

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Radiasi merupakan energi yang dipancarkan pada suatu materi atau ruang dalam bentuk panas, partikel, atau gelombang elektromagnetik dari sumber radiasi.

Dalam bidang industri, radioisotop digunakan untuk mengukur ketebalan material yang dihasilkan oleh suatu pabrik. Misalnya, radiasi sinar beta digunakan untuk mengatur ketebalan kertas dipabrik kertas.

Sinar beta merupakan radiasi partikel bermuatan negatif dan memiliki berkas elektron yang berasal dari inti atom. Energi sinar beta sangat bervariasi, mempunyai daya tembus lebih besar dari sinar alfa tetapi daya pengionnya lebih lemah.

Elektron sebagai partikel yang bergerak dengan kecepatan tinggi, apabila melintas dekat ke inti suatu atom, maka gaya tarik elektrostatis inti atom yang kuat akan menyebabkan elektron akan membelok dengan tajam. Peristiwa itu menyebabkan elektron kehilangan energinya dengan memancarkan radiasi elektromagnetik yang dikenal sebagai sinar-X bremsstrahlung.

intensitas rendah radiasi elektromagnetik terkait dengan percepatan partikel yang bermuatan dan diproduksi oleh partikel ringan seperti elektron atau partikel beta. (Sommerfeld,1931).

Partikel beta yang dipancarkan merupakan bentuk radiasi yang menyebabkan ionisasi yang juga disebut sinar beta. Produksi partikel beta dapat disebut dengan peluruhan beta (Anonymous, org/wiki/Partikel_Beta 2013).

Berkas sinar β ini terdiri dari partikel-partikel yang bermuatan negatif dan partikel β identik dengan elektron. Sinar beta mempunyai daya tembus yang lebih besar

tetapi daya pengionnya lebih kecil dibandingkan sinar α . Berkas ini dapat menembus kertas aluminium setebal 2 hingga 3 mm. (Anonymous, /renideswantikimia.wordpress.2013).

Sifat suatu unsur yang dapat memancarkan radiasi (pancaran sinar) secara spontan disebut radioaktifitas. Tergolong ke dalam zat radioaktif, unsur tersebut biasanya bersifat labil, berarti tergolong zat radioaktif adalah isotopnya, karena untuk mencapai kestabilan salah satunya harus melakukan peluruhan. Peluruhan zat radioaktif untuk menghasilkan unsur yang lebih stabil dengan memancarkan partikel seperti, partikel alpha (α), partikel beta (β), dan partikel gamma (γ) (Anonymous, gescool.net, 2013).

Dalam pengukuran paparan dan spektrum bremsstrahlung ini menggunakan beberapa sumber radiasi diantaranya adalah sumber radioaktif Stonsium Sr^{90} yang merupakan jenis radionuklida dengan pemancar β murni dengan energi rata-rata 195,7 keV, dengan waktu paruh 29,17 tahun (Wurdiyanto, 2005).

Kemudian Krypton merupakan salah satu unsur kimia yang memiliki nomor atom Kr^{85} , dimana Kr^{85} merupakan unsur atom yang tidak stabil dengan energi 0,687MeV dengan waktu paruh 10,756 tahun. (chem-istry.org/tabel_periodik/krypton/)

Penggunaan dari spektrometer ini lebih dikhususkan untuk pengukuran spektrum energi bremsstrahlung. Dengan mengukur energi spektrum maka dapat diketahui suatu dosis serap radiasi. Kemudian penggunaan berbagai macam detektor surveymeter juga dilakukan agar dapat mengetahui paparan yang dipancarkan dari sumber standar beta ($Sr-90$ dan $Kr-85$). Hal ini bertujuan agar pendeteksian radiasi disekitar alat kerja dengan sumber sinar radiasi β ini penting dilakukan untuk keselamatan

pekerja dan keamanan pasien dalam menerima energi radiasi.

Pada penelitian ini spektrometer yang digunakan yaitu dengan detektor CdTe model xR-100T (Amptek, Inc, USA). Probabilitas atau efisiensi dari detektor ini yaitu untuk menghentikan radiasi yang masuk dan membuat elektron / hole yang meningkat pasang dengan ketebalan CdTe. Detektor CdTe dengan metode xR-100T-CdTe ini mampu mendeteksi energi dari keV beberapa ratusan ke beberapa keV.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan judul tersebut maka di dapatkan masalah-masalah yang diteliti adalah :

1. Bagaimana mengukur paparan sinar beta bremsstrahlung dengan menggunakan detektor surveymeter?
2. Bagaimana mengukur spectrum sumber standar beta dengan menggunakan detektor CdTe xR-100T?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian yang akan dilakukan ini adalah pengukuran untuk mengetahui paparan dan spectrum bremsstrahlung sinar beta dari sumber standar beta (Sr-90 dan Kr-85) dengan menggunakan detektor surveymeter dan detektor CdTe dengan metode xR-100T buatan Amptek Inc Plus Kolimator 2.

1.4 Tujuan

Tujuan penelitian dari Tugas Akhir yang akan dilakukan ini adalah untuk mengetahui nilai paparan dan spectrum bremsstrahlung dari sumber standar beta (Sr-90

dan Kr-85) dengan memanfaatkan detektor surveymeter dan detektor CdTe xR-100T.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari hasil penelitian ini yaitu dapat digunakan sebagai acuan bagi para pekerja dalam bidang industri yang berhubungan dengan radiasi beta. Selain itu juga diharapkan, sebagai informasi tentang bahaya radiasi yang dihasilkan sumber standar beta bagi para pekerja yang berhubungan dengan kalibrasi di PTKMR BATAN. Dan juga sebagai wawasan dan pengetahuan mengenai pengukuran paparan dan spectrum bremsstrahlung dengan sumber standar beta (Sr-90 dan Kr-85).



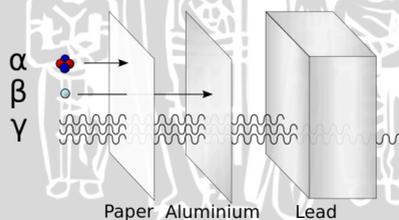
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Radiasi

Radiasi adalah pancaran energi melalui suatu materi atau ruang dalam bentuk panas, partikel atau gelombang elektromagnetik/ cahaya (foton) dari sumber radiasi. Ada beberapa sumber radiasi yang kita kenal disekitar kehidupan kita, contohnya adalah televisi, lampu penerangan, microwave, komputer dan lain-lain.

Tiga jenis utama radiasi ditemukan oleh Ernest Rutherford, Alfa, Beta, dan sinar gamma. Radiasi tersebut ditemukan melalui percobaan sederhana, Rutherford menggunakan sumber radioaktif dan menemukan bahwa sinar menghasilkan tiga daerah yang berbeda. Salah satu dari mereka menjadi positif, salah satu dari mereka bersikap netral, dan salah satu dari mereka bersifat negatif. Dengan data ini, Rutherford menyimpulkan radiasi yang terdiri dari tiga sinar. Beliau memberi nama yang diambil dari tiga huruf pertama dari abjad Yunani yaitu alfa, beta, dan gamma.



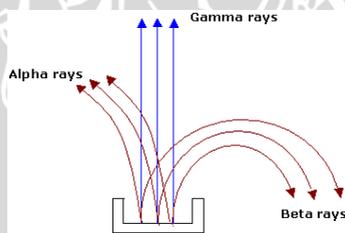
Gambar 2.1 jenis-jenis radiasi
(id.wikipedia.org/wiki/Radiasi)

Radiasi memiliki dua sifat yang dapat digunakan untuk mengetahui keberadaan sumber radiasi pada suatu

tempat atau bahan. Radiasi tidak dapat dideteksi oleh indra manusia, sehingga untuk mengenalinya diperlukan suatu alat bantu pendeteksi yang disebut dengan detektor radiasi. Beberapa jenis detektor yang spesifik mempunyai kemampuan untuk melacak keberadaan jenis radiasi tertentu antara lain yaitu detektor alpha, detektor gamma, detektor neutron, eksitasi dan lain-lain.

2.2 Partikel Beta (β)

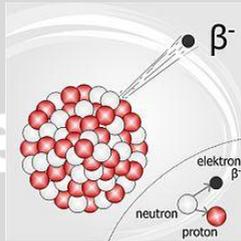
Partikel beta mempunyai ukuran dan muatan listrik lebih kecil daripada partikel α . Daya ionisasinya diudara 1/1000 kali daya ionisasi partikel. Dengan ukurannya yang lebih kecil, partikel beta mempunyai daya tembus lebih besar dari partikel α . Karena muatannya yang kecil daya jangkau partikel diudara bisa sejauh 9 cm, untuk selanjutnya dibelokkan oleh medan listrik yang ada disekitarnya.



Gambar 2.2 pengaruh medan magnet terhadap radiasi

Partikel Beta merupakan suatu partikel subatomik yang terlempar dari inti atom beta yang tidak stabil. Partikel tersebut ekuivalen dengan elektron dan memiliki muatan listrik negatif tunggal $-e$ ($-1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$) dan memiliki massa yang sangat kecil ($0,00055$ atomic mass unit) atau hanya berkisar 1/2000 dari massa neutron atau proton. Perbedaannya adalah partikel beta berasal dari inti sedangkan elektron berasal dari luar inti. Kecepatan dari partikel beta

adalah beragam bergantung pada energi yang dimiliki oleh tiap-tiap partikel.



