti Syifa dan Mba Mini yang senantiasa memberikan, motivasi, pikiran, serta doa mereka untuk selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan skripsi ini;

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari sempurna karena adanya keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki penulis sendiri. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun dari semua pihak senantiasa penulis harapkan. Akhir kata, penulis hanya berharap semoga karya kecil ini dapat memberikan manfaat bagi para pembacanya.

Semarang, 29 Maret 2017

Alwiyah



UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

ABSTRAK

Alwiyah. 2017. *Penentuan Kandungan Unsur pada Limbah Rumah Sakit dengan Metode Analisis Aktivasi Neutron*. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing utama Dra. Pratiwi Dwijananti, M.Si. dan pembimbing pendamping Dr. Budi Astuti, M.Sc.

Kata kunci : Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), Radioaktivitas, AAN

Penghasil limbah B3 terbesar berasal dari limbah rumah sakit. Limbah tersebut berasal dari aktivitas pengobatan yang dilakukan dan kegiatan laboratorium. Untuk mencegah agar limbah tersebut tidak mencemari lingkungan di sekitar rumah sakit maka dilakukan monitoring terhadap sistem instalasi pengolahan limbah yang terdapat di rumah sakit. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan unsur yang terkandung di dalam air limbah rumah sakit dan menghitung kadar unsur tersebut. Metode yang digunakan adalah metode analisis aktivasi neutron yang dilakukan di BATAN Yogyakarta. Metode analisis aktivasi neutron dibagi menjadi 2 tahapan yaitu mengaktivasi sampel menggunakan sumber neutron dari reaktor kartini, kemudian dicacah menggunakan seperangkat alat spektrometer gamma dengan detektor HPGe. Selanjutnya analisis kualitatif dan kuantitatif dengan cara mencocokkan puncak spektrum gamma dengan *Neutron Activation Table*. Sampel yang digunakan diambil di lokasi 4 titik sekitar instalasi pengolahan air limbah rumah sakit tentara Bhakti Wira Tamtama Semarang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampel limbah cair mengandung unsur Cr, Zn, Fe, Co, dan Na, dengan kadar masing-masing unsur adalah Cr (0,033 - 0,075) mg/L, Zn (0,090 - 1,048) mg/L, Fe (2,937 - 37,743) mg/L, Co (0,005 - 0,023) mg/L, dan Na (61, 088 - 116, 330) mg/L. Jika dibandingkan dengan batas ambang yang telah ditentukan, hasil tersebut masih dalam batas aman, tetapi perlu dilakukan pengkajian ulang di instalasi pengolahan air limbah.



ABSTRACT

Alwiyah. 2017. *Determination of Content Elements on Hospital Waste Method with Neutron Activation Analysis*. Final Project. Physics Department, Mathematics and Science Faculty, Semarang State University. First Supervisor: Dra. Pratiwi Dwijananti, M.Si. and second Advisor: Dr. Budi Astuti, M.Sc.

Keywords: Wastewater Treatment Plant (WWTP), Radioactivity, AAN

The B3 waste producers came from hospital waste. The waste came from medical activities performed and laboratory activities. To prevent this waste does not pollute the environment around the hospital then conducted monitoring of the system of sewage treatment plants that are in the hospital. The purpose of this study was to determine the elements contained in the waste water, hospital and calculate the levels of these elements. The method used is the method of neutron activation analysis conducted at BATAN Yogyakarta. Method of neutron activation analysis is divided into two stages, namely activation of the samples using neutron sources of reactor Kartini, then chopped using a set of tools gamma spectrometer with HPGe detector, qualitative and quantitative analysis by means of matching the gamma spectrum peak by Neutron Activation Table. The sample used in the location taken four points around the wastewater treatment plant Bhakti Wira Tamtama hospital. The results showed that the samples of wastewater containing elements of Cr, Zn, Fe, Co, and Na, with the levels of each element is Cr (0.033 - 0.075) mg / L, Zn (0.090 - 1.048) mg / L, Fe (2.937 - 37.743) mg / L, Co (0.005 - 0.023) mg / L, and Na (61, 088 - 116, 330) mg / L. Compared to standart value,, the results are safe the environment.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PERNYATAAN	iii
PENGESAHAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
PRAKATA	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB	
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan Skripsi.....	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Pencemaran Limbah Rumah Sakit	8
2.1.1 Limbah Rumah Sakit	8

2.1.2	Logam Berat	11
2.2	Metode Analisis Aktivasi Neutron	13
2.3	Neutron	15
2.3.1	Sumber Neutron.....	15
2.3.2	Reaktor TRIGA Kartini	16
2.3.3	Interaksi Neutron dengan Bahan Pada Proses Iradiasi	22
2.4	Radioaktivitas	23
2.4.1	Kaidah Hukum Radioaktivitas.....	24
2.4.2	Aktivitas.....	24
2.5	Spektrometer Gamma	27
2.5.1	Prinsip Kerja	27
2.5.2	Bagian Alat	27
2.5.3	Kalibrasi Spektrometer Gamma	31
2.5.4	Interaksi Sinar Gamma dengan Materi.....	34
III.	METODE PENELITIAN	35
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian.....	35
3.1.1	Waktu dan Tempat Pengambilan Sampel	35
3.1.2	Waktu dan Tempat Aktivasi dan Pencacahan.....	35
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	35
3.2.1	Alat	35
3.2.2	Bahan	36
3.3	Prosedur Penelitian	36
3.3.1	Penyediaan dan Preparasi Sampel	36
3.3.2	Iradiasi Sampel	38
3.3.3	Pencacahan Sampel	38
3.3.4	Metode Analisis Data	39

3.4	Diagram Alir Penelitian	42
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1	Kalibrasi Spektrometer Gamma	43
4.1.1	Kalibrasi Energi	43
4.1.2	Kalibrasi Efisiensi	45
4.2	Hasil Analisis	47
4.2.1	Logam Kromium (Cr)	48
4.2.2	Logam Seng (Zn)	50
4.2.3	Logam Besi (Fe)	51
4.2.4	Logam Kobal (Co)	53
4.2.5	Logam Natrium (Na)	55
V.	PENUTUP	57
5.1	Kesimpulan	57
5.2	Saran	57
	DAFTAR PUSTAKA	59
	Lampiran	62



DAFTAR TABEL

Tabel

Halaman

2.1	Baku Mutu Air Limbah Bagi Fasilitas Pelayanan Kesehatan Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014...12
4.1	Data Hasil Pencacahan Kalibrasi Energi44
4.2	Data Hasil Pencacahan Kalibrasi Efisiensi45
4.3	Hasil Analisis Kuantitatif pada Sampel Limbah Cair.....48



DAFTAR GAMBAR

Gambar		
Halaman		
2.1	Proses Reaksi Nuklir pada Analisis Aktivasi Neutron	14
2.2	Prinsip Dasar Analisis Aktivasi Neutron pada Merkuri	14
2.3	Urutan Proses Fisi yang Khas	17
2.4	Simulator Reaktor	18
2.5	Skematik Fasilitas Eksperimen Reaktor Kartini	19
2.6	Perangkat Spektrometer Gamma	28
2.7	Detektor HPGe	29
2.8	Grafik Hubungan Antara Laju Cacah dan Nomor Salur	31
2.9	Kurva Kalibrasi Energi	32
3.1	Alur Pengolahan Limbah Cair	37
3.2	Diagram Alir Penelitian	42
4.1	Grafik Hubungan antara Nomor Salur dengan Energi	44
4.2	Grafik Hubungan Energi dengan Efisiensi	46
4.3	Kadar Unsur Cr pada Sampel Limbah Cair di Rumah Sakit Bhakti Wira Tamtama	48
4.4	Kadar Unsur Zn pada Sampel Limbah Cair di Rumah Sakit Bhakti Wira Tamtama	50
4.5	Kadar Unsur Fe pada Sampel Limbah Cair di Rumah Sakit Bhakti Wira Tamtama	52
4.6	Kadar Unsur Co pada Sampel Limbah Cair di Rumah Sakit Bhakti Wira Tamtama	53
4.7	Kadar Unsur Na pada Sampel Limbah Cair di Rumah Sakit Bhakti	



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran

Halaman

1.	Perhitungan Kalibrasi Efisiensi	62
2.	Hasil Analisis Logam Berat di Rumah Sakit Bhakti Wira Tamtama	65
3.	Contoh Perhitungan Kadar Unsur pada Sampel limbah cair di Rumah Sakit Bhakti Wira Tamtama dengan waktu iradiasi selama 12 jam	68
5.	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah	70
6.	<i>Neutron Activation Table</i>	72
6.	Dokumentasi Penelitian	75



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pembangunan yang dilakukan secara besar-besaran di Indonesia tanpa disadari telah mengakibatkan meningkatnya penggunaan Bahan Berbahaya Beracun (B3). Selama tiga dekade terakhir, penggunaan B3 ini, seperti limbah bahan kimia kadaluwarsa di Indonesia semakin meningkat dan tersebar luas di semua sektor apabila tidak dikelola dengan baik, maka dapat menimbulkan kerugian terhadap kesehatan manusia, makhluk hidup dan lingkungan hidup, seperti pencemaran udara, tanah, air dan laut (PP No 74 tahun 2001). Rumah sakit merupakan salah satu penghasil limbah B3 yang berasal dari seluruh aktivitas yang dilakukan di rumah sakit dan kegiatan laboratorium lainnya. Air limbah yang berasal dari rumah sakit merupakan salah satu sumber pencemaran air yang sangat potensial. Hal ini disebabkan karena air limbah rumah sakit mengandung senyawa organik yang cukup tinggi, senyawa-senyawa kimia yang berbahaya, serta mengandung mikroorganisme yang dapat menyebabkan penyakit (Sumiyati, 2007).

Pengelolaan dan penanganan limbah rumah sakit sudah sangat mendesak dan menjadi perhatian internasional. Isu ini telah menjadi agenda pertemuan

internasional yang penting. Tanggal 10 Agustus 2007 telah dilakukan pertemuan *High Level Meeting on Environmental and Health South-East and East Asean Contries* di Bangkok yang membahas tentang penanganan limbah yang berkaitan dengan limbah domestik dan limbah medis (UNEP, 2007).

Pemeriksaan kualitas limbah hanya dilakukan oleh 57,5% rumah sakit dan dari rumah sakit yang melakukan pemeriksaan tersebut, 63% telah memenuhi syarat baku mutu (Kemenkes RI, 2014). Untuk mewujudkan hasil yang lebih baik, maka perlu dilakukan pemeriksaan bagi rumah sakit yang belum memenuhi standar baku mutu agar pelayanan kesehatan lebih meningkat.

Jenis limbah rumah sakit juga memiliki rentang dari berbagai bahan organik, bahan berbahaya, radioaktif bahkan bakteri atau mikroba patogenik. Kondisi lingkungan rumah sakit yang tidak baik akan secara langsung mempengaruhi kesehatan lingkungan, tidak hanya itu, limbah rumah sakit yang sudah diolah tetapi belum memenuhi batas ambang yang diizinkan akan dapat mengganggu kesehatan masyarakat sekitar juga. Oleh karena itu, diperlukan perhatian bagi rumah sakit terhadap aspek kesehatan lingkungan karena faktor kesehatan lingkungan inilah yang mempunyai andil dalam timbulnya kejadian infeksi silang/*nosocomial* (BPPT, 2014). Rumah sakit bertanggung jawab terhadap pengelolaan limbah klinis yang dihasilkannya. Strategi yang dibuat harus menjamin semua limbah dibuang dengan aman. Hal ini terutama berlaku untuk limbah berbahaya seperti radioaktif, sitoksik, dan infeksius. Oleh karena itu, penentuan kandungan unsur pada limbah rumah sakit sangat dibutuhkan untuk bisa melihat seberapa besar tingkat bahayanya sehingga dengan cepat dan tepat

dilakukan tindakan untuk mengurangi atau mencegah pencemaran ataupun gangguan kesehatan yang dapat diderita oleh masyarakat sekitar.

Rumah Sakit Tingkat III Bhakti Wira Tamtama Semarang merupakan rumah sakit peninggalan Belanda yang bernama Militer Hospital Yuliana didirikan tahun 1925. Rumah sakit ini telah mengalami beberapa kali perubahan nama dan status, sejak tahun 1993 berdasarkan Surat Keputusan Pangdam nomor : Skep / 283-04 / X / 1993 tanggal 30 Oktober 1993 menjadi rumah sakit tingkat III / tipe C dan melayani umum (Profil Rumah Sakit Bhakti Wira Tamtama,1994). Rumah sakit Bhakti Wira Tamtama sudah memiliki Instalansi Pengolahan Air Limbah (IPAL) sederhana dengan 3 saluran awal dan 1 saluran utama yang langsung menuju proses pengolahan. IPAL tersebut belum mempunyai standar syarat baku mutu dikarenakan belum adanya penelitian resmi yang dilakukan.

Metode untuk mengetahui kandungan unsur-unsur yang terdapat dalam limbah rumah sakit ada banyak sekali, diantaranya yaitu *X-Ray Fluorescence* atau secara kimia dengan penentuan pH, akan tetapi dalam penelitian ini menggunakan metode Analisis Aktivasi Neutron (AAN). Rumah Sakit Umum Pemerintah daerah Klaten pada tahun 2006 telah lebih dulu melakukan penelitian dengan metode AAN dan, didapatkan bahwa limbah air rumah sakit mengandung unsur Cl, dan Al untuk waktu peluruhan pendek, sementara untuk waktu peluruhan panjang didapat unsur Br dan Na (Niati *et al.*, 2006). Pada tahun 2012 badan tenaga nuklir bagian akselerator melakukan penelitian juga menggunakan metode AAN dalam menentukan kandungan logam yang terdapat dalam air limbah pada

lima rumah sakit di daerah Yogyakarta, dan ditemukan unsur Co dan Cr didalam air limbah tersebut (Murniasih & Sukirno, 2012).

AAN adalah salah satu teknik analisis nuklir yang memiliki keunggulan seperti waktu yang relative singkat dalam mengidentifikasi unsur-unsur yang terkandung dalam suatu limbah, tidak merusak sampel, dan juga mempunyai batasan deteksi yang luas (IAEA, 2001). Keunggulan tersebut membuat metode AAN banyak digunakan dalam penelitian, termasuk dalam penelitian ini.

1.1 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Unsur-unsur apa saja yang terdapat pada sampel air limbah rumah sakit Bhakti Wira Tamtama Semarang?
2. Berapa kadar dari unsur-unsur tersebut dengan menggunakan metode analisis aktivasi neutron?

1.2 Batasan Masalah

Masalah yang diuraikan dalam penelitian ini dibatasi oleh:

1. Kadar yang diperoleh dalam penelitian ini merupakan perbandingan massa unsur yang terdeteksi dengan massa sampel.

2. Neutron yang digunakan untuk aktivasi dalam penelitian ini adalah neutron termal.

2.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menentukan unsur-unsur yang terkandung dalam limbah air rumah sakit Bhakti Wira Tamtama Semarang.
2. Menghitung kadar dari setiap unsur yang ada didalam limbah air rumah sakit Bhakti Wira Tamtama Semarang.

1.5 Manfaat Penelitian

Peneitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat sebagai berikut :

1. Dapat memberikan informasi bagi rumah sakit Bhakti Wira Tamtama Semarang serta masyarakat sekitar tentang unsur dan besar kadar yang terkandung dalam limbah air rumah sakit, sehingga ketika tidak memenuhi syarat baku mutu akan segera ditindaklanjuti agar ada perbaikan dalam pengelolaan air limbah rumah sakit.
2. Memperoleh pengetahuan tentang pengujian limbah air rumah sakit dengan metode analisis aktivasi neutron.
3. Meningkatkan keilmuan mahasiswa di bidang kesehatan lingkungan, keselamatan kerja serta teknologi.

1.6 Sistematika Skripsi

Skripsi ini dibuat dengan sistematika penyusunan sebagai berikut:

1. Bagian awal

Bagian ini berisi lembar judul, persetujuan pembimbing, pengesahan, pernyataan, motto dan persembahan, kata pengantar, abstrak, daftar isi, daftar tabel, daftar gambar, dan daftar lampiran.

2. Bagian isi

Bagian ini terdiri dari lima bab meliputi:

a. Bab I, Pendahuluan

Berisi alasan pemilihan judul yang melatarbelakangi masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika skripsi.

b. Bab II, Tinjauan Pustaka

Berisi kajian materi yang mendasari dan menunjang penelitian.

c. Bab III, Metode Penelitian

Berisi metode yang digunakan dalam penelitian meliputi tempat dan waktu penelitian, tempat dan waktu pengambilan sampel, alat dan bahan penelitian, serta prosedur penelitian.

d. Bab IV, Hasil dan Pembahasan

Menyajikan hasil yang diperoleh dalam penelitian meliputi semua unsur yang terkandung dalam sampel, kadar unsur tersebut dalam sampel, tingkat keamanan sampel untuk lingkungan sekitar

e. Bab V, Penutup

Berisi kesimpulan hasil penelitian dan saran sebagai implikasi dari hasil penelitian.

3. Bagian akhir

Berisi daftar pustaka dan lampiran.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Limbah Rumah Sakit

Pencemaran atau polusi adalah suatu kondisi yang telah berubah dari bentuk asal pada keadaan yang lebih buruk. Pergeseran bentuk tatanan dari kondisi asal pada keadaan yang lebih buruk ini dapat terjadi sebagai akibat masukan dari bahan-bahan pencemar atau polutan. Bahan polutan tersebut pada umumnya mempunyai sifat racun yang berbahaya bagi organisme hidup. Toksisitas atau daya racun dari polutan itulah yang kemungkinan menjadi pemicu terjadinya pencemaran (Palar, 1994:10).

2.1.1 Limbah Rumah Sakit

Menurut Siregar (2004), rumah sakit adalah suatu organisasi yang kompleks, menggunakan gabungan alat ilmiah khusus dan rumit, dan difungsikan oleh berbagai kesatuan personal terlatih dan terdidik dalam menghadapi dan menangani masalah medik modern, yang semuanya terikat bersama-sama dalam maksud yang sama, untuk pemulihan dan pemeliharaan kesehatan yang baik.

Sumber limbah rumah sakit adalah semua limbah yang dihasilkan dari kegiatan rumah sakit dalam bentuk padat, cair dan gas. Menurut Keputusan

Menteri Kesehatan Indonesia, berdasarkan bahaya atau tidaknya limbah rumah sakit tersebut dapat digolongkan menjadi limbah medis dan non medis.

1. Limbah Medis

Limbah medis adalah limbah yang terdiri dari limbah infeksius, limbah patologi, limbah benda tajam, limbah farmasi, limbah citotoksis, limbah kimia, limbah radioaktif, limbah kontainer bertekanan, dan limbah dengan kandungan logam berat yang tinggi. Bentuk limbah klinis bermacam-macam dan berdasarkan potensi yang terkandung didalamnya dapat dikelompokkan sebagai berikut: (Depkes, 2002:71).

a. Limbah infeksius

Limbah infeksius adalah limbah yang berkaitan dengan pasien yang memerlukan isolasi penyakit menular (perawatan intensif) atau limbah laboratorium yang berkaitan dengan pemeriksaan mikrobiologi dari poliklinik dan ruangan perawatan atau isolasi penyakit menular (Depkes, 2002:73). Limbah infeksius dapat mengandung berbagai macam mikroorganisme patogen. Mikroorganisme patogen tersebut dapat memasuki tubuh manusia melalui beberapa jalur antara lain: akibat tusukan, luka dikulit, melalui pernafasan, atau melalui ingesti (Pruss, 2005:21).

b. Limbah jaringan tubuh (patologis)

Limbah jaringan tubuh meliputi organ, anggota badan, placenta, darah, cairan tubuh, janin manusia dan bangkai hewan (Pruss, 2005:4). Jaringan tubuh yang tampak nyata seperti anggota badan dan placenta yang tidak

memerlukan pengesahan penguburan hendaknya dikemas secara khusus, diberi label dan dibuang ke *incinerator* di bawah pengawasan petugas berwenang. Cairan tubuh, terutama darah dan cairan yang terkontaminasi berat oleh darah harus diperlakukan dengan hati-hati (Depkes, 2002:73).

c. Limbah benda tajam

Limbah benda tajam adalah objek atau alat yang memiliki sudut tajam, sisi, ujung atau bagian menonjol yang dapat memotong atau menusuk kulit, seperti jarum hipodermik, perlengkapan intravena, pipet, pecahan gelas dan pisau bedah. Limbah benda tajam mempunyai potensi bahaya tambahan yang dapat menyebabkan infeksi atau cedera karena mengandung bahan kimia beracun atau radioaktif. Potensi untuk menularkan penyakit akan sangat besar bila benda tajam tadi digunakan untuk pengobatan infeksi atau penyakit infeksi (Depkes, 2002:72)

d. Limbah radioaktif

Limbah radioaktif adalah bahan yang terkontaminasi dengan radioisotop yang berasal dari penggunaan media atau riset radionuklida. Limbah ini termasuk limbah yang berasal dari proses uji laboratorium. Bahan-bahan yang digunakan dalam proses uji laboratorium tidak bisa diurai hanya dengan aerasi atau *activated sludge* karena mengandung logam berat dan infeksius, sehingga harus disterilisasi dan dimonitoring sebelum dikategorikan menjadi limbah tak berbahaya.

2. Limbah Non Medis

Limbah non medis adalah limbah yang dihasilkan dari kegiatan di rumah sakit di luar medis yang berasal dari dapur, perkantoran, taman dan halaman yang dapat dimanfaatkan kembali apabila ada teknologinya. Sekitar 75-90% limbah non medis padat merupakan limbah yang tidak mengandung resiko dan 10-25% merupakan limbah medis padat yang dipandang berbahaya dan dapat menimbulkan berbagai jenis dampak kesehatan bagi petugas, pengunjung dan lingkungan (Pruss, 2005:3). Dari sekian banyak jenis limbah medis dan non medis maka yang membutuhkan perhatian khusus adalah limbah medis yang dapat menyebabkan penyakit menular. Limbah ini biasanya hanya 10-15% dari seluruh limbah kegiatan pelayanan kesehatan.

2.1.2 Logam Berat

Logam berat masih termasuk golongan logam dengan kriteria-kriteria yang sama dengan logam-logam lain tetapi dia memiliki massa jenis lebih besar dari 5 g/cm^3 . Perbedaannya juga terletak dari pengaruh yang dihasilkan bila logam berat ini berikatan dan atau masuk kedalam tubuh organisme hidup. Menurut Palar (1994:25), logam berat biasanya menimbulkan efek-efek khusus pada makhluk hidup seperti meracuni makhluk hidup karena logam berat memiliki daya racun yang mematikan terhadap organisme pada kondisi yang berbeda-beda. Logam berat termasuk dalam kelompok zat pencemar adalah karena adanya sifat-sifat

logam berat yang tidak dapat terurai dan mudah diabsorpsi (Zhuang *et al*, 2016).

Logam berat bersifat toksik dan membahayakan makhluk hidup lainnya.

Toksisitas logam berat dapat dibedakan ke dalam 3 kelompok, yaitu :

1. Toksik tinggi, meliputi Hg, Cd, Pb, Cu, dan Zn.
2. Toksik menengah, meliputi Cr, Ni, dan Co.
3. Toksik rendah, meliputi Mn, dan Fe.

Adanya logam berat di lingkungan menimbulkan bahaya terhadap kehidupan organisme secara langsung dan menimbulkan efek secara tidak langsung terhadap kesehatan manusia. Jika logam berat terakumulasi pada tanaman, maka dapat membahayakan manusia yang mengkonsumsi makanan tersebut. Logam berat juga dapat terakumulasi dalam sedimen termasuk limbah yang berasal dari rumah sakit, maka dari itu menteri lingkungan hidup menetapkan baku mutu untuk kandungan logam berat yang terdapat dalam limbah rumah sakit. Baku mutu tersebut ditunjukkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah Bagi Fasilitas Pelayanan Kesehatan Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014

Parameter	Nilai	Satuan
Fe	5	mg/L
Mn	2	mg/L
Ba	2	mg/L
Cu	2	mg/L
Zn	5	mg/L
Cr	0.5	mg/L
Cd	0,05	mg/L
Hg	0,002	mg/L
Pb	0,1	mg/L
Sn	2	mg/L
Co	0,4	mg/L

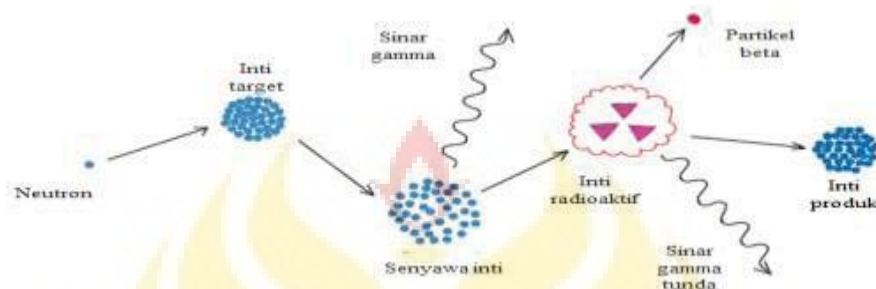
Tabel 2.1 adalah baku mutu untuk air limbah rumah sakit, dimana nilai tersebut merupakan nilai maksimum bagi fasilitas pelayanan kesehatan yang melakukan pengelolaan limbah bahan berbahaya beracun, hasil pengolahan yang disalurkan ke lingkungan harus memenuhi baku mutu tersebut. Untuk baku mutu yang lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 4.

2.2 Metode Analisis Aktivasi Neutron

Analisis Aktivasi Neutron (AAN) merupakan metode penentuan kualitatif dan kuantitatif unsur berdasarkan pengukuran karakteristik radiasi dari radionuklida yang terbentuk secara langsung atau tidak langsung oleh iradiasi neutron bahan. Sumber neutron yang tepat biasanya dari reaktor penelitian nuklir. Sensitivitas dan akurasi dalam analisis aktivasi neutron banyak diterapkan pada ilmu lingkungan, kesehatan, gizi, geologi, geokimia, ilmu material, arkeologi, forensik, dan pengukuran data nuklir.

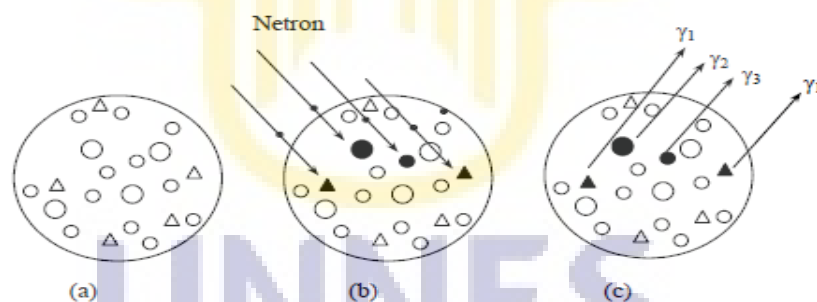
AAN adalah suatu teknik analisis multi-elemen kuantitatif besar, kecil, jejak, dan unsur langka, yang ditemukan pada tahun 1936. Pada metode analisis ini sampel dipapari dengan neutron dalam reaktor nuklir atau sumber neutron lainnya. Inti stabil dalam sampel akan menyerap satu neutron sehingga berubah menjadi inti radioaktif. Inti radioaktif akan memancarkan sinar gamma dengan energi tertentu yang menunjukkan adanya elemen tertentu. Pada analisis aktivasi neutron yang khas, nuklida stabil (AZ , inti target) sampel bereaksi menangkap neutron pada satu fluks dari neutron. Selanjutnya menghasilkan nuklida radioaktif (${}^{A+1}Z$, inti senyawa) dari proses aktivasi dengan menghasilkan emisi partikel beta

dan sinar gamma dengan waktu paro tertentu. Spektrometer sinar gamma dengan resolusi tinggi digunakan untuk mendeteksi sinar gamma tunda dalam sampel untuk analisis kualitatif dan kuantitatif (Win, 2004). Proses reaksi nuklir pada analisis aktivasi neutron ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Proses Reaksi Nuklir Pada Analisis Aktivasi Neutron

Reaksi inti pada analisis aktivasi neutron yang terjadi pada unsur Hg ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Prinsip Dasar Analisis Aktivasi Neutron pada Hg
(Kurniawan, 2003).

- Sampel terdiri atas bahan dasar (O),(O), dan unsur kelumit (Δ).
- Sampel di iradiasi dengan neutron termal dan membuat beberapa atom menjadi radioaktif (● , ● ,dan ▲)
- Sinar gamma yang dipancarkan oleh sampel menghasilkan data kualitatif dan kuantitatif unsur-unsur dalam sampel.

2.3 Neutron

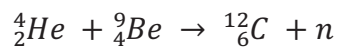
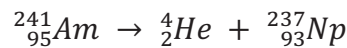
Menurut Susetyo (1988), neutron adalah zarah elementer penyusun inti atom yang tidak mempunyai muatan listrik. Massa diam sebuah neutron hampir sama dengan massa sebuah proton, yaitu sebesar $1,67492 \times 10^{-24}$ gram. Cacah neutron dalam inti atom biasa dilambangkan dalam huruf N. Perbandingan cacah neutron dan proton (N/Z) sangat menentukan kestabilan sebuah inti atom. Neutron merupakan penyusun yang diperlukan dari inti atomik (Beiser, 1986).

Neutron dapat dibedakan menjadi empat jenis berdasarkan energinya (Krane, 1992) :

1. Neutron termal, energinya sekitar 0,025 eV
2. Neutron epitermal, energinya sekitar 1 eV
3. Neutron lambat, energinya sekitar 1 keV
4. Neutron cepat, energinya diatas 100 keV

2.3.1 Sumber Neutron

Sumber neutron yang digunakan untuk start-up reaktor Kartini adalah americium-241 berilium (AmBe), merupakan sumber neutron isotropik. Neutron yang dihasilkan dari isotop radioaktif yang berinteraksi dengan bahan sasaran, AmBe merupakan neutron isotropik dari reaksi alfa yang terjadi. Reaksi tersebut yaitu :



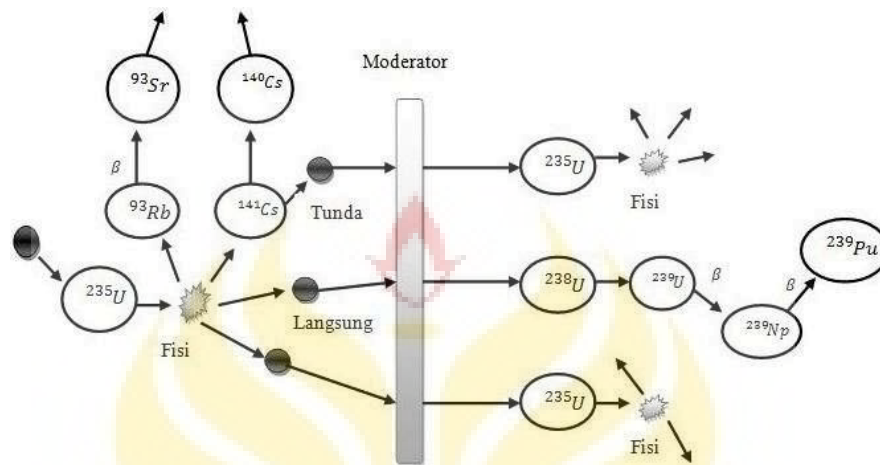
Sumber neutron dimasukkan dalam suatu tempat berbentuk silinder dari aluminium (*Neutron Source Holder*), berdiameter 3,7 cm dan tinggi 72,0 cm. Sumber neutron tersebut dimasukkan dalam teras reaktor pada salah satu lubang kisi teras. Sumber neutron AmBe bisa tetap berada di dalam teras setelah reaktor mencapai kritis (Batan, 2012).

2.3.2 Reaktor TRIGA Kartini

Reaktor Kartini merupakan reaktor TRIGA MARK II (*Training, Research and Isotop Production by General Atomic*) tipe kolam terbuka dengan sistem pendinginan dari sirkulasi alam, yaitu panas yang dikeluarkan oleh bahan bakar diterima oleh air yang berada di sela antar bahan bakar yang oleh karena menerima panas, kemudian air panas tersebut bergerak menuju ujung atas bahan bakar dan kemudian keluar melalui sirip bahan bakar dan *gridplate* teras kemudian bercampur dengan air kolam reaktor. Karena air pada sela antar bahan bakar tersebut bergerak keatas maka terjadi pengisiran air dari bagian bawah bahan bakar kemudian mengalami proses yang sama seperti air yang mengalami pemanasan sebelumnya. Reaktor Kartini mempunyai daya maksimum 250 kW dan dioperasikan pada daya nominal 100 kW. Reaktor Kartini dioperasikan untuk keperluan iradiasi, AAN, penelitian, dan latihan personil (Rohman, 2009).

Panas didalam teras ditimbulkan oleh reaksi fisi berantai yang terjadi selama reaktor beroperasi. Reaksi tersebut dapat terjadi karena ada sejumlah bahan bakar

yang mengalami syarat masa kritis dan tersedia batang kendali sebagai pengendali populasi neutron dan kekritisannya. Skema reaksi fisi yang terjadi dalam reaktor disajikan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Urutan Proses Fisi yang Khas (Krane, 1992).

Pada Gambar 2.3 terdapat sebuah inti U-235 menyerap sebuah neutron dan mengalami fisi. Hasil fisi diantaranya adalah pemancaran dua neutron langsung dan satu neutron tunda. Setelah melewati moderator, kedua neutron langsung menyebabkan dua fisi baru.

Sebagai bahan bakar adalah paduan/alloy UZrH (uranium zirkonium hidrida) yang mempunyai kandungan uranium 8,5% berat, dan uranium tersebut telah diperkaya dengan isotop U-235 sebesar 20% berat. Bahan bakar tersebut berada dalam kelongsong SS304 membentuk batang bahan bakar standar reaktor Triga. Ukuran bahan bakar adalah panjang keseluruhan 73 ~ 75 cm, diameter luar 3,7 cm, dan panjang aktif bahan bakar adalah 38 cm. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa zirkonium hidrida memiliki mekanisme dasar untuk menghasilkan karakteristik *inherent safety* yang diinginkan. Karakteristik ini dihasilkan oleh sifat hidrida yang dapat bermigrasi menuju region dingin dan

meninggalkan region panas di dalam batang zirkonium hidrida bilamana terjadi gradien temperatur. Proses migrasi tersebut mempengaruhi sifat moderasi neutron pada daerah panas dan dingin apabila zirkonium hidrida ini dijadikan bahan campuran dalam bahan bakar reaktor. Sebagai campuran dalam bahan bakar reaktor sifat migrasi hidrogen ini dapat menimbulkan efek reaktivitas negatif suhu yang menjadi fitur *inherent safety* pada bahan bakar reaktor TRIGA (Batan, 2012).

Reaktor Kartini tersusun dari tiga bagian penting yaitu, teras reaktor, sistem kendali, dan sistem informasi proses. Telah dibuat simulator dari bagian-bagian penting dalam reaktor kartini, yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.

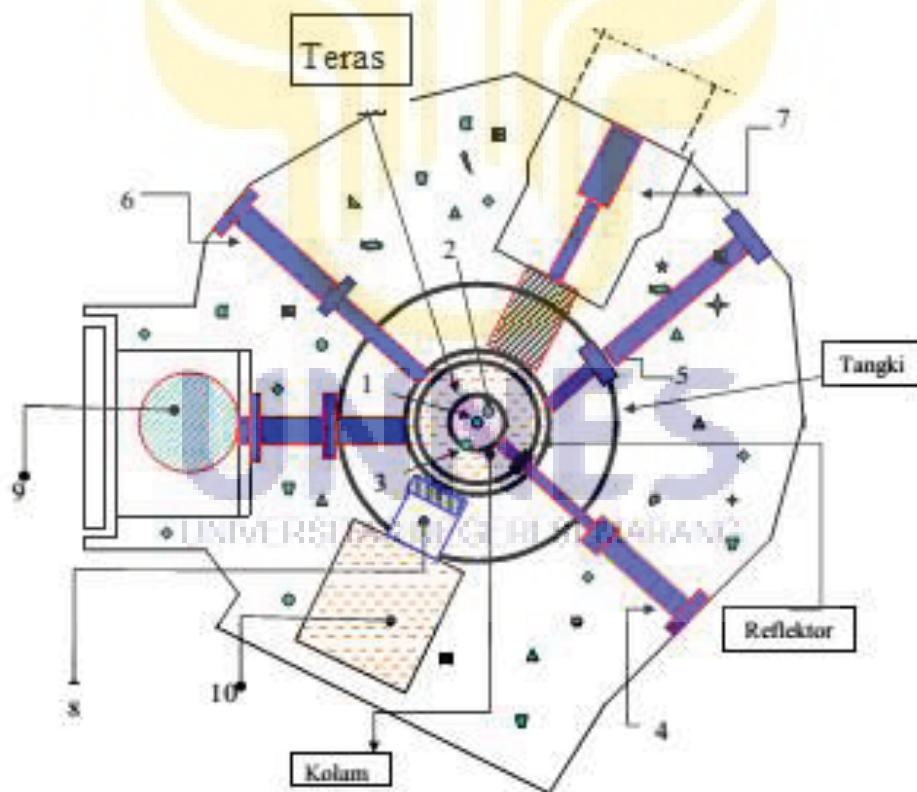


Gambar 2.4. Simulator Reaktor (Rosyid,2013)

Simulator yang dibuat sama dengan kondisi asli reaktor kartini, kesamaannya ditunjukkan pada teras reaktor terdapat *beam port*, replika bahan bakar dan replika 3 batang kendali (pengaman, kompensasi dan pengatur) dengan ukuran yang sama. Tiga buah batang kendali dipasang agar neutron menjadi

seimbang. Sistem kendali terdiri dari *keyboard* operasi yang dilengkapi sistem *interlock* dan monitor yang merupakan sistem informasi proses. *Keyboard* operasi reaktor berupa 8 tombol dan kunci kontak. Fungsi dari kunci kontak adalah sebagai pengaman agar reaktor tidak dioperasikan oleh orang yang tidak berhak.

Reaktor kartini merupakan reaktor penelitian yang dilengkapi dengan beberapa fasilitas iradiasi. Penyediaan fasilitas iradiasi tersebut dimaksudkan untuk memanfaatkan reaktor secara optimum melalui berbagai macam eksperimen. Skematik dari fasilitas eksperimen pada reaktor kartini ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Skematik Fasilitas Eksperimen Reaktor Kartini

(BATAN, 2012)

Dengan diskripsi sebagai berikut :

1. *Central Thimble* (Saluran Tengah)

Saluran tengah didesain untuk keperluan eksperimen iradiasi di daerah yang mempunyai fluks neutron maksimum. Ukuran sampel yang dapat masuk berdiameter 1,8 cm dan panjang 5,6 cm.

2. *Pneumatic Transfer System*

Perangkat *pneumatic transfer system* digunakan untuk eksperimen iradiasi sampel yang menghasilkan radionuklida berumur pendek. Sampel yang akan di iradiasi harus dimasukkan ke dalam suatu kelongsong yang berdiameter 2,5 cm dan panjang 5 cm.

3. Rak Putar (*Lazy Susan*)

Rak putar merupakan sebuah fasilitas iradiasi yang mengelilingi teras reaktor yang terletak dibagian atas reflektor. Rak putar terdiri dari 40 lubang tempat iradiasi, dapat digunakan secara bersama-sama dan dapat diputar. Masing-masing lubang mempunyai ukuran 3,1 cm dan dalamnya 27,4 cm. Proses memasukan dan mengeluarkan sampel dilakukan melalui sebuah tabung pengarah yang dapat diatur dari atas reaktor. Sampel yang dapat di iradiasi dimasukan kedalam suatu kelongsong yang berukuran panjang 13,6 cm dan diameter 2,84 cm. Masing-masing lubang di dalam rak putar dapat diisi sampai 2 tabung kelongsong.

4. *Beam Port* Tembus

Beamport tembus radial adalah fasilitas iradiasi atau eksperimen yang memerlukan fluks neutron atau gamma yang tinggi dan mempunyai dimensi diameter 20 cm.

5. *Beam Port* Tangensial

Beam port tangensial didesain untuk fasilitas eksperimen dimana fluks neutron dan gamma paling rendah. Ukuran fasilitas ini sama dengan *beam port* tembus.

6. *Beam port* Radial

Terdapat 2 *beam port* radial yaitu, *beam port* radial arah barat yang digunakan sebagai sumber neutron untuk perangkat subkritik, dan *beam port* radial arah barat laut digunakan untuk mengembangkan fasilitas radiografi neutron.

7. Kolom termal

Kolom termal berfungsi untuk eksperimen iradiasi dari sampel yang khusus memerlukan radiasi neutron termal. Ukuran sampel yang dapat diiradiasi maksimum adalah 10 cm x 10 cm.

8. Kolom termalisasi

Kolom termalisasi adalah fasilitas eksperimen seperti kolom termal tetapi dimensinya lebih kecil.

9. Perangkat subkritik

Perangkat subkritik dapat digunakan untuk pengukuran *buckling* efek batang kendali, penentuan susunan yang optimum antara volume Uranium dan H₂O, dan pengukuran parameter-parameter lainnya.

10. *Bulk Shielding*

Bulk shielding merupakan fasilitas untuk eksperimen perisai terletak pada sisi yang berlawanan dari kolom termal.

2.3.3 Interaksi Neutron dengan Bahan Pada Proses Iradiasi

Neutron bersifat netral atau tidak bermuatan dan tidak berinteraksi dengan partikel bermuatan. Neutron yang menumbuk inti akan mengalami 2 kemungkinan kejadian yaitu terhambur atau terserap. Menurut Litz, (2012), bentuk interaksi neutron dengan bahan sebagai berikut:

1. Hamburan Lenting Sempurna (Elastis)

Hamburan lenting sempurna merupakan peristiwa tumbukan antara neutron dengan inti atom sehingga tidak terjadi perubahan energi gerak sebelum maupun sesudah tumbukan dari neutron dan inti materi. Hamburan elastis menghasilkan pancaran sinar gamma yang berenergi kecil.

2. Hamburan Tak Lenting (Inelastis)

Neutron pada reaksi ini akan memberikan sebagian tenaga kinetiknya pada inti materi sehingga inti tereksitasi. Inti yang tereksitasi menjadi tidak stabil. Inti akan kembali stabil dengan memancarkan radiasi gamma

3. Pemancaran Sinar Gamma

Pemancaran sinar gamma termasuk dalam tangkapan radiatif yaitu tangkapan neutron yang tidak mengalami pembelahan. Neutron yang ditangkap oleh inti menyebabkan inti mengalami kelebihan energi. Kelebihan energi tersebut akan dipancarkan dalam bentuk sinar gamma sehingga inti dalam keadaan normal. Proses tangkapan ini biasanya terjadi pada neutron termal yaitu neutron yang bertenaga sekitar 0,025 eV.

4. Pemancaran Partikel Bermuatan

Pemancaran partikel bermuatan alpha dan proton terjadi pada reaksi neutron lambat. Neutron lambat dapat keluar dari inti jika partikel bermuatan mempunyai energi yang cukup yang diperoleh dari sebagian energi tangkapan neutron untuk mengatasi rintangan potensial.

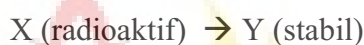
2.4 Radioaktivitas

Radioaktivitas adalah gejala perubahan keadaan inti atom secara spontan yang disertai radiasi berupa zarah atau gelombang elektromagnetik. Perubahan dalam inti atom tentu saja membawa perubahan dari satu nuklida menjadi nuklida yang lain atau dari satu unsur menjadi unsur yang lain. Peristiwa perubahan inti menjadi inti atom yang lain ini disebut disintegrasi inti atau peluruhan radioaktif. Gejala radioaktivitas semata-mata ditentukan oleh inti atom yang bersangkutan dan tidak dapat dipengaruhi, dipercepat atau diperlambat dengan mengubah kondisi di luar inti atom seperti suhu, tekanan, bentuk senyawa kimia dan

sebagainya. Peluruhan radioaktif merupakan peristiwa rambang (random) murni yang tunduk pada kaidah-kaidah statistik (Susetyo, 1988).

2.4.1 Kaidah Hukum Radioaktivitas

Gejala radioaktivitas dapat dinyatakan secara kuantitatif, ditinjau suatu peluruhan radioaktif sederhana sebagai berikut:



Dalam hal ini, X disebut induk dan Y adalah anak luruhnya. Peristiwa peluruhan semacam ini dapat disamakan dengan reaksi monomolekuler dalam kinetika kimia. Laju reaksi peluruhan atau perubahan cacah inti atom induk per satuan waktu sebanding dengan cacah inti atom induk yang ada pada saat itu. Apabila cacah inti atom induk pada saat t adalah N_t , maka dapat ditulis:

$$\left. \frac{dN}{dt} \right|_{\text{peluruhan}} = -\lambda N \quad (2.1)$$

λ adalah tetapan radioaktif dan biasanya dinyatakan dalam dimensi T^{-1} (per satuan waktu).

2.4.2 Aktivitas UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Sampel yang diiradiasi menggunakan neutron akan menyebabkan reaksi inti dari atom unsur yang terkandung dalam sampel dengan neutron sehingga inti atom unsur tersebut akan bersifat radioaktif. Dalam selang waktu dt , laju produksi inti radioaktif yang dihasilkan :

$$R = \left[\frac{dN}{dt} \right]_{\text{produksi}} \quad (2.2)$$

Sehingga, laju neto pembentukan inti radioaktif merupakan selisih antara laju produksi inti radioaktif dan laju peluruhannya :

$$\frac{dN}{dt} = R - \lambda N \quad (2.3)$$

$$\int \frac{dN}{R - \lambda N} = \int dt \quad (2.4)$$

apabila diperumpamakan,

$$U = R - \lambda N$$

$$dU = -\lambda dN$$

$$dN = \frac{dU}{-\lambda}$$

maka persamaan (2.4) menjadi,

$$\int \frac{dU}{-\lambda U} = \int dt \quad (2.5)$$

$$\int \frac{dU}{U} = -\lambda \int dt \quad (2.6)$$

$$\ln U = -\lambda t + A \quad (2.7)$$

$$U = C e^{-\lambda t} \quad (2.8)$$

$$R - \lambda N = C e^{-\lambda t} \quad (2.9)$$

$$N = \frac{1}{\lambda} (R - C e^{-\lambda t}) \quad (2.10)$$

Pada saat mula-mula $t_0 = 0$, belum ada jumlah inti, nilai $N_0 = 0$, maka nilai $R = C$. Kemudian, ketika sampel diiradiasi selama selang waktu $t = t_i$, maka nilai akan bersifat radioaktif dan memiliki aktivitas sebesar :

$$A_1 = R (1 - e^{-\lambda t_i}) \quad (2.11)$$

Sampel yang bersifat radioaktif akan mengalami peluruhan, sehingga saat didiamkan/ditunda selama selang waktu tertentu (t_d) aktivitasnya menjadi

$$A_2 = R (1 - e^{-\lambda t_i})(e^{-\lambda t_d}) \quad (2.12)$$

Sampel selanjutnya dicacah selama selang waktu tertentu (t_c) menggunakan seperangkat spektrometer gamma. Laju cacah (C) yang dihasilkan menunjukkan aktivitas sampel saat pencacahan dan dirumuskan sebagai :

$$C = \int_0^{t_c} R(1 - e^{-\lambda t_i})(e^{-\lambda t_d}) e^{-\lambda t_c} dt \quad (2.13)$$

Hasil integrasi Persamaan (2.13) disajikan pada Persamaan (2.14) :

$$C = R(1 - e^{-\lambda t_a})(e^{-\lambda t_d}) \frac{1}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t_c}) \quad (2.14)$$

Laju pembentukan inti radioaktif (R) bergantung pada jumlah inti sasaran. Jika massa sasaran adalah m , maka jumlah inti sasaran adalah $\frac{m}{M} N_A$, dengan M adalah berat molekul (dapat sama dengan nomor massa A jika sasaran adalah atom murni), dan N_A adalah bilangan Avogadro ($6,02 \times 10^{23}$ atom/mol). Intensitas neutron pada reaktor dinyatakan dalam laju neutron per satuan luas per satuan waktu/fluks neutron (ϕ), tampang lintang adalah σ , dan kelimpahan atom a , sehingga besar R adalah :

$$R = \frac{\phi \sigma m N_A a}{\lambda A} \quad (2.15)$$

Substitusi Persamaan (2.15) ke Persamaan (2.14) menghasilkan :

$$C = \frac{\phi \sigma m N_A a}{\lambda A} (1 - e^{-\lambda t_a})(e^{-\lambda t_d})(1 - e^{-\lambda t_c}) \quad (2.16)$$

Penelitian ini menggunakan detektor gamma, maka besarnya aktivitas perlu dikalikan dengan konstanta k yang besarnya $k = \epsilon Y$, sehingga besarnya massa unsur :

$$m_U = \frac{C \lambda A}{\epsilon Y \phi \sigma m N_A a (1 - e^{-\lambda t_a})(e^{-\lambda t_d})(1 - e^{-\lambda t_c})} \quad (2.17)$$

dengan t_i lama waktu iradiasi (sekon), t_d lama waktu tunda setelah iradiasi sampai sebelum dicacah (sekon), t_c lama waktu pencacahan, C menyatakan laju cacah (Cps), λ konstanta peluruhan (s^{-1}), ϵ efisiensi detektor, Y intensitas mutlak (*yield*), N_A bilangan Avogadro (partikel/mol), ϕ fluks neutron ($\text{neutron cm}^{-2}\text{s}^{-1}$), σ tampang lintang aktivasi mikroskopis materi (cm^2), m_U massa unsur (μg), dan a kelimpahan.

2.5 Spektrometer Gamma

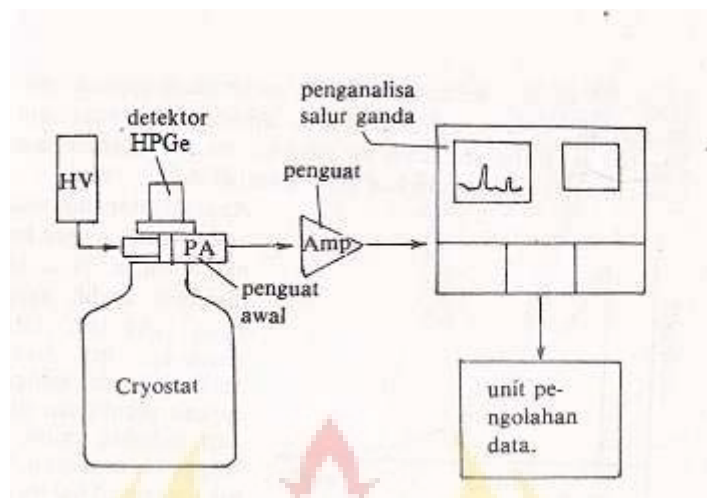
Spektrometer gamma dapat diartikan sebagai suatu alat pengukuran dan identifikasi zat-zat radioaktif dengan jalan mengamati spektrum karakteristik yang ditimbulkan oleh interaksi foton gamma yang dipancarkan oleh zat-zat radioaktif tersebut dengan materi detektor (Susetyo, 1988).

2.5.1 Prinsip Kerja

Prinsip kerja spektrometer gamma yaitu detektor menghasilkan pulsa, pulsa tersebut diperkuat dan dibentuk oleh penguat awal dan amplifier. Kemudian pulsa ini dikirim ke alat penganalisis salur ganda yang dilengkapi dengan banyak memori dan dinyatakan dalam cacah salur. Dalam penganalisis salur ganda pulsa tersebut dipilih sesuai dengan tinggi tertentu, kemudian dicatat cacahnya dengan nomor salur tertentu dan hasilnya dapat dilihat pada layar.

2.5.2 Bagian Alat

Pada spectrometer gamma terdapat beberapa alat pendukung yang tergabung dalam satu perangkat, sistematika perangkat spektrometer gamma ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Perangkat Spektrometer Gamma (Susetyo, 1988)

Pada penelitian ini detektor yang digunakan merupakan jenis detektor semikonduktor yaitu detektor HPGe.

1. Detektor HPGe

Detektor HPGe merupakan jenis semikonduktor intrinsik yaitu yang kehantarannya disebabkan oleh gerakan *hole* dan elektron yang berasal dari pemutusan ikatan kovalen. Detektor ini lebih unggul dibandingkan jenis detektor sintilasi. Beberapa keunggulannya yaitu lebih efisien, karena terbuat dari zat padat, serta memiliki resolusi yang lebih baik. Energi radiasi yang memasuki bahan semikonduktor akan diserap oleh bahan, dan memberikan energi yang cukup, sehingga beberapa elektron dalam kristal berpindah dari pita valensi ke pita konduksi, sehingga menyisakan *hole* pada pita valensi. Pasangan elektron dan *hole* ini seperti juga pasangan ion dalam zat cair atau gas, akan bergerak apabila ada beda tegangan, seperti ion positif dan ion negatif.

Muatan positif dalam bahan semikonduktor pada kenyataannya tidak bergerak. Yang sebenarnya terjadi adalah bahwa *hole-hole* dalam kristal akan diisi oleh elektron-elektron tetangganya, elektron-elektron yang bergerak ini pun akan meninggalkan/membuat *hole-hole* baru di tempatnya semula. Hal ini menyebabkan seolah-olah *hole* itu bergerak. Signal pulsa dihasilkan oleh perubahan beda potensial yang terjadi, tinggi pulsa yang dihasilkan sebanding dengan tenaga sinar gamma yang berinteraksi dengan bahannya.

Detektor HPGe yang digunakan dalam penelitian yaitu HPGe (*Canberra*) tipe koaksial model GC3018 dan sistem Cryostat (*Canberra*) model 7500SL, ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Detektor HPGe

2. Penguat

Perangkat spektrometer gamma mempunyai 2 penguat yang mempunyai peran yang sangat penting dari masing masing penguat tersebut.

a. PA (Penguat Awal)

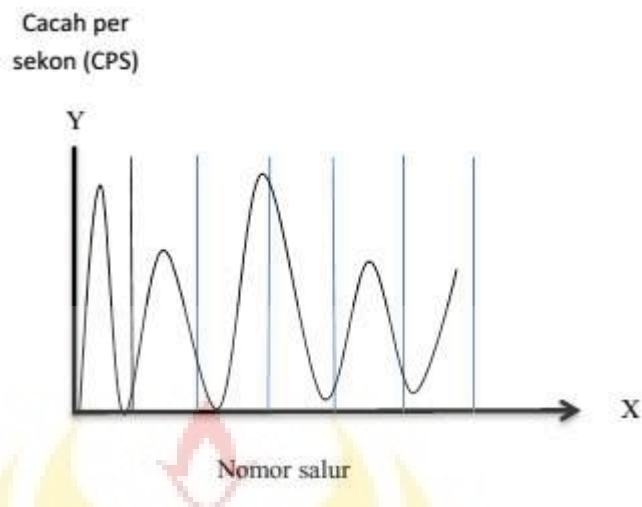
Penguat awal terletak antara detektor dengan penguat. Penguat awal ini berfungsi untuk: melakukan amplifikasi terhadap pulsa keluaran, melakukan pembentukan pulsa, dan juga untuk melakukan perubahan muatan menjadi tegangan pada pulsa keluaran. Selain itu penguat awal juga memegang peranan penting dalam menurunkan derau. Sebaiknya penguat awal dipasang sedekat mungkin dengan detektor.

b. Amp (Penguat Linear)

Penguat ini harus yang peka terhadap tegangan atau dapat disebut dengan *penguat linier*. Pada penguat ini pulsa dipertinggi sampai mencapai amplitudo yang dapat dianalisis dengan alat penganalisis tinggi pulsa.

3. Penganalisis Salur Ganda (MCA)

Pulsa yang dikeluarkan oleh penguat dikirim menuju alat penganalisis tinggi pulsa yang biasanya berupa penganalisis salur ganda. Penganalisis salur ganda berfungsi mengolah dan membuat grafik spektrum tinggi pulsa dengan isi cacah setiap kanal (Purwandhani, 2007). Pada penganalisis salur ganda terdapat layar monitor kecil yang akan menampilkan grafik keluaran dari hasil pencacahan menggunakan spektrometer gamma tersebut. Gambar 2.8 menunjukkan grafik hubungan antara laju cacah dengan nomor salur yang mencirikan tenaga γ yang terdeteksi.



Gambar 2.8 Grafik Hubungan Antara Laju Cacah dengan Nomor Salur

2.5.3 Kalibrasi Spektrometer Gamma

Sebelum suatu perangkat spektrometer gamma dapat dipakai untuk melakukan analisis, alat tersebut perlu dikalibrasi terlebih dahulu secara cermat dan teliti.

1. Sumber Standar

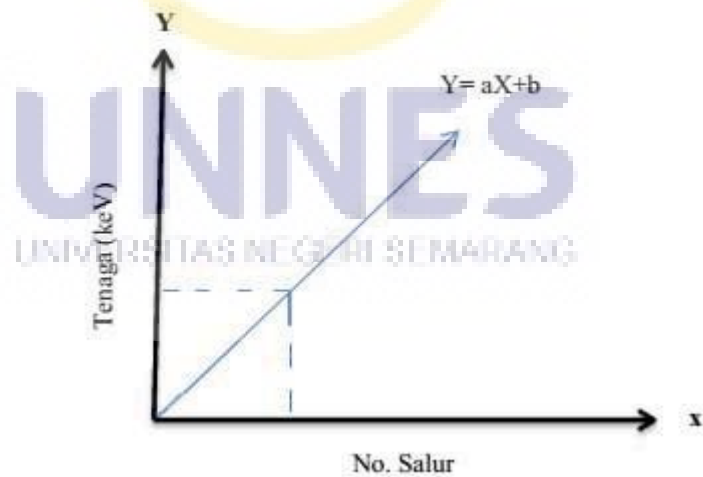
Pada kalibrasi spektrometer gamma diperlukan sumber standar rendah sampai tinggi. Oleh karena itu sekarang mulai dikembangkan penggunaan sumber standar multigamma Eu-152. Sumber standar tersebut mempunyai banyak puncak dari tenaga rendah sampai tenaga tinggi. Selain sumber multigamma Eu-152 juga dikenal sebagai sumber standar campuran yang terdiri dari Sb-125, Eu-152, dan Eu-154.

Seringkali kondisi pencacahan dari suatu cuplikan ke cuplikan yang lain perlu diubah untuk kesesuaian dengan jangkauan tenaga yang akan

diamati. Dalam hal ini kalibrasi sumber yang hanya mempunyai satu tenaga gamma saja akan memerlukan waktu yang lama. Hal ini dikarenakan pengukuran sumber standar dilakukan satu demi satu. Berkenaan dengan itu, penggunaan standar Eu-152 sangat bermanfaat, karena pengukuran banyak puncak gamma dari tenaga rendah sampai tenaga tinggi dapat dilakukan secara serentak sehingga dapat menghemat waktu.

2. Kalibrasi Tenaga

Perangkat spektrometer gamma perlu dicari hubungan antara nomor salur dan energi, dengan jalan mencacah beberapa sumber radioaktif standar yaitu sumber yang telah diketahui energinya dengan tepat. Apabila dibuat plot energi sinar gamma standar versus nomor saluran puncak serapan total masing-masing maka didapatkan suatu garis lurus, seperti terlihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Kurva Kalibrasi Energi

$$Y = aX + b \quad (2.18)$$

Untuk pengolahan data kalibrasi dari grafik nomor salur dengan tenaga gamma menggunakan metode regresi linear seperti ditunjukkan pada persamaan 2.18, dengan Y adalah energi dan X adalah nomor salur.

3. Kalibrasi Efisiensi

Kalibrasi efisiensi menghasilkan luas puncak serapan total yang menunjukkan jumlah cacah rasio nuklida yang terkandung dalam suatu puncak gamma. Jika luas puncak serapan tersebut yang dipakai untuk menentukan efisiensi maka dengan sendirinya nilai intensitas mutlak tenaga adalah $Y(E)$ sebagai konsekuensinya, dan efisiensi deteksi merupakan fungsi tenaga $\varepsilon(E)$. Efisiensi detektor merupakan perbandingan antara banyaknya foton gamma yang ditangkap dengan yang dipancarkan dari sumber gamma tiap detik. Dapat ditulis sebagai berikut :

$$\varepsilon(E) = \frac{Cps}{dps.Y(E)} \quad (2.19)$$

$$Cps = \frac{\text{luas puncak serapan total}}{\text{waktu pencacahan}} \quad (2.20)$$

dengan :

Cps = Cacah pada saat t detik

Dps = Aktivitas sumber standar

$Y(E)$ = *Yield* atau intensitas mutlak yang didapat dari tabel tenaga radionuklida (Widarto *et al*, 2007).

2.5.4 Interaksi Sinar Gamma dengan Materi

Interaksi sinar gamma dengan materi bisa terjadi melalui bermacam-macam proses. Dari berbagai proses tersebut hanya ada tiga proses yang penting untuk diperhatikan dalam spektrometri gamma yaitu:

1. Efek Fotolistrik

Saat foton menumbuk elektron, semua tenaga foton diserap electron dan sebagian tenaga digunakan untuk melepaskan electron dari ikatan inti atom. Elektron ini menyebabkan terjadinya ionisasi atom dalam bahan. Efek fotolistrik sebagian besar terjadi pada interaksi foton dengan tenaga lebih kecil dari 1 MeV.

2. Hamburan Compton

Pada peristiwa hamburan Compton, sebagian tenaga foton diserap elektron foton dengan tenaga lebih rendah akan dihamburkan dengan sudut yang sama dengan elektron yang ditumbuk. Elektron yang ditumbuk ini menyebabkan terjadinya ionisasi atom dalam bahan. Hamburan Compton banyak terjadi untuk tenaga foton antara 200 keV - 5 MeV.

3. Pembentukan Pasangan

Dalam proses ini foton berinteraksi dengan inti, menyerahkan semua tenaganya dan membentuk dua partikel elektron dan positron. Proses pembentukan pasangan terjadi di dekat inti atom, dengan tenaga foton lebih besar dari 1,02 MeV (Yulianti & Dwijananti, 2005).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Unsur yang terkandung dalam limbah cair adalah unsur Cr, Zn, Fe, Co, dan Na.
2. Kadar dari masing masing unsur yaitu Cr (0,033 - 0,075) mg/L, Zn (0,090 - 1,048) mg/L, Fe (2,937 - 37,743) mg/L, Co (0,005 - 0,023) mg/L, dan Na (61, 088 - 116, 330) mg/L. Kadar tersebut masih dalam batas aman karena berada dibawah baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No.5 tahun 2014.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka dapat dikemukakan beberapa saran sebagai berikut :

1. Perlu penelitian lebih lanjut dengan waktu aktivasi yang lebih lama sehingga unsur unsur yang terdeteksi akan lebih banyak.

2. Pengambilan sampel pada penelitian ini hanya bagian atas dari bak penampung tidak sampai sedimen yang terdapat di dalam IPAL tersebut, perlu dilakukan penelitian serupa dengan sampel sedimen sebagai pembanding.



DAFTAR PUSTAKA

- BATAN. 2012. *Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Kartini*. Yogyakarta: Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan.
- Beiser, Arthur. 1986. *Konsep Fisika Modern*. Jakarta : Erlangga.
- BPPT. *Pengelolaan Limbah Rumah Sakit Menuju Green Hospital*. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 2014; 1(1) 25-26.
- Departemen Kesehatan Republik Indonesia, 2002, *Peraturan Pemerintah RI No 18 Tahun 1999 tentang Bahan Berbahaya dan beracun*.
- Dwijananti, P., Widarto, & Y. Darmawati. 2010. Penentuan Kadar Radionuklida pada Limbah Cair Pabrik Galvanis dengan Metode Analisis Aktivasi Neutron Thermal Reaktor Kartini. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 6(1): 30-34.
- Erdtmann, Gerhard.1976.*Neutron Activation Table*. New York: Kernchemie in Einzeldarstellungen.
- Haryani, K. 2007. *Pembuatan Khitosan dari Kulit Udang Untuk Mengadsorpsi Logam Krom (Cr⁶⁺) dan Tembaga (Cu)*. Reaktor. 11 (2) : 86-90.
- Hermawati, E ., Wiryanto dan Solichatun. Fitoremediasi Limbah Deterjen Menggunakan Kayu Apuh dan Genjer. *Jurnal Biologi FMIPA UNS Surakarta*, 7(2): 115-124.
- International Atomic Energy Agency. 2001. *Use of Research Reactors for Neutron Activation Analysis*. Vienna. Tersedia di www-pub.iaea.org/MTCD/.../te_1215_pnn.pdf [diakses 05-10-2016].
- Kartohardjono, Sutrasno. M. Ali Lukman dan G.P. manik. 2008. *Penentuan Kulit Batang Jambu Biji (Psidium guajava) Untuk adsorpsi Cr (VI) dari Larutan*. Tersedia pada <http://repository.ui.ac.id/contents/koleksi/11/92eb8f9ca6cc7f96543eec13c680c68b6d9d85aa.pdf> (akses tanggal 23 Desember 2016)
- Kemenkes RI. *Profil Data Kesehatan Indonesia tahun 2014*. Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2014.
- Keputusan Menteri Kesehatan Indonesia Nomor 1204/MENKES/SK/X/2004 *Tentang Persyaratan Lingkungan Rumah Sakit*. Jakarta.

- Krane, Kenneth S. 1992. *Fisika Modern*. Jakarta : UI Press
- Kurniawan, Y. B. 2003. *Analisis Kandungan Unsur Merkuru (Hg) dalam Tanah Pertanian Menggunakan Metode Analisis Pengaktifan Neutron (APN)*. Skripsi. Surakarta: FMIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Litz, M., Christopher Waits, & Jennifer Mullins. 2012. *Neutron Activated Gamma Emission: Technology Review*. Adelphi. Army Research Laboratory.
- Murniasih. S., dan Sukirno. 2012. Kajian Kandungan Logam B3 Dalam Limbah Rumah Sakit Dibandingkan Dengan Peraturan Pemerintah. *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah*. Yogyakarta : BATAN
- Niati, Dwijananti.P., & Widarto. 2006. Pengolahan Kandungan Unsur Pada Instalansi Pengolahan Limbah (IPAL) RSUP DR. Soeradji Tirtonegoro Klaten Dengan Metode Analisis Aktivitas Neutron Cepat. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia, Vol 4 No 2*.
- Palar, Heryanto. 1994. *Pencemaran dan Toksisitas Logam Berat*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Peraturan Pemerintah RI No 74 Tahun 2001 *tentang Bahan Berbahaya dan Beracun*.
- Pruss. A, 2005. *Pengelolaan Aman Limbah Layanan Kesehatan*. Jakarta: Penerbit buku Kedokteran EGC.
- Purwandhani, Ayu Setyo.2007. *Metode AANC (Analisis Aktivasi Neutron Cepat) untuk Penentuan Distribusi Logam pada Cuplikan Air di Sungai Kaligarang*. Skripsi. Semarang : Fakultas MIPA Universitas Negeri Semarang.
- United Nations Environment Programme, 2007. First Advisory Board Meeting on Environment and Health in Southeast and East Asian Countries, *Discussion Record*.
- Rao, A. 2005. *Trace Element Estimation – Methods & Clinical Context*. J Health Allied Scs [Online]. 4(1), pp. 1-9.
- Rohman, B. 2009. Koefisien Reaktivitas Temperatur Bahan Bakar Reaktor Kartini. *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia, Vol. X No.2*: 59-70.
- Rosyid Moch, Hidayat Nur, dan Jumari. 2013. Simulator Reaktor Kartini Sebagai Alat Peraga Operasi Reaktor Penelitian Tipe Triga Mark II. *Seminar Nasional IX SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta*.

- Siregar Charles J.P. 2004. *Farmasi Rumah Sakit Teori dan Penerapan*. Jakarta: Penerbit buku Kedokteran EGC.
- Sumiyati. S., dan Imaniar. 2007. Analisis Kinerja Pengolahan Air Limbah Pavilyun Kartika RSPAD Gatot Soebroto. *Jurnal Presipitasivol Vol 2*. Semarang : UNDIP
- Susetyo, Wisnu. 1988. *Spektrometri Gamma dan Penerapannya dalam Analisis Pengaktifan Neutron*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Yulianti. D., dan Dwijananti. P. 2005. *Diklat Kuliah Fisika Radiasi*. Semarang: Universitas Negeri Semarang
- Widarto, Z. Kamal dan Suroso. 2007. *Penentuan Kadar Unsur di Dalam Daun Krenyu dengan Metode Analisis Aktivitas Neutron (AAN)*. Skripsi. Yogyakarta, ISSN 1978-0176
- Wijono., dan Rosdiani. 2006. Kalibrasi Energi dan Efisiensi Detektor HPGe Model GC1018 Pada Rentang Energi 121 Sampai 1408 keV dengan Sumber Standar Eu-152 LMRI. *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah*. Jakarta : BATAN
- Win, D. T. 2004. *Neutron Activation Analysis (NAA)* : 8-14.
- Zhuang, W., Y. Liu, Q. Chen, Q. Wang, F. Zhou. 2016. A new index for assessing heavy metal contamination in sediments of the Beijing-Hangzhou Grand Canal (Zaozhuang Segment): A case study. *Ecological Indicators*, 69 (2016)252-260.