



**EKSPLORASI KANDUNGAN UNSUR PADA LIMBAH CAIR
PABRIK GALVANIS DENGAN METODE ANALISIS
AKTIVASI NEUTRON THERMAL REAKTOR KARTINI**

SKRIPSI

**Disusun dalam rangka penyelesaian Studi Strata 1
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Fisika S1
pada Universitas Negeri Semarang**

**oleh
Yeni Darmawati
4250404002**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2009**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skrisi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi pada:

Hari : Selasa

Tanggal : 10 Maret 2009

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dra. Pratiwi Dwijananti, M.Si

NIP. 131813654

Drs. Widarto

NIP. 330002558

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika

Dr. Putut Marwoto, M.S

NIP. 131764029

PENGESAHAN KELULUSAN

Skripsi ini telah dipertahankan di hadapan Sidang Panitia Ujian Skripsi
Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas
Negeri Semarang pada :

Hari : Selasa

Tanggal : 17 Maret 2009

Panitia Ujian Skripsi :

Ketua

Sekretaris

Drs. Kasmadi Imam S, M.S

NIP. 130781011

Dr. Putut Marwoto, M.S

NIP. 131764029

Penguji I

Dr. Sulhadi, M.Si

NIP. 132205937

Pembimbing I/Penguji II

Pembimbing II/Penguji III

Dra. Pratiwi Dwijananti, M.Si

NIP. 131813654

Drs. Widarto

NIP. 330002558

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa yang tertulis di dalam skripsi ini benar-benar hasil karya saya sendiri, bukan jiplakan dari karya tulis orang lain, baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat atau temuan orang lain yang terdapat dalam skripsi ini dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah.

Semarang, Maret 2009

Penulis

Yeni Darmawati
NIM. 4250404002

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

1. Q.S. *AR RA'D* : 11.
2. *Pahit dan manisnya hidup adalah rahasia Allah yang harus disyukuri sepanjang perjalanan hidup*

PERSEMBAHAN

Skripsi ini aku persembahkan untuk :

1. *Bapak dan Ibuku tercinta*
2. *Adikku Candra Meilana*
3. *Seseorang spesial*
4. *Dyan Puspitaningrum, Lina, aya',
Rudi, Kandar, yoki, dan atic*

KATA PENGANTAR

Syukur Alkhamdulillah kepada Allah SWT atas berkat dan rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul *"Eksplorasi Kandungan Unsur Pada Limbah Cair Pabrik Galvanis Dengan Metode Analisis Aktivasi Neutron Thermal Reaktor Kartini"*.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Sains di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang.

Dalam penulisan skripsi ini banyak bantuan baik berupa moril maupun materiil serta dorongan dan pengarahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada Dra. Pratiwi Dwijananti, M.Si selaku Pembimbing I skripsi di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang dan Drs. Widarto selaku Pembimbing II dari bagian Reaktor PTAPB BATAN Yogyakarta yang telah membimbing dengan penuh kesabaran serta meluangkan waktu memberikan masukan, saran dan motivasinya selama penyusunan skripsi.

Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Dr. Putut Marwoto, M.S, selaku Ketua Jurusan Fisika, sekaligus Dosen Wali yang memberikan nasehat dan arahan kepada penulis selama menempuh studi.

Terimakasih penulis ucapkan kepada Dr. Sulhadi, M.Si, selaku Penguji yang telah memberikan koreksi, arahan dan masukan dalam penyelesaian skripsi ini. Kepada Bapak Aris yang telah membantu penelitian di bagian Reaktor PTAPB BATAN Yogyakarta.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna karena keterbatasan pengetahuan. Oleh karena itu segala kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan.

Semoga laporan skripsi ini dapat menambah pengetahuan dan bermanfaat bagi kita semua, Amin.

Semarang,

Penulis

ABSTRAK

Darmawati, Yeni, *Eksplorasi Kandungan Unsur Pada Limbah Cair Pabrik Galvanis dengan Metode Analisis Aktivasi Neutron Thermal Reaktor Kartini*. Skripsi Jurusan Fisika. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Semarang.

Pembimbing I: Dra. Pratiwi Dwijananti, M.Si., Pembimbing II: Drs. Widarto

Kata kunci : Limbah cair pabrik galvanis, Metode analisis aktivasi neutron, Kadar unsur.

Limbah cair pabrik galvanis harus diolah terlebih dahulu sebelum dialirkan ke lingkungan. Pengolahan limbah cair ini dilakukan untuk mengantisipasi adanya dampak bahaya bagi lingkungan, sehingga jenis unsur dan kadarnya harus diketahui.

Permasalahan dalam penelitian ini adalah mengidentifikasi jenis unsur dan kadarnya kemudian menganalisis aman dan tidak limbah tersebut. 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.

Hasil uji 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). Hasil uji kuantitatif menunjukkan kadar unsur tersebut berturut-turut yaitu : $(1,89-1,92).10^{-9}$ gram/l, $(5,65-5,66).10^{-4}$ gram/l, $(4,39-4,50).10^{-8}$ gram/l, $(6,47-6,65).10^{-5}$ gram/l, $(1,32-1,35).10^{-3}$ gram/l, $(4,18-4,19).10^{-4}$ gram/l, dan $(8,043.10^{-11})$ gram/l. Berdasarkan perhitungan dan setelah dibandingkan dengan baku mutu limbah dan baku mutu air, maka limbah cair pabrik galvanis dalam batas aman.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN KELULUSAN.....	iii
PERNYATAAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	v
KATA PENGANTAR	vi
HALAMAN ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Pembatasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat penelitian	5
1.6 Penegasan Istilah.....	5
1.7 Sistematika Skripsi	6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Galvanisasi.....	8
2.1.1 Proses Elektrolisa	9
2.1.2 Proses Pencelupan	9
2.1.3 Proses <i>Quenching</i>	9
2.2 Neutron	10
2.2.1 Reaktor Nuklir	10
2.2.2 Akselerator	11
2.2.3 Neutron Isotopik.....	12
2.3 Interaksi Neutron dengan Materi	13
2.3.1 Reaksi Hamburan (<i>scattering</i>)	13
2.3.1.1 Hamburan Lenting	13
2.3.1.2 Hamburan Tak Lenting	14
2.3.2 Reaksi Tangkapan (<i>capture</i>)	14
2.3.2.1 Pemancaran Sinar Gamma	14
2.3.2.2 Pelontaran Partikel Bermuatan pada Reaksi (n,γ) ; (n,α)	15
2.3.2.3 Reaksi Fisi	16
2.4 Reaksi Inti dengan Neutron	16
2.4.1 Jenis Partikel Datang	17
2.4.2 Jenis Energi Partikel	17
2.5 Radioaktivitas	17
2.5.1 Aktivitas.....	18
2.5.2 Satuan Aktivitas	19

2.6 Interaksi Sinar- γ dengan Bahan	20
2.6.1 Efek Fotolistrik.....	20
2.6.2 Efek Compton.....	21
2.6.3 Produksi Pasangan.....	22
2.7 Aktivasi Neutron.....	22
2.7.1 Prinsip Dasar Aktivasi Neutron	22
2.7.2 Reaksi Aktivasi Neutron	24
2.8 Perangkat Spektrometri- γ	25
2.8.1 Detektor Semikonduktor HPGe (<i>High Pure Germanium</i>).....	25
2.8.2 Sumber Tegangan Tinggi (HV).....	26
2.8.3 <i>Preamplifier</i> dan <i>Amplifier</i>	26
2.8.4 Penganalisis Salur Ganda/MCA (<i>Multy Channel Analyzer</i>).....	27
2.9 Kalibrasi Spektrometri- γ	28
2.9.1 Kalibrasi Tenaga.....	28
2.9.2 Kalibrasi Efisiensi.....	29
2.10 Reaktor Kartini	30
2.10.1 Sistem Bahan Bakar.....	31
2.10.2 Bahan dan Peralatan dalam Tangki Reaktor	31
2.10.2.1 Sistem Kendali Reaktivitas.....	31
2.10.2.2 Bagian Dalam Reaktor yang Berhubungan dengan Teras ..	32
2.10.2.2.1 Teras.....	32
2.10.2.2.2 Moderator	32
2.10.2.2.3 Reflektor.....	32

2.10.2.2.4	Tabung Berkas Neutron (<i>beam port</i>).....	33
2.10.2.2.5	Fasilitas Eksperimen dan Iradiasi	33
2.10.2.2.5.1	Kolom Termal.....	33
2.10.2.2.5.2	Kolom Untuk Eksperimen Perisai.....	33
2.10.2.2.5.3	Saluran Tengah (<i>central thimbel</i>).....	34
2.10.2.2.5.4	Rak Putar (<i>lazy suzan</i>).....	34
2.10.2.2.5.5	Fasilitas Perangkat Subkritis.....	34
2.10.2.2.5.6	Sistem Pemindah Pneumatik	34
2.10.3	Sistem Pendingin	35
2.11	Penentuan Kadar Unsur Limbah dengan Metode Aktivasi	35
BAB III METODE PENELITIAN		
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	40
3.2	Tempat dan Waktu Pengambilan Sampel	40
3.2.1	Sebelum Proses Pengolahan.....	40
3.2.2	Setelah Proses Pengolahan.....	40
3.3	Alat dan Bahan Penelitian	42
3.3.1	Alat Penelitian.....	42
3.3.1.1	Alat Pengambilan Sampel.....	42
3.3.1.2	Alat Preparasi Sampel.....	42
3.3.1.3	Alat Iradiasi Sampel.....	42
3.3.1.4	Alat Pencacah	42
3.3.2	Bahan	43

3.4	Prosedur Penelitian	43
3.4.1	Prosedur Pengambilan Sampel.....	44
3.4.2	Persiapan Aktivasi	44
3.4.3	Aktivasi Sampel.....	45
3.4.4	Kalibrasi Spektrometri- γ	45
3.4.4.1	Langkah Kalibrasi Spektrometri- γ	46
3.4.5	Pencacahan	47
3.4.5.1	Analisis Kualitatif.....	48
3.4.5.2	Analisis Kuantitatif	49
 BAB IV HASIL PENELITIAN		
4.1	Hasil Penelitian.....	50
4.1.1	Hasil Pencacahan.....	50
4.1.1.1	Kalibrasi Tenaga.....	50
4.1.1.2	Kalibrasi Efisiensi.....	51
4.1.2	Analisis Kualitatif.....	52
4.1.2.1	Waktu Peluruhan Umur Pendek	52
4.1.2.2	Waktu Peluruhan Umur Panjang	53
4.1.3	Analisis Kuantitatif.....	53
4.1.3.1	Waktu Peluruhan Umur Pendek	54
4.1.3.2	Waktu Peluruhan Umur Panjang	54
4.2	Pembahasan	58
 BAB V PENUTUP		
5.1	Simpulan	63

5.2 Saran	63
DAFTAR PUSTAKA	64
LAMPIRAN	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Efek Fotolistrik.....	21
Gambar 2.2 Efek Compton.....	21
Gambar 2.3 Produksi Pasangan.....	22
Gambar 2.4 Prinsip Dasar Analisis Aktivasi Neutron.....	23
Gambar 2.5 Perangkat Spektrometri- γ	25
Gambar 2.6 Kurva Kalibrasi Tenaga.....	29
Gambar 3.1 Skema pengambilan sampel.....	41
Gambar 3.2 Prosedur penelitian.....	43
Gambar 3.3 Kelongsong tempat Vial Polietilen yang berisi larutan cuplikan untuk radiasi.....	44
Gambar 4.1 Diagram Batang Unsur Mn Waktu Peluruhan Umur Pendek Pada Lokasi 1, 2, 3, 4, dan 5.....	55
Gambar 4.2 Diagram Batang Unsur Zr Waktu Peluruhan Umur Pendek Pada Lokasi 1, 2, 3, 4, dan 5.....	55
Gambar 4.3 Diagram Batang Unsur Cl Waktu Peluruhan Umur Pendek Pada Lokasi 1, 2, 3, 4, dan 5.....	56
Gambar 4.4 Diagram Batang Unsur Zn Waktu Peluruhan Umur Panjang Pada Lokasi 1, 2, 3, 4, dan 5.....	56
Gambar 4.5 Diagram Batang Unsur Br Waktu Peluruhan Umur Panjang Pada Lokasi 1, 2, 3, 4, dan 5.....	57
Gambar 4.6 Diagram Batang Unsur Na Waktu Peluruhan Umur Panjang Pada Lokasi 1, 2, 3, 4, dan 5.....	57

Gambar 4.7 Diagram Batang Unsur Fe Waktu Peluruhan Umur Panjang Pada Lokasi 1, 2, 3, 4, dan 5	58
Gambar 1. Kurva kalibrasi energi pada jarak 4 cm	66
Gambar 2. Kurva kalibrasi energi pada jarak 13 cm	67
Gambar 3. Kurva kalibrasi efisiensi pada jarak 4 cm	71
Gambar 4. Kurva kalibrasi efisiensi pada jarak 13 cm	72
Gambar 5. Penampang Horizontal Reaktor Kartini	119
Gambar 6. Penampang Melintang Vertikal Reaktor Kartini	119
Gambar 7. Reaksi Fisi Pada Reaktor Kartini	120
Gambar 8. Sampel dalam plastik klip dan sampel dalam vial polyetilene	121
Gambar 9. Handystep, ampul, pinset, dan vial polyetilene	121
Gambar 10. Teras reaktor	121
Gambar 11. Pengisian nitrogen pada Detektor HPGe	121
Gambar 12. Spektrum energi	121
Gambar 13. Sungkup reaktor	121

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data Kalibrasi Tenaga Sumber Standar ^{152}Eu	50
Tabel 4.2 Data Kualitatif Unsur-Unsur Hasil Aktivasi Peluruhan Pendek yang Terkandung di Dalam Limbah Cair Pabrik Galvanis.....	52
Tabel 4.3 Data Kualitatif Unsur-Unsur Hasil Aktivasi Waktu Peluruhan Umur Panjang yang Terkandung di Dalam Limbah Cair Pabrik Galvanis.....	53
Tabel 4.4 Data Kuantitatif Unsur-Unsur Hasil Aktivasi Waktu Peluruhan Umur Pendek yang Terkandung di Dalam Limbah Cair Pabrik Galvanis.....	54
Tabel 4.5 Data Kuantitatif Unsur-Unsur Hasil Aktivasi Waktu Peluruhan Umur Panjang yang Terkandung di Dalam Limbah Cair Pabrik Galvanis	54
Tabel 4.6 Perbandingan Kadar Unsur Hasil Perhitungan dengan Nilai Baku Mutu Air.....	61
Tabel 1. Data dan perhitungan kalibrasi tenaga sumber standar ^{152}Eu pada jarak 4 cm.....	65
Tabel 2. Data dan perhitungan kalibrasi tenaga sumber standar ^{152}Eu pada jarak 13 cm.....	66
Tabel 3. Data dan perhitungan kalibrasi efisiensi sumber standar ^{152}Eu pada jarak 4 cm.....	70
Tabel 4. Data dan perhitungan kalibrasi efisiensi sumber standar ^{152}Eu pada jarak 13 cm.....	71

Tabel 5. Data Sample <i>Pickling</i> Waktu Umur Paro Pendek.....	76
Tabel 6. Data Sample <i>Rising I</i> Waktu Umur Paro Pendek.....	77
Tabel 7. Data Sample <i>Rising II</i> Waktu Umur Paro Pendek	78
Tabel 8. Data Sample <i>Rising I&II</i> Waktu Umur Paro Pendek.....	79
Tabel 9. Data Sample Sudah Diolah Waktu Umur Paro Pendek.....	80
Tabel 10. Data Sample <i>Pickling</i> Waktu Umur Paro Panjang.....	81
Tabel 11. Data Sample <i>Rising I</i> Waktu Umur Paro Panjang	82
Tabel 12. Data Sample <i>Rising II</i> Waktu Umur Paro Panjang	83
Tabel 13. Data Sample <i>Rising I&II</i> Waktu Umur Paro Panjang	84
Tabel 14. Data Sample Sudah Diolah Waktu Umur Paro Panjang	85

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I	Kalibrasi Energi.....	65
Lampiran II	Aktivitas ^{152}Eu dan Efisiensi detektor	68
Lampiran III	Kalibrasi Efisiensi	70
Lampiran IV	Perhitungan kadar unsur.....	73
Lampiran V	Kadar dan Ralat Unsur Waktu Umur Paro Pendek.....	76
Lampiran VI	Kadar dan Ralat Unsur Waktu Umur Paro Panjang.....	81
Lampiran VII	Tabel Tenaga Radionuklida	86
Lampiran VIII	Daftar persyaratan kualitas air	90
Lampiran IX	Reaktor Kartini	119
Lampiran X	Reaksi Fisi Pada Reaktor Kartini.....	120
Lampiran XI	Daftar gambar penelitian.....	121

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir dewasa ini telah membawa umat manusia ke taraf kehidupan yang lebih baik dibandingkan dengan taraf kehidupan sebelumnya. Seiring dengan perkembangannya telah menarik perhatian banyak orang dalam pemanfaatan teknologi nuklir baik yang bersifat kimia maupun radioaktif. Di Indonesia pengembangan dan 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 teknologi modern adalah adanya limbah yang harus dikelola keberadaannya agar tidak berdampak negatif bagi manusia ataupun lingkungannya. Kemajuan industri perlu penanganan yang serius dan perawatan yang berkesinambungan, tidak terkecuali pada industri-industri galvanising.

Sejalan dengan perkembangan teknologi, kebutuhan logam akan semakin meningkat, terutama besi dan baja yang banyak digunakan dalam bidang konstruksi bangunan, baik gedung, tower dan lain sebagainya. Kualitas besi dan baja yang dibutuhkan perlu diperhatikan, sehingga adanya korosi dalam bahan-bahan tersebut harus dibatasi untuk memenuhi kualitas besi dan baja yang

Korosi merupakan reaksi redoks antara suatu logam dengan berbagai zat dilingkungannya yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak dikehendaki, yang sering disebut perkaratan.

Korosi dapat dicegah dengan melindungi besi atau baja dari interaksi dengan lingkungannya diantaranya dengan pengecatan, elektroplating dan galvanisasi. Galvanisasi merupakan metode yang dianggap lebih menguntungkan dari segi ekonomi karena ketahanannya dapat mencapai kurun waktu ± 50 tahun.

Galvanisasi atau *Hot Dip Galvanize* (HDG) adalah suatu cara untuk menghambat terjadinya korosi. Prinsip dari HDG ini yaitu logam seng dipanaskan sampai lebur, kemudian logam dasar (setelah melalui proses perlakuan pendahuluan) dicelupkan ke dalam seng lebur tersebut sehingga terjadi pelapisan. Untuk menghasilkan kualitas galvanis yang baik, maka perlu dilakukan pengontrolan yang teratur terhadap kandungan zat-zat tiap tahap proses galvanisasi. Salah satu proses yang dilalui adalah *rinsing*, proses ini bertujuan untuk pembilasan sisa-sisa asam yang masih menempel pada besi. Dari sisa limbah bak *rinsing* inilah akan dianalisis kadar logam berat yang berhasil tercuci.

Limbah adalah hasil buangan proses aktivitas manusia yang sudah tidak dimanfaatkan kembali. Setiap hari jumlah limbah yang terbuang dan mengotori lingkungan semakin bertambah jumlahnya. Kondisi seperti ini tidak diimbangi dengan upaya penanganan limbah secara tepat. Kita pun sepatutnya menyadari akan bahaya yang dapat ditimbulkan dari kurang tanggapnya pada permasalahan yang timbul dari limbah ini. Salah satu contoh kecil aktivitas manusia yaitu pada kegiatan pabrik galvanising. Pabrik galvanising juga menghasilkan limbah sebagai hasil buangan proses aktivitasnya.

Sebelum limbah cair dibuang ke lingkungan perlu diketahui jenis unsur dan kadar dari unsur tersebut apakah melebihi dari batas-batas yang ditentukan

apa tidak maka limbah tersebut perlu diolah terlebih dahulu. Pengolahan limbah cair maupun padat harus dilakukan dengan cermat, dimulai dengan perencanaan yang tepat dan teliti. Pelaksanaan pembangunan fasilitas instalasi pengolahan limbah (IPAL) atau unit pengolahan limbah (UPL) yang benar, serta pengoperasian UPL yang cermat.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Analisis Aktivasi Neutron (AAN)*. AAN adalah metode analisis sampel atau sampel untuk mengetahui unsur-unsur yang terdapat di dalam bahan atau sampel yang didasarkan pada pengukuran keradioaktifan imbas jika suatu bahan atau sampel diiradiasi dengan neutron. Sampel limbah cair sebelum dianalisis diaktivasi menggunakan sumber neutron dari Reaktor Kartini. Setelah diaktivasi kemudian sampel limbah cair dicacah menggunakan spektrometri- γ selanjutnya dianalisis dengan menggunakan analisis kualitatif dan kuantitatif, dan dikenal dengan AAN. Metode ini digunakan untuk menentukan banyak unsur secara serentak tanpa merusak sampel dan waktu analisisnya relatif cepat. Prinsip kerja dari metode ini apabila suatu sampel yang mengandung beberapa macam unsur diiradiasi dengan neutron maka akan terjadi interaksi neutron dengan inti unsur-unsur tersebut. Dalam penelitian ini AAN termasuk dalam kategori neutron thermal dengan tenaga datang $0,025 \text{ eV}$. Apabila sampel limbah cair ditempatkan dalam fluks neutron yang berasal dari reaktor dan mengalami penyerapan neutron akan menghasilkan isotop radioaktif dengan umur paruh tertentu. Jika inti atom suatu bahan yang belum diketahui komposisinya ditembak dengan berkas neutron, maka terjadi ketidak stabilan inti dan akan memancarkan sinar- γ dengan tenaga

tertentu. Besarnya tenaga sinar- γ ini sebagai indikator jenis unsur tertentu yang jeniskandung dalam sampel bahan tersebut. Metode ini dapat digunakan untuk analisis baik secara kualitatif maupun kuantitatif.

Berdasarkan alasan-alasan tersebut di atas maka metode AAN dapat digunakan untuk eksplorasi kandungan unsur pada limbah cair pabrik galvanis.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Unsur apa saja yang terkandung pada sampel limbah cair pabrik galvanis ?
2. Berapa kadar unsur apabila dihitung dengan Metode Analisis Aktivasi Neutron?
3. Apakah limbah cair pabrik galvanis tersebut dalam batas aman?

1.3 Pembatasan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini dibatasi oleh :

1. Pengambilan sampel dilakukan di salah satu pabrik galvanis wilayah kota Semarang.
2. Dalam penelitian ini hanya dibatasi untuk penentuan kandungan unsur-unsur dalam limbah cair pabrik galvanis.
3. Pengambilan sampel dilakukan sebelum proses pengolahan dan setelah proses pengolahan limbah cair.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui jenis unsur yang terkandung pada limbah cair pabrik galvanis.
2. Menentukan kadar unsur pada limbah cair pabrik galvanis.
3. Mengetahui aman dan tidaknya limbah cair pabrik galvanis tersebut.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi kepada peneliti dan masyarakat (pihak pabrik galvanis) mengenai kandungan unsur pada limbah cair pabrik galvanis.
2. Dapat menunjukkan bahwa metode Analisis Aktivasi Neutron (AAN) dapat digunakan untuk analisis unsur dalam limbah cair pabrik galvanis.

1.6 Penegasan Istilah

Untuk menghindari penafsiran yang berbeda terhadap beberapa istilah yang digunakan, maka perlu dilakukan penegasan sebagai berikut :

1. Limbah Cair Pabrik Galvanis adalah limbah dalam bentuk cair yang dihasilkan oleh kegiatan pabrik galvanis (pengecatan, elektroplating, dan galvanisasi) yang sudah tidak dimanfaatkan kembali.
2. Baku Mutu Limbah Cair Pabrik Galvanis merupakan batas maksimum limbah cair yang diperbolehkan di buang ke lingkungan.
3. Analisis Aktivasi Neutron (AAN) adalah suatu analisa apabila sampel limbah cair ditempatkan dalam fluks neutron yang berasal dari reaktor dan mengalami penyerapan neutron akan menghasilkan isotop radioaktif dengan

umur paruh tertentu. Jika kita tembaki sebuah bahan yang komposisinya tidak diketahui dengan berkas neutron, dan kemudian teramati dua sinar- γ (gamma) berintensitas sama dengan tenaga masing-masing dalam spektrum- γ nya. Pemancaran sinar- γ ini, dapat digunakan untuk analisis kualitatif dan analisis kuantitatif.

4. Neutron merupakan zarah elementer penyusun inti atom yang tidak mempunyai muatan listrik. Massa diam sebuah neutron hampir sama dengan massa sebuah proton, yaitu sebesar 1,00898 sma ($1,67492 \times 10^{-24}$ gram)
5. Analisis kualitatif merupakan suatu cara menganalisis jenis unsur dari besarnya tenaga sinar- γ .
6. Analisis kuantitatif merupakan suatu cara menganalisis kadar unsur yang telah diidentifikasi dari analisis kualitatif.

1.7 Sistematika Skripsi

Untuk mempermudah dalam menelaah skripsi ini, maka dalam penyusunannya dibuat sistematika sebagai berikut :

1. Bagian awal skripsi

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

2. Bagian pokok skripsi

Bagian ini terdiri dari lima bab yang meliputi :

- a. Bab 1 Pendahuluan berisi alasan pemilihan judul yang melatar-belakangi masalah, penegasan istilah, permasalahan, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika skripsi.
 - b. Bab 2 Tinjauan Pustaka berisi kajian mengenai landasan teori yang mendasari penelitian.
 - c. Bab 3 Metode Penelitian berisi uraian metode penelitian yang digunakan dalam penyusunan skripsi. Metode penelitian ini meliputi penentuan obyek penelitian, metode pengumpulan data, instrumen penelitian, pelaksanaan penelitian dan metode analisis data.
 - d. Bab 4 Hasil Penelitian berisi hasil-hasil penelitian dan pembahasannya.
 - e. Bab 5 Penutup berisi tentang penyajian simpulan hasil penelitian dan penyajian saran sebagai implikasi dari hasil penelitian.
3. Bagian akhir skripsi
- Bagian ini berisi daftar pustaka dan lampiran-lampiran.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Galvanising

Pada suatu perusahaan yang bergerak dibidang galvanis, selalu berhubungan dengan logam sebagai bahan dasarnya. Logam yang berupa material mentah terkadang mengalami perkaratan, karena bersinggungan dengan udara luar atau lingkungan sekitar. Peristiwa korosi yang terjadi pada material merupakan peristiwa alamiah yang tidak dapat dicegah secara sempurna, tetapi dapat dikendalikan atau dihambat.

Proses galvanising merupakan salah satu proses untuk mendapatkan ketahanan bahan-bahan besi agar lebih tahan terhadap korosi, ini terjadi karena pada besi diberi lapisan seng, sehingga besi terlindung dari kontak langsung dengan udara dan bahan-bahan penyebab korosi. Galvanising juga memberikan penampilan yang lebih menarik, karena warna seng yang mengkilap dan cerah.

Untuk mendapatkan lapisan seng yang baik diperlukan *treatment* pendahuluan agar kotoran-kotoran dari bahan-bahan besi yang akan dilapisi dapat terlapisi dan dilanjutkan dengan penambahan bahan-bahan pembantu untuk memperkuat melekatnya lapisan seng pada besi. *Treatment* pendahuluan yaitu proses *rinsing I dan rinsing II*. Proses ini merupakan proses pembilasan sisa-sisa asam yang masih menempel pada besi atau bahan-bahan yang akan digalvanising. Ada tiga macam proses pelapisan logam yaitu proses elektrolisa, pencelupan (*pickling*) dan *quenching*.

2.1.1 Proses Elektrolisa

Proses ini memakai elektroda positif (anoda) seng dan elektroda negatif (katoda) dari bahan yang akan digalvanisasi dengan menggunakan bahan elektrolit $ZnCl_2$. Seng ini kemudian akan melapisi bahan yang terbuat dari besi. Proses ini membutuhkan larutan elektrolit dan anoda dalam jumlah banyak serta prosesnya memerlukan waktu yang lama sehingga proses elektrolisa menyebabkan berkurangnya efisiensi kerja meskipun kualitas galvanisasi yang dihasilkan cukup baik.

2.1.2 Proses Pencelupan (pickling)

Proses ini menggunakan mekanisme berupa bahan yang akan digalvanisasi dimasukkan ke dalam bak yang berisi seng yang telah dilebur pada suhu $500^{\circ}C$. Produk yang dihasilkan dengan proses ini mempunyai kualitas yang rendah karena hanya dilakukan proses pencelupan dan panas yang tinggi menyebabkan objek kehilangan bentuk yang sebenarnya.

2.1.3 Proses *Quenching*

Objek galvanis dimasukkan ke dalam tungku peleburan seng. Panas dari seng melebur akan membantu penetrasi pada objek galvanisasi yang sebelumnya telah mengalami perlakuan (*pre-treatment*) dalam beberapa tahap.

Pada proses *galvanizing* ini menyisakan limbah berbentuk cair yang potensial terhadap polusi lingkungan. Untuk melestarikan lingkungan hidup agar tetap bermanfaat bagi kehidupan manusia serta makhluk hidup lainnya perlu dilakukan pengendalian terhadap pembuangan limbah cair ke lingkungan. Untuk

melestarikan lingkungan hidup agar tetap bermanfaat bagi kehidupan manusia serta makhluk hidup lainnya perlu dilakukan pengendalian terhadap pembuangan limbah cair ke lingkungan. Untuk melaksanakan pengendalian pencemaran air sebagaimana telah ditetapkan dalam Perda Jawa Tengah No. 10 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri.

2.2 Neutron

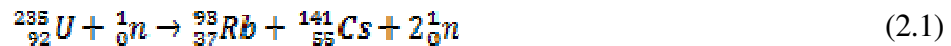
Neutron adalah zarah elementer penyusun inti atom yang tidak mempunyai muatan listrik. Massa diam sebuah neutron hampir sama dengan massa sebuah proton, yaitu sebesar 1,00898 sma ($1,67492 \times 10^{-24}$ gram). Oleh karena itu neutron dapat menembus suatu bahan dengan mudah. Interaksi neutron dengan inti atom berbeda dengan interaksi partikel radioaktif lainnya. Neutron tidak mengalami interaksi elektrostatis dengan elektron yang mengelilingi inti atom. Neutron hanya berinteraksi dengan inti atom. Cacah neutron dalam inti atom biasanya dilambangkan dalam huruf N (Susetyo, 1988 : 5). Neutron berasal dari tiga sumber yaitu : akselerator, radioisotop, dan reaktor nuklir.

2.2.1 Reaktor Nuklir

Reaktor nuklir merupakan tempat berlangsungnya reaksi fisi yang dihasilkan dari interaksi neutron dengan elemen bahan bakar reaktor. Pada umumnya bahan bakar yang digunakan reaktor adalah Uranium. Dalam Uranium terdapat dua isotop utama yaitu ^{235}U dan ^{238}U . Apabila sebuah neutron menumbuk suatu inti yang dapat membelah, 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 tenaga. Bahan-bahan yang dapat membelah pada reaksi antara neutron dengan bahan disebut bahan fisil.

Menurut reaksi inti dituliskan :



Terlihat disini bahwa dari suatu neutron yang dipergunakan untuk membelah Uranium dapat dihasilkan dua atau tiga neutron baru. Dengan demikian jelas bahwa reaktor dapat berfungsi sebagai sumber neutron.

Neutron yang dihasilkan langsung dari pembelahan Uranium mempunyai tenaga yang sangat tinggi. Neutron jenis ini disebut sebagai neutron cepat. Neutron cepat tidak dapat dipakai dengan efektif untuk membelah Uranium, oleh sebab itu dalam reaktor-reaktor jenis tertentu dilakukan penurunan tenaga neutron, yaitu dengan jalan memperlambat gerakan neutron. Biasanya bahan pelambat neutron adalah bahan-bahan dengan berat atom ringan seperti air, air berat (D_2O) dan grafit. Setelah mengalami perlambatan, tenaga neutron akan mengalami penurunan. Reaktor riset mempunyai fluks neutron 10^{11} - 10^{13} neutron $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$.

2.2.2 Akselerator

Akselerator merupakan mesin yang digunakan untuk mempercepat berkas partikel bermuatan dan menumbukkannya pada materi target. Dalam tumbukan tersebut terjadi reaksi inti yang menghasilkan neutron. Untuk mengeluarkan neutron dari atom target, tenaga partikel awal harus lebih besar dari potensial barrier inti yang mengelilingi inti. Setiap inti mempunyai potensial barrier

yang berbeda-beda, mengakibatkan tenaga yang dibutuhkan untuk mengeluarkan neutron dalam inti akan berbeda-beda.

2.2.3 Neutron Isotopik

Reaktor atom dan akselerator adalah sumber neutron yang mahal sehingga tidak banyak yang bisa memilikinya. Lagi pula kedua sumber neutron itu sangat berat sehingga tidak bisa dibawa kemana-mana. Untuk menanggulangi kesulitan tersebut orang mengusahakan pembuatan sumber neutron yang relatif murah dan dapat dibawa dengan mudah. Sumber neutron tersebut berisipi isotop radioaktif dan bahan sasaran. Radiasi yang dipancarkan oleh radioisotop tersebut berinteraksi dengan bahan sasaran dan menghasilkan neutron. Sumber semacam ini dinamakan sumber neutron isotopik. (Susetyo,1988:163)

Ditinjau dari reaksi inti yang menimbulkan neutron, sumber neutron isotopik dapat dibagi menjadi dua golongan, yaitu: sebagai contoh dari sumber neutron yang berdasarkan reaksi (γ,n) adalah sumber dengan isotop ^{124}Sb atau ^{226}Ra . Kedua isotop ini memancarkan sinar- γ tenaga tinggi yang kemudian berinteraksi dengan bahan sasaran yang terbuat dari Berilium (Be). Neutron yang dihasilkan mempunyai tenaga rerata sebesar 24keV (sumber $^{124}\text{Sb-Be}$) dan 200keV (sumber $^{226}\text{Ra-Be}$). Contoh dari sumber neutron yang berdasarkan reaksi (α,n) adalah sumber $^{239}\text{Pu-Be}$, $^{241}\text{Am-Be}$ dan $^{210}\text{Po-Be}$. Sumber $^{226}\text{Ra-Be}$ sebenarnya juga merupakan sumber neutron jenis ini karena selain memancarkan sinar- γ , ^{226}Ra juga memancarkan zarah- α . (Susetyo,1988; 164)

2.3 Interaksi Neutron dengan Materi

Inti atom terdiri dari sejumlah proton dan neutron. Proton merupakan pembentuk partikel inti bermuatan positif, neutron tidak bermuatan listrik, bebas dari pengaruh medan listrik coulomb dan medan magnet. Dengan sifat ini menyebabkan interaksi neutron dengan materi dapat terjadi terhadap inti atom. Apabila sebuah neutron bergerak mendekati suatu inti atom dan memasuki daerah medan pengaruhnya maka ada beberapa kemungkinan yang dapat terjadi. Kemungkinan pertama, neutron akan menumbuk inti dan sesudah tumbukan neutron dibelokkan arahnya dari arah semula dengan membentuk sudut θ dan inti atom akan terpental, peristiwa seperti ini disebut reaksi hamburan (*scattering*). Kemungkinan kedua, neutron masuk ke dalam inti atom dan tidak lagi merupakan badan yang berdiri sendiri. Peristiwa ini disebut reaksi tangkapan (*capture*).

2.3.1 Reaksi Hamburan (*scattering*)

Reaksi hamburan terjadi ketika neutron hanya dibelokkan arahnya, bergerak mendekati suatu inti atom dan sampai memasuki daerah medan pengaruhnya. Hasil akhir dari reaksi hamburan ini merupakan pemindahan tenaga dari satu partikel (inti) ke partikel lainnya. Reaksi hamburan sangat berguna untuk moderasi (perlambatan) terhadap neutron cepat. Jika neutron mencapai tenaga thermal makaampang lintang fisi menjadi lebih tinggi. Jenis reaksi hamburan ada dua jenis.

2.3.1.1 Hamburan lenting (elastis)

Hamburan lenting adalah proses tumbukan antara neutron dan inti sedemikian hingga tidak terjadi perubahan tenaga gerak dari neutron dan inti

setelah tumbukan. Dalam reaksi ini berlaku hukum kekekalan tenaga dan momentum yang berarti jumlah tenaga gerak dari neutron dan inti atom sebelum dan sesudah tumbukan tidak berubah atau tetap.

Contoh reaksi :



2.3.1.2 Hamburan tak lenting

Hamburan tak lenting adalah suatu proses dimana jumlah tumbukan dari sistem tumbukan tidak berubah tetapi terjadi perubahan tenaga gerak sebelum dan sesudah proses. Meskipun jumlah pada tenaga sistem tidak berubah, tenaga kinetik sesudah tumbukan lebih kecil dari tenaga kinetik sebelum tumbukan. Hal ini menyebabkan neutron tereksitasi menjadi tidak stabil dan akan kembali ke tingkat tenaga dasar dengan memancarkan radiasi gamma.

2.3.2 Reaksi tangkapan (*capture*)

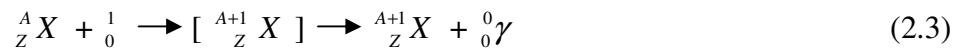
Selain dihamburkan neutron juga memiliki reaksi bentuk lain yang memungkinkan untuk neutron dapat diserap atau ditangkap oleh suatu inti atom :

2.3.2.1 Pemancaran sinar gamma

Pada reaksi pemancaran sinar gamma, neutron ditangkap oleh inti dan menyebabkan inti mengalami kelebihan tenaga. Kelebihan tenaga ini kemudian dipancarkan dalam bentuk sinar gamma, sehingga inti kembali ke keadaan dasar (*ground state*). Reaksi pemancaran sinar gamma termasuk ke dalam tangkapan

radiatif. Tangkapan radiatif adalah semua reaksi yang ditimbulkan oleh tangkapan neutron dan tidak mengalami pembelahan.

Proses pemancaran sinar gamma ditunjukkan sebagai berikut :



Contoh reaksinya :



2.3.2.2 Pelontaran partikel bermuatan pada reaksi (n, p); (n,γ)

Reaksi neutron lambat disertai oleh pemancaran partikel bermuatan alpha dan proton. Pada reaksi ini untuk dapat keluar dari inti, partikel bermuatan harus mempunyai tenaga yang cukup untuk mengatasi rintangan potensial. Sebagian tenaga itu diperoleh dari neutron yang ditangkap.

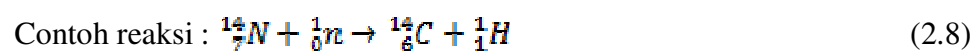
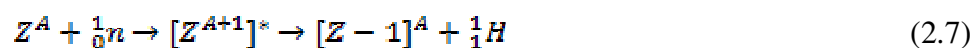
Reaksi pemancaran partikel bermuatan (n, α) :



Contoh reaksi :

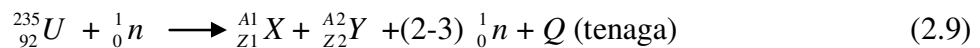


Reaksi pemancaran partikel bermuatan (n,p) :

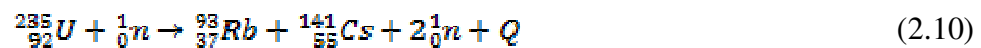


2.3.2.3 Reaksi fisi

Pada proses reaksi fisi, neutron ditangkap oleh inti atom sehingga menghasilkan inti atom majemuk yang bersifat sangat tidak stabil. Dalam waktu singkat inti atom majemuk ini akan membelah menghasilkan 2 belahan utama dan melahirkan 2 sampai 3 neutron baru disertai beberapa partikel dan timbulnya tenaga.



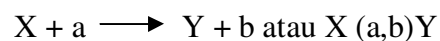
contoh reaksinya :



2.4 Reaksi Inti dengan Neutron

Reaksi inti adalah proses yang terjadi apabila partikel-partikel nuklir (inti) saling mengadakan kontak.

Pada umumnya reaksi inti dituliskan sebagai berikut :



X = inti sasaran yang merupakan unsur-unsur yang dapat membelah sehingga sering disebut dengan bahan-bahan fisil, atau secara populer disebut dengan bahan bakar, karena dari reaksi inti tersebut akan dihasilkan tenaga (E),

a = neutron penembak,

Y = inti hasil,

b = partikel hasil dan yang dipancarkan.

Apabila suatu partikel *a* ditembakkan pada inti X, maka ada beberapa kemungkinan yang terjadi, yaitu hamburan elastik hamburan inelastik dan reaksi

inti (Pratiwi, 2004 : 41). Reaksi inti dapat digolongkan dengan beberapa cara, tergantung pada keadaan, misalnya berdasarkan :

2.4.1 Jenis partikel datang

Menurut klasifikasi ini dapat digolongkan dalam beberapa golongan, yaitu berdasarkan :

- a. Reaksi partikel bermuatan
- b. Reaksi neutron
- c. Reaksi foto nuklir
- d. Reaksi elektron

2.4.2 Jenis tenaga partikel datang

Tenaga neutron datang dapat digolongkan dalam empat golongan, yaitu :

- a) Neutron termik dengan tenaga datang $\sim 0,025 \text{ eV}$
- b) Neutron epitermik dengan tenaga datang $\sim 1 \text{ eV}$
- c) Neutron lambat dengan tenaga datang $\sim 1 \text{ keV}$
- d) Neutron cepat dengan tenaga datang $0,1-10 \text{ MeV}$

Sebagian besar pada reaksi inti dihasilkan inti baru yang bersifat radioaktif dan juga tenaga gamma. Sifat inilah yang memungkinkan dilakukan analisa kualitatif dan kuantitatif.

2.5 Radioaktivitas

Radioaktivitas adalah gejala perubahan keadaan inti atom secara spontan yang disertai radiasi berupa zarah dan gelombang elektromagnetik (Susetyo, 1988: 19).

Suatu unsur dikatakan radioisotop atau isotop radioaktif jika mempunyai aktivitas yang dapat memancarkan radiasi. Radiasi ini terdiri dari zarah-zarah atau partikel yang dikeluarkan oleh inti atom dengan tenaga.

Atom terdiri dari inti atom bermuatan listrik positif yang dikelilingi oleh elektron-elektron dari inti atom bermuatan listrik negatif yang berputar pada orbitnya. Inti atom mengandung proton dan neutron yang disebut nukleon (Suratman; 1966 : 3).

2.5.1 Aktivitas

Aktivitas dapat pula diartikan sebagai laju peluruhan inti radioaktif. Semakin besar aktivitas semakin banyak inti atom yang meluruh perdetik. Aktivitas (A) hanya bergantung pada jumlah inti radioaktif (N) dalam sampel dan juga probabilitas peluruhan (λ) (Krane; 1987 : 359).

$$A = \left| -\frac{dN}{dt} \right| = \lambda N \quad (2.11)$$

Peluruhan radioaktif mengikuti hukum eksponensial yang dapat ditunjukkan secara statistik, karena dalam setiap sampel bahan radioaktif memiliki peluang untuk meluruh dalam suatu selang waktu tertentu.

$$A(t) = A(0) e^{-\lambda t} \quad (2.12)$$

Reaksi inti : $x + X \rightarrow Y + y$

Pada penelitian ini aktivitas digunakan pada analisis kualitatif dan kuantitatif. Dengan penembaknya adalah neutron thermal dengan tenaga 0,025 eV. Laju pembentukan inti baru (Y)=R sebanding dengan intensitas laju partikel hasil (y). Aktivitas inti baru (Y) yang terbentuk tergantung pada sasaran yang mengandung jumlah inti jenis X. Tambahan jumlah inti Y, pada saat dt , adalah :

$$dN = Rdt - \lambda N dt \quad (2.13)$$

maka aktivitasnya :

$$A_{(t)} = R(1 - e^{-\lambda t}) \quad (2.14)$$

Keterangan:

$A_{(t)}$ = Aktivitas zat radioaktif setelah waktu t

$A_{(0)}$ = Aktivitas zat radioaktif mula-mula

λ = Konstanta peluruhan (1/detik)

t = Waktu peluruhan (detik)

dN = Banyaknya inti atom yang meluruh dalam selang waktu dt

N = Jumlah inti atom yang tidak meluruh

R = Laju tetap yang menghasilkan Y

2.5.2 Satuan Aktivitas

Secara internasional telah disepakati suatu satuan aktivitas yang disebut Becquerel, disingkat Bq. Satu Becquerel (1Bq) didefinisikan sebagai satu disintegrasi inti per detik (dps).

Kelipatan dari satuan ini adalah :

$$1 \text{ Kilo Becquerel} = 1 \text{ Bq} = 1000 \text{ Bq}$$

$$1 \text{ Mega Becquerel} = 1 \text{ MBq} = 1.000.000 \text{ Bq}$$

Disamping satuan Becquerel, masih dipergunakan satuan lama yang disebut satuan curie disingkat Ci.

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} \quad (\text{Susetyo; 1988 : 23}).$$

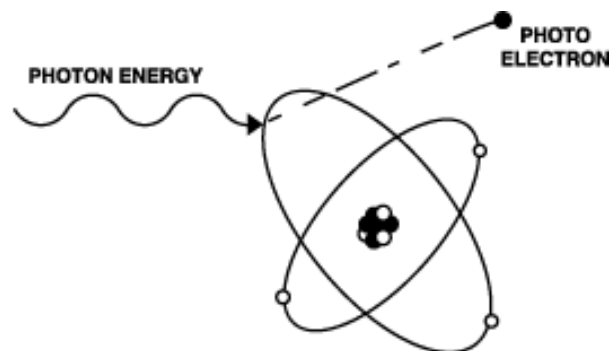
2.6 Interaksi Sinar- γ dengan Bahan

Sinar- γ merupakan radiasi gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang 10^{-10} - 10^{-13} m. Sinar ini bertenaga lebih tinggi dari foton dan tenaga sinar-x serta berdaya tembus tinggi yang dihasilkan dari proses peluruhan radioaktif. Sinar- γ yang dihasilkan akan berinteraksi dengan detektor dalam suatu sistem alat pencacah

Pada proses tumbukan antara partikel dengan atom dalam bahan, perpindahan alfa dan beta terjadi terutama karena ionisasi yang merupakan ion primer. Pada perpindahan tenaga gamma, ionisasi yang terjadi karena proses sekunder. Interaksi foton sinar gamma dengan atom dalam bahan akan menghasilkan ion primer yang sedikit. Ion-ion ini yang kemudian mengakibatkan terjadinya ionisasi dalam bahan. Interaksi foton sinar gamma dengan bahan ada 3 proses : *efek fotolistrik*, *efek Compton* dan *produksi pasangan*. Ketiga proses ini menghasilkan elektron yang mengionkan atau membuat atom dalam keadaan tereksitasi.

2.6.1 Efek Fotolistrik

Pada tumbukan foton dengan elektron yang terletak pada kulit bagian dalam suatu atom (kulit K atau L), semua tenaga foton diserap elektron, sebagian tenaga digunakan untuk melepaskan elektron dari ikatan inti atom. Elektron ini yang menyebabkan terjadinya ionisasi atom dalam bahan. Efek fotolistrik sebagian besar terjadi pada interaksi foton dengan tenaga lebih kecil dari pada 1Mev.

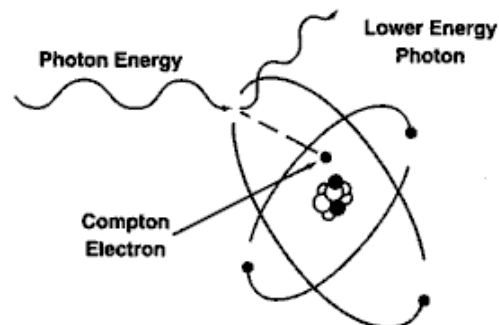


Gambar 2.1. Efek Fotolistrik (www.fauskes.net)

2.6.2 Efek Compton

Efek Compton terjadi antar foton- γ dengan sebuah elektron bebas atau yang terikat lemah, yaitu elektron yang berada pada kulit terluar suatu atom.

Berikut proses terjadinya proses *efek compton*.

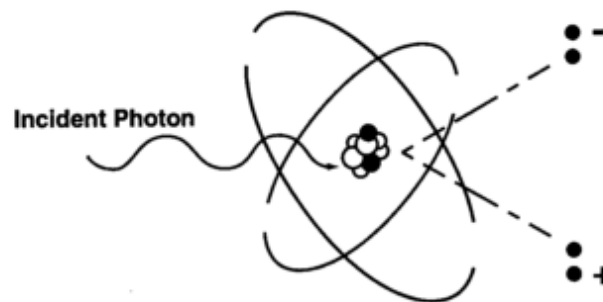


Gambar 2. 2. Efek Compton(www.fauskes.net)

Dalam proses ini foton- γ hanya akan menyerahkan sebagian tenaganya kepada elektron dan kemudian terhambur dengan sudut hambur tertentu terhadap lintasan foton- γ semula. Elektron yang ditumbuk foton- γ akan terlepas dari sistem atom, sehingga terjadi proses ionisasi.

2.6.3 Produksi Pasangan

Dalam proses produksi pasangan ini foton berinteraksi dengan inti, menyerahkan semua tenaganya dan membentuk dua partikel elektron dan positron. Proses pembentukan pasangan terjadi didekat inti atom, dengan tenaga foton lebih besar dari 1,02MeV.



Gambar 2.3. Produksi Pasangan(www.fauskes.net)

Positron yang terbentuk dari hasil produksi pasangan merupakan zarah yang tidak stabil dan mempunyai umur yang sangat pendek. Segera setelah terbentuk, positron akan bergabung dengan elektron di sekitarnya setelah menyerahkan tenaga geraknya. Massa kedua zarah tersebut berubah menjadi foton yang masing-masing bertenaga 0,511MeV. Nilai batas ambang *produksi pasangan* adalah 1,02MeV.

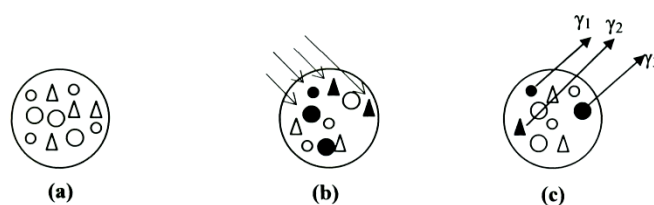
Dari ketiga proses tersebut menghasilkan spektrum- γ , spektrum- γ bersifat unik, masing-masing inti memiliki tenaga gamma yang berbeda sehingga spektrum- γ dari sampel dapat digunakan untuk analisis kuantitatif .

2.7 Aktivasi Neutron

2.7.1 Prinsip Dasar Aktivasi Neutron

Prinsip dasar aktivasi neutron adalah timbulnya radioaktivitas imbas dari suatu sampel setelah ditembaki dengan neutron dalam selang waktu tertentu

(waktu irradiasi). 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-sinar radioaktif. 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 tenaga sinar- γ sedangkan analisis kuantitatif dilakukan berdasarkan penentuan intensitas sinar- γ .



Gambar 2.4. Prinsip Dasar Analisis Aktivasi Neutron (Susetyo, 1988 : 158)

Keterangan :

- (a) Sampel terdiri atas bahan dasar (o) dan unsur kelumit (Δ).
- (b) Sampel diiradiasi dengan neutron dan membuat beberapa atom menjadi radioaktif (\bullet dan \blacktriangle).
- (c) Sinar- γ yang dipancarkan oleh sampel menyiapkan data kualitatif dan kuantitatif unsur-unsur dalam sampel ($\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$).

Esensi dasar yang dibutuhkan untuk menganalisis sebuah sampel dengan metode AAN adalah sebuah sumber neutron, instrumentasi yang sesuai untuk mendeteksi sinar gamma, dan sebuah pengetahuan detail dari reaksi yang dibutuhkan ketika neutron berinteraksi dengan target. Prinsip dasar AAN terdapat pada Gambar 2.4.

Apabila unsur-unsur stabil dalam sampel diiradiasi dengan neutron, maka terjadi bermacam-macam reaksi inti, akan tetapi yang digunakan dalam AAN adalah reaksi neutron gamma (n,γ), yang berarti jika suatu unsur ditembak dengan neutron maka unsur tersebut akan berubah menjadi unsur lain sambil melepaskan sinar- γ .

2.7.2 Reaksi Aktivasi Neutron

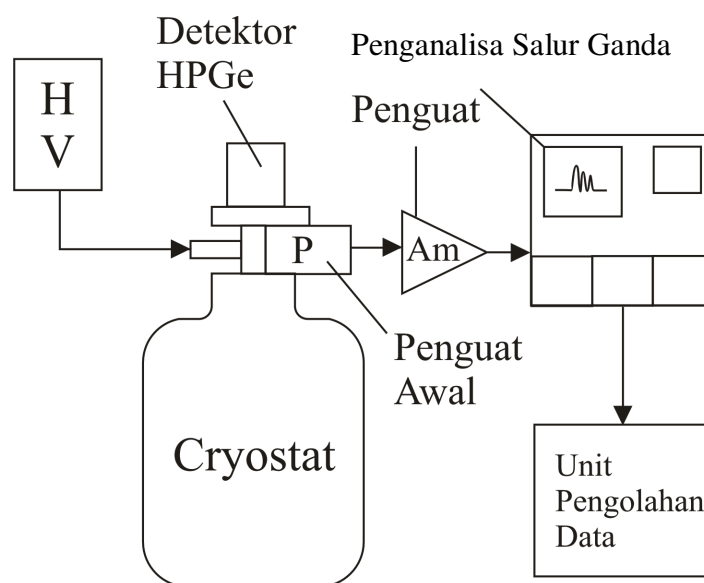
Apabila suatu bahan yang mengandung beberapa macam unsur diiradiasi dengan neutron, maka akan terjadi penangkapan neutron oleh inti unsur-unsur tersebut. Reaksi tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan umum $A(n, \gamma) B$. Pancaran sinar gamma tiap-tiap unsur mempunyai sifat-sifat dan karakteristik dalam hal tenaganya ($E \gamma$). Dari karakteristik itu dapat dilakukan analisis kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan berdasarkan pengukuran unsur hasil dari puncak-puncak tenaga sinar gamma sehingga dapat ditentukan jenis unsur yang kita inginkan. Sedangkan analisis kuantitatif dilakukan dengan pengukuran intensitas sinar gamma dengan menggunakan perangkat spektrometri gamma, misalnya detektor HpGe.

2.8 Perangkat Spektrometri- 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 radioaktif tersebut dengan detektor (Susetyo, 1988 : 1)

Spektrometri- γ terdiri dari detektor semikonduktor HpGe, sumber tegangan tinggi (HV), penguat awal (preamplifier), amplifier dan penganalisis salur ganda dan unit pengolahan data.



Gambar 2.5. Perangkat spektrometri- γ

2.8.1 Detektor Semikonduktor HPGe (*High Pure Germanium*)

Detektor HPGe adalah detektor semi konduktor yang medium detektornya terbuat dari bahan semi konduktor berupa germanium dengan kemurnian tinggi. Detektor HPGe diletakkan dalam bejana hampa yang disebut sistem *cryostat*. Didalam sistem *cryostat* detektor HPGe didinginkan oleh nitrogen cair yang memiliki suhu -196°C (77 K). Selain untuk menjamin daya pisah yang tinggi, nitrogen cair yang diperlukan untuk menjaga kestabilan daerah intrinsik.

Detektor HPGe harus dioperasikan pada suhu yang sangat rendah. Hal ini dilakukan agar tidak terjadi kebocoran arus yang menghasilkan derau dan merusak daya pisah detektor. Nitrogen cair disini juga diperlukan untuk menjaga keberadaan daerah intrinsik. Daya pisah atau resolusi detektor adalah kemampuan detektor untuk memisahkan dua puncak tenaga sinar- γ yang berdekatan. Ukuran daya pisah detektor dinyatakan dengan lebar setengah tinggi maksimum atau FWHM (*Full Width Half Maksimum*).

2.8.2 Sumber Tegangan Tinggi (HV)

Sumber tegangan tinggi (sumber daya) dalam ruang lingkup alat elektronik pembantu alat nuklir dibagi dalam dua bagian. Sumber tegangan yang diperlukan untuk alat-alat elektronik dan sumber tegangan tinggi untuk detektor. Peralatan elektronik yang digunakan untuk pengukuran radiasi mengikuti suatu standar tertentu yang disebut sebagai NIM (*Nuklear Instrument Module*). Modul-modul elektronik tersebut mempunyai bentuk, ukuran, serta tegangan kerja yang standar. Bin merupakan rak sebagai tempat modul-modul yang mengikuti standar NIM tersebut. Bin ini juga yang berfungsi sebagai pencatu dayanya. Sumber tegangan tinggi pada perangkat spektrometer- γ adalah sumber tegangan yang diatur dan disesuaikan dengan tegangan kerja detektor yang digunakan. Setiap detektor memerlukan tegangan searah yang cukup tinggi dengan nilai yang berbeda-beda. Pada detektor HPGe tegangan kerja yang digunakan adalah sebesar 3000 Volt.

2.8.3 Preamplifier dan Amplifier

Preamplifier terletak diantara detektor dan *amplifier*. Umumnya alat ini dipasang sedekat mungkin dengan detektor. Alat ini berfungsi sebagai berikut :

- a. Untuk melakukan amplifikasi awal terhadap pulsa keluaran detektor.
- b. Untuk melakukan pembentukan pulsa pendahuluan.
- c. Untuk mencocokkan impedansi keluaran detektor dengan kabel sinyal masuk ke penguat.
- d. Untuk mengadakan perubahan muatan menjadi tegangan pada pulsa keluaran detektor.
- e. Sebagai penurunan derau.

Amplifier berfungsi sebagai alat yang meneruskan pulsa dari *preamplifier*, dimana memberikan hasil keluaran yang memiliki daya pisah tinggi dan membentuk tampilan lebih baik dan terbaca.

2.8.4 Penganalisis Salur Ganda / MCA (Multi Channel Analyzer)

Penganalisis Salur Ganda / MCA adalah sebuah alat untuk menganalisa pulsa keluaran dari penguat yang hasilnya berupa spektrum. MCA memiliki saluran pencacahan ganda yang dibatasi oleh celah yang lebarnya dapat diatur, yang biasanya disebut jendela. Hanya pulsa-pulsa yang memiliki amplitudo lebih besar dari batas bawah dan lebih kecil dari batas atas jendela yang diteruskan menuju alat cacah. Semua pulsa yang amplitudonya lebih rendah dan lebih tinggi dari harga batas yang diijinkan tidak akan diteruskan.

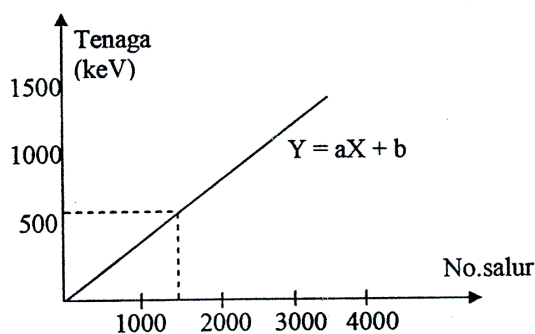
Menurut Knoll (1979) yang telah dikutip oleh Lukas WW, bahwa MCA berfungsi membuat grafik spektrum tinggi pulsa yang masuk, sehingga diperoleh hubungan bahwa nomor saluran (kanal) menunjukkan tenaga, dan cacah tiap saluran menunjukkan banyaknya pulsa.

2.9 Kalibrasi Spektrometri- γ

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.

2.9.1 Kalibrasi tenaga

Untuk suatu perangkat spektrometri- γ dan suatu *setting* kondisi kerja perlu dicari hubungan antara nomor salur dan tenaga. Hal ini dilakukan dengan mencacah sumber radioaktif standar. Untuk sumber radioaktif standar digunakan satu sumber multigamma ^{152}Eu yaitu sumber yang karakteristik tingkat tenaga gammanya sudah diketahui dengan tepat dan mempunyai banyak puncak gamma yang tersebar secara merata dari tenaga rendah sampai tenaga tinggi. Kemudian dibuat plot tenaga sinar- γ standar versus nomor saluran puncak secara total masing-masing, maka akan didapatkan saluran garis lurus. Plot semacam ini disebut dengan kurva kalibrasi tenaga, seperti Gambar 2.6 :



Gambar 2.6. Kurva Kalibrasi Tenaga

Hubungan linier tersebut dinyatakan secara lebih pasti dan tidak tergantung pada subyektivitas pembuat kurva atau yang menggunakannya. Untuk mengolah data kalibrasi menjadi persamaan garis linier biasanya digunakan metode kuadrat terkecil atau sering juga disebut metode regresi linier (Susetyo, 1988 : 109).

2.9.2 Kalibrasi efisiensi

Dalam spektrometri- γ , laju cacah biasanya dinyatakan dalam suatu cacah per detik (cps). Untuk suatu pencacahan “gross” maka efisiensi deteksi semata-mata adalah nisbah laju cacah dan aktivitas dengan rumus sebagai:

$$\% \varepsilon(E) = \frac{Cps}{Dps \cdot Y} \cdot 100\% \quad (2.15)$$

Keterangan:

ε = efisiensi mutlak pada tegangan E

Cps = cacah per detik

Dps = disintegrasi per detik

Y = Yield pada tegangan E

(Susetyo, 1988 : 118).

Apabila dilakukan pengukuran efisiensi dari tegangan rendah sampai tenaga yang cukup tinggi dengan menggunakan sumber standar, maka dapat dibuat plot efisiensi versus tenaga. Plot semacam ini disebut kurva kalibrasi efisiensi. Harga efisiensi deteksi suatu pengukuran ditentukan oleh berbagai faktor antara lain : jarak sampel detektor, bentuk sumber radioaktif sampel, volume detektor, daya pisah dan sebagainya (Susetyo, 1988 : 21).

2.10 Reaktor Kartini

Reaktor Kartini merupakan jenis reaktor *TRIGA MARK II (Training, Research and Isotop Production by General Atomic)* yang digunakan untuk keperluan irradiasi, eksperimen dan latihan personil. Sampel yang 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 irradiasi 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 (B_4C).

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.

2.10.1 Sistem Bahan Bakar

Reaktor Kartini menggunakan bahan bakar TRIGA, U-ZrH tipe 104 dan tipe 204 buatan General Atomik. Elemen bahan bakar merupakan campuran homogen bahan bakar uranium dan moderator zirkonium hibrida (U-ZrU), berbentuk padat dan setiap elemen rata-rata mengandung uranium ^{235}U 8% berat dengan pengkayaan 20%. Di dalam bahan bakar normal terkandung 36-38 gram ^{235}U , dengan berat total 3kg setiap elemen. Disamping itu Reaktor Kartini mempunyai elemen bahan bakar tiruan (*dummy*). Bentuk dan ukuran sama dengan elemen bahan bakar dan tersusun dari grafit. Fungsi dari elemen bahan tiruan ini adalah untuk menaikkan efisiensi neutron dalam teras (berfungsi sebagai reflektor).

2.10.2 Bahan dan Peralatan dalam Tangki Reaktor

2.10.2.1 Sistem Kendali Reaktivitas

Sistem kendali reaktivitas dirancang dan dipasang untuk keadaan operasi normal dan *shutdown* reaktor. *Shutdown* reaktor berkaitan dengan keselamatan reaktor, diaktifkan oleh sistem proteksi reaktor.

Sistem kendali reaktivitas terdiri dari komponen utama, meliputi : peralatan penggerak batang kendali, perangkat batang kendali, sistem penampil batang kendali dan sistem kendali untai tertutup (*close circuit*) daya reaktor.

2.10.2.2 Bagian dalam Reaktor yang Berhubungan dengan Teras

2.10.2.2.1 Teras

Teras reaktor berbentuk silinder dan terdiri dari kisi-kisi tempat dudukan elemen bahan bakar, elemen *dummy* dan batang kendali. Teras dikelilingi oleh reflektor yang ditempatkan pada suatu tempat dudukan reflektor.

2.10.2.2.2 Moderator

Moderator merupakan bahan yang mempunyai fungsi sebagai pelambat neutron. Moderator yang dipakai adalah air ringan dan Zirconium Hibrida (ZrH).

2.10.2.2.3 Reflektor

Reflektor berupa sebuah ring silinder dari grafit dipasang menyelubungi teras reaktor yang berada seakan-akan di dalam kaleng aluminium, dimaksudkan untuk menjaga agar tidak ada kontak langsung antara air dengan grafit, berfungsi sebagai reflektor/pemantul neutron. Dimensi reflektor ini mempunyai diameter dalam 45,7m, dengan tebal cincin sebesar 30,5cm dan tinggi 55,9cm.

Reflektor ini mempunyai beberapa bagian untuk penempatan fasilitas irradiasi, yaitu :

1. Sebuah lubang melingkar diseluruh permukaan atas reflektor, digunakan untuk penempatan rak putar (*lazy suzan*) dengan lebar radial 10,2cm dan kedalaman 25,5cm.
2. Sebuah lubang menembus reflektor sampai ke permukaan bagian dalam secara radial dari samping, digunakan untuk memasang sebuah tabung berukuran diameter 16,8cm dan tebal 0,71cm.

2.10.2.2.4 Tabung Berkas Neutron (*beam port*)

Pada Reaktor Kartini terdapat 4 *beam port* yaitu : *beam port* arah tangensial (1 buah) dan *beam port* arah radial (3 buah). Beberapa fungsi dari *beam port* yaitu menyediakan berkas neutron dan gamma untuk keperluan eksperiman dan untuk fasilitas irradiasi bahan-bahan yang berukuran besar.

2.10.2.2.5 Fasilitas Eksperimen dan Irradiasi

Fasilitas-fasilitas dalam eksperiman dan irradiasi antara lain : kolom termal, kolom untuk eksperimen perisai dan sistem pneumatik.

2.10.2.2.5.1 Kolom Termal

Fungsi dari kolom termal adalah untuk eksperimen irradiasi dari sampel yang khusus memerlukan radiasi neutron termal.

2.10.2.2.5.2 Kolom untuk Eksperimen Perisai

Fasilitas ini terletak pada sisi yang berlawanan dari kolom termal. Kolam air bervolume besar ini mempunyai kedalaman 3,80m, lebar 2,40m dan panjang 2,65m, kolom mini diberi cat epoxy yang tahan terhadap rembesan air dari dalam.

2.10.2.2.5.3 Saluran Tengah (*central thimble*)

Saluran tengah di desain untuk keperluan eksperimen irradiasi di daerah yang mempunyai fluks maksimum. Saluran tengah ini berupa tabung yang berdiameter 24mm dan panjang 6m. Tabung ini terletak di tengah-tengah tangki reaktor dan memanjang dari atas sampai ke penyangga teras.

2.10.2.2.5.4 Rak Putar (*Lazy Suzan*)

Sebuah fasilitas irradiasi yang mengelilingi teras reaktor terletak di bagian atas perangkat reflektor. Fasilitas ini disebut rak putar (*Rotary Specimen Rack*). Rak putar ini terdiri dari 40 lubang tempat irradiasi, dapat digunakan secara bersama-sama dan dapat diputar. Pemasukan dan pengeluaran sampel dilakukan melalui sebuah tabung pengarah yang dapat diatur dari atas reaktor.

2.10.2.2.5.5 Fasilitas Perangkat Subkritis

Perangkat subkritis dikopelkan dengan Reaktor Kartini melalui salah satu tabung berkas neutron (*beam port*) dalam suatu ruangan perisai beton di depan tabung berkas. Perangkat ini digunakan untuk pengukuran *bucling* efek batang kendali, penentuan susunan yang optimum antara volume Uranium dan H₂O dan pengukuran parameter-parameter lainnya.

2.10.2.2.5.6 Sistem Pemindah Pneumatik

Perangkat ini digunakan untuk eksperimen irradiasi sampel yang menghasilkan radionuklida berumur pendek. Sampel yang akan diiradiasi dapat dimasukkan maupun dikeluarkan dari teras reaktor secara otomatis dalam waktu yang sangat singkat.

2.10.3 Sistem Pendingin

Panas yang timbul akibat reaksi inti akan menaikkan suhu bahan bakar dan air pendingin reaktor. Supaya air pendingin tidak meningkat terus maka dilakukan pengambilan panas dari dalam teras dengan jalan mensirkulasikan air tangki reaktor (ATR) dan mendinginkannya pada alat penukar panas. Sistem pendingin reaktor terdiri dari sistem pendingin primer yang berfungsi mengambil panas dari teras dan membawanya ke alat penukar panas dari sistem pendingin sekunder yang berfungsi membawa panas dari alat penukar panas untuk dilepas ke udara luar (Suratman; 1998 : 20).

2.11 Penentuan Kadar Unsur Limbah dengan Metode Aktivasi

Dengan meletakkan suatu bahan tertentu dalam medan neutron, maka akan terjadi reaksi inti atom dengan neutron yang akan mengakibatkan inti atom dalam keadaan tereksitasi dan memancarkan zarah dari α , β atau γ (Rany, 1991 : 11).

Peluruhan radioaktif mengikuti hukum eksponensial yang dapat ditunjukkan secara statistik, karena dalam setiap sampel bahan radioaktif memiliki peluang untuk meluruh dalam suatu selang waktu tertentu. Laju reaksi peluruhan radioaktif atau perubahan inti atom induk persatuan waktu adalah :

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (2.16)$$

$$dN_t = -N_t \lambda dt \quad (2.17)$$

dengan λdt : peluang setiap inti untuk meluruh dalam selang waktu dt , N adalah jumlah inti atom yang tidak meluruh, dan dN adalah banyaknya inti atom yang meluruh dalam selang waktu dt (Beisser, 1988 : 448).

Jika Persamaan (2.17) diintegrasikan :

$$\int_{N_0}^{N_t} \frac{dN_t}{N_t} = -\lambda \int_0^t dt \quad (2.18)$$

$$\ln N_t - \ln N_0 = -\lambda t \quad (2.19)$$

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.20)$$

Akibat dari penyinaran neutron pada sampel, maka sebagian unsur dalam sampel menjadi radioaktif. Tetapi karena pada saat yang sama inti radioaktif yang terbentuk meluruh, sehingga laju pembentukan radionuklida merupakan selisih antara laju produksi inti radioaktif dan laju peluruhannya. Secara matematis dapat dinyatakan melalui persamaan :

$$\frac{dN}{dt} = \left[\left[\frac{dN}{dt} \right]_{produksi} - \left[\frac{dN}{dt} \right]_{peluruhan} \right] \quad (2.21)$$

Jika pada saat t_0 terdapat sejumlah N_0 inti yang tidak stabil maka pada saat t_1 terdapat inti yang tidak stabil sejumlah :

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.22)$$

Dengan $t = t_1 - t_0$ berdasarkan hal inilah maka laju peluruhan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{dN}{dt} = \frac{d(N_0 e^{-\lambda t})}{dt} = -\lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.23)$$

Bila dianggap bahwa aktivitas sebelum aktivasi 0, maka aktivitas setelah aktivasi dapat dinyatakan :

$$A_0 = \lambda N = R(1 - e^{-\lambda t_a}) \quad (2.24)$$

dengan

$$R = \left[\frac{dN}{dT} \right]_{produksi} \quad (2.25)$$

laju produksi inti radioaktif (R) sebanding dengan fluks neutron dan tampang lintang reaksi neutron, dinyatakan dalam Persamaan 2.26 sebagai berikut :

$$R = N \int \tau(E) \phi(E) dE \quad (2.26)$$

dengan

N = jumlah inti target

$\tau(E)$ = tampang lintang

$\phi(E)$ = fluks lintang

Jika sampel diaktivasi dalam waktu sampai lima kali waktu paro, maka aktivitas akan mendekati R. Keadaan inilah yang disebut dengan aktivitas jenuh (A_{sat}). Andaikan ϕ dan τ tidak tergantung pada tenaga neutron maka dapat dinyatakan :

$$A_{sat} = R = N \phi \tau \quad (2.27)$$

Sehingga A_a dapat dinyatakan sebagai :

$$A_a = \lambda N = A_{sat} (1 - e^{-\lambda t_d}) \quad (2.28)$$

Setelah proses aktivasi selesai, maka hanya terjadi peluruhan inti radioaktif saja. Jumlah inti radioaktif tersebut sesuai dengan fungsi waktu peluruhan t_d , sehingga aktivitasnya dapat dinyatakan sebagai :

$$A_d = R (1 - e^{-\lambda t_a})(e^{-\lambda t_d}) \quad (2.29)$$

Pengukuran hasil aktivasi yang terukur adalah selama waktu pencacahan. Andaikan pencacahan dilakukan pada akhir waktu tunda (t_d) sampai akhir pencacahan (t_c) dengan efisiensi detektor sebesar ϵ dan aktivitas akhir aktivasi A_d , maka laju cacah peluruhan sampai berakhirnya waktu pencacahan t_c dapat dinyatakan sebagai :

$$A_c = \int_0^{t_c} A_d e^{-\lambda t} \epsilon dt \quad (2.30)$$

Yang memiliki hasil integral :

$$A_c = \frac{A_d \epsilon}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t_c}) \quad (2.31)$$

Pada saat meluruh, inti radioaktif mengalami beberapa bentuk peluruhan dengan prosentase tersendiri. Untuk peluruhan gamma maka terdapat faktor koreksi yang disebut sebagai *gamma yield* (Y). Sebagai sebuah faktor koreksi, maka gamma yield ini dimasukkan pada Persamaan (2.31) sehingga didapatkan :

$$A_c = \frac{Y A_d \epsilon}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t_c}) \quad (2.32)$$

Dengan substitusi Persamaan (2.32) ke dalam Persamaan (2.29) dan (2.25), maka persamaannya menjadi :

$$A_c = \frac{Y N \phi \tau \epsilon}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t_c})(1 - e^{-\lambda t_d})(e^{-\lambda t_d}) \quad (2.33)$$

$$\text{Dengan } N = \frac{m N_A a}{B_A}$$

Maka laju cacah pada saat berakhirnya pencacahan dapat dinyatakan sebagai :

$$A_c = \frac{mY N_A \phi \tau \varepsilon}{B_A \lambda} (1 - e^{-\lambda t_c})(1 - e^{-\lambda t_d})(e^{-\lambda t_d}) \quad (2.34)$$

Dengan :

A_c = laju cacah (cps)

N_A = bilangan avogadro ($6,02 \times 10^{23}$ atom / mol)

m = massa isotop unsur (gr)

B_A = massa atom relatif (gr)

a = kelimpahan isotop

ε = efisiensi detektor

ϕ = fluks neutron (neutron/cm²detik)

τ = tampang lintang reaksi (cm²)

Y = yield gamma

λ = konstanta peluruhan

t_a = waktu aktivasi (detik)

t_c = waktu cacah (detik)

t_d = waktu tunda (detik)

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bidang Reaktor Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan (PTAPB) BATAN Yogyakarta, dalam jangka waktu 5 bulan, yaitu dari bulan Oktober 2008 - Maret 2009.

3.2 Tempat dan Waktu Pengambilan Sampel

Sampel diambil di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pabrik galvanis, sebelum dan sesudah proses pengolahan limbah. Sampel diambil pada tanggal 27 Oktober 2008 dan 3 November 2008 pada pukul 10.00 - 12.00 WIB. Sampel yang diambil meliputi :

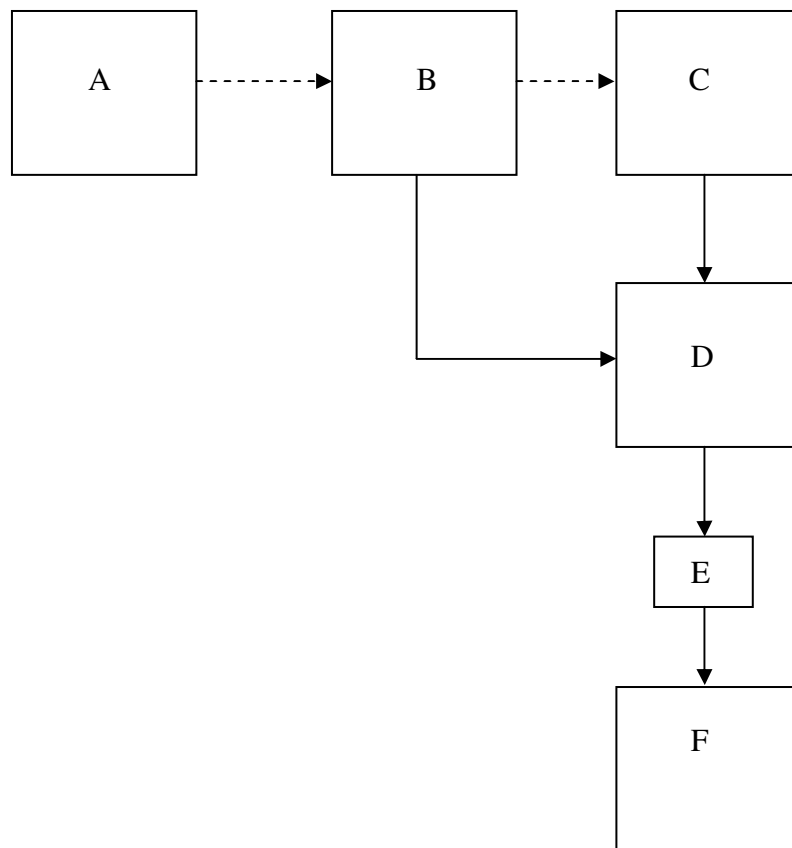
3.2.1 Sebelum Proses Pengolahan

pada 4 lokasi/titik, yaitu titik *pickling*, titik *rinsing I*, titik *rinsing II*, dan titik campuran *rinsing I&II*, pengambilan sampel masing-masing titik dilakukan secara random sebanyak 1 liter.

3.2.2 Setelah Proses Pengolahan

Diambil secara random sebanyak 1 liter.

Skema pengambilan sampel limbah cair di pabrik galvanis terdapat pada Gambar 3.1 :



Gambar 3.1. 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

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat Penelitian

Dalam penelitian ini alat-alat yang digunakan meliputi : alat pengambilan sampel, alat preparasi sampel, alat irradiasi, dan alat pencacahan.

3.3.1.1 Alat Pengambilan Sampel

Alat pengambilan sampel hanya menggunakan botol bekas air mineral.

3.3.1.2 Alat Preparasi Sampel

1. *Handy step* berfungsi untuk memasukan sampel ke dalam *vial polyetilene*.
2. *Vial polyetilene* berfungsi untuk tempat limbah cair yang digunakan saat aktivasi maupun pencacahan.
3. *Plastik klip* berfungsi untuk tempat *vial polyetilene* saat aktivasi.
4. *Kelongsong* berfungsi untuk tempat *vial polyetilene* saat aktivasi.

3.3.1.3 Alat Iradiasi Sampel

Alat iradiasi sampel menggunakan fasilitas *lazy susan* Reaktor Kartini dengan kapasitas 40 kapsul, daya maksimum 100kW.

3.3.1.4 Alat Pencacah

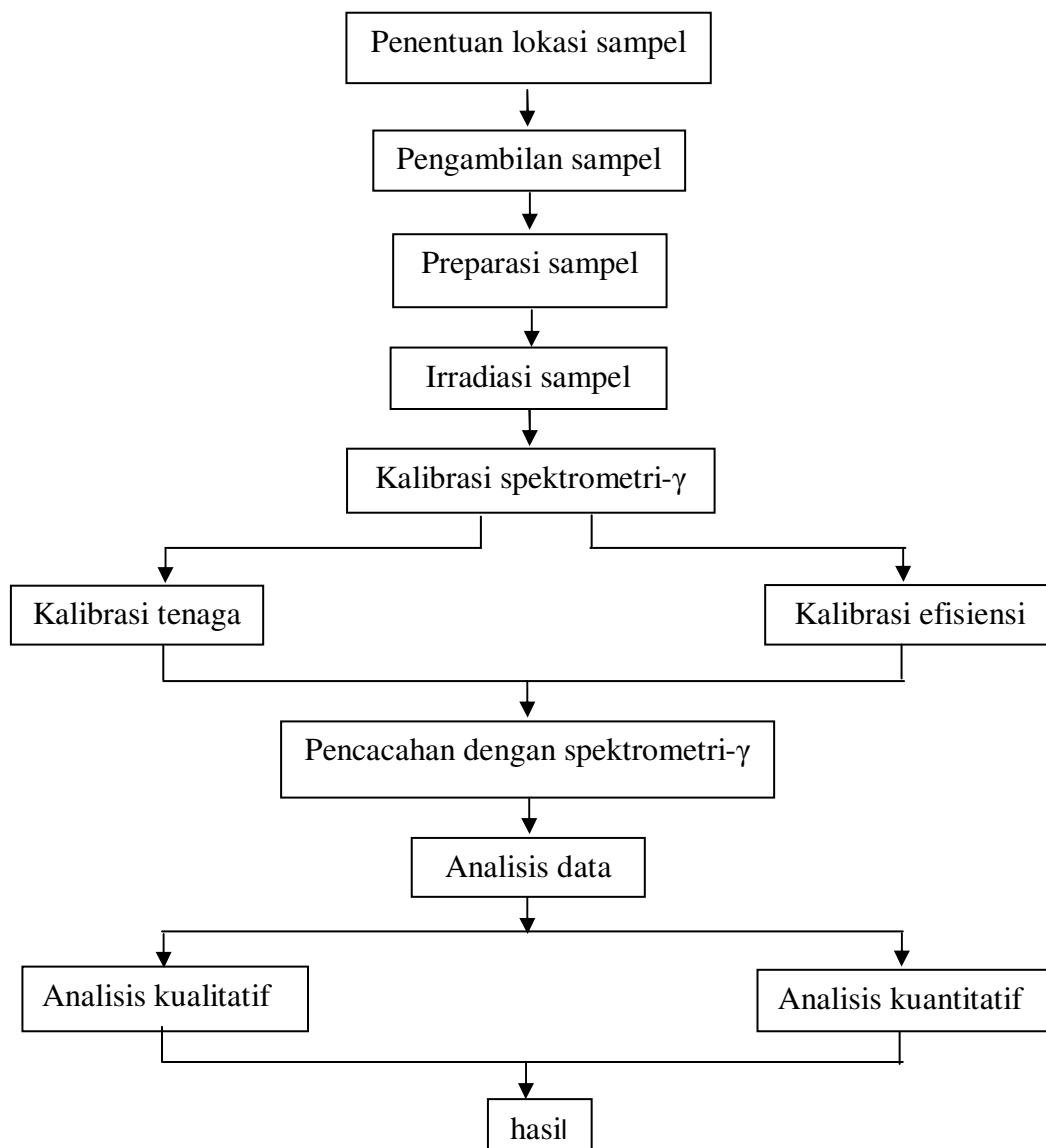
Alat yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan Perangkat Spektrometer gamma : Detektor semikonduktor HPGe merek Ortec, Sumber tegangan tinggi (HV) power supply merek Ortec model 572, Stabilizer Philip 400VA, Penganalisis Salur Ganda (*Multi Channel analyzer / MCA*).

Alat *pencatat* waktu menggunakan stop watch berfungsi untuk menghitung waktu saat aktivasi maupun waktu paruh.

3.3.2 Bahan

1. Sampel limbah cair pabrik galvanis.
2. Sumber standar Eupherium (^{152}Eu) untuk kalibrasi efisiensi.
3. Aquadest untuk membersihkan *handy step* setelah digunakan untuk memasukan sampel yang satu ke sampel berikutnya.
4. Nitrogen cair untuk mendinginkan detektor agar stabil dengan suhu diluar.

3.4 Prosedur Penelitian



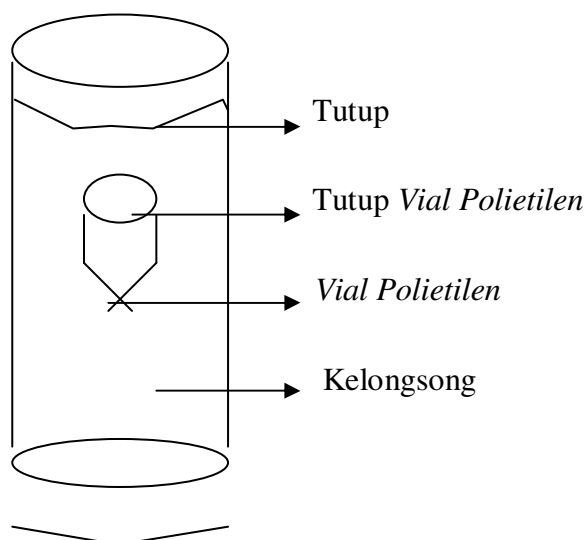
Gambar 3.2. Prosedur Penelitian

3.4.1 Prosedur Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel untuk limbah cair pabrik galvanis dilakukan sebelum dan sesudah proses pengolahan. Dari tiap proses pengolahan dilakukan dua kali pengamatan. Yaitu pengamatan untuk waktu peluruhan umur panjang dan waktu peluruhan umur pendek bertujuan untuk membedakan hasil dari keduanya. Diambil lima buah sampel masing masing 10ml atau dua tetes dengan menggunakan *handy step*.

3.4.2 Persiapan Aktivasi

Setelah larutan disiapkan sampel dimasukan dalam *Vial* masing-masing 10ml yang kemudian dimasukan ke dalam plastik klip sendiri, kemudian dimasukan dalam kelongsong dengan beberapa *vial* sampel yang berisi limbah cair. Dengan masing-masing sampel sudah diberi label sesuai dengan kode industri dan waktu peluruhan. Seperti pada Gambar 3.2:



Gambar 3.3. Kelongsong tempat Vial Polietilen yang berisi larutan sampel untuk diradiasi

3.4.3 Aktivasi Sampel

Sampel yang telah disiapkan dalam kelongsong diaktivasi di Reaktor Kartini dari generator neutron. Atom-atom dalam sampel akan menangkap neutron dan berubah menjadi radioaktif. Radioaktif semacam ini dinamakan radioaktivitas imbas (*inducted activid*). Aktivasi dilakukan dua kali yaitu waktu peluruhan umur panjang dan waktu peluruhan umur pendek. Untuk waktu peluruhan umur panjang aktivasi dilakukan selama 6 jam untuk waktu peluruhan umur pendek selama 5 menit. Waktu aktivasi tersebut diambil dengan mempertimbangkan waktu paro dari isotop unsur-unsur yang akan dianalisis sehingga aktivasi dari inti radioaktif isotop unsur dalam sampel dapat mencapai keadaan jenuh (Susetyo, 1988).

3.4.4 Kalibrasi Spektrometri- γ

Sebelum digunakan untuk mencacah, perlu dikalibrasi terlebih dahulu, dengan tujuan untuk mendapatkan hubungan antara nomor salur ('*chanel*') dengan tenaga. Hal ini dilakukan dengan jalan mencacah sumber radioaktif standar, yaitu sumber yang sudah digalvanisi tenaganya dengan tepat. Dalam kalibrasi ini digunakan sumber standar multi γ yaitu ^{152}Eu . Sumber ini digunakan karena memiliki banyak puncak spektrum gamma yang tersebar merata dari tenaga rendah ke tenaga tinggi. Setiap pengukuran puncak serapan total sinar gamma akan diperoleh data (x_i, y_i) dengan x_i adalah nomor salur dan y_i adalah tenaga sinar gamma yang dipancarkan. Hubungan antara nomor salur dengan tenaga gamma ditunjukkan oleh Persamaan (3.1).

$$Y = a X + b \quad (3.1)$$

dengan :

Y = tenaga sinar gama (KeV)

a = kemiringan garis

b = titik potong garis pada sumbu y.

X = nomor salur

$$a = \frac{\sum X_i Y_i - \frac{\sum X_i \sum Y_i}{n}}{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}} \quad (3.2)$$

$$b = \frac{\sum Y_i}{n} - a \frac{\sum X_i}{n} \quad (3.3)$$

dengan n = jumlah data.

3.4.4.1 Langkah kalibrasi Spektrometri- γ

1. Power dan amplifier detektor dihidupkan begitu pula untuk komputer yang berisi paket program Accuspec.
2. Sumber standar ^{152}Eu dimasukkan siap untuk dicacah.
3. Dilakukan pencacahan sumber standar ^{152}Eu selama proses 5 menit.
4. Mencocokkan antara tabel spektrum tenaga dengan sumber standar ^{152}Eu .
5. Dari hasil pencacahan dicari puncak-puncak tenaga sesuai dengan puncak tenaga pada tabel sumber sandart ^{152}Eu dengan jalan merubah gain pada amplifier sehingga didapatkan besarnya keluaran tegangan amplifier sebanding dengan tenaga.

6. Dari harga-harga chanel dan tenaga yang sesuai dengan tabel sumber standar ^{152}Eu dibuat regresinya.
7. Setelah didapatkan data regresi, dimasukkan ke dalam kalibrasi tenaga, sehingga didapatkan harga chanel yang sebanding dengan tenaga dari puncak-puncak yang terdapat pada tabel sumber standar ^{152}Eu .
8. Detektor siap untuk mencacah dengan penampil komputer yang lengkap dengan paket program Accuspec.

Secara kuantitatif efisiensi detektor merupakan perbandingan antara banyaknya foton- γ yang ditangkap detektor tiap detik dengan banyaknya foton- γ yang dipancarkan dari sumber- γ tiap detik. Persamaan efisiensi ditunjukkan sebagai berikut (Susetyo, 1998)

$$\epsilon(E) = \frac{cps}{dps.Y(E)} \quad (3.4)$$

dengan :

$\epsilon(E)$ = efisiensi mutlak pada tenaga E

cps = cacah perdetik

dps = disintegrasi per detik

$Y(E)$ = yield

3.4.5 Pencacahan

Setelah aktivasi selesai dilaksanakan, maka sampel segera diambil dari ruang iradiasi untuk dicacah dengan spektrometri- γ yang telah terkalibrasi untuk waktu peluruhan umur pendek langsung dicacah selama 5 menit dan untuk waktu

peluruhan umur panjang diluruhkan selama 2 hari setelah itu baru dicacah selama 5 menit. Pencacahan harus dilakukan pada kondisi alat yang sama persis dengan kondisi kalibrasi. Setelah dilakukan pencacahan pada sampel diperoleh beberapa puncak spektrum tenaga- γ .

Penganalisis salur ganda (MCA) dilengkapi tombol yang dapat menyajikan harga luas puncak yang diinginkan. Pertama-tama puncak yang akan ditentukan luasnya ditandai dengan penunjuk (*cursor marker*) dengan terlebih dahulu menjalankan tombol pemberi tanda daerah yang dikehendaki (ROI = *Region Of Interest*) maka pada tampilan monitor bisa dilihat harga puncak yang ditandai. Pada umumnya ada dua macam luas puncak yaitu luas puncak “*gross*” atau “*netto*”.

Tenaga- γ dan laju cacah tiap puncak spektrum tenaga- γ pada sampel berturut turut untuk analisis kuantitatif dan kualitatif.

3.4.5.1 Analisis Kualitatif

Analisis kualitatif dilakukan untuk menentukan jenis unsur dalam sampel limbah cair galvanis. Langkah analisis kualitatif sebagai berikut :

- a. Menentukan tenaga- γ tiap puncak spektrum tenaga- γ yang terdeteksi.
- b. Mencocokkan tenaga- γ tiap puncak spektrum tenaga- γ dengan tabel tenaga- γ berbagai isotop yang terdapat dalam *Neutron Activation Table* (Tabel Aktivasi Neutron), sehingga dapat ditentukan isotop atau unsur apa saja yang terdapat dalam tiap sampel.

3.4.5.2 Analisis Kuantitatif

Analisis kuantitatif bertujuan untuk menghitung kadar tiap-tiap unsur yang telah diidentifikasi dari analisis kualitatif. Analisis kuantitatif dalam penelitian ini dilakukan secara mutlak (absolut).

Analisis kuantitatif secara mutlak dilakukan dengan mengukur aktivitas atau laju cacah dari radionuklida pada saat aktivitas selesai (A_d). Setelah harga efisiensi detektor (ϵ) pada tenaga- γ yang akan dianalisis, yield gamma (Y) waktu paro (T), waktu tunda (t_d) waktu aktivasi (t_a), sesuai dengan rumus Persamaan (2.26) maka kadar kandungan unsur dari sampel dapat dihitung dengan rumus :

$$m = \frac{A_c B_a \cdot \lambda}{\phi \cdot \tau \cdot \epsilon \cdot Y \cdot N_A} (1 - e^{-\lambda t_a})(1 - e^{-\lambda t_c})(e^{-\lambda t_d}) \quad (3.5)$$

Sedangkan untuk perhitungan kadar :

$$\frac{\partial m}{\partial t_a} = \frac{A_0 \lambda^2 \cdot B_a \cdot e^{-\lambda t_a}}{2 \cdot \phi \cdot N_a \cdot \tau \cdot \epsilon \cdot Y \cdot a \cdot (e^{-\lambda t_a})(e^{-\lambda t_d})(1 - e^{-\lambda t_c})}$$

$$\frac{\partial m}{\partial t_d} = -\lambda \frac{A_0 \lambda \cdot B_a \cdot e^{-\lambda t_a}}{\phi \cdot N_a \cdot \tau \cdot \epsilon \cdot Y \cdot a \cdot (1 - e^{-\lambda t_a})(1 - e^{-\lambda t_c})} e^{-\lambda t_d}$$

$$\frac{\partial m}{\partial t_c} = \frac{A_0 \lambda^2 \cdot B_a \cdot e^{-\lambda t_c}}{2 \cdot \phi \cdot N_a \cdot \tau \cdot \epsilon \cdot Y \cdot a \cdot (1 - e^{-\lambda t_a})(e^{-\lambda t_d})e^{-\lambda t_c}}$$

$$\frac{\partial m}{\partial A_0} = \frac{\lambda \cdot B_a}{\phi \cdot N_a \cdot \tau \cdot \epsilon \cdot Y \cdot a \cdot (1 - e^{-\lambda t_a})(e^{-\lambda t_d})(1 - e^{-\lambda t_c})}$$

$$\Delta m = \left| \frac{\partial m}{\partial t_a} \right| \Delta t_a + \left| \frac{\partial m}{\partial t_d} \right| \Delta t_d + \left| \frac{\partial m}{\partial t_c} \right| \Delta t_c + \left| \frac{\partial m}{\partial A_0} \right| \Delta A_0$$

BAB IV

HASIL PENELITIAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Hasil Pencacahan

Kalibrasi tenaga dan efisiensi perlu dilakukan sebelum pencacahan sampel, karena sangat berguna untuk mengetahui kondisi detektor.

4.1.1.1 Kalibrasi Tenaga

Kalibrasi tenaga dilakukan untuk mendapatkan hubungan antara tenaga dengan nomor salur. Kalibrasi ini menggunakan sumber standar ^{152}Eu . Penempatan sumber standar dilakukan dengan dua jarak yang berbeda, yaitu jarak 4cm dan 13cm. Pengkalibrasian ini dilakukan pada tanggal 11 Februari 2009. Hubungan antara tenaga dengan nomor salur ditunjukkan pada Tabel 4.1, sebagai berikut :

Table 4.1. Data Kalibrasi Tenaga Detektor HPGe dengan Sumber Standar ^{152}Eu pada Jarak 4cm

No	Besaran / Spesifikasi	Kuantitas	Satuan
1	Tegangan Oprasi (HV)	3000	Volt
2	Isotop standar ^{152}Eu		
	a. Aktivitas awal (15 Juni 1979)	$1,975 \cdot 10^5$	Dps
	b. Aktivitas sekarang (11 Februari 2009)	$3,632 \cdot 10^4$	Dps
	c. Umur paro	$4,0081 \cdot 10^9$	Detik
3	Jarak detektor	4	Cm
4	Lama pencacahan	5	detik
5	Waktu tunda (td)	11216	Hari

Persamaan regresi kalibrasi tenaga sumber standar ^{152}Eu pada jarak 4cm adalah : $Y=12,565+0,435X$, dengan koefisien korelasi $R^2=1$. Jarak 13cm persamaan regresi kalibrasi tenaga sumber standar Eu^{152} adalah: $Y=0,435X+12,900$ dengan koefisien korelasi $R^2=1$. Koefisien korelasi menunjukkan kelinieran dari grafik kalibrasi tenaga serta menunjukkan ketelitian dari penelitian ini. Pada persamaan regresi kalibrasi tenaga ini, Y adalah tenaga dari sinar- γ dan X adalah nomor salur (channel). Nomor salur ini merupakan titik tenaga- γ yang menunjukkan jenis dari unsur yang terkandung pada sampel. Data dan perhitungan terdapat pada Lampiran 1

4.1.1.2 Kalibrasi Efisiensi

Kalibrasi efisiensi ini dilakukan seperti pada kalibrasi tenaga, tetapi pada kalibrasi efisiensi perlu mencatat cacahan yang dihasilkan (cps). Sedangkan tenaga yang diperoleh dicocokkan dengan tabel tenaga, sehingga diperoleh yield atau intensitas mutlak.

Kalibrasi efisiensi dengan menggunakan sumber standar ^{152}Eu dilakukan dengan dua jarak yang berbeda, sama seperti melakukan kalibrasi tenaga. Kalibrasi efisiensi dilakukan untuk mencari hubungan antara nilai detektor HPGe dengan tenaga.

Persamaan regresi kalibrasi efisiensi sumber standar ^{152}Eu yaitu : Pada jarak 4cm adalah: $Y= -0,005X + 0,0038$, jarak 13cm adalah $Y= -0,001X + 0,006$, dengan Y menunjukkan tenaga sebagai fungsi $E = \ln\epsilon(E)$,

X menunjukkan tenaga = $\ln E$.

Dari persamaan tersebut maka dalam semua perhitungan selanjutnya untuk besarnya efisiensi terhadap tenaga- γ menggunakan persamaan regresi kalibrasi di atas menurut jarak sampel dengan detektor yang digunakan. Data perhitungan terdapat pada Lampiran 2.

4.1.2 Analisis Kualitatif

Analisis kualitatif dilakukan untuk mengetahui jenis unsur-unsur yang terkandung di dalam sampel limbah cair. Analisis data dilakukan setelah diperoleh data pencacahan sampel menggunakan spektrometri- γ . Dari pencacahan sampel, diperoleh data berupa spektrum tenaga gamma. Berdasarkan spektrum tenaga gamma yang muncul dari hasil pencacahan sampel tersebut, maka selanjutnya dilakukan analisis kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan dengan menentukan puncak-puncak pada spektrum tenaga gamma. Setelah puncak-puncak pada spektrum tenaga ditentukan, kemudian dicocokkan dengan *Neutron Activation Table*, maka jenis unsur yang terkandung dalam sampel limbah cair pabrik galvanis dapat diketahui. Data kualitatif jenis unsur yang terkandung dalam sampel limbah cair pabrik galvanis dengan aktivasi waktu peluruhan umur pendek dan waktu peluruhan umur panjang ditunjukkan pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3.

4.1.2.1 Waktu Peluruhan Umur Pendek

Tabel 4.2. Data Kualitatif Unsur-Unsur Hasil Aktivasi Waktu Peluruhan Umur Pendek yang Terkandung di Dalam Limbah Cair Pabrik Galvanis

No	Identitas Sampel	Tenaga (KeV)	Unsur	$T_{1/2}$ (s)	Cps
1	Limbah cair pabrik galvanis proses <i>pickling</i>	847,64	^{57}Mn	10560	100.18
		1146,41	^{97}Zr	61200	50.71
		1643,28	^{38}Cl	134940	382.49
2	Limbah cair pabrik galvanis proses <i>rinsing I</i>	846,69	^{57}Mn	10560	3.09
		1145,58	^{97}Zr	61200	2.21
		1642,08	^{38}Cl	134940	17.47
3	Limbah cair pabrik galvanis proses <i>rinsing II</i>	846,48	^{57}Mn	10560	0.37
		1146,41	^{97}Zr	61200	*
		1642,17	^{38}Cl	134940	1.27

4	Limbah cair pabrik galvanis proses <i>rinsing I</i> dan <i>II</i>	846,36	⁵⁷ Mn	10560	0.80
		1145,10	⁹⁷ Zr	61200	0.74
		1641,96	³⁸ Cl	134940	4.42
5	Limbah cair pabrik galvanis setelah proses pengolahan	846,36	⁵⁷ Mn	10560	*
		1145,10	⁹⁷ Zr	61200	*
		1641,82	³⁸ Cl	134940	3.91

4.1.2.2 Waktu Peluruhan Umur Panjang

Tabel 4.3. Data Kualitatif Unsur-Unsur Hasil Aktivasi Waktu Peluruhan Umur Panjang yang Terkandung di Dalam Limbah Cair Pabrik Galvanis

No	Identitas Sampel	Tenaga (KeV)	Unsur	T _{1/2} (s)	Cps
1	Limbah cair pabrik galvanis proses <i>pickling</i>	438,53	⁶⁹ Zn	49680	418,26
		554,33	⁸² Br	3058560	153,93
		1367,72	²⁴ Na	1297728	398,53
		1098,85	⁵⁹ Fe	3896640	7,14
2	Limbah cair pabrik galvanis proses <i>rinsing I</i>	438,09	⁶⁹ Zn	49680	12,21
		554,33	⁸² Br	3058560	2,24
		1367,34	²⁴ Na	1297728	1,36
		1098,85	⁵⁹ Fe	*	*
3	Limbah cair pabrik galvanis proses <i>rinsing II</i>	438,84	⁶⁹ Zn	49680	1,00
		554,48	⁸² Br	3058560	*
		1367,34	²⁴ Na	1297728	3,22
		1098,85	⁵⁹ Fe	*	*
4	Limbah cair pabrik galvanis proses <i>rinsing I</i> dan <i>II</i>	438,78	⁶⁹ Zn	49680	2,43
		554,48	⁸² Br	3058560	0,64
		1368,71	²⁴ Na	1297728	2,60
		1098,85	⁵⁹ Fe	*	*
5	Limbah cair pabrik galvanis setelah proses pengolahan	438,78	⁶⁹ Zn	49680	*
		554,48	⁸² Br	3058560	*
		1368,21	²⁴ Na	1297728	13,36
		1098,85	⁵⁹ Fe	*	*

Keterangan :

* = Tidak terdeteksi

4.1.3 Analisis Kuantitatif

Analisis kuantitatif dilakukan untuk menghitung kadar dari masing-masing unsur yang telah ditentukan atau telah diketahui dari hasil analisis kualitatif. Penghitungan kadar dari unsur ini dengan analisis kuantitatif secara mutlak. Hasil analisis kuantitatif masing-masing unsur dalam sampel limbah cair pabrik galvanis untuk waktu peluruhan umur pendek dan waktu peluruhan panjang ditunjukkan pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

4.1.3.1 Waktu Peluruhan Umur Pendek

Tabel 4.4. Data Kuantitatif Unsur-Unsur Hasil Aktivasi Waktu Peluruhan Umur Pendek yang Terkandung di Dalam Limbah Cair Pabrik Galvanis

No	Identitas Sampel	Unsur	Kadar \pm Ralat Kadar (gram/l)
1	Limbah cair pabrik galvanis proses <i>pickling</i>	⁵⁷ Mn	$1,89.10^{-9} \pm 1,3.10^{-14}$
		⁹⁷ Zr	$5,66.10^{-4} \pm 1,0.10^{-9}$
		³⁸ Cl	$4,50.10^{-8} \pm 6,7.10^{-13}$
2	Limbah cair pabrik galvanis proses <i>rinsing I</i>	⁵⁷ Mn	$1,92.10^{-9} \pm 3,5.10^{-13}$
		⁹⁷ Zr	$5,66.10^{-4} \pm 2,2.10^{-8}$
		³⁸ Cl	$4,44.10^{-8} \pm 6,2.10^{-12}$
3	Limbah cair pabrik galvanis proses <i>rinsing II</i>	⁵⁷ Mn	*
		⁹⁷ Zr	*
		³⁸ Cl	$4,42.10^{-8} \pm 8,5.10^{-11}$
4	Limbah cair pabrik galvanis proses <i>rinsing I</i> dan <i>II</i>	⁵⁷ Mn	$1,92.10^{-09} \pm 1,4.10^{-12}$
		⁹⁷ Zr	$5,66.10^{-4} \pm 6,6.10^{-8}$
		³⁸ Cl	$4,42.10^{-8} \pm 2,4.10^{-11}$
5	Limbah cair pabrik galvanis setelah proses pengolahan	⁵⁷ Mn	*
		⁹⁷ Zr	*
		³⁸ Cl	$4,39.10^{-8} \pm 2,4.10^{-11}$

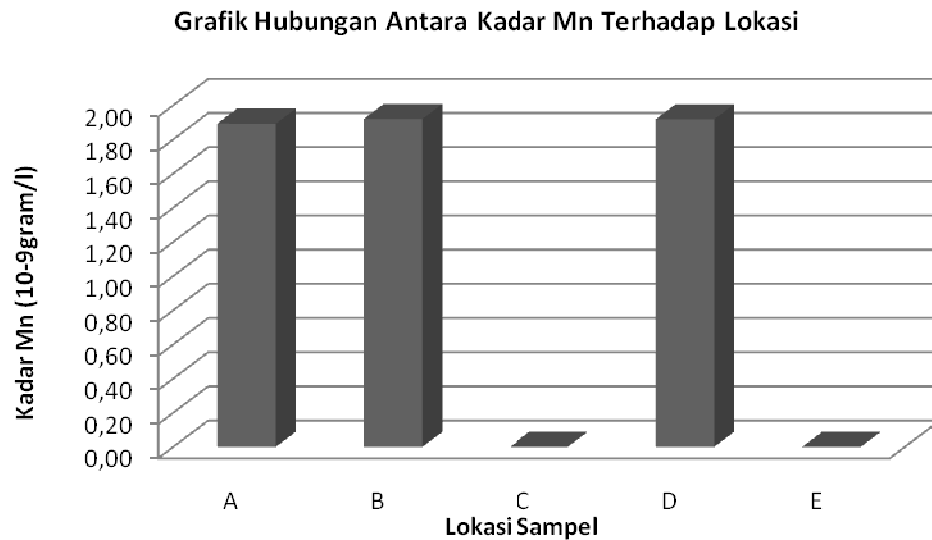
4.1.3.2 Waktu Peluruhan Umur Panjang

Tabel 4.5. Data Kuantitatif Unsur-Unsur Hasil Aktivasi Waktu Peluruhan Umur Panjang yang Terkandung di Dalam Limbah Cair Pabrik Galvanis

No	Identitas Sampel	Unsur	Kadar \pm Ralat Kadar (gram/l)
1	Limbah cair pabrik galvanis proses <i>pickling</i>	⁶⁹ Zn	$6,65.10^{-5} \pm 1,8.10^{-11}$
		⁸² Br	$1,32.10^{-3} \pm 2,0.10^{-11}$
		²⁴ Na	$4,19.10^{-4} \pm 1,0.10^{-11}$
		⁵⁹ Fe	$5,65.10^{-5} \pm 8,0.10^{-11}$
2	Limbah cair pabrik galvanis proses <i>rinsing I</i>	⁶⁹ Zn	$6,47.10^{-6} \pm 5,6.10^{-11}$
		⁸² Br	$1,32.10^{-3} \pm 1,0.10^{-9}$
		²⁴ Na	$4,19.10^{-4} \pm 1,2.10^{-9}$
		⁵⁹ Fe	*
3	Limbah cair pabrik galvanis proses <i>rinsing II</i>	⁶⁹ Zn	$6,52.10^{-6} \pm 6,8.10^{-10}$
		⁸² Br	*
		²⁴ Na	$4,19.10^{-4} \pm 7,2.10^{-11}$
		⁵⁹ Fe	*
4	Limbah cair pabrik galvanis proses <i>rinsing I</i> dan <i>II</i>	⁶⁹ Zn	$6,56.10^{06} \pm 2,8.10^{-10}$
		⁸² Br	*
		²⁴ Na	$1,15.10^{-3} \pm 9,6.10^{-11}$
		⁵⁹ Fe	*
5	Limbah cair pabrik galvanis setelah proses pengolahan	⁶⁹ Zn	*
		⁸² Br	*
		²⁴ Na	$4,19.10^{-4} \pm 1,3.10^{-10}$
		⁵⁹ Fe	*

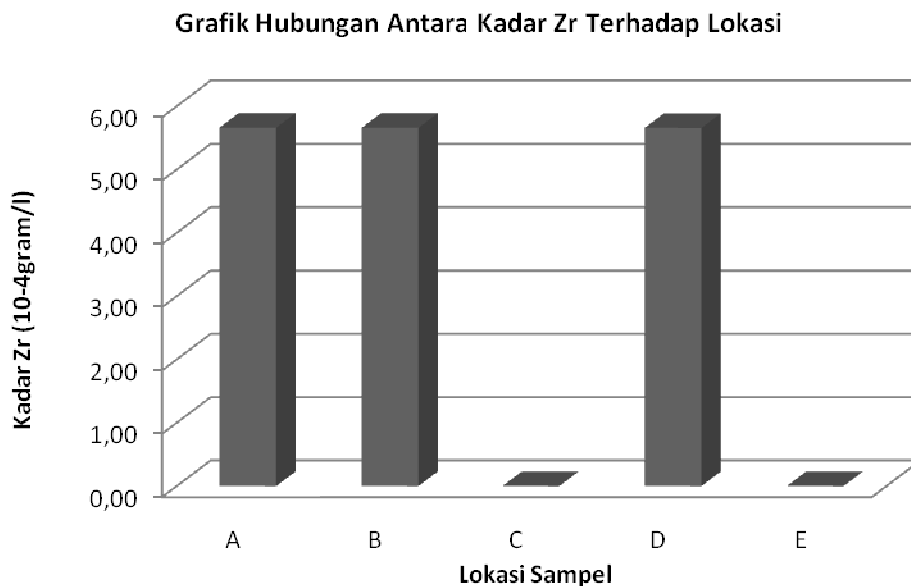
Keterangan : * = Tidak terdeteksi

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



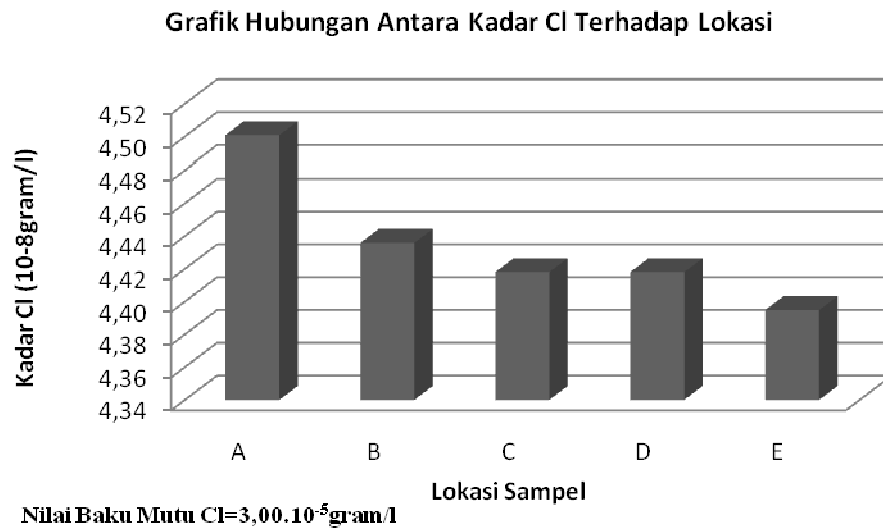
Nilai Baku Mutu Mn = $2,00 \cdot 10^{-3}$ gram/l

Gambar 4.1. Diagram Batang Kadar Unsur Mn Waktu Peluruhan Umur Pendek Pada Lokasi A, B, C, D dan E

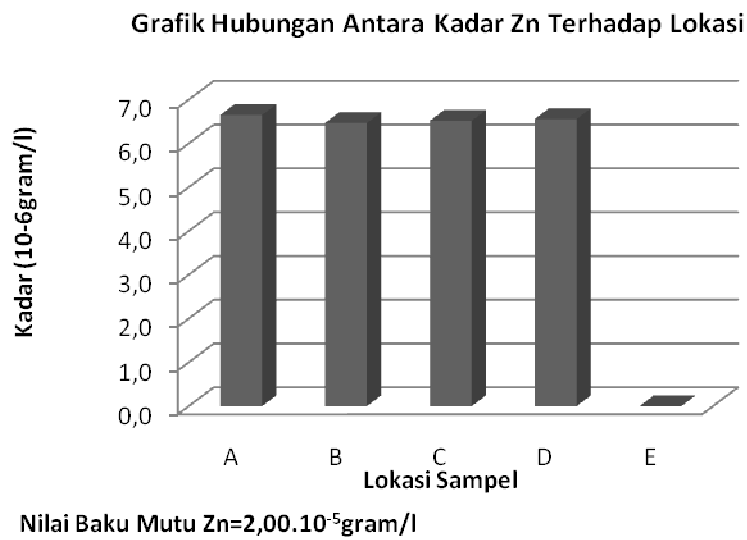


Nilai Baku Mutu Zr = $2,00 \cdot 10^{-3}$ gram/l

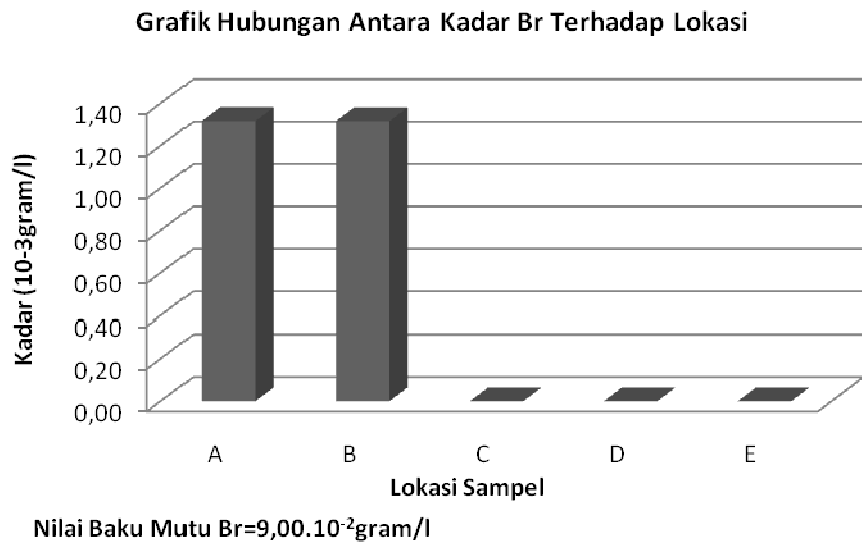
Gambar 4.2. Diagram Batang Kadar Unsur Zr Waktu Peluruhan Umur Pendek Pada Lokasi A, B, C, D dan E



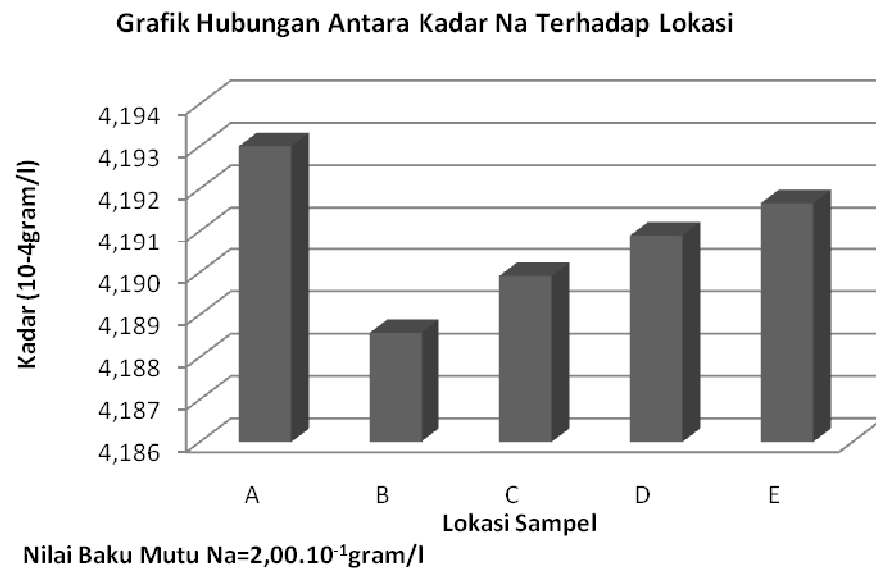
Gambar 4.3. Diagram Batang Kadar Unsur Cl Waktu Peluruhan Umur Pendek Pada Lokasi A, B, C,D dan E



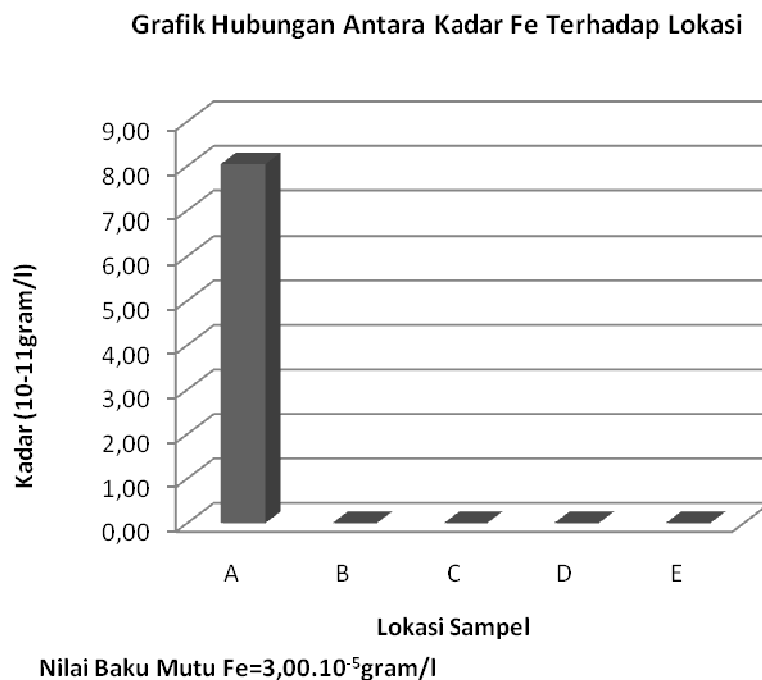
Gambar 4.4. Diagram Batang Kadar Unsur Zn Waktu Peluruhan Umur Panjang Pada Lokasi A, B, C,D dan E



Gambar 4.5. Diagram Batang Kadar Unsur Br Waktu Peluruhan Umur Panjang Pada Lokasi A, B, C,D dan E



Gambar 4.6. Diagram Batang Kadar Unsur Na Waktu Peluruhan Umur Panjang Pada Lokasi A, B, C,D dan E



Gambar 4.7. 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.

4.2 Pembahasan

Penelitian penentuan kandungan jenis unsur dan kadar unsur sampel limbah cair pabrik galvanis dengan metode AAN ini menggunakan seperangkat alat spektrometri- γ . Sebelum pemakaian alat ini harus dikalibrasi terlebih dahulu. Pada pengkalibrasian penelitian ini dilakukan dengan dua jarak yang berbeda, yaitu pada jarak 4cm dan 13cm. Hal ini dilakukan karena untuk pencacahan waktu

peluruhan umur pendek yaitu 300 detik dan langsung dicacah, paparan radiasi dan dead timenya masih tinggi sehingga jarak detektor dengan sampel harus jauh yaitu digunakan jarak 13cm. Sedangkan pada waktu peluruhan umur panjang digunakan jarak 4cm.

Penentuan jenis unsur dilakukan tanpa evaporasi. Hal ini dilakukan karena sampel sangat pekat jadi unsur bisa terdeteksi tanpa harus dievaporasi terlebih dahulu. Aktivasi sampel dilakukan selama 300 detik dan 21600 detik dengan mempertimbangkan bahwa aktivitas unsur-unsur yang dianalisis telah mencapai keadaan jenuh. Waktu peluruhan sampel dilakukan dengan dua cara yaitu waktu peluruhan umur pendek dan waktu peluruhan umur panjang. Pada peluruhan umur pendek, waktu tundanya sangat pendek yaitu 300 detik. Pada peluruhan umur panjang waktu tundanya 172800 detik. Perbedaan waktu ini bertujuan untuk memperjelas unsur-unsur apa saja yang muncul apabila diaktivasi dan diluruhkan dengan waktu yang berbeda. Pencacahan dilakukan selama 300 detik.

Sampel yang telah diaktivasi kemudian dicacah. Dari pencacahan yang telah dilakukan diperoleh data hasil pencacahan sampel berupa spektrum tenaga- γ . 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 seperti yang terlihat pada Tabel 2 yaitu unsur Mangan (Mn), Zirkon (Zr), dan Chlorine (Cl) untuk waktu peluruhan umur pendek. Sedangkan untuk waktu peluruhan umur panjang seperti terlihat pada Tabel 4 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 kadar unsur Mn $(1,89-1,92)10^{-9}$ gram/l, kadar unsur Zr $(5,65-5,66)10^{-4}$ gram/l, kadar unsur Cl $(4,39-4,50)10^{-8}$ gram/l. Untuk waktu peluruhan umur panjang kadar unsur Zn $(6,47-6,65)10^{-5}$ gram/l, kadar Br $(1,32-1,35)10^{-3}$ gram/l, kadar unsur Na $(4,18-4,19)10^{-4}$ gram/l, dan kadar Fe $(8,043).10^{-11}$ gram/l.

Berdasarkan Gambar 4.1, dari diagram batang tersebut kadar Mn hanya terdapat pada lokasi 1, 2, dan 3. Pada Gambar 4.2, dari diagram batang tersebut kadar Zr hanya terdapat pada lokasi 1, 2, dan 3. Pada Gambar 4.3, dari diagram batang tersebut kadar Cl terdapat pada semua lokasi pengambilan sampel. Pada Gambar 4.4, dari diagram tersebut kadar Zn terdapat pada lokasi A, B, C, D dan E. Pada Gambar 4.5, dari diagram tersebut kadar Br hanya terdapat pada lokasi A dan B. Pada Gambar 4.6, dari diagram tersebut kadar Na terdapat pada semua lokasi pengambilan sampel. Pada Gambar 4.7, dari diagram tersebut kadar Fe hanya terdapat pada lokasi A.

Dari uraian di atas dapat diketahui perubahan kandungan unsur yang terdapat tiap lokasi pengambilan sampel. Hal ini dikarenakan perlakuan lokasi sampel yang berbeda. Pada lokasi A yaitu lokasi *pickling*, lokasi ini merupakan lokasi pencelupan bahan yang akan digalvanisasi selama 10 menit sampai karat hilang. Lokasi ini berisi seng yang telah dilebur pada suhu 500°C . Lokasi ini yang

banyak mengandung unsur-unsur seperti yang terlihat pada analisis kualitatif dan kuantitatif. Pada lokasi B yaitu lokasi *rinsing I*, lokasi ini merupakan lokasi pembilasan sisa-sisa asam setelah proses *pickling*. Pada lokasi C yaitu lokasi *rinsing II*, lokasi ini merupakan pencelupan hasil dari proses galvanising pada larutan air panas.

Perlakuan awal proses pengolahan limbah pada lokasi D, yaitu lokasi *rinsing I* dan *rinsing II*. Limbah cair pada lokasi *rinsing I* dan *rinsing II* dicampur jadi satu bak penampungan. Sehingga kandungan unsur di lokasi ini lebih banyak dari pada lokasi *rinsing I* ataupun lokasi *rinsing II*. Lokasi E yaitu lokasi akhir pengolahan limbah yang siap dibuang.

Berdasarkan kadar yang diperoleh dalam hasil penelitian, dilihat dari segi tingkat pencemarannya, air limbah sebelum pengolahan dan setelah pengolahan tidak berbahaya, namun demikian kadarnya mengalami perubahan. Berdasarkan pengamatan di lokasi sampel yang relatif berubah yaitu dari segi warna, bau, dan tingkat kejernihan.

Pada Tabel 4.6 di bawah ini merupakan tabel perbandingan kadar unsur dari hasil perhitungan dengan Kadar baku mutu air.

Tabel 4.6 Perbandingan Kadar Unsur Hasil Perhitungan dengan Nilai Baku Mutu Air

No	Lokasi	Unsur	Nilai Hasil Perhitungan Kadar Unsur (gram/l)	Nilai Baku Mutu Air (gram/l)
1	<i>Pickling</i>	Mangan (Mn)	$1,89.10^{-9} \pm 1,3.10^{-14}$	0,002
		Zirkon (Zr)	$5,66.10^{-4} \pm 1,0.10^{-9}$	0,002
		Chlorine (Cl)	$4,50.10^{-8} \pm 6,7.10^{-13}$	0,00003
		Seng (Zn)	$6,65.10^{-5} \pm 1,8.10^{-11}$	0,00002
		Bromine (Br)	$1,32.10^{-3} \pm 2,0.10^{-11}$	0,09
		Natrium (Na)	$4,19.10^{-4} \pm 1,0.10^{-11}$	0,2
		Besi (Fe)	$5,65.10^{-5} \pm 8,0.10^{-11}$	0,00003
2	<i>Rinsing I</i>	Mangan (Mn)	$1,92.10^{-9} \pm 3,5.10^{-13}$	0,002
		Zirkon (Zr)	$5,66.10^{-4} \pm 2,2.10^{-8}$	0,002
		Chlorine (Cl)	$4,44.10^{-8} \pm 6,2.10^{-12}$	0,00003

3	<i>Rinsing II</i>	Seng (Zn)	$6,47 \cdot 10^{-6} \pm 5,6 \cdot 10^{-11}$	0,00002
		Bromine (Br)	$1,32 \cdot 10^{-3} \pm 1,0 \cdot 10^{-9}$	0,09
		Natrium (Na)	$4,19 \cdot 10^{-4} \pm 1,2 \cdot 10^{-9}$	0,2
		Besi (Fe)	*	0,00003
		Mangan (Mn)	*	0,002
		Zirkon (Zr)	*	0,002
		Chlorine (Cl)	$4,42 \cdot 10^{-8} \pm 8,5 \cdot 10^{-11}$	0,00003
4	<i>Rinsing I dan II</i>	Seng (Zn)	$6,52 \cdot 10^{-6} \pm 6,8 \cdot 10^{-10}$	0,00002
		Bromine (Br)	*	0,09
		Natrium (Na)	$4,19 \cdot 10^{-4} \pm 7,2 \cdot 10^{-11}$	0,2
		Besi (Fe)	*	0,00003
		Mangan (Mn)	$1,92 \cdot 10^{-09} \pm 1,4 \cdot 10^{-12}$	0,002
		Zirkon (Zr)	$5,66 \cdot 10^{-4} \pm 6,6 \cdot 10^{-8}$	0,002
		Chlorine (Cl)	$4,42 \cdot 10^{-8} \pm 2,4 \cdot 10^{-11}$	0,00003
5	Setelah proses pengolahan	Seng (Zn)	$6,56 \cdot 10^{06} \pm 2,8 \cdot 10^{-10}$	0,00002
		Bromine (Br)	*	0,09
		Natrium (Na)	$1,15 \cdot 10^{-3} \pm 9,6 \cdot 10^{-11}$	0,2
		Besi (Fe)	*	0,00003
		Mangan (Mn)	*	0,002
		Zirkon (Zr)	*	0,002
		Chlorine (Cl)	$4,39 \cdot 10^{-8} \pm 2,4 \cdot 10^{-11}$	0,00003
	Seng (Zn)	*	0,00002	
	Bromine (Br)	*	0,09	
	Natrium (Na)	$4,19 \cdot 10^{-4} \pm 1,3 \cdot 10^{-10}$	0,2	
	Besi (Fe)	*	0,00003	

Nilai kadar baku mutu air tersebut 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.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Simpulan

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), berturut-turut kadar tersebut yaitu : Mn $(1,89-1,92) \cdot 10^{-9}$ gram/l, Zr $(5,65-5,66) \cdot 10^{-4}$ gram/l, Cl $(4,39-4,50) \cdot 10^{-8}$ gram/l, Zn $(6,47-6,65) \cdot 10^{-5}$ gram/l, Br $(1,32-1,35) \cdot 10^{-3}$ gram/l, Na $(4,18-4,19) \cdot 10^{-4}$ gram/l, dan Fe $(8,043) \cdot 10^{-11}$ gram/l. 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.

5.2 Saran

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

Penelitian ini tidak memakai unsur standar jadi untuk penelitian selanjutnya dapat memakai unsur standar. Unsur standar disini berupa jenis unsur yang sama dengan jenis unsur yang akan dicari dalam penelitian dan dimaksudkan untuk membandingkan antara kadar unsur standar dengan kadar unsur mutlak.

DAFTAR PUSTAKA

- Beiser, Arthur. 1990. *Konsep Fisika Modern*. Jakarta: Erlangga.
- Dwijananti, P, dan Yulianti, Dwi. 2004. *Diktat Mata Kuliah Fisika Nuklir Kedokteran*. Semarang: Jurusan Fisika, FMIPA UNNES.
- Dwijananti, Pratiwi. 2004. *Diktat Mata Kuliah Fisika Inti*. Semarang: Jurusan Fisika, FMIPA UNNES.
- Erdtmann, Gerhard.1976. *Neutron Activation Tables*. New York: Verlag Chemie.
- Erdtman, G., Soyka, W.1979. *The Gamma Rays of The Radionuclides*. Vol. 7, Verlag Chemie
- Ery Rahmawati.2003. *Pemetaan Fluks Neutron Thermal pada Fasilitas Iradiasi Lazy Suzan Reaktor Kartini*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Krane, Kenneth S. 1992. *Fisika Modern*. Jakarta: UI Press.
- Lamarsh, John R.1972. *Intoduction to Nuclear Reactor Theory Addison-Wesley Publishing Company, New York*.
- Niati.2007. *Penentuan Kandungan Unsur pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) RSUP. Dr. Soeradji Tirtonegoro Klaten dengan Metode Analisis Neutron*. Semarang: 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, Wisnu.1988. *Spektrometri Gamma dan Penerapannya dalam Analisis Pengaktifan Neutron*. Yogyakarta: UGM.
- www.menlh.go.id/i/art/pdf_1038886983.pdf (Kamis, 26 Juni 2008 : Jam 13.00 WIB).

Lampiran I

Kalibrasi Tenaga

Tabel 1. Data dan Perhitungan Kalibrasi Tenaga Sumber Standar ¹⁵²Eu pada Jarak 4 cm

No	Xi(Channel)	Yi(Tenaga/E)	Xi.Yi	Xi.Xi
1	250,33	121,59	30437,62	62665,11
2	532,62	244,54	130246,89	283684,06
3	761,32	344,14	262000,66	579608,14
4	1759,91	779,06	1371075,48	3097283,21
5	1962,90	867,47	1702756,86	3852976,41
6	2185,02	964,21	2106818,13	4774312,40
7	2464,83	1086,07	2676977,92	6075386,93
8	2524,74	1112,17	2807940,09	6374312,07
9	3204,18	1408,08	4511741,77	10266769,47
Σ	15645,85	6927,33	15599995,44	35366997,80

$$Y = aX + b$$

$$a = \frac{\sum Xi.yi - \frac{\sum Xi.\sum yi}{n}}{\sum Xi^2 - \frac{(\sum Xi)^2}{n}}$$

$$= \frac{15599995,44 - \frac{(15645,85) \cdot (6927,33)}{9}}{35366997,80 - \frac{(15645,85)^2}{9}}$$

$$= \frac{15599995,44 - 12042662,9}{35366997,80 - 27199180,25}$$

$$= \frac{3557332,54}{8167817,553}$$

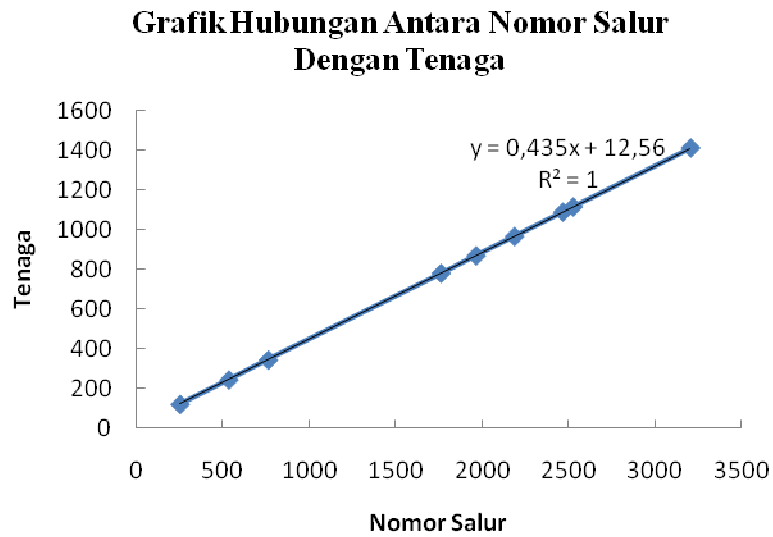
$$= 0,43553$$

$$b = \frac{\sum yi}{n} - \frac{a\sum Xi}{n}$$

$$= \frac{6927,33}{9} - \frac{(0,43553) \cdot (15645,85)}{9}$$

$$= 769,7033 - 757,1375$$

$$= 12,5658$$



Gambar 1. Kurva Kalibrasi Tenaga Pada Jarak 4 cm

Tabel 2. Data dan Perhitungan Kalibrasi Tenaga Sumber Standar ¹⁵²Eu pada Jarak 13cm

No	Xi(Channel)	Yi(Tenaga/E)	Xi.Yi	Xi.Xi
1	250,26	121,56	30421,61	62630,07
2	532,40	244,44	130139,86	283449,76
3	760,98	344,99	262530,49	579090,56
4	1758,78	778,56	1369315,76	3093307,09
5	1962,54	867,31	1702130,57	3851563,25
6	2185,53	963,56	2105889,29	4776541,38
7	2464,97	1085,26	2675133,34	6076077,10
8	2523,25	1111,52	2804642,84	6366790,56
9	3202,19	1407,21	4506153,79	10254020,80
Σ	15640,90	6924,41	15586357,53	35343470,57

$$Y = aX + b$$

$$a = \frac{\sum xi . yi - \frac{\sum xi . \sum yi}{n}}{\sum xi^2 - \frac{(\sum xi)^2}{n}}$$

$$= \frac{15586357,53 - \frac{(15640,90) \cdot (6924,41)}{9}}{35343470,57 - \frac{(15640,90)^2}{9}}$$

$$= \frac{15586357,53 - 12033778,26}{35343470,57 - 27181972,53}$$

$$= \frac{3552579,27}{8161498,036}$$

$$= 0,43528$$

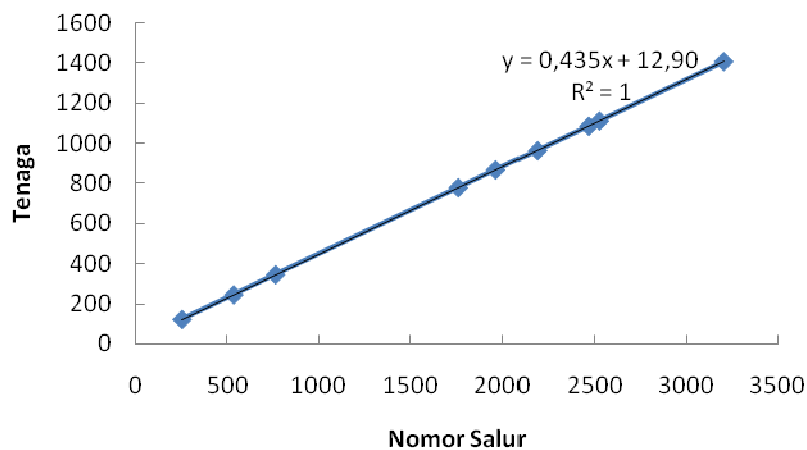
$$b = \frac{\sum y_i}{n} - \frac{a \sum x_i}{n}$$

$$= \frac{6924,41}{9} - \frac{(0,43528) \cdot (15640,90)}{9}$$

$$= 769,3788 - 756,4634$$

$$= 12,9154$$

**Grafik Hubungan Antara Nomor Salur
Dengan Tenaga**



Gambar 2. Kurva Kalibrasi Tenaga Pada Jarak 13 cm

Lampiran II

Aktivitas ^{152}Eu dan Efisiensi Detektor

a. Perhitungan Aktivitas ^{152}Eu pada Kondisi Awal

$$\text{Rumus ; } \text{dps} = A_0 \exp^{-\lambda t}$$

Waktu paro ^{152}Eu adalah 12,7 tahun

dengan asumsi (1 tahun = 365 hari , 1 bulan = 30 hari),maka :

$$\begin{aligned} T &= (12 \times 365 \text{ hari}) + (7 \times 30 \text{ hari}) \\ &= 4380 + 210 \\ &= 4590 \text{ hari} \end{aligned}$$

Kalibrasi dilakukan tanggal 11 Februari 2009 sehingga waktu tunda :

$$\begin{aligned} t_d &= 15 \text{ Juni } 1979 \text{ sampai dengan } 11 \text{ Februari } 2009 \\ &= 30 \text{ tahun} + 8 \text{ bulan} + 26 \text{ hari} \\ &= (30 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari}) + (8 \text{ bulan} \times 30 \text{ hari}) + (26 \text{ hari}) \\ &= 10950 + 240 + 26 \\ &= 11216 \text{ hari} \end{aligned}$$

Aktivitas pada saat dilakukan kalibrasi (A_s) adalah :

$$\begin{aligned} A_s &= A_0 \exp^{-\lambda t} \\ &= A_0 \cdot e^{-\frac{0,693}{4590}(11216)} \\ &= 1,975 \cdot 10^5 \cdot e^{-\frac{0,693}{4590}(11216)} \\ &= 1,975 \cdot 10^5 \cdot e^{-1,6934} \\ &= 1,975 \cdot 10^5 \cdot 0,1839 \\ &= 0,3632 \cdot 10^5 \text{ dps} \end{aligned}$$

b. Perhitungan efisiensi detektor untuk tingkat tenaga $E = 121,72 \text{ KeV}$ pada kalibrasi efisiensi unsur standar ^{152}Eu

$$\text{rumus ; } \varepsilon(E) = \frac{\text{cps}}{\text{dps} \cdot Y(E)} \quad \text{jika } \text{dps} = 0,3632 \cdot 10^5 \text{ dps}$$

$$\text{sehingga : } \varepsilon(E) = \frac{\text{cps}}{\text{dps} \cdot Y(E)}$$

diketahui :

$$\begin{aligned} E &= 121,72 \text{ KeV} \\ Y(E) &= 0,292 \\ \text{Cps} &= 1069,38 \text{ s} \\ A_0 &= 1,975 \cdot 10^5 \text{ dps} \end{aligned}$$

$$\varepsilon(E) = \frac{cps}{dps \cdot Y(E)}$$
$$\varepsilon(E) = \frac{1069,38}{(0,3632 \cdot 10^5) \cdot (0,292)}$$
$$\varepsilon = 0,1007$$

Lampiran III

Kalibrasi Efisiensi

Tabel 3. Data dan Perhitungan Kalibrasi Efisiensi Sumber Standar ^{152}Eu pada Jarak 4cm

No	Yi(E)	cps	Yield	$\epsilon(E)$	Ln E (x)	Ln $\epsilon(y)$	x.y	x.x
1	121,59	194,32	0,292	0,018298	4,8007	-4,0010	-19,2072	23,04624
2	244,54	33,46	0,762	0,001210	5,4992	-6,7171	-36,9387	30,2412
3	344,14	81,49	0,270	0,008310	5,8411	-4,7903	-27,9803	34,11787
4	779,06	15,84	0,130	0,003357	6,6581	-5,6967	-37,9291	44,33003
5	867,47	4,12	0,146	0,000778	6,7655	-7,1588	-48,4327	45,77199
6	964,21	14,54	0,418	0,000959	6,8713	-6,9496	-47,7529	47,21476
7	1086,07	8,93	0,103	0,002389	6,9903	-6,0369	-42,1996	48,86429
8	1112,17	11,90	0,136	0,002413	7,0141	-6,0269	-42,2729	49,19704
9	1408,08	14,38	0,212	0,001867	7,2499	-6,2834	-45,5542	52,56105
Σ	6927,33	378,98	2,18		57,6900	-53,6606	-348,268	375,3445

$$Y = aX + b$$

$$a = \frac{\Sigma x \cdot y - \frac{\Sigma x \cdot \Sigma y}{n}}{\Sigma x^2 - \frac{(\Sigma x)^2}{n}}$$

$$= \frac{-348,268 - \frac{(57,6900) \cdot (-53,6606)}{9}}{375,3445 - \frac{(57,6900)^2}{9}}$$

$$= \frac{-348,268 + 343,9644}{375,3445 - 369,7929}$$

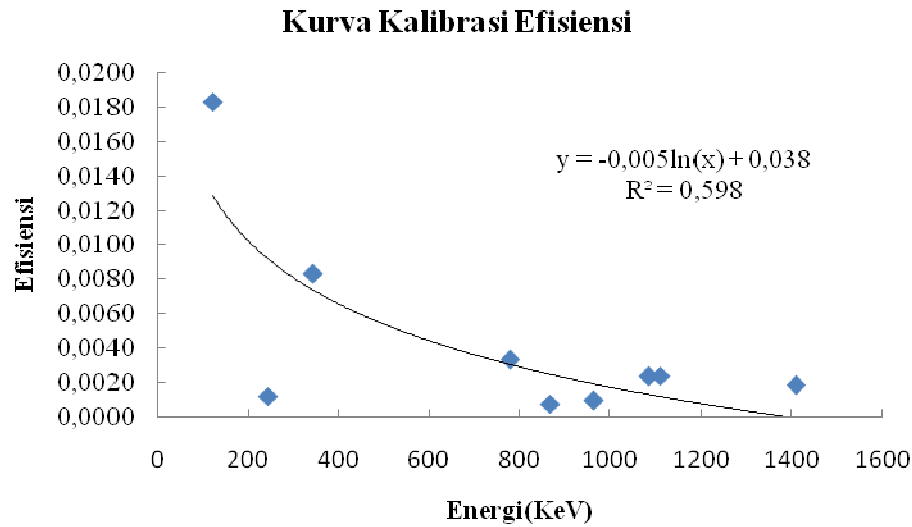
$$= \frac{-4,3036}{5,5516}$$

$$= -0,7752$$

$$b = \frac{\Sigma y}{n} - \frac{a \Sigma x}{n}$$

$$= \frac{-53,6606}{9} - \frac{(-0,7752) \cdot (57,6900)}{9}$$

$$= -5,9623 + 4,9691 = -0,9932$$



Gambar 3. Kurva Kalibrasi Efisiensi Pada Jarak 4 cm

Tabel 4. Data dan Perhitungan Kalibrasi Efisiensi Sumber Standar ^{152}Eu pada Jarak 13cm

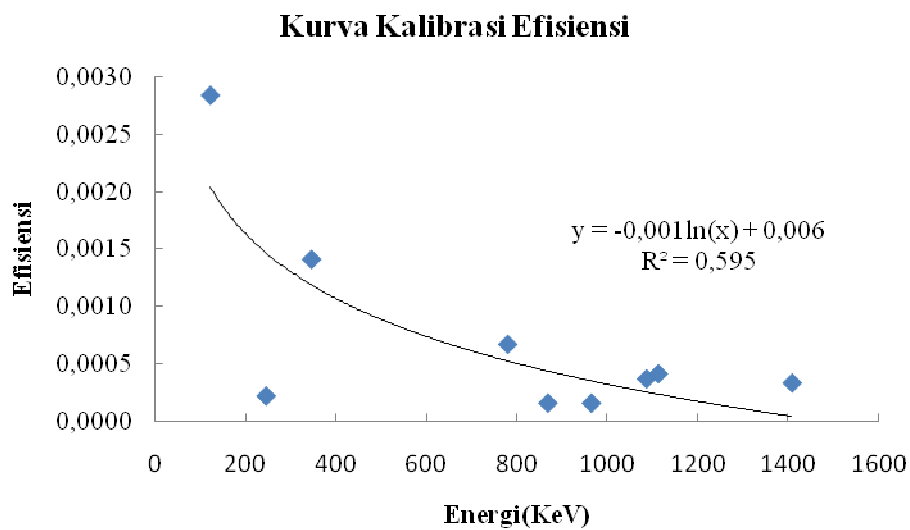
No	$Y_i(E)$	cps	Yield	$\epsilon(E)$	$\ln E (x)$	$\ln \epsilon(y)$	$x.y$	$x.x$
1	121,56	30,12	0,292	0,002836	4,8004	-5,865361	-28,1561	23,04384
2	244,44	6,09	0,762	0,000220	5,4997	-8,421883	-46,3178	30,2467
3	344,99	13,81	0,270	0,001408	5,8435	-6,565585	-38,366	34,14649
4	778,56	3,16	0,130	0,000670	6,6574	-7,308233	-48,6542	44,32159
5	867,31	0,84	0,146	0,000159	6,7653	-8,746606	-59,1734	45,76928
6	963,56	2,40	0,418	0,000158	6,8706	-8,752916	-60,1381	47,20561
7	1085,26	1,38	0,103	0,000369	6,9896	-7,904714	-55,2506	48,85409
8	1111,52	2,04	0,136	0,000414	7,0135	-7,789645	-54,6325	49,1889
9	1407,21	2,57	0,212	0,000334	7,2494	-8,004370	-58,0266	52,55322
Σ	6924,41		2,18		57,6894	-69,359311	-448,715	375,3297

$$Y = aX + b$$

$$a = \frac{\Sigma x.y - \frac{\Sigma x.\Sigma y}{n}}{\Sigma x^2 - \frac{(\Sigma x)^2}{n}}$$

$$= \frac{-448,715 - \frac{(57,6894).(-69,359311)}{9}}{375,3297 - \frac{(57,6894)^2}{9}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{-448,715 + 444,589}{375,3297 - 369,785} \\
 &= \frac{-4,126}{5,5447} \\
 &= -0,7441 \\
 b &= \frac{\sum y}{n} - \frac{a \sum x}{n} \\
 &= \frac{-69,359311}{9} - \frac{(-0,7441) \cdot (57,6894)}{9} \\
 &= -7,7066 + 4,7693 \\
 &= 2,9373
 \end{aligned}$$



Gambar 4. Kurva Kalibrasi Efisiensi Pada Jarak 13

Lampiran IV

Perhitungan Kadar Unsur

Contoh perhitungan Kadar Unsur Brom (Br) dengan Tenaga = 620,57 KeV pada waktu peluruhan umur pendek.

- a. Perhitungan kadar unsur Br pada lokasi *pickling* waktu peluruhan umur pendek.

$$E(x) = 620,57 \text{ KeV}$$

$$A_0 = 18,78 \text{ cps}$$

$$Y = 0,8915$$

$$\tau = 17,4 \cdot 10^{-26} \text{ cm}^2$$

$$A = 0,4931$$

$$\phi_{BR} = 2,08 \cdot 10^{11} \text{ neutron/cm}^2 \text{ detik}$$

$$T = 3420 \text{ detik}$$

$$\lambda = \frac{0,693}{3420} = 2,026 \cdot 10^{-4}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{\text{cps}}{\text{dps} \cdot Y(E)} \\ &= \frac{18,78}{(0,3632 \cdot 10^5) \cdot (0,8915)} \\ &= \frac{18,78}{3237,928 \cdot 10^5} \\ &= 5,80 \text{E-}04 \end{aligned}$$

$$t_i = 11 \text{ jam} = 39600 \text{ detik}$$

$$t_d = 240 \text{ detik}$$

$$t_c = 5 \text{ menit} = 300 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{A_C \cdot B_A \cdot \lambda}{\phi \cdot N_A \cdot \tau \cdot \varepsilon \cdot a \cdot Y \left[1 - e^{-\lambda t_i} \right] \left[1 - e^{-\lambda t_c} \right] \left[e^{-\lambda t_d} \right]} \\ m &= \frac{18,78 \cdot 70,9277 \cdot 2,026 \cdot 10^{-4}}{2,08 \cdot 10^{11} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 2,60 \cdot 10^{-26} \cdot 5,8 \cdot 10^{-4} \cdot 0,4931 \cdot 0,8915} \\ &\times \frac{1}{\left[1 - e^{-2,026 \cdot 10^{-4} \times 39600} \right] \left[1 - e^{-2,026 \cdot 10^{-4} \times 300} \right] \left[e^{-2,026 \cdot 10^{-4} \times 845580} \right]} \end{aligned}$$

$$m = 9,90 \cdot 10^{-5} \text{ mg/ml}$$

$$m = 9,90 \cdot 10^{-4} \text{ gram/l}$$

Karena sampel diambil dengan volume 10 ml, maka kadar Brom dalam sampel adalah $9,90.10^{-5}$ mg/ml = $9,90.10^{-5}$ gram/l

b. Perhitungan Ralat Kadar Limbah Cair Pabrik Galvanis

Perhitungan ralat kadar limbah cair pabrik galvanis pada titik *pickling* waktu peluruhan umur pendek :

$$\frac{\partial m}{\partial t_a} = \frac{A_0 \lambda^2 . Ba . e^{-\lambda t_a}}{2 . \phi . Na . \tau . \epsilon . Y . a . (e^{-\lambda t_a}) (e^{-\lambda t_d}) (1 - e^{-\lambda t_c})}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial m}{\partial t_a} &= \frac{18,78 . (2,026 . 10^{-4})^2 . 70,9277 . 0,941021}{2,2,08 . 10^{11} . 6,02 . 10^{23} . 17,4 . 10^{-26} . 5,8 . 10^{-4} . 0,8915 . 0,4931 . 0,941021 . 0,95253 . 0,05898} \\ &= 5,9 . 10^{10} \end{aligned}$$

$$\frac{\partial m}{\partial t_d} = \lambda \frac{A_0 \lambda . Ba . e^{-\lambda t_a}}{\phi . Na . \tau . \epsilon . Y . a . (1 - e^{-\lambda t_a}) (1 - e^{-\lambda t_c})} e^{-\lambda t_d}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial m}{\partial t_d} &= \frac{18,78 . (2,026 . 10^{-4})^2 . 70,9277 . 0,941021}{2,08 . 10^{11} . 6,02 . 10^{23} . 17,4 . 10^{-26} . 5,8 . 10^{-4} . 0,8915 . 0,4931 . 0,941021 . 0,95253 . 0,05898} \\ &= -1,91005 . 10^{-8} \end{aligned}$$

$$\frac{\partial m}{\partial t_c} = \frac{A_0 \lambda^2 . Ba . e^{-\lambda t_c}}{2 . \phi . Na . \tau . \epsilon . Y . a . (1 - e^{-\lambda t_a}) (e^{-\lambda t_d}) e^{-\lambda t_c}}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial m}{\partial t_c} &= \frac{18,78 . (2,026 . 10^{-4})^2 . 70,9277 . 0,941021}{2,2,08 . 10^{11} . 6,02 . 10^{23} . 17,4 . 10^{-26} . 5,8 . 10^{-4} . 0,8915 . 0,4931 . 0,05898 . 0,95253 . 0,05898} \\ &= 5,91 . 10^{-10} \end{aligned}$$

$$\frac{\partial m}{\partial A_0} = \frac{\lambda . Ba}{\phi . Na . \tau . \epsilon . Y . a . (1 - e^{-\lambda t_a}) (e^{-\lambda t_d}) (1 - e^{-\lambda t_c})}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial m}{\partial A_0} &= \frac{2,026 . 10^{-4} . 70,9277}{2,08 . 10^{11} . 6,02 . 10^{23} . 17,4 . 10^{-26} . 5,8 . 10^{-4} . 0,8915 . 0,4931 . 0,05898 . 0,95253 . 0,05898} \\ &= 1,65 . 10^{-7} \end{aligned}$$

$$\Delta m = \left| \frac{\partial m}{\partial t_a} \right| \Delta t_a + \left| \frac{\partial m}{\partial t_d} \right| \Delta t_d + \left| \frac{\partial m}{\partial t_c} \right| \Delta t_c + \left| \frac{\partial m}{\partial A_0} \right| \Delta A_0$$

$$\begin{aligned} \Delta m &= \sqrt{|5,9 . 10^{10}|^2 0,05^2 + |-1,91005 . 10^{-8}|^2 0,05^2 + |5,91 . 10^{-10}|^2 0,05^2 + |1,65 . 10^{-7}|^2 0,05^2} \\ &= 8,3E-09 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{jadi kadar Br dalam sampel} &= m \pm \Delta m \\ &= (9,90 \cdot 10^{-5} \pm 8,3 \cdot 10^{-9}) \text{ mg/ml} \\ &= (9,90 \cdot 10^{-4} \pm 8,3 \cdot 10^{-9}) \text{ mg/ml}\end{aligned}$$

Lampiran V

Kadar dan Ralat Unsur Waktu Umur Paro Pendek

Tabel 5. Data Sample *Pickling* Waktu Umur Paro Pendek

No	unsur	Tenaga/E (KeV)	Anol (cps)	dps	Yield	$\epsilon(E)$	Ba (sma)	NA	ϕ (n.m ⁻² .s ⁻¹)
1	Mn-56	847,64	100,18	3,63E+04	99,0000	2,79E-05	55,9349	6,02E+23	2,08E+11
2	Zr-97	1146,41	50,71	3,63E+04	2,7000	5,17E-04	96,9109	6,02E+23	2,08E+11
3	Cl-38	1643,28	382,49	3,63E+04	32,8000	3,21E-04	37,9680	6,02E+23	2,08E+11

a	τ	ln 2	T1/2 (s)	λ	e	t a(s)	t d (s)	t c (s)	$\lambda.ta$	$\lambda.td$	$\lambda.tc$
100,00	1,33E-23	0,693	9,E+03	7,E-05	2,7183	300	240	300	0,022366	0,01789	0,02237
2,80	1,73E-26	0,693	6,E+04	1,E-05	2,7183	300	240	300	0,003438	0,00275	0,00344
24,23	4,28E-25	0,693	2,E+03	3,E-04	2,7183	300	240	300	0,092895	0,07432	0,09290

$1-e^{-\lambda.ta}$	$1-e^{-\lambda.td}$	$1-e^{-\lambda.tc}$	$e^{-\lambda.ta}$	$e^{-\lambda.td}$	$e^{-\lambda.tc}$	$\frac{\partial m}{\partial \tau a}$	$\frac{\partial m}{\partial \tau d}$	$\frac{\partial m}{\partial \tau c}$	$\frac{\partial m}{\partial A_0}$
0,02212	0,01773	0,02212	0,97788	0,98227	0,97788	1,56E-15	-1,4E-13	1,56E-15	2,14E-13
0,00343	0,00275	0,00343	0,99657	0,99725	0,99657	1,11E-11	-6,5E-09	1,11E-11	1,92E-08
0,08871	0,07162	0,08871	0,91129	0,92838	0,91129	6,18E-13	-1,2E-11	6,18E-13	5,73E-12

$\left(\frac{\partial m}{\partial \tau a}\right)^2$	$\left(\frac{\partial m}{\partial \tau d}\right)^2$	$\left(\frac{\partial m}{\partial \tau c}\right)^2$	$\left(\frac{\partial m}{\partial A_0}\right)^2$			Δm	kadar mg/ml	ppm
2,44E-30	1,85E-26	2,44E-30	4,56E-26	0,002500	1,60E-28	1,3E-14	1,89E-09	0,00189
1,24E-22	4,16E-17	1,24E-22	3,70E-16	0,002500	1,03E-18	1,0E-09	5,66E-04	566,21
3,82E-25	1,44E-22	3,82E-25	3,28E-23	0,002500	4,45E-25	6,7E-13	4,50E-08	0,04501

Tabel 6. Data Sample *Rising I* Waktu Umur Paro Pendek

No	unsur	Tenaga/E (KeV)	Anol (cps)	dps	Yield	$\epsilon(E)$	Ba (sma)	NA	ϕ (n.m ⁻² .s ⁻¹)
1	Mn-57	846,69	3,09	3,63E+04	99	8,59E-07	56,9383	6,02E+23	2,08E+11
2	Zr-97	1145,58	2,21	3,63E+04	2,7	2,25E-05	96,9109	6,02E+23	2,08E+11
3	Cl-38	1642,08	17,47	3,63E+04	32,8	1,47E-05	37,9680	6,02E+23	2,08E+11

A	τ	ln 2	T1/2 (s)	λ	e	t a(s)	t d (s)	t c(s)
100,00	1,33E-23	0,693	9,E+03	7,E-05	2,718281	300	193	300
2,80	1,73E-26	0,693	6,E+04	1,E-05	2,718281	300	193	300
24,23	4,28E-25	0,693	2,E+03	3,E-04	2,718281	300	193	300

$1-e^{-\lambda.ta}$	$1-e^{-\lambda.td}$	$1-e^{-\lambda.tc}$	$e^{-\lambda.ta}$	$e^{-\lambda.td}$	$e^{-\lambda.tc}$	$\frac{\partial m}{\partial ta}$	$\frac{\partial m}{\partial td}$	$\frac{\partial m}{\partial tc}$	$\frac{\partial m}{\partial A_0}$
0,022118	0,014286	0,022118	0,977882	0,985714	0,977882	1,58E-15	-1,39073E-13	1,58E-15	7,03E-12
0,003432	0,002209	0,003432	0,996568	0,997791	0,996568	1,11E-11	-6,45572E-09	1,11E-11	4,41E-07
0,088711	0,058012	0,088711	0,911289	0,941988	0,911289	6,09E-13	-1,21883E-11	6,09E-13	1,24E-10

$\left(\frac{\partial m}{\partial ta}\right)^2$	$\left(\frac{\partial m}{\partial td}\right)^2$	$\left(\frac{\partial m}{\partial tc}\right)^2$	$\left(\frac{\partial m}{\partial A_0}\right)^2$			kadar	Δm	ppm
2,51E-30	1,93E-26	2,51E-30	4,94E-23	0,002500	2,34E-118	1,92E-09	1,5E-59	0,00192
1,24E-22	4,17E-17	1,24E-22	1,94E-13	0,002500	4,85E-84	5,66E-04	2,2E-42	565,9055
3,71E-25	1,49E-22	3,71E-25	1,53E-20	0,002500	1,22E-101	4,44E-08	3,5E-51	0,044359

Tabel 7. Data Sample *Rising II* Waktu Umur Paro Pendek

No	unsur	Tenaga/E (KeV)	Anol (cps)	dps	Yield	$\epsilon(E)$	Ba (sma)	NA	ϕ (n.m ⁻² .s ⁻¹)
1	Mn-57	846,69	*	3,63E+04	99	*	56,9383	6,02E+23	2,08E+11
2	Zr-97	1146,41	*	3,63E+04	2,7	*	96,9109	6,02E+23	2,08E+11
3	Cl-38	1642,08	1,27	3,63E+04	32,8	1,07E-06	37,9680	6,02E+23	2,08E+11

a	τ	ln 2	T1/2 (s)	λ	e	t a(s)	t d (s)	t c(s)	$\lambda.ta$	$\lambda.td$	$\lambda.tc$
100,00	1,33E-23	0,693	9,E+03	7,E-05	2,718281	300	180	300	0,022366	0,01342	0,022366
2,80	1,73E-26	0,693	6,E+04	1,E-05	2,718281	300	180	300	0,003438	0,002063	0,003438
24,23	4,28E-25	0,693	2,E+03	3,E-04	2,718281	300	180	300	0,092895	0,055737	0,092895

$1-e^{-\lambda.ta}$	$1-e^{-\lambda.td}$	$1-e^{-\lambda.tc}$	$e^{-\lambda.ta}$	$e^{-\lambda.td}$	$e^{-\lambda.tc}$	$\frac{\partial m}{\partial ta}$	$\frac{\partial m}{\partial td}$	$\frac{\partial m}{\partial tc}$	$\frac{\partial m}{\partial A_0}$
0,022118	0,01333	0,022118	0,977882	0,98667	0,977882	*	*	*	*
0,003432	0,00206	0,003432	0,996568	0,99794	0,996568	*	*	*	*
0,088711	0,054212	0,088711	0,911289	0,945788	0,911289	6,07E-13	-1,22374E-11	6,07E-13	1,69E-09

$\left(\frac{\partial m}{\partial ta}\right)^2$	$\left(\frac{\partial m}{\partial td}\right)^2$	$\left(\frac{\partial m}{\partial tc}\right)^2$	$\left(\frac{\partial m}{\partial A_0}\right)^2$			kadar	Δm	ppm
*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*
3,68E-25	1,50E-22	3,68E-25	2,87E-18	0,002500	2,27E-99	4,42E-08	4,8E-50	0,04418

Tabel 8. Data Sample *Rising I&II* Waktu Umur Paro Pendek

No	unsur	Tenaga/E (KeV)	Anol (cps)	dps	Yield	$\epsilon(E)$	Ba (sma)	NA	ϕ (n.m ⁻² .s ⁻¹)
1	Mn-57	846,69	0,80	3,63E+04	99	2,22E-07	56,9383	6,02E+23	2,08E+11
2	Zr-97	1145,58	0,74	3,63E+04	2,7	7,55E-06	96,9109	6,02E+23	2,08E+11
3	Cl-38	1642,08	4,42	3,63E+04	32,8	3,71E-06	37,9680	6,02E+23	2,08E+11

a	τ	ln 2	T1/2 (s)	λ	e	t a (s)	t d (s)	t c (s)	$\lambda.ta$	$\lambda.td$	$\lambda.tc$
100,00	1,33E-23	0,693	9,E+03	7,46E-05	2,718281	300	180	300	0,022366	0,01342	0,022366
2,80	1,73E-26	0,693	6,E+04	1,15E-05	2,718281	300	180	300	0,003438	0,002063	0,003438
24,23	4,28E-25	0,693	2,E+03	0,00031	2,718281	300	180	300	0,092895	0,055737	0,092895

$1-e^{-\lambda.ta}$	$1-e^{-\lambda.td}$	$1-e^{-\lambda.tc}$	$e^{-\lambda.ta}$	$e^{-\lambda.td}$	$e^{-\lambda.tc}$	$\frac{\partial m}{\partial t a}$	$\frac{\partial m}{\partial t d}$	$\frac{\partial m}{\partial t c}$	$\frac{\partial m}{\partial A_0}$
0,058979	0,035817	0,058979	0,941021	0,964183	0,941021	*	*	*	*
0,022118	0,01333	0,022118	0,977882	0,98667	0,977882	1,58E-15	-1,39208E-13	1,58E-15	2,71E-11
0,003432	0,00206	0,003432	0,996568	0,99794	0,996568	1,11E-11	-6,45668E-09	1,11E-11	1,32E-06
0,088711	0,054212	0,088711	0,911289	0,945788	0,911289	6,07E-13	-1,22374E-11	6,07E-13	4,87E-10

$\left(\frac{\partial m}{\partial t a}\right)^2$	$\left(\frac{\partial m}{\partial t d}\right)^2$	$\left(\frac{\partial m}{\partial t c}\right)^2$	$\left(\frac{\partial m}{\partial A_0}\right)^2$			kadar	Δm	ppm
2,50E-30	1,94E-26	2,50E-30	7,35E-22	0,002500	3,48E-117	1,92E-09	5,9E-59	0,001918
1,24E-22	4,17E-17	1,24E-22	1,73E-12	0,002500	4,32E-83	5,66E-04	6,6E-42	565,8212
3,68E-25	1,50E-22	3,68E-25	2,37E-19	0,002500	1,88E-100	4,42E-08	1,4E-50	0,04418

Tabel 9. Data Sample Sudah Diolah Waktu Umur Paro Pendek

No	unsur	Tenaga/E (KeV)	Anol (cps)	dps	Yield	$\epsilon(E)$	Ba (sma)	NA	ϕ (n.m ⁻² .s ⁻¹)
1	Mn-57	847,64	*	*	*	*	*	*	*
2	Zr-97	1146,41	*	*	*	*	*	*	*
3	Cl-38	1642,08	4,42	3,63E+04	32,8	3,71E-06	37,9680	6,02E+23	2,08E+11

a	τ	ln 2	T1/2 (s)	λ	e	t s (s)	t d (s)	t c (s)	$\lambda.ta$	$\lambda.td$	$\lambda.tc$
100,00	1,33E-23	0,693	9,E+03	7,46E-05	2,718281	300	163	300	0,022366	0,012152	0,022366
2,80	1,73E-26	0,693	6,E+04	1,15E-05	2,718281	300	163	300	0,003438	0,001868	0,003438
24,23	4,28E-25	0,693	2,E+03	0,00031	2,718281	300	163	300	0,092895	0,050473	0,092895

$1-e^{-\lambda.ta}$	$1-e^{-\lambda.td}$	$1-e^{-\lambda.tc}$	$e^{-\lambda.ta}$	$e^{-\lambda.td}$	$e^{-\lambda.tc}$	$\frac{\partial m}{\partial t_a}$	$\frac{\partial m}{\partial t_d}$	$\frac{\partial m}{\partial t_c}$	$\frac{\partial m}{\partial A_0}$
0,022118	0,012079	0,022118	0,977882	0,987921	0,977882	*	*	*	*
0,003432	0,001866	0,003432	0,996568	0,998134	0,996568	*	*	*	*
0,088711	0,049221	0,088711	0,911289	0,950779	0,911289	6,04E-13	-1,2302E-11	6,04E-13	4,84E-10

$\left(\frac{\partial m}{\partial t_a}\right)^2$	$\left(\frac{\partial m}{\partial t_d}\right)^2$	$\left(\frac{\partial m}{\partial t_c}\right)^2$	$\left(\frac{\partial m}{\partial A_0}\right)^2$			kadar	Δm	ppm
*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*
3,64E-25	1,51E-22	3,64E-25	2,34E-19	0,002500	1,84E-100	4,39E-08	1,4E-50	0,043948

Lampiran VI

Kadar dan Ralat Unsur Waktu Umur Paro Panjang

Tabel 10. Data Sample *Pickling* Waktu Umur Paro Panjang

No	unsur	Tenaga/E (KeV)	Anol (cps)	dps	Yield	$\epsilon(E)$	Ba (sma)	NA	ϕ (n.m ⁻² .s ⁻¹)
1	Zn-69	438,53	418,26	3,63E+04	94,80	1,21E-04	68,9266	6,02E+23	2,08E+11
2	Br-82	554,33	153,93	3,63E+04	70,60	6,00E-05	81,9168	6,02E+23	2,08E+11
3	Na-24	1367,72	398,53	3,63E+04	100,00	1,10E-04	23,9996	6,02E+23	2,08E+11
4	Al-24	1731,05	50,68	3,63E+04	100,00	1,40E-05	24,9904	6,02E+23	2,08E+11

a	τ	ln 2	T1/2 (s)	λ	e	t a (s)	t d (s)	t c (s)	$\lambda.ta$	$\lambda.td$	$\lambda.tc$
0,186	7,20E-26	0,693	49680	2,E-06	2,718281	21600	175484	300	0,301304	2,447875	0,004185
0,493	2,60E-26	0,693	3058560	2,E-07	2,718281	21600	175484	300	0,004894	0,039761	6,8E-05
0,100	5,30E-26	0,693	1297728	5,E-07	2,718281	21600	175484	300	0,011535	0,09371	0,00016
0,100	2,25E-25	0,693	1297728	5,E-07	2,718281	21600	175484	300	0,011535	0,09371	0,00016

$1-e^{-\lambda.ta}$	$1-e^{-\lambda.td}$	$1-e^{-\lambda.tc}$	$e^{-\lambda.ta}$	$e^{-\lambda.td}$	$e^{-\lambda.tc}$	$\frac{\partial m}{\partial \alpha}$	$\frac{\partial m}{\partial \alpha d}$	$\frac{\partial m}{\partial \alpha c}$	$\frac{\partial m}{\partial A_0}$
0,260147	0,9135	0,004176	0,739853	0,086477	0,995824	1,21E-10	-6,9E-12	1,94E-12	3,33E-10
0,004882	0,0389	6,8E-05	0,995118	0,961019	0,999932	7,28E-13	-2,8E-10	1,01E-14	2,91E-10
0,011468	0,0894	0,00016	0,988532	0,910547	0,999840	1,28E-12	-1,9E-10	1,79E-14	8,43E-11
0,011468	0,0894	0,00016	0,988532	0,910547	0,999840	3,15E-13	-4,6E-11	4,41E-15	1,63E-10

$\left(\frac{\partial m}{\partial \alpha}\right)^2$	$\left(\frac{\partial m}{\partial \alpha d}\right)^2$	$\left(\frac{\partial m}{\partial \alpha c}\right)^2$	$\left(\frac{\partial m}{\partial A_0}\right)^2$			kadar g/l	Δm	ppm
1,46E-20	4,81E-23	3,75E-24	1,11E-19	0,002500	3,14E-22	6,65E-05	1,8E-11	66,49888
5,30E-25	7,59E-20	1,03E-28	8,45E-20	0,0025	4,01E-22	1,32E-03	2,0E-11	1316,754
1,65E-24	3,45E-20	3,22E-28	7,10E-21	0,0025	1,04E-22	4,19E-04	1,0E-11	419,3006
9,95E-26	2,08E-21	1,94E-29	2,65E-20	0,0025	7,15E-23	1,03E-04	8,5E-12	103,0293

Tabel 11. Data Sample *Rising I* Waktu Umur Umur Paro Panjang

No	unsur	Tenaga/E (KeV)	Anol (cps)	dps	Yield	$\epsilon(E)$	Ba (sma)	NA	ϕ (n.m ⁻² .s ⁻¹)
1	Zn-69	438,09	12,21	3,63E+04	94,8000	3,55E-06	68,9266	6,02E+23	2,08E+11
2	Br-82	554,33	153,93	3,63E+04	70,60	6,00E-05	81,9168	6,02E+23	2,08E+11
3	Na-24	1367,34	1,36	3,63E+04	100,00	3,74E-07	23,9996	6,02E+23	2,08E+11
4	Al-24	1731,05	50,68	3,63E+04	100,00	1,40E-05	24,9904	6,02E+23	2,08E+11

a	τ	ln 2	T1/2 (s)	λ	e	t a (s)	t d (s)	t c (s)	$\lambda.ta$	$\lambda.td$	$\lambda.tc$
0,620	7,20E-25	0,693	49680	1,E-05	2,718281	21600	173504	300	0,620	7,20E-25	0,693
0,493	2,60E-26	0,693	3058560	2,E-07	2,718281	21600	173504	300	0,004894	0,039312	6,8E-05
0,100	5,30E-26	0,693	1297728	5,E-07	2,718281	21600	173504	300	0,011535	0,092653	0,00016
0,100	2,25E-25	0,693	1297728	5,E-07	2,718281	21600	173504	300	0,011535	0,092653	0,00016

$1-e^{-\lambda.ta}$	$1-e^{-\lambda.td}$	$1-e^{-\lambda.tc}$	$e^{-\lambda.ta}$	$e^{-\lambda.td}$	$e^{-\lambda.tc}$	$\frac{\partial m}{\partial \tau a}$	$\frac{\partial m}{\partial \tau d}$	$\frac{\partial m}{\partial \tau c}$	$\frac{\partial m}{\partial A_0}$
0,301304	2,420255	0,004185	0,260147	0,911100996	0,004176	0,739853	0,088899	0,995824	1,17E-11
0,004882	0,0385	6,8E-05	0,995118	0,961451	0,999932	7,28E-13	-2,8E-10	1,01E-14	2,91E-10
0,011468	0,0884	0,00016	0,988532	0,91151	0,999840	1,28E-12	-1,9E-10	1,79E-14	2,47E-08
0,011468	0,0884	0,00016	0,988532	0,91151	0,999840	3,15E-13	-4,6E-11	4,40E-15	1,63E-10

$\left(\frac{\partial m}{\partial \tau a}\right)^2$	$\left(\frac{\partial m}{\partial \tau d}\right)^2$	$\left(\frac{\partial m}{\partial \tau c}\right)^2$	$\left(\frac{\partial m}{\partial A_0}\right)^2$			kadar g/l	Δm	ppm
1,38E-22	5,09E-25	3,55E-26	1,23E-18	0,002500	3,09E-21	6,47E-06	5,6E-11	6,468734
5,30E-25	7,60E-20	1,03E-28	8,45E-20	0,002500	4,01E-22	1,32E-03	2,0E-11	1316,163
1,65E-24	3,45E-20	3,21E-28	6,09E-16	0,002500	1,52E-18	4,19E-04	1,2E-09	418,8575
9,93E-26	2,09E-21	1,94E-29	2,65E-20	0,002500	7,14E-23	1,03E-04	8,4E-12	102,9204

Tabel 12. Data Sample *Rising II* Waktu Umur Paro Panjang

No	unsur	Tenaga/E (KeV)	Anol (cps)	dps	Yield	$\epsilon(E)$	Ba (sma)	NA	ϕ (n.m ⁻² .s ⁻¹)
1	Zn-69	438,84	1,00	3,63E+04	94,8000	2,90E-07	68,9266	6,02E+23	2,08E+11
2	Br-82	554,48	*	*	*	*	*	*	2,08E+11
3	Na-24	1368,71	23,38	3,63E+04	100,00	6,44E-06	23,9996	6,02E+23	2,08E+11
4	Al-24	1732,00	3,22	3,63E+04	100,00	8,87E-07	24,9904	6,02E+23	2,08E+11

a	τ	ln 2	T1/2 (s)	λ	e	t a(s)	t d (s)	t c(s)	$\lambda.ta$	$\lambda.td$	$\lambda.tc$
0,620	7,20E-25	0,693	49680	1,E-05	2,718281	21600	173504	300	0,301304	2,420255	0,004185
0,493	2,60E-26	0,693	3058560	2,E-07	2,718281	21600	174104	300	0,004894	0,039448	6,8E-05
0,100	5,30E-26	0,693	1297728	5,E-07	2,718281	21600	174104	300	0,011535	0,092973	0,00016
0,100	2,25E-25	0,693	1297728	5,E-07	2,718281	21600	174104	300	0,011535	0,092973	0,00016

$1-e^{-\lambda.ta}$	$1-e^{-\lambda.td}$	$1-e^{-\lambda.tc}$	$e^{-\lambda.ta}$	$e^{-\lambda.td}$	$e^{-\lambda.tc}$	$\frac{\partial m}{\partial ta}$	$\frac{\partial m}{\partial td}$	$\frac{\partial m}{\partial tc}$	$\frac{\partial m}{\partial A_0}$
0,260147	0,9111	0,004176	0,739853	0,088899	0,995824	1,17E-11	-7,1E-13	1,88E-13	1,11E-09
0,004882	0,03868	6,8E-05	0,995118	0,96132	0,999932	*	*	*	*
0,011468	0,08878	0,00016	0,988532	0,911218	0,999840	1,28E-12	-1,9E-10	1,79E-14	1,44E-09
0,011468	0,08878	0,00016	0,988532	0,911218	0,999840	3,15E-13	-4,6E-11	4,40E-15	2,56E-09

$\left(\frac{\partial m}{\partial ta}\right)^2$	$\left(\frac{\partial m}{\partial td}\right)^2$	$\left(\frac{\partial m}{\partial tc}\right)^2$	$\left(\frac{\partial m}{\partial A_0}\right)^2$			kadar g/l	Δm	ppm
1,40E-22	5,00E-25	3,61E-26	1,87E-16	0,002500	4,68E-19	6,52E-06	6,8E-10	6,523102
*	*	*	*	*	*	*	*	*
1,65E-24	3,45E-20	3,21E-28	2,06E-18	0,002500	5,24E-21	4,19E-04	7,2E-11	418,9917
9,94E-26	2,08E-21	1,94E-29	6,56E-18	0,002500	1,64E-20	1,03E-04	1,3E-10	102,9534

Tabel 13. Data Sample *Rising I&II* Waktu Umur Paro Panjang

No	unsur	Tenaga/E (KeV)	Anol (cps)	dps	Yield	$\epsilon(E)$	Ba (sma)	NA	ϕ (n.m ⁻² .s ⁻¹)
1	Zn-69	438,78	2,43	3,63E+04	94,8000	7,06E-07	68,9266	6,02E+23	2,08E+11
2	Br-82	554,48	0,64	3,63E+04	*	*	81,9168	6,02E+23	2,08E+11
3	Na-24	1368,21	17,63	3,63E+04	100,00	4,85E-06	23,9996	6,02E+23	2,08E+11
4	Al-24	1731,51	2,60	3,63E+04	100,00	7,16E-07	24,9904	6,02E+23	2,08E+11

a	τ	ln 2	T1/2 (s)	λ	e	t a(s)	t d (s)	t c(s)	$\lambda.ta$	$\lambda.td$	$\lambda.tc$
0,620	7,20E-25	0,693	49680	1,E-05	2,718281	21600	174542	300	0,301304	2,434734	0,004185
0,493	2,60E-26	0,693	3058560	2,E-07	2,718281	21600	174542	300	0,004894	0,039547	6,8E-05
0,100	5,30E-26	0,693	1297728	5,E-07	2,718281	21600	174542	300	0,011535	0,093207	0,00016
0,100	2,25E-25	0,693	1297728	5,E-07	2,718281	21600	174542	300	0,011535	0,093207	0,00016

$1-e^{-\lambda.ta}$	$1-e^{-\lambda.td}$	$1-e^{-\lambda.tc}$	$e^{-\lambda.ta}$	$e^{-\lambda.td}$	$e^{-\lambda.tc}$	$\frac{\partial m}{\partial t a}$	$\frac{\partial m}{\partial t d}$	$\frac{\partial m}{\partial t c}$	$\frac{\partial m}{\partial A_0}$
0,260147	0,912378921	0,004176	0,739853	0,087621	0,995824	1,19E-11	-7E-13	1,91E-13	5,66E-09
0,004882	0,038775444	6,8E-05	0,995118	0,961225	0,999932	*	*	*	*
0,011468	0,088995263	0,00016	0,988532	0,911005	0,999840	1,28E-12	-1,9E-10	1,79E-14	1,90E-09
0,011468	0,088995263	0,00016	0,988532	0,911005	0,999840	3,15E-13	-4,6E-11	4,40E-15	3,17E-09

$\left(\frac{\partial m}{\partial t a}\right)^2$	$\left(\frac{\partial m}{\partial t d}\right)^2$	$\left(\frac{\partial m}{\partial t c}\right)^2$	$\left(\frac{\partial m}{\partial A_0}\right)^2$			kadar g/l	Δm	ppm
1,42E-22	4,94E-25	3,65E-26	3,21E-17	0,002500	8,02E-20	6,56E-06	2,8E-10	6,563079
*	*	*	*	*	*	*	*	*
1,65E-24	3,45E-20	3,21E-28	3,63E-18	0,002500	9,15E-21	4,19E-04	9,6E-11	419,0897
9,94E-26	2,08E-21	1,94E-29	1,01E-17	0,002500	2,52E-20	1,03E-04	1,6E-10	102,9775

Tabel 14. Data Sample Sudah Diolah Waktu Umur Paro Panjang

No	unsur	Tenaga/E (KeV)	Anol (cps)	dps	Yield	$\varepsilon(E)$	Ba (sma)	NA	ϕ (n.m ⁻² .s ⁻¹)
1	Zn-71	438,78	*	3,63E+04	*	*	68,9266	6,02E+23	2,08E+11
2	Br-82	554,62	*	3,63E+04	*	*	81,9168	6,02E+23	2,08E+11
3	Na-24	1370,09	13,36	3,63E+04	100,00	3,68E-06	23,9996	6,02E+23	2,08E+11
4	Al-24	1733,51	1,98	3,63E+04	100,00	5,45E-07	24,9904	6,02E+23	2,08E+11

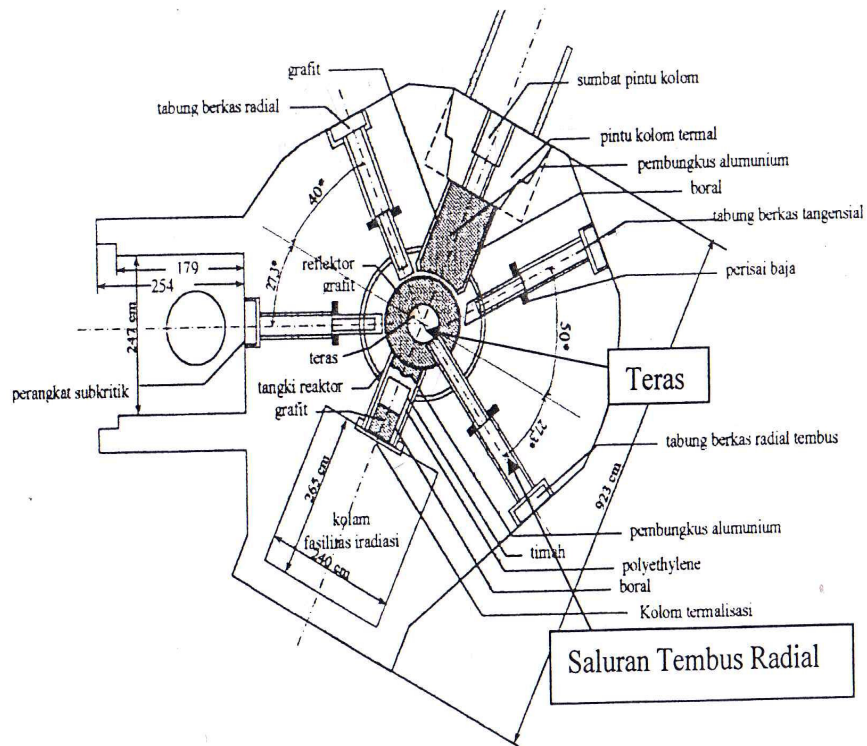
a	τ	ln 2	T1/2 (s)	λ	e	t a(s)	t d (s)	t c(s)	$\lambda.ta$	$\lambda.td$	$\lambda.tc$
*	*	0,693	49680	1,E-05	2,718281	21600	174884	300	0,301304	2,439505	0,004185
*	*	0,693	3058560	2,E-07	2,718281	21600	174884	300	0,004894	0,039625	6,8E-05
0,100	5,30E-26	0,693	1297728	5,E-07	2,718281	21600	174884	300	0,011535	0,09339	0,00016
0,100	2,25E-25	0,693	1297728	5,E-07	2,718281	21600	174884	300	0,011535	0,09339	0,00016

$1-e^{-\lambda.ta}$	$1-e^{-\lambda.td}$	$1-e^{-\lambda.tc}$	$e^{-\lambda.ta}$	$e^{-\lambda.td}$	$e^{-\lambda.tc}$	$\frac{\partial m}{\partial \tau a}$	$\frac{\partial m}{\partial \tau d}$	$\frac{\partial m}{\partial \tau c}$	$\frac{\partial m}{\partial A_0}$
0,042701	0,2976	0,000606	0,957299	0,702346	0,999394	*	*	*	*
0,004882	0,0388	6,8E-05	0,995118	0,96115	0,999932	*	*	*	*
0,011468	0,0891	0,00016	0,988532	0,910838	0,999840	1,28E-12	-1,9E-10	1,79E-14	2,51E-09
0,011468	0,0891	0,00016	0,988532	0,910838	0,999840	3,15E-13	-4,6E-11	4,41E-15	4,17E-09

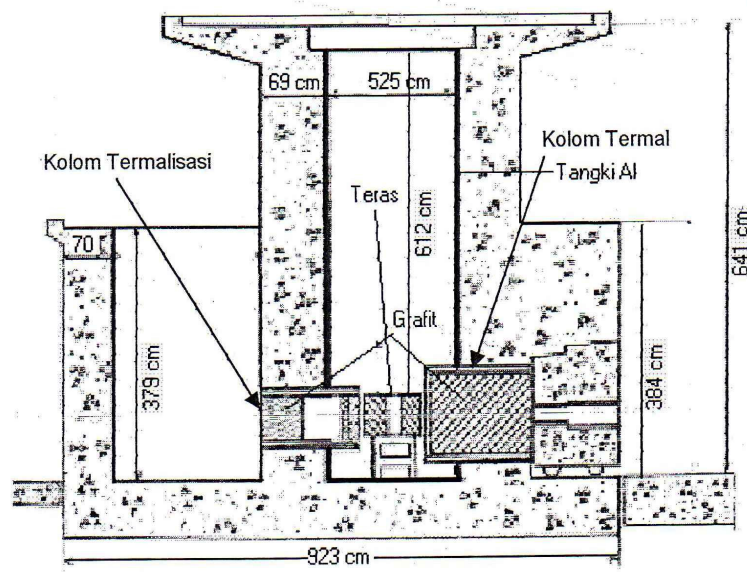
$\left(\frac{\partial m}{\partial \tau a}\right)^2$	$\left(\frac{\partial m}{\partial \tau d}\right)^2$	$\left(\frac{\partial m}{\partial \tau c}\right)^2$	$\left(\frac{\partial m}{\partial A_0}\right)^2$			kadar g/l	Δm	ppm
*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*
1,65E-24	3,45E-20	3,21E-28	6,32E-18	0,002500	1,59E-20	4,19E-04	1,3E-10	419,1663
9,95E-26	2,08E-21	1,94E-29	1,74E-17	0,002500	4,34E-20	1,03E-04	2,1E-10	102,9963

Lampiran IX

Reaktor Kartini



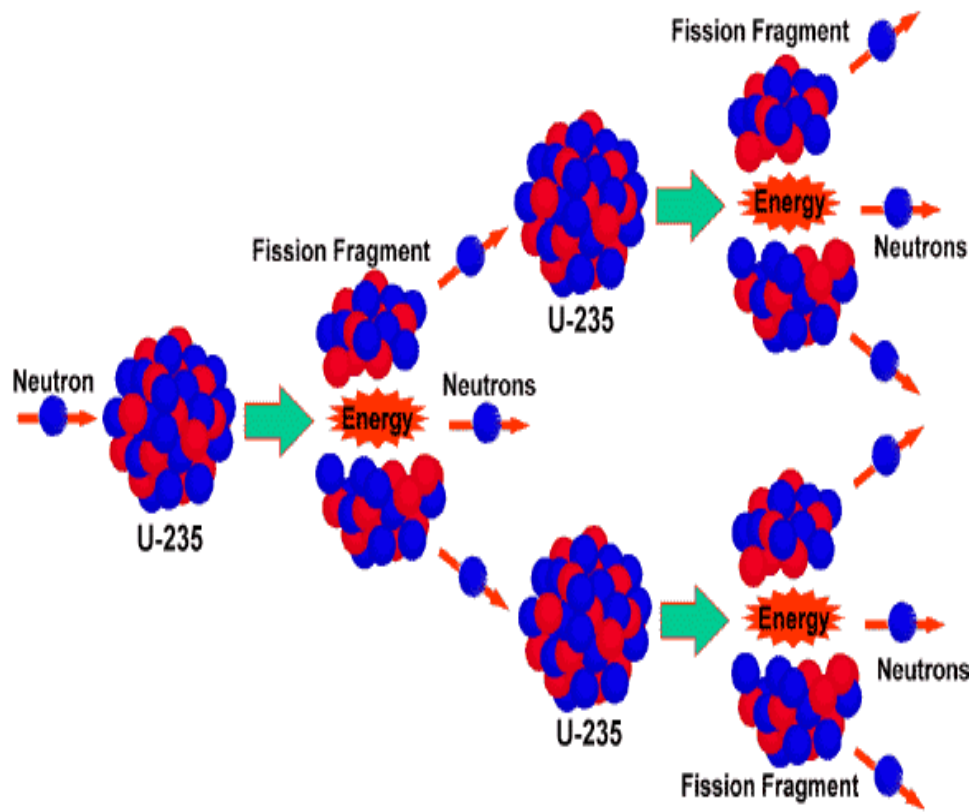
Gambar 5. Penampang horisotal Reaktor Kartini



Gambar 6. Penampang melintang vertikal Reaktor Kartini

Lampiran X

Reaksi Fisi Pada Reaktor Kartini



Gambar 7. Reaksi Fisi pada Reaktor

Lampiran XI

Daftar Gambar Penelitian



Gambar 8. Sampel dalam plastik klip dan sampel dalam vial polyetilene



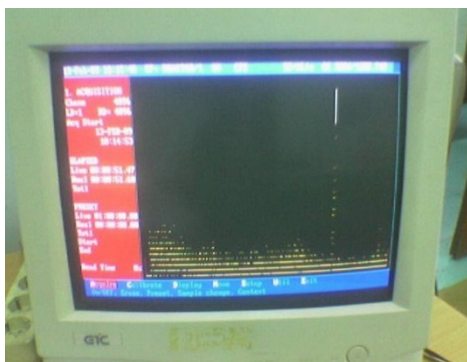
Gambar 9. Handystep, ampul, pinset, dan vial polyetilene



Gambar 10. Teras Reaktor



Gambar 11. Pengisian Nitrogen Pada Detektor HPGe



Gambar 12. Spektrum Tenaga



Gambar 13. Sungkup Reaktor