Gambar 2.3 partikel beta

Karena pertimbangan - pertimbangan teoritis tidak memperkenankan eksistensi independen dan dari elektron intra nuklir, maka dipostulatkan bahwa partikel terbentuk pada saat pemancaran oleh transformasi suatu neutron menjadi sebuah proton dan sebuah elektron yang sesuai dengan persamaan sebagai berikut:



Peluruhan beta merupakan peluruhan radioaktif yang memancarkan partikel beta (elektron atau positron). Pada kasus pemancaran sebuah elektron, peluruhan ini disebut sebagai peluruhan beta minus (β^-), sementara pada pemancaran positron disebut sebagai peluruhan beta plus (β^+).

Daya tembus partikel beta untuk menembus jaringan bergantung pada energi yang dimiliki partikel tersebut. Sehingga radiasi partikel beta juga merupakan bahaya radiasi eksternal jika memiliki energi diatas 200 keV, sehingga tingkat bahaya haruslah dievaluasi untuk setiap kasus. Sinar beta yang energinya kurang dari 200keV tidak dianggap sebagai bahaya radiasi eksternal karena memiliki daya tembus

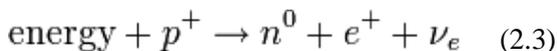
yang sangat terbatas. Namun yang perlu diperhatikan adalah bahwa sinar beta akan memicu sinar-X Bremsstrahlung yang berdaya tembus tinggi jika dihentikan melalui shielding yang tidak dirancang sebagaimana mestinya (Anonymous, docstoc. 2013).

Pada peluruhan β^- , interaksi lemah mengubah sebuah neutron menjadi sebuah proton ketika sebuah elektron dan sebuah anti-neutrino dipancarkan:



Elektron yang dipancarkan bukanlah elektron orbital, juga bukan elektron yang semula berada di dalam inti atom. Karena asas ketidakpastian melarang elektron hadir di dalam inti atom. Elektron tersebut “diciptakan” oleh inti atom dari energi yang ada. Jika beda energi diam antara kedua inti atom sekurang-kurangnya $E=mc^2$, maka hal tersebut memang mungkin terjadi.

Dalam peluruhan β^+ , sebuah proton dikonversi menjadi sebuah neutron, sebuah positron dan sebuah neutrino:



(Anonymous, id.wikipedia.org/wiki/Peluruhan_beta)

Pada peluruhan beta terjadi pada inti tidak stabil yang relatif ringan. Dalam peluruhan ini akan dipancarkan partikel beta yang mungkin bermuatan negatif (β^-) atau bermuatan positif (β^+). Partikel β^- identik dengan elektron sedangkan partikel β^+ identik dengan elektron yang bermuatan positif (positron). Pada diagram N-Z, peluruhan β^- terjadi bila nuklida tidak stabil berada di atas kurva kesetabilan sedangkan peluruhan β^+ terjadi bila nuklidanya berada di bawah kurva kestabilan.

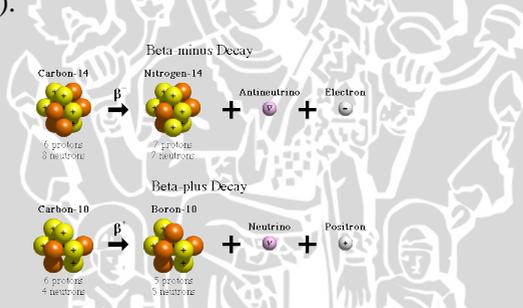
Dalam proses peluruhan β^- terjadi perubahan neutron menjadi proton di dalam inti atom sehingga proses peluruhan ini dapat dituliskan sebagai persamaan inti sebagai berikut:



Sedangkan dalam proses peluruhan β^+ terjadi perubahan proton menjadi neutron didalam inti atom sehingga proses peluruhan ini dapat dituliskan sebagai persamaan inti berikut ini:



Neutrino (ν) dan antineutrino ($\bar{\nu}$) adalah partikel yang tidak bermassa tetapi berenergi yang selalu mengiringi peluruhan β (Herman.1996).



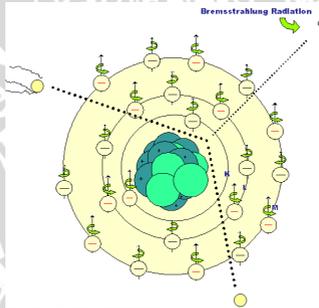
Gambar 2.4 peluruhan β^- dan β^+ (gambar dikutip dari kliktedy.wordpress.com)

2.3 Bremsstrahlung

Sinar-X *Bremsstrahlung* adalah istilah dalam bahasa Jerman yang berarti radiasi pengereman. Elektron sebagai partikel bermuatan listrik yang bergerak dengan kecepatan tinggi, apabila melintas dekat ke inti suatu atom, maka gaya tarik elektrostatis inti atom yang kuat akan menyebabkan elektron membelok dengan tajam. Peristiwa itu menyebabkan

elektron kehilangan energinya dengan memancarkan radiasi elektromagnetik yang dikenal sebagai sinar-X bremsstrahlung.

Sinar-X bremsstrahlung mempunyai spektrum energi kontinu yang lebar, sementara spektrum energi dari sinar-X karakteristik adalah diskrit. Sinar-X karakteristik terbentuk melalui proses perpindahan elektron atom dari tingkat energi yang lebih tinggi menuju ke tingkat energi yang lebih rendah. Beda energi antara tingkat-tingkat orbit dalam atom target cukup besar, sehingga radiasi yang dipancarkannya memiliki frekuensi yang cukup besar dan berada pada daerah sinar-X (Martin, 2005).



Gambar 2.5 bremsstrahlung yang dihasilkan oleh elektron energi tinggi dibelokkan dalam medan listrik dari inti atom.

Bremsstrahlung menggambarkan radiasi yang dipancarkan ketika elektron melambat ketika mereka menembaki target logam. Dan ketika energi elektron dari elektron memborbardir cukup tinggi, radiasi yang ada di X-ray daerah spektrum elektromagnetik. Hal ini ditandai dengan distribusi yang kontinu radiasi yang semakin ketat dan pergeseran ke arah frekuensi yang lebih tinggi ketika energi dari elektron memborbardir target tungsten dengan elektron dari empat energi yang berbeda.

Bremsstrahlung terdiri dari X-ray yang dikeluarkan saat kecepatan tinggi partikel bermuatan yang mengalami akselerasi cepat. Kekuatan coulomb yang menarik kuat menyebabkan partikel beta untuk membelok tajam dari jalan aslinya. Perubahan arah karena partikel beta yang sesuai dengan teori klasik, dimana kehilangan energi oleh radiasi elektromagnetik pada tingkat yang sebanding dengan kuadrat percepatan. Ini berarti bahwa foton bremsstrahlung memiliki distribusi energi kontinu yang berkisar dari bawah maksimum teoritis yang sama dengan energi kinetik dari partikel beta. bentuk yang tepat dari spektrum bremsstrahlung, serta intensitas bremsstrahlung akibat penyerapan sinar beta dalam konfigurasi tertentu sumber beta dan absorber, hal ini sulit untuk menghitung dan relatif sederhana untuk mengukur.

Misalnya, tingkat dosis bremsstrahlung pada jarak 10cm dari larutan 4×10^9 Bq (~ 100 mCi) P^{32} dalam sebuah tabung volumetrik 25 mL adalah sekitar 0,03 mGy / Jam (3 mRad/jam), karena 4×10^9 (Bq (~ 100 mCi). Sr^{90} dalam sebuah wadah kuningan kecil, laju dosis bremsstrahlung pada jarak 10cm adalah sekitar 1 mGy / jam (100 mrad / jam). Dengan mGy dan Mrad akan secara resmi diperkenalkan dalam bab berikutnya.. pada titik ini, sudah cukup untuk mengetahui bahwa mereka adalah unit untuk mengukur dosis radiasi.

Tujuan untuk memperkirakan bahaya bremsstrahlung dari radiasi beta, dapat dihubungkan dengan persamaan berikut:

$$f_{\beta} = 3.5 \times 10^{-4} Z E_m \quad (2.6)$$

Dengan : f_{β} = pecahan dari peristiwa energi beta yang diubah menjadi foton

Z = penyerap jumlah atom

E_m = energi maksimum dari partikel beta, MeV.

Dalam kasus elektron monoenergetik, yang terjadi saat elektron secara cepat melintasi beta potensial tinggi atau tiba-tiba melambat (seperti dalam kasus tabung X-ray ketika berkas elektron menumbuk anoda). Pecahan dari energi dalam berkas elektron yang dikonversi balok yang diubah menjadi sinar-x diberikan oleh:

$$f_c = 1 \times 100^{-4} ZE \quad (2.7)$$

Dengan: f_c = sebagian kecil dari energi dalam berkas elektron yang diubah menjadi sinar-x

Z = penyerapan dari nomer atom

E = energi dari elektron, MeV

Karena, kemungkinan peningkatan produksi bremsstrahlung dengan nomor atom penyerap, pelindung sinar beta dibuat dengan bahan dari nomor atom minimum. Dalam prakteknya, pelindung sinar beta jika nomor atom yang lebih tinggi dari 13, aluminium, jarang digunakan (Herman,1996).

2.4 Interaksi Radiasi Beta dengan Materi

Dibandingkan dengan partikel alpha, partikel beta adalah sangat kecil. Partikel beta (negatif) ini memiliki satu satuan muatan elementer negatif dan massanya dapat diabaikan terhadap massa partikel alpha. Partikel beta ini pada dasarnya identik dengan elektron yang mengorbit di atom penyerap (dengan muatan listrik yang sama), dapat menyebabkan terjadinya ionisasi langsung dengan gaya tolak coulomb terhadap elektron yang mengorbit tersebut. Partikel beta ini dapat pula menyebabkan terjadinya eksitasi bila energinya tidak cukup besar untuk dapat membuat elektron orbit lepas dari sistem atom.

Partikel beta dapat menimbulkan ionisasi langsung lebih sedikit daripada partikel alpha dan dapat bergerak lebih jauh didalam bahan penyerap. Partikel beta dengan energi sebesar 3,5 MeV dapat melintas di udara sejauh 11 meter dan apabila didalam jaringan dapat mencapai jarak sekitar 15mm. Partikel beta berenergi rendah 0,157 MeV yang dipancarkan oleh Carbon-14 yang hanya mampu melintas di udara sejauh 30 cm dan apabila jaringan sekitar 0,8mm.

Partikel beta yang berenergi lebih tinggi dapat melintasi sampai dekat ke inti atom dari bahan penyerap. Partikel ini kehilangan sebagian energinya karena mengalami perlambatan (pengeraman) di dalam medan listrik inti. Energi pengeraman yang terambil dari energi kinetik partikel beta tersebut, akan muncul sebagai sinar-X. Radiasi tipe ini yang disebut sebagai bremsstrahlung, yang dalam bahasa jerman berarti radiasi atau pengeraman.

Radiasi bremsstrahlung merupakan hal yang penting didalam proteksi radiasi. Hali ini perlu mendapat perhatian khusus bagi organisasi/perorangan pemilik pesawat sinar-X untuk berusaha meminimalkan munculnya radiasi bremsstrahlung di ruang pesawat sinar-X dalam rangka keselamatan radiasi terhdap operator dan konsumen yang dilayani ([scribd.com/doc/30267797/RADIASI-1](https://www.scribd.com/doc/30267797/RADIASI-1)).

2.5 Besaran dan Satuan Dosis Radiasi

Adapun beberapa macam besaran dan satuan pada dosis radiasi adalah sebagai berikut :

1. Paparan

Paparan adalah kemampuan radiasi sinar X atau gamma untuk menimbulkan ionisasi di udara pada volume tertentu. Berdasarkan definisi tersebut, maka paparan (X) dapat dirumuskan dengan :

$$X = dQ / dm \quad (2.10)$$

Dengan dQ jumlah muatan elektron yang timbul sebagai akibat interaksi antara foton dengan atom-atom udara dalam volume udara bermassa dm . Dalam hal ini intensitas sinar-X atau sinar gamma yang dapat menghasilkan ionisasi di udara sebanyak $1,6 \times 10^{15}$ pasangan per kilogram udara

Pasangan ion / kg udara. Energi yang diperlukan untuk membuat satu pasangan ion di udara adalah 5×10^{18} Joule.

Oleh karena itu 1 Rontgen dapat dikonversikan ke joule sebagai berikut :

$$\begin{aligned} 1 R &= (1,61 \times 10^{15})(5,4 \times 10^{-18}) \text{ K/kg udara} \\ &= 8,69 \times 10^3 \text{ J/kg udara} \\ &= 0,00869 \text{ J/kg udara} \end{aligned}$$

Besaran paparan ini mempunyai satuan paparan adalah coulomb/kilogram (C/kg) dan diberi nama khusus Roentgen (R).

2. Dosis serap

Dosis serap adalah energi rata-rata yang diserap bahan per satuan massa bahan tersebut. Satuan dosis serap adalah joule/kg atau gray (Gy). Meskipun dosis serap semula didefinisikan untuk penggunaan pada suatu titik tertentu, namun untuk tujuan proteksi radiasi digunakan pula untuk menyatakan dosis rata-rata pada suatu jaringan. Secara matematis, dosis serap (D) dirumuskan dengan :

$$D = dE / dm \quad (2.11)$$

Dengan dE adalah energi yang diserap oleh medium bermassa dm .

3. Dosis Ekuivalen

Dosis ekuivalen merupakan perkalian dosis serap dan faktor bobot radiasi. Faktor bobot radiasi adalah besaran yang merupakan kuantisasi radiasi untuk menimbulkan kerusakan pada jaringan/organ. Satuan dosis ekuivalen adalah Sievert (Sv).

4. Dosis Efektif

Dosis efektif adalah besaran dosis yang memperhitungkan sensitifitas organ/jaringan. Tingkat kepekaan organ/jaringan tubuh terhadap efek stokastik akibat radiasi disebut faktor bobot organ/jaringan tubuh (W_t). Dosis efektif merupakan hasil perkalian dosis ekuivalen dengan faktor bobot jaringan/organ. Satuan dosis efektif adalah Sievert (Sv). Jumlah faktor bobot jaringan untuk seluruh tubuh sama dengan satu. Dosis efektif dalam organ T, HE yang menerima penyinaran radiasi dengan dosis ekuivalen HT ditentukan melalui persamaan :

$$HE = W_t \cdot HT \quad (2.12)$$

5. Dosis Kolektif

Dosis kolektif adalah dosis ekuivalen atau dosis efektif yang digunakan apabila terjadi penyinaran pada sejumlah besar populasi penduduk. Penyinaran ini biasanya muncul akibat kecelakaan nuklir atau kecelakaan radiasi. Simbol besaran untuk dosis kolektif adalah S_T dengan satuan sievert-man (Sv-man).

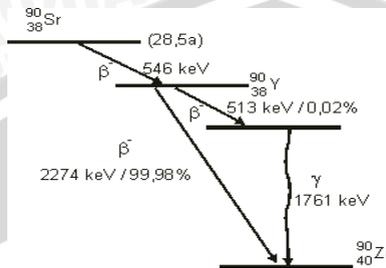
2.6 Sumber Radioaktif Beta

Dalam bidang industri, sumber radiasi beta ($Kr-85$) yang memiliki elektron dan foton mempunyai energi beta maksimal sebesar 687 KeV. Dalam hal ini, $Kr-85$ sangat bergantung pada shielding yang memungkinkan terjadinya peristiwa bremsstrahlung. Sedangkan untuk sumber beta ($Sr-90/Y^{90}$) juga memiliki elektron dan foton dengan energi beta maksimal sebesar 2.274 MeV dengan nilai foton dari 10 sampai 100 keV dan bergantung pada shielding, dan memungkinkan untuk terjadinya bremsstrahlung. (Radiation Protection, 2009)

2.6.1 Stronsium (Sr^{90})

Stronsium adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Sr dan nomor atom 38. Stronsium termasuk dalam logam alkali tanah dengan bentuk fisik putih keabu-abuan atau logam kekuningan yang sangat reaktif secara kimia. Logam ini akan berubah warna menjadi kuning ketika berkontak dengan udara. Unsur ini terdapat didalam selestit dan strontianit. Sr^{90} mempunyai lama waktu paruh sebesar 28,9 tahun. Pada penelitian ini jenis stronsium yang digunakan adalah dalam bentuk serbuk.

Stronsium melebur pada 771 °C. Permukaannya dioksidasi oleh udara pada suhu kamar dan menjadi oksidasinya (SrO) dan nitridanya (Sr_3N_2) pada suhu tinggi.



Gambar 2.6 skema peluruhan Sr^{90}

Kelimpahan Stronsium memiliki kandungan kerak bumi yang relative tinggi. Ada empat isotop stronsium, Sr^{88} (82,58%) adalah yang paling menlimpah. Sr^{90} adalah isotop radioaktif suatu produk yang dominan dalam peledakan bom atom. Stronsium di alam bersenyawa dengan sulfat dan karbonat membentuk senyawa selestit (SrSO_4) dan senyawa strontianit (SrCO_3).

Manfaat stronsium dalam kehidupan yaitu karena stronsium dan kalsium mempunyai sifat kimia yang serupa, ion Sr^{2+} dapat menggantikan ion Ca^{2+} dalam tubuh kita misalnya dalam tulang. Radiasi energi tinggi yang terjadi terus menerus dari stronsium dapat menyebabkan anemia, leukimia dan penyakit kronis lainnya. Stronsium dibuat hanya dalam skala kecil melalui reduksi halida dengan natrium.

(chemicallovers.wordpress.com/2012/11/21/strontium/)

2.6.2 Krypton (Kr^{85})

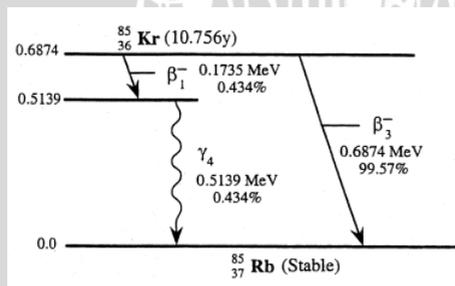
Spektrometer massa memungkinkan kita untuk mengukur kelimpahan relatif berbagai isotop dari suatu unsur. Sebagai contoh kelimpahan isotop krypton disajikan pada tabel 1.2 sabagai berikut:

Tabel 1.2 kelimpahan isotop krypton

Isotop	Kelimpahan (%)
$^{78}_{36}\text{Kr}$	0,356
$^{80}_{36}\text{Kr}$	2,27
$^{83}_{32}\text{Kr}$	11,6
$^{83}_{36}\text{Kr}$	11,5
$^{84}_{36}\text{Kr}$	57,0
$^{86}_{36}\text{Kr}$	17,3

Krypton adalah elemen kimia nomor 36 pada tabel periodik unsur. Krypton ini masuk dalam kelompok elemen yang dikenal sebagai gas mulia. Gas-gas mulia lainnya adalah helium, neon, argon, xenon, dan radon. Dalam kondisi normal, krypton adalah tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau gas. Densitas pada suhu normal dan tekanan adalah sekitar 0,5 ons per galon (3,7 g per liter), sehingga hampir tiga kali lebih berat daripada udara. Pada temperatur yang sangat rendah, krypton mungkin ada sebagai cairan atau padatan. Titik didih krypton adalah $-243,81^\circ\text{F}$ ($-153,23^\circ\text{C}$), dan titik beku hanya sedikit lebih rendah pada $-251,27^\circ\text{F}$ ($-157,37^\circ\text{C}$)

(usahamart.wordpress.com/2012/03/02/membuat.krypton/).



Gambar 2.7 skema peluruhan Krypton (Kr^{85})

Krypton digunakan dengan argon di lampu neon untuk meningkatkan kecerahan dan dengan nitrogen dalam lampu pijar untuk memperpanjang masa hidup mereka. Hal ini juga digunakan di blitz untuk menghasilkan cahaya yang sangat terang untuk waktu yang sangat singkat, untuk digunakan dalam kecepatan tinggi fotografi. Radioaktif krypton-85 dapat digunakan untuk menemukan cacat kecil di permukaan logam. Gas cenderung untuk mengumpulkan dalam kekurangan dan radioaktivitasnya dapat dideteksi (Atkins, 1995).

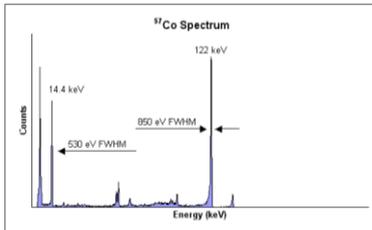
2.7 Karakteristik Detektor

Pada penelitian ini digunakan berbagai macam detektor spektrometer dan surveymeter, diantaranya sebagai berikut:

2.7.1 Detektor CdTe Model xR-100T

XR-100T-CdTe merupakan terobosan dalam x-ray teknologi detektor dengan menyediakan “off-the-shelf” kinerja sebelumnya hanya tersedia dari sistem cryogenically.

X-ray & sinar gamma berinteraksi dengan atom CdTe untuk membuat rata-rata dari satu elektron/lubang pasangan untuk setiap 4,43eV energi yang hilang dalam CdTe tersebut. Tergantung pada energi radiasi yang masuk, peristiwa kehilangan energi ini didominasi oleh salah satu efek dari fotoelektrik atau hamburan Compton. Probabilitas atau efisiensi dari detektor untuk menghentikan radiasi yang masuk dan membuat elektron / hole meningkat pasang dengan ketebalan CdTe. Detektor CdTe dengan metode xR-100T ini mampu mendeteksi energi dari keV beberapa ratusan ke beberapa keV. Selain itu juga detektor CdTe memiliki kemampuan untuk mendeteksi spektrum hanya dibawah 1 μ Sv.



Gambar 2.8 Spectrum ^{57}Co

Model XR-100T-CdTe adalah kinerja tinggi x-ray dan detektor sinar gamma, preamplifier, dan sistem pendingin menggunakan 3 x 3 x 1 mm (atau 5x5x1) Cadmium Telluride (CdTe) detektor dioda dipasang pada dua tahap thermoelectric cooler. Pada cooler adalah komponen masukan umpan balik FET ke preamplifier muatan sensitif. Komponen internal disimpan di sekitar 30 °C dan dapat dipantau oleh sensor suhu internal.



Gambar 2.9 Detektor CdTe Model xR-100T

2.7.2 Survey meter

Surveymeter harus dapat memberikan informasi laju dosis radiasi pada suatu area secara langsung. Jadi, seorang pekerja radiasi dapat memperkirakan jumlah radiasi yang akan diterimanya apabila akan bekerja di suatu lokasi selama waktu tertentu. Dengan informasi yang ditunjukkan surveymeter ini, setiap pekerja dapat menjaga diri agar tidak terkena paparan radiasi yang melebihi batas ambang yang diizinkan.

Sebagaimana fungsinya, suatu surveymeter harus bersifat portable meskipun tidak perlu sekecil sebuah dosimeter personal. Konstruksi surveymeter dapat dilihat pada gambar 2.10. Cara pengukuran yang diterapkan adalah cara arus (current mode) sehingga nilai yang ditampilkan merupakan nilai intensitas radiasi. Secara elektronik, nilai intensitas tersebut dikonversikan menjadi skala dosis, misalnya dengan satuan roentgen/jam.



Gambar 2.10 Surveymeter model Babyline 61A

Seperi pada gambar 2.10 merupakan salah satu jenis detektor dengan tipe babyline 61A yang merupakan gamma portabel dan x-ray laju dosis meteran / dosimeter. Detektor ini merupakan respon dari dosis linear tingkat meter/dosimeter, dimana dapat mengukur laju dosis dan dosis serap pada jaringan manusia (dibawah $0,007\text{g/cm}^2$ atau $0,3\text{ g/cm}^2$) untuk iradiasi oleh peristiwa atau dimana foton tersebar di 8 keV sampai 10 MeV. Indikator ukuran jarum besar memungkinkan pembacaan mudah laju dosis serap. Detektor babyline ini telah menjadi pengukur referensi tingkat dosis di laboratorium dan fasilitas nuklir di seluruh dunia.

Semua jenis detektor yang dapat memberikan hasil secara langsung, seperti detektor isian gas, sintilasi dan semikonduktor, dapat digunakan. Dari segi praktis dan ekonomis, detektor isian gas Geiger Muller yang paling banyak digunakan. Detektor sintilasi juga banyak digunakan, khususnya NaI(Tl) untuk radiasi gamma, karena mempunyai efisiensi yang tinggi.

Kemudian pada penelitian ini juga menggunakan surveymeter jenis atomtex 1103. Detektor ini sangat sensitif untuk mengukur paparan radiasi pada lensa kristal, selaput lendir dan kulit. Pada pengukuran laju dosis ini setara dengan radiasi sinar-X yang memiliki energi dari 5 KeV. Prinsip kerjanya yaitu dengan metode pengukuran laju dosis ekuivalen yang di arahkan berdasarkan penentuan spektrum instrumen dan non-kontinyu yang beratnya sama dengan normalisasi per unit laju dosis.

Surveymeter beta dan gamma yang mempunyai detektor yang terletak di luar badan surveymeter dan mempunyai “shielding” atau pelindung yang dapat dibuka atau ditutup. Bila digunakan untuk mengukur radiasi beta, maka shieldingnya harus dibuka. Sebaliknya untuk radiasi gamma, jendelanya ditutup (radiodiagnostik.wordpress.com).

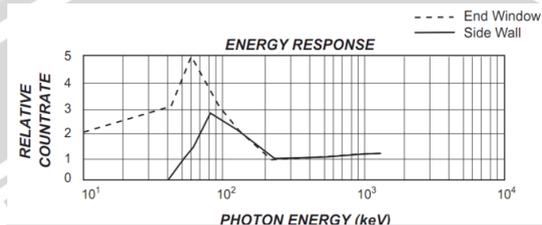
Dalam spektroskopi gamma, sering digunakan detektor NaI (TI). Detektor ini terbuat dari kristal tunggal NaI dengan pengotoran sedikit talium, sehingga detektor ini dikenal sebagai detektor NaI (TI).



Gambar 2.11 Survey meter atomtex 1103

Kemudian pengukuran paparan yang terakhir dengan menggunakan detektor Inspector. Cara kerja pada detektor tersebut diatas berbeda dengan detektor sebelumnya, karena untuk detektor inspector ini tidak menggunakan sistem terbuka tertutup. Sehingga pengukurannya hanya dilakukan

satu kali untuk setiap jarak. Satuan yang digunakan untuk detektor ini yaitu mR/h.



Gambar 2.13 Respon Energi Inspector

Detektor Inspector ini dapat mendeteksi alpha dari energi 2 MeV dan untuk mendeteksi beta dibawah energi 16MeV. Sedangkan untuk sinar gamma dapat mendeteksi energi dibawah 10 KeV (Anonymous.Radiation Alert).



Gambar 2.14 Survey meter Inspector

Detektor Inspector ini merupakan jenis detektor Geiger Muller (GM) dengan jendela tipis. Hal ini dimaksudkan dimana detektor GM ini merupakan salah satu detektor isian gas. Detektor isian gas bekerja berdasarkan ionisasi oleh radiasi yang masuk terhadap molekul gas yang berada dalam detektor.

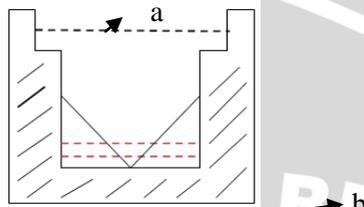
2.8 Karakteristik Tempat/Wadah Sumber Beta (β)

Pada penelitian ini alat atau tempat sebagai wadah sumber yang digunakan antara lain yaitu dudukan sumber yang terbuat dari alumunium. Dudukan sumber ini berfungsi sebagai tempat sumber standar beta (Sr-90 dan Kr-85). Berikut adalah tampilan gambar dudukan sumber yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 2.15 dudukan sumber

Kemudian tempat sebagai wadah sumber beta yang memiliki karakteristik masing-masing seperti yang tertampil pada gambar 2.14 skema wadah sumber beta. Dimana sumber beta yang digunakan pada penelitian ini untuk Sr-90 dalam bentuk serbuk dan Kr-85 dalam bentuk isian gas. Sehingga penutup sumber tersebut terbuat dari titanium dengan ketebalan $\pm 6\mu$. Pemilihan bahan titanium untuk penutup sumber ini disebabkan karena bahan titanium sendiri tidak mudah terjadi korosi dibandingkan dengan alumunium atau bahan yang lainnya. Kemudian yang ditampilkan pada skema (b) yaitu wadah dari sumber beta sendiri terbuat dari stensil steel.



Gambar 2.16 skema wadah sumber beta dimana (a) penutup sumber dan (b) wadah sumber.



Gambar 2.17 tempat sumber beta

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan.



BAB III

METODOLOGI

3.1 Tempat dan Waktu

3.1.1 Tempat

Penelitian ini dilakukan di Pusat Teknologi Keamanan dan Meteorologi Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional di bagian laboratorium beta dan gamma lingkungan, Jl. Lebak Bulus Raya 9 Pasar jum'at, Jakarta Selatan.

3.1.2 Waktu

Pelaksanaan penelitian tugas akhir ini berlangsung pada bulan Februari sampai dengan bulan April 2013.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Pada penelitian ini alat dan bahan yang digunakan sebagai penunjang penelitian dari Pengukuran Spektrum dan Paparan Bremsstrahlung dengan menggunakan sumber standar beta (Sr^{90} dan Kr^{85}) ini adalah sebagai berikut:

3.2.1 Alat

- a. Detektor CdTe model xR-100T

Alat yang digunakan dalam pengukuran spektrum bremsstrahlung ini adalah detektor CdTe model xR-100T. Detektor CdTe dengan metode xR-100T-CdTe ini mampu mendeteksi energi (keV).



Gambar 3.1 detektor CdTe Model xR-100T

Model xR-100T detektor CdTe ini adalah kinerja tinggi x-ray dan detektor sinar gamma, preamplifier, dan sistem pendingin menggunakan 3 x 3 x 1 mm (atau 5x5x1) Cadmium Telluride (CdTe)..

b. Survey meter

Pada penelitian ini survey meter yang digunakan adalah jenis survey meter babyline 61A. Sebagaimana fungsinya, suatu survey meter harus bersifat portable meskipun tidak perlu sekecil sebuah dosimeter personal. Pada survey meter ini berfungsi untuk mendeteksi sinar beta dan gamma yang di pancarkan dari sumber radiasi dengan memanfaatkan shielding tertutup dan terbuka. Konstruksi survey meter sebagai peralatan penunjang ini dapat dilihat pada gambar 3.2 dibawah ini. Cara pengukuran yang diterapkan adalah cara arus (current mode) sehingga nilai yang ditampilkan merupakan nilai intensitas radiasi. Secara elektronik, nilai intensitas tersebut dikonversikan menjadi skala dosis, misalnya dengan satuan roentgen/jam.



Gambar 3.2 Surveymeter (β dan γ) jenis babyline 61A

Kemudian untuk surveymeter dengan tipe ini mampu mendeteksi sinar-X yang terpapar dari sumber standar radasi beta. Cara kerjanya hampir sama dengan surveymeter babyline 61A, dengan memanfaatkan shielding tertutup dan terbuka.



Gambar 3.3 Surveymeter (sinar-X)

Untuk detektor Inspector ini tidak menggunakan sistem terbuka-tertutup, tetapi hanya mampu mendeteksi paparan radiasi sinar beta dan gamma dengan satuan mR/h.



Gambar 3.4 Inspector 30925 (β dan γ)

c. Dudukan Sumber

Dudukan sumber ini berfungsi sebagai tempat sumber standar beta yang digunakan (Sr^{90} dan Kr^{85}) dengan tempat sumber terbuka dan sumber tertutup.



Gambar 3.5 dudukan sumber



Gambar 3.6 tempat sumber standar beta (Sr^{90} dan Kr^{85})

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu Sr^{90} yang merupakan suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Sr dan nomor atom 38. Sr^{90} ini mempunyai lama waktu paruh sebesar 28,9 tahun. Stronsium-90 ini merupakan jenis pemancar β murni dengan energi rata-rata 1500 KeV.



Gambar 3.7 Strontium (Sr^{90})

Krypton (Kr^{85}) adalah elemen kimia nomor 36 pada tabel periodik unsur. Dalam kondisi normal, kripton tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau gas. Titik didih kripton adalah $-243,81^\circ \text{F}$ ($-153,23^\circ \text{C}$), dan titik beku hanya sedikit lebih rendah pada $-251,27^\circ \text{F}$ ($-157,37^\circ \text{C}$).

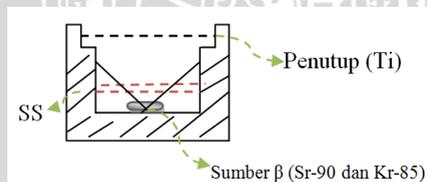


Gambar 3.8 sumber standar beta kripton (Kr^{85})

3.3 Tahapan Penelitian

Metode pertama yang akan dilakukan pada saat melakukan penelitian ini yaitu berdiskusi langsung kepada pembimbing lapangan dan staf yang mengerti mengenai penelitian ini. Kemudian study pustaka yang berkaitan dengan penelitian ini. Tujuan dari study pustaka ini yaitu, agar dapat mengetahui proses atau cara pengambilan data serta mengerti prinsip kerja pada penelitian ini. Kemudian mempersiapkan peralatan dan bahan yang diperlukan antara lain yaitu dudukan sumber, detektor Babyline 16A, detektor Atomtex AT 1103 M, detektor Inspector 3092, detektor CdTe model xR-100T dan sumber standar (Sr^{90} dan Kr^{85}).

Prinsip kerja pada penelitian ini adalah ketika sumber beta memancarkan radiasi dan menumbuk sebuah materi, dimana pada penelitian ini materi yang digunakan adalah stainless steel. Hal ini akan menimbulkan terjadinya peristiwa bremsstrahlung internal. Dan ketika wadah dari sumber beta tersebut diberi penutup dan materi yang digunakan untuk penutupnya adalah titanium, maka akan terjadi peristiwa bremsstrahlung eksternal



Gambar 3.9 skema terjadinya bremsstrahlung

Pada penelitian ini tipe stainless steel yang digunakan adalah tipe 1.4435 (AISI 316L) seperti yang ditampilkan pada tabel 3.1 dibawah ini. Hal ini dikarenakan untuk tipe tersebut biasa digunakan wadah sumber dan juga karena tipe

tersebut lebih tahan korosi sehingga banyak yang menggunakan tipe tersebut.

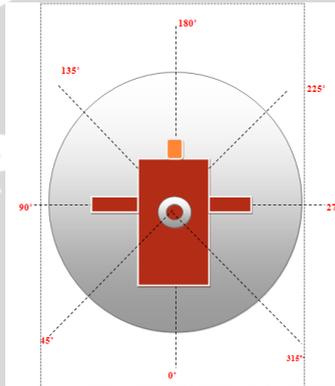
Tabel 3.1 beberapa jenis tipe stainless steel

Analisa (%)						
material	simbol	C	Cr	Ni	Mo	Ti
1.4301 (AISI 304)	X5CrNi 18-10	<0.07	18-20	8-10.5		-
1.4306 (AISI 304L)	X2CrNi19-11	<0.03	18-20	10-12		-
1.4401 (AISI 316)	X5CrNiMo17-12-2	<0.07	16.5-18.5	10-13	2-2.5	-
1.4404 (AISI 316L)	X2CrNiMo17-12-2	<0.03	16.5-18.5	10-13	2-2.5	-
1.4435 (AISI 316L)	X2CrBiMo18-14-3	<0.03	17-19	10.5-13.5	2-2.5	-
14541 (AISI 321)	X6CrNiTi18-10	<0.08	17-19	-		<0.7
1.4571 (AISI 316Ti)	X6CrNiMoTi17-12-2	<0.08	17-14	2-2.5	2-2.5	<0.7

3.3.1 Pengukuran paparan bremsstrahlung dengan sumber standar beta (Sr-90 dan Kr-85)

Langkah pertama yang dilakukan pada penelitian ini yaitu persiapan alat dan bahan serta dilakukan pengaturan sudut yang berfungsi sebagai letak detektor. Pengambilan data dilakukan dengan mengatur jarak dari titik pusat sumber

(6cm, 24cm, dan 42cm) dengan sudut yg ditentukan yaitu 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , 315° .



Gambar 3.9 pengaturan fungsi sudut



Gambar 3.10 Persiapan dengan pengukuran sudut dari titik pusat sumber

Kemudian pengukuran dilakukan pada pagi hari dengan waktu ± 2 jam dalam setiap pengukuran. Dalam pengambilan data ini juga diperhatikan untuk posisi detektor Atomtex agar tegak lurus, maka dari itu dalam pengukuran ini saya juga memanfaatkan waterpass yang berfungsi untuk memeriksa posisi dari detektornya.



Gambar 3.11 Pengaturan posisi detektor agar tegak lurus dengan menggunakan waterpass

Langkah selanjutnya setelah semua persiapan alat dan bahan selesai, dilakukan pengukuran untuk setiap detektor. Dalam penelitian ini menggunakan 3 jenis detektor, diantaranya detektor babyline 16A, Detektor Atomtex AT 1103 M, Detektor Inspector 30925. Pada pengukuran pertama dilakukan pengukuran dengan menggunakan detektor atomtex AT 1103 M.



Gambar 3.12 Pengukuran dengan menggunakan detektor atomtex AT 1103 M

Pada pengukuran dengan detektor atomtex ini, pengambilan data dilakukan dengan beberapa variasi diantaranya sumber tertutup dengan shielding terbuka dan tertutup dan sumber terbuka dengan shielding terbuka dan tertutup. Kemudian diperhatikan untuk pengaturan jarak dan sudutnya serta tidak lupa karena jenis detektor atomtex ini berupa lempengan, jadi yang harus diperhatikan adalah posisi dari detektor atomtex ini agar tegak lurus. Pada setiap

pengambilan data dilakukan 3 kali pengukuran sesuai dengan jarak yang sudah ditentukan.

Kemudian untuk pengukuran selanjutnya yaitu pengukuran dengan menggunakan detektor babyline. Langkah-langkah pada pengukuran ini sama dengan pengukuran dengan menggunakan detektor atomtex yaitu dengan beberapa variasi data diantaranya sumber terbuka shielding terbuka-tertutup dan sumber tertutup dengan shielding terbuka-tertutup. Tetapi pada detektor babyline ini diperhatikan dalam pengaturan skala yang akan digunakan. Pada penelitian ini skala yang digunakan diantara $10-10^3$ dengan satuan mRad/h.



Gambar 3.13 Pengukuran dengan menggunakan detektor Babyline 61A

Pada pengukuran dengan menggunakan babyline ini juga dilakukan pengambilan data dengan sudut 90° , 270° , 145° , 215° , dan 180° . Hal ini dilakukan karena yang mampu mendeteksi paparan radiasinya hanya detektor babyline saja. Sedangkan untuk detektor atomtex dan Inspector tidak bisa mendeteksi paparan dikarenakan paparan yang terlalu tinggi. Pada pengukuran dengan sumber beta Stornesium (Sr^{90}) ini dilakukan dengan menggunakan skala $10^2 - 10^3$. Sedangkan pada pengukuran sumber standar beta Krypton (Kr^{85}) ini menggunakan skala $10 - 10^3$ dengan satuan mRad/h.

Langkah yang terakhir yaitu pengukuran dengan menggunakan detektor inspector 3092, pada pengukuran dengan menggunakan detektor inspector ini berbeda dengan

pengukuran sebelumnya. Pada pengambilan data dengan detektor ini variasi data yang didapat yaitu sumber terbuka dan sumber tertutup saja sehingga didapatkan hasil data dengan satuan mR/jam.



Gambar 3.14. Pengukuran dengan menggunakan detektor Inspector 3092

3.3.2 Pengukuran spektrum Bremsstrahlung dengan sumber standar beta (Sr-90 dan Kr-85)

Langkah selanjutnya yaitu pengukuran spektrum bremsstrahlung dari sumber standart beta (Sr-90 dan Kr-85) ini dengan menggunakan detektor CdTe. Pada pengukuran ini langkah pertama yang dilakukan yaitu merangkai alat dan bahan yang sudah dipersiapkan sesuai dengan petunjuk pembimbing lapangan dan staf yang mengerti tentang penelitian ini.

Merangkai detektor CdTe, dimana posisi dari detektor ini harus sejajar dengan pusat dudukan sumber dengan jarak yang digunakan yaitu 42cm. Pengambilan jarak 42cm ini disesuaikan dengan kemampuan detektor, dimana detektor CdTe hanya mampu membaca spektrum dibawah $1 \mu\text{Sv}$ sehingga setelah dilakukan pengukuran didapatkan jarak di 42cm. Sehingga dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 3.15 Pengaturan detektor dengan waterpass dan tegak lurus dengan pusat sumber

Kemudian MCA PX4 disambungkan dengan detektor dan amplifier xR-100T dengan cara menghubungkan kedua alat ini dengan menggunakan kabel penghubung yang ditancapkan pada bagian MCA dan bagian belakang detektor. Kemudian MCA dihubungkan dengan sumber listrik dengan menggunakan adaptor dan komputer dihubungkan dengan MCA melalui kabel usb.

Setelah alat terpasang dan terangkai dengan benar kemudian MCA (Multi Chanel Analyzer) dinyalakan dengan cara menekan tombol on-off secara singkat sampai terdengar nada bip. Setelah MCA detektor dalam keadaan on, kemudian aplikasi software ADMCA dijalankan dan kemudian pilih conect dan promp yang tertampil ketika program dijalankan untuk pertama kali.



Gambar 3.16 rangkaian alat pendukung MCA

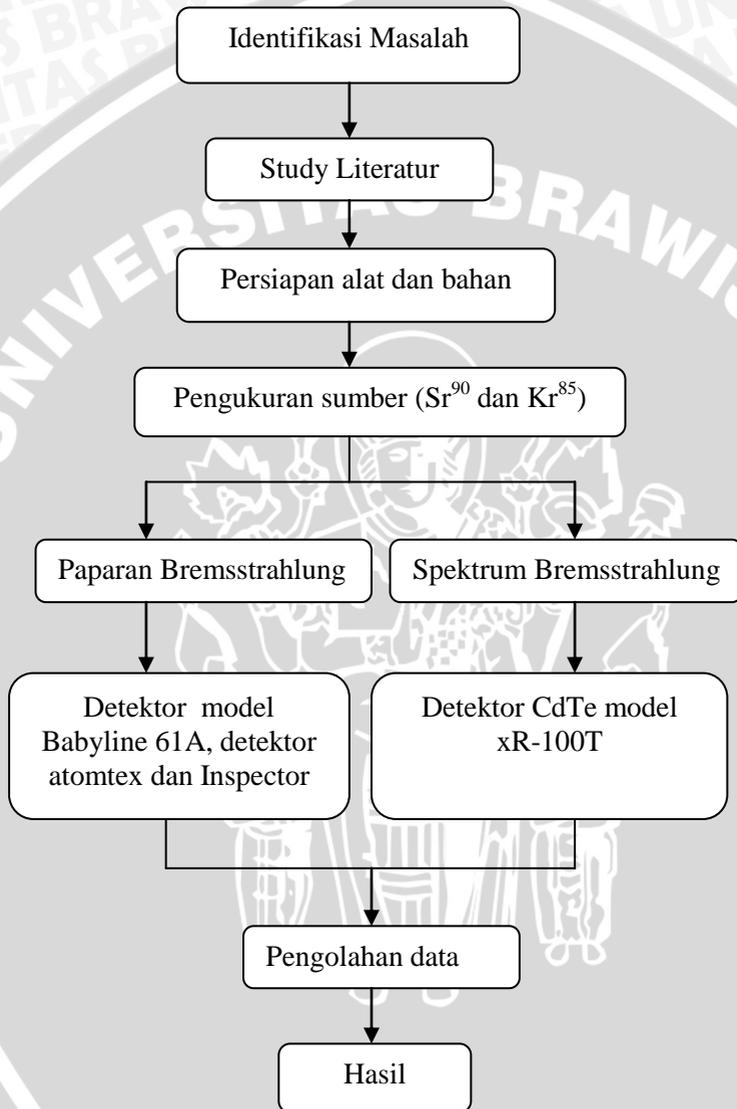
Kemudian dilakukan pengkalibrasian dengan langkah-langkah sebagai berikut. Puncak-puncak energi dari

sumber ditandai dan dicari titik centroidnya kemudian nilai centroidnya dimasukkan ke kolom channel dan kolom value diisi dengan besar energi yang kemudian dicocokkan dengan spectrum, sehingga dapat dilihat pada gambar 3.16 berikut ini:



Gambar 3.17 tampilan kolom nilai kanal dan energi untuk kalibrasi

Setelah dimasukkan nilai kanal dan energi maka dapat dibuat plot kalibrasi pada program ADMCA. Kemudian klik ok untuk memunculkan nilai energi pada sumbu x. Setelah dilakukan pencacahan untuk semua sumber kemudian data berupa kanal dan energi yang telah diketahui dicatat dan diproses melalui program microsoft excel untuk memperoleh nilai regresi dan persamaan linier antara kanal dan energi.



Gambar 3.18 Diagram Alir Penelitian

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan.



BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengukuran Spektrum Bremsstrahlung dengan Standar Beta (Sr^{90} dan Kr^{85})

Pengukuran yang dilakukan selanjutnya yaitu mengukur spektrum sumber standar beta dengan menggunakan detektor CdTe xR-100T. Spektrometer ini berfungsi untuk mendeteksi spektrum energi sinar-X dan sinar gamma yang dipancarkan oleh materi yang memancarkan radiasi. Penggunaan dari spektrometer ini dimaksudkan untuk mengetahui besar energi yang dipancarkan suatu material yang memancarkan radiasi yang mana energi ini sendiri dapat digunakan untuk mengetahui dosis radiasi dari material tersebut. Penggunaan dari spektrometer ini lebih dikhususkan untuk pengukuran spektrum energi. Pengukuran dengan spektrometer CdTe xR-100T ini menggunakan jarak 42cm. Hal ini dapat diketahui bahwa, dari kemampuan spektrometer CdTe sendiri mampu mendeteksi spektrum dibawah 1 μ Sv dari sumber radiasi. Sehingga didapatkan jarak 42cm untuk 1 μ Sv dalam pengukuran ini.

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran dengan berbagai variasi data diantaranya yaitu pengukuran untuk background, krypton-85 dan stronsium-90 dengan tiga kali pengulangan untuk setiap jenis sumber standar beta. Sehingga didapatkan hasil spektrum seperti gambar grafik spectrum 4.2 dan gambar grafik spectrum 4.3 dimana spectrum didapatkan dalam keadaan sumber terbuka dan tertutup. Dalam keadaan sumber terbuka, dimana spectrum yang berwarna hijau merupakan background dari pengukuran tersebut. Hal ini dilakukan agar dapat mengetahui nilai bersih dari suatu pengukuran. Kemudian

untuk spectrum yang berwarna merah muda merupakan hasil spectrum dari sumber standar Kr-85 dan spectrum yang berwarna biru merupakan hasil spectrum dari sumber standar Sr-90. Tujuan pengukuran dengan dua variasi keadaan ini yaitu dengan sumber tertutup dan sumber terbuka adalah untuk mengetahui perbedaan hasil spectrum dari dua keadaan tersebut.

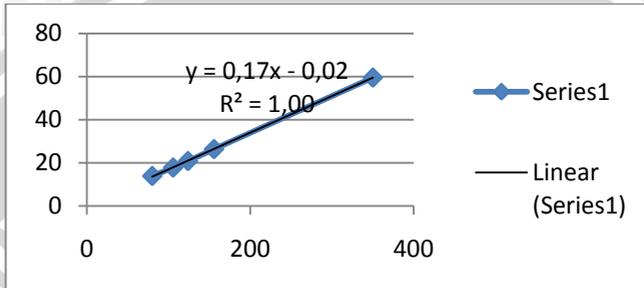
Kemudian dari hasil grafik spectrum dapat dibuktikan dengan perhitungan rata-rata bobot yang dapat dilakukan dengan microsoft excel. Dapat dihasilkan dari setiap cacahan yang dimasukkan kedalam microsoft excel, kemudian dari setiap cacahan tersebut didapatkan jumlah cacahan keseluruhan yang nantinya hasil tersebut dikalikan dengan nilai y dari faktor kalibrasi. Dimana faktor kalibrasi standar ditampilkan pada tabel 4.1.1 berikut ini :

Tabel 4.1.1 Faktor Klaibrasi standar

Kalibrasi	Channel
80,01	13,9
105,58	17,8
123,71	20,8
155,58	26,345
350,09	59,537

Kemudian faktor kalibrasi tersebut dimasukkan kedalam software MCA dan kemudian diplotkan kedalam grafik. Sehingga didapatkan hasil nilai y seperti yang ditampilkan pada gambar grafik 4.3 dibawah ini. Setelah didapatkan nilai y tersebut, hasil akan dikalikan dengan cacahan yang didapatkan, sehingga dari hasil tersebut di rata-ratakan. Sehingga dari hasil rata-rata nila y dibagi

dengan hasil rata-rata cacahan. Sehingga didapatkan nilai rata-rata bobot (keV) dari setiap pengukuran spectrum.



Gambar 4.1 Grafik faktor kalibrasi

Setelah dilakukan perhitungan rata-rata bobot untuk setiap pengukuran didapatkan hasil data untuk krypton-85 dengan sumber terbuka untuk data pertama didapatkan hasil puncak spektrum yaitu 86,14225keV. sehingga puncak dari bremsstrahlung terdapat di puncak tersebut. Kemudian yang kedua untuk puncak spektrum bremsstrahlung yang kedua yaitu 85,23674keV sehingga nilai spectrum bremsstrahlung terdapat dipuncak tersebut. Dan yang ketiga yaitu rata-rata bobot untukkr-85 sumber terbuka yaitu 86,78983keV.

Kemudian didapatkan hasil pengukuran sumber standar beta Kr-85 dengan sumber tertutup yaitu untuk data pertama yaitu didapatkan hasil energi sebesar 84,87742keV. Untuk data kedua didapatkan hasil energi sebesar 86,07817keV dan untuk data yang ketiga didapatkan hasil energi sebesar 86,41396keV. sehingga didapatkan faktor bobot 85,790. Dimana hasil energi dari spectrum bremsstrahlung tersebut dalam hasil perhitungan terdapat beda puncak dari ketiga variasi data dari dua variasi keadaan yaitu sumber terbuka dan sumber tertutup. Sehingga hasil data yang telah dijelaskan diatas dapat

dilihat pada tabel-tabel dibawah ini. Untuk Krypton-85 terbuka-tertutup dan untuk stronsium-90.

Tabel 4.1.2 Hasil pengukuran spektrum Kr-85 dengan shuttel tertutup dan terbuka

Kr-85 Tertutup		
Data	Energi (KeV)	Sta.Deviasi
1	84,88	1,06%
2	86,08	0,34%
3	86,41	0,73%
Rata" Bobot	85,790	

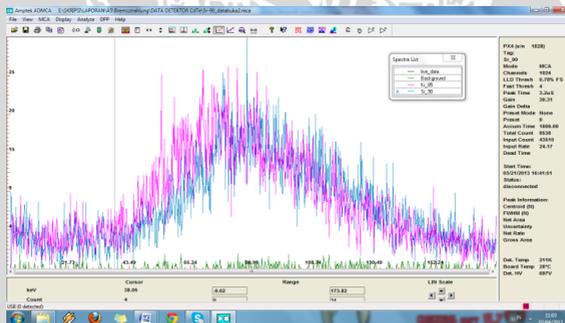
Kr-85 Terbuka		
Data	Energi (KeV)	Sta.Deviasi
1	86,14	0,105%
2	85,23	0,95%
3	86,78	0,85%
Rata" Bobot	86,050	

Tabel 4.1.3 Hasil pengukuran spektrum Sr-90 dengan shuttel tertutup dan terbuka

Sr-90 Tertutup		
Data	Energi (KeV)	Sta.Deviasi
1	88,81	0,21%
2	89,37	0,42%
3	88,81	0,21%
Rata" Bobot	88,997	

Sr-90 Terbuka		
Data	Energi (KeV)	Sta.Deviasi
1	90,85	0,27%
2	90,81	0,27%
3	90,16	0,27%
Rata" Bobot	90,607	

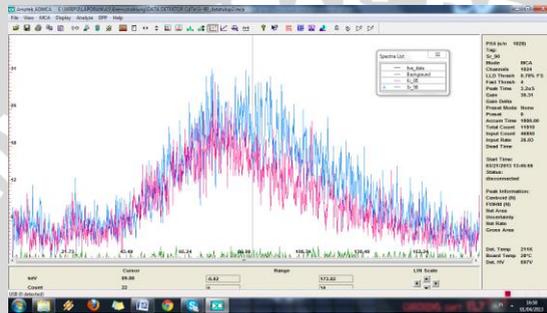
Sehingga dapat dilihat pada gambar 4.1. dimana hasil dari spectrum dengan sumber terbuka untuk krypton-85 dan stronsium-90 hampir mendekati sama dari setiap cacahan spektrumnya. Hal ini dapat dibuktikan dari perhitungan yang ditampilkan pada tabel-tabel sebelumnya, dan juga dikarenakan detektor tidak hanya mendeteksi bremsstrahlung saja, melainkan adanya hamburan dari radiasi yang lain seperti radiasi beta dan gamma.



Gambar 4.2 spektrum Sr-90 dan Kr-85 dengan sumber terbuka

Kemudian untuk hasil dari spektrum dengan sumber tertutup didapatkan hasil seperti pada gambar 4.2 dibawah ini. Dapat dilihat bahwa spectrum dari sumber standar krypton-85 lebih rendah dibandingkan dengan sumber standar stronsium-90. Hal ini dikarenakan

krypton-85 memiliki energi beta yang lebih rendah dibandingkan dengan stronsium-90. Dimana krypton-85 memiliki energi beta 763,47keV dan stronsium memiliki energi beta 546-2274keV. sehingga dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut ini:



Gambar 4.3 spektrum Sr-90 dan Kr-85 dengan sumber tertutup

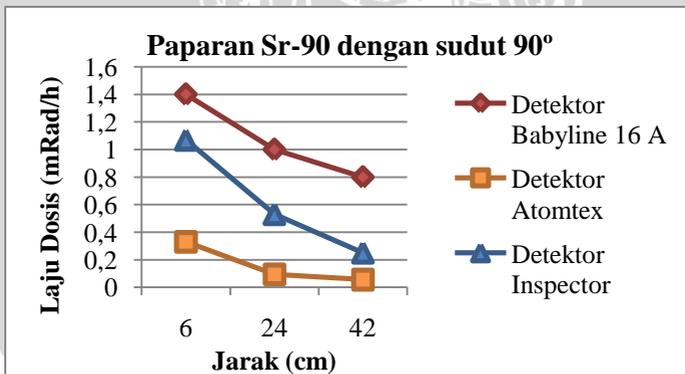
4.2 Pengukuran Paparan Bremsstrahlung Sumber Standar Beta (Sr^{90} dan Kr^{85}) dengan Menggunakan Surveymeter

Dalam penelitian ini, hal pertama yang dilakukan untuk menentukan paparan sumber standar beta (Sr^{90} dan Kr^{85}) dengan menggunakan berbagai jenis detektor ini yaitu, didapatkan berbagai macam variasi data. Diantaranya dengan memperhatikan sudut datang, jarak, sumber terbuka-tertutup serta hasil cacahan dari berbagai jenis detektor dengan memperhatikan shielding terbuka-tertutup.

Setiap detektor yang digunakan menghasilkan 12 hasil pengukuran yang berupa cacahan, dengan setiap jarak 6cm, 24cm, dan 42cm dan 3 variasi sudut yaitu 90° - 45° - 135° . Serta dengan keadaan sumber terbuka dan sumber tertutup. Pengukuran ini dimulai dari sumber

tertutup dengan menentukan jarak, dalam bacaan paparan dengan menggunakan satuan mRad/h dan kemudian dilanjut dengan sumber terbuka.

Pada penelitian ini pengukuran dengan menggunakan sumber standart beta Sr-90 dimana pada jarak 6cm, 24cm dan 42cm dalam kondisi sumber tertutup dengan menggunakan sudut 90°. Sehingga dapat dilihat pada grafik 4.4 dibawah ini. Pada grafik tersebut menunjukkan bahwa untuk detektor babyline 61A terjadi kebocoran beta. Hal ini terjadi karena masih adanya hamburan balik dari radiasi beta. Sehingga semakin dekat jarak dari titik sumber ke titik detektor maka paparan yang diterima semakin tinggi, begitu juga sebaliknya semakin jauh jarak dari titik sumber ke titik detektor maka paparan yang diterima akan semakin rendah. Begitu juga untuk detektor Atomtex dan detektor Inspector dimana hasil yang didapatkan yaitu ana semakin jauh jarak detektor dari titik sumber maka semakin rendah paparan yang didapatkan. Sedangkan untuk detektor atomtex untuk jarak 24cm mendekati dengan hasil dari jarak ke 42cm.



Gambar 4.4 grafik Sr-90 dengan sudut 90°

Dari ketiga detektor tersebut diatas dapat dilihat dari nilai hasil yang paling tinggi yaitu detektor babyline 61A. Hal ini dikarenakan untuk detektor babyline 61A tersebut memiliki kemampuan untuk mendeteksi beta, gamma dan xray. Sehingga dapat dilihat dari hasil grafik diatas menunjukkan terdapat hamburan balik dari beta dan gamma. Sehingga nilai paparan yang didapat lebih tinggi dibandingkan dengan detektor atomtex dan detektor inspector, dengan mengatur skala dari tingkat pendeteksiannya, pada detektor babyline ini memiliki skala diantara $1-10^5$, sehingga dapat disesuaikan dengan besarnya pancaran yang dikeluarkan oleh sumber radiasi tersebut. Pada pengukuran sumber standar beta Sr-90 ini skala yang digunakan yaitu $10-10^2$ dengan satuan mRad/h.

Pada pengukuran ini diperhatikan satuan dari hasil yang didapatkan dari setiap detektor. Dimana untuk detektor Atomtex satuan yang digunakan pada alat ini adalah μSv .

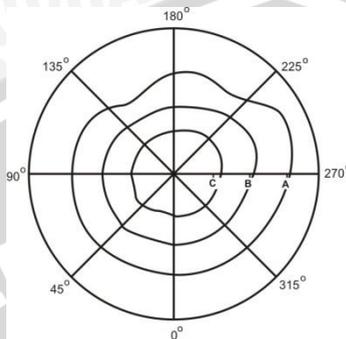
Setelah didapatkan hasil dengan satuan yang sama, dilakukan perhitungan untuk rata-rata dari setiap sudut dan faktor koreksinya. Dimana dalam perhitungan rata-rata didapatkan hasil untuk sumber tertutup dengan sudut 90° yaitu $5,558\text{mRad/h}$ dan sumber terbuka dengan sudut 90° yaitu $5,126\text{mRad/h}$. Kemudian untuk sudut 45° dengan sumber tertutup didapatkan hasil $4,228\text{mRad/h}$ dan untuk sumber terbuka didapatkan hasil $7,952\text{mRad/h}$, sedangkan untuk sudut 135° dengan sumber tertutup.

didapatkan hasil rata-rata $4,078\text{mRad/h}$ dan untuk sumber terbuka didapatkan hasil $5,998\text{mRad/h}$. Kemudian dilakukan perhitungan faktor koreksi dari hasil rata-rata bacaan dibagi dengan nilai standar kalibrasi. Dimana nilai standart kalibrasi untuk Sr-90 adalah $4,29\text{ mGy/menit}$

yang kemudian dijadikan mRad/h sehingga didapatkan hasil 25740mRad/h

Kemudian pengukuran dilanjutkan dengan berbagai variasi sudut diantaranya pada sudut 0° , 45° , 135° , 180° , 315° , 225° , dan 270° . Sehingga dengan menggunakan sudut-sudut tersebut didapatkan hasil pengukuran pada jarak 42cm dengan menggunakan detektor babyline 61A. Hal ini dikarenakan paparan yang dipancarkan terdapat hamburan beta dan gamma, sehingga paparan yang dipancarkan terlalu tinggi dan tidak dapat dibaca oleh detektor atomtex ataupun detektor Inspector. Karena paparan yang dipancarkan tidak hanya bremsstrahlung murni, sehingga pada jarak 6cm dan 24cm tidak dapat diukur karena bacaan pada ketiga detektor surveymeter tersebut mengalami over dan tidak dapat dibaca oleh detektor-detektor tersebut. Sehingga didapatkan hasil data dapat dilihat pada gambar grafik 4.3 dibawah ini.

Kemudian dilakukan perhitungan untuk nilai rata-rata dan faktor koreksi dari setiap pengukuran sudut tersebut, sehingga didapatkan untuk pengukuran sudut 0° nilai rata-ratanya adalah 1,674mRad/h dengan hasil faktor koreksi 0,000065mRad/h. Selanjutnya untuk sudut 180° didapatkan hasil rata-rata 1,868mRad/h dengan faktor koreksi 0,000073mRad/h, untuk sudut 315° didapatkan hasil rata-rata 1,472mRad/h dengan faktor koreksi 0,000057mRad/h. Pada sudut 225° didapatkan hasil rata-rata 1,698mRad/h dengan faktor koreksi 0,000066 dan untuk sudut 270° didapatkan hasil rata-rata 1,272mRad/h dengan faktor koreksi 0,000049mRad/h.



Gambar 4.5 Sr-90 dengan berbagai variasi sudut

Keterangan gambar : A : Detektor Babyline 61A

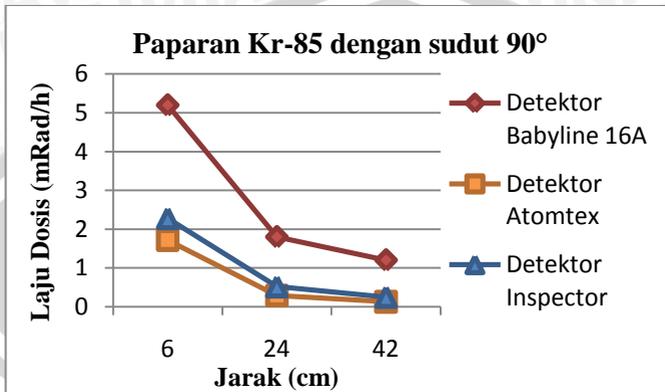
B : Detektor Atomtex

C : Detektor Inspector

Jarak = 42 cm

Dalam pengukuran berikutnya dilakukan untuk sumber standar beta yaitu Kr-85. Pada pengukuran yang dilakukan pada Kr-85 ini sama dengan pengukuran yang dilakukan pada Sr-90. Sehingga didapatkan hasil grafik seperti gambar grafik 4.4.

Dapat dilihat dari hasil grafik 4.5 dimana, untuk jarak 6cm pada sudut 90° dengan keadaan sumber tertutup didapatkan hasil rata-rata sebesar 27,06mRad/h dengan faktor koreksi 0,00285mRad/h. Kemudian untuk sudut 45° didapatkan hasil rata-rata 25,938 dengan nilai faktor koreksi 0,00274mRad/h.

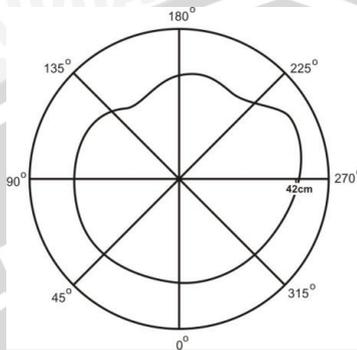


Gambar 4.6 Kr-85 dengan sudut 90°

Pada perhitungan Kr-85 ini sama dengan perhitungan yang dilakukan pada Sr-90, hanya saja untuk nilai standar kalibrasi untuk Kr-85 yaitu 1,58mGy/menit, yang kemudian diubah menjadi mRad/h menjadi 9480mRad/h. Sehingga pada perhitungan faktor koreksi dilakukan perhitungan dengan rumus sebagai berikut :

$$FK = \frac{\Sigma \text{Bacaan}}{9480} \quad (4.4)$$

Dan untuk hasil dari berbagai variasi sudut dengan jarak 42cm didapatkan hasil data yaitu pada sudut 0° didapatkan hasil 0,00011 dengan faktor koreksi $5,01 \times 10^8$ mRad/h kemudian untuk sudut 180° didapatkan hasil 0,00084 dengan faktor koreksi $5,75 \times 10^8$. Untuk sudut 315° didapatkan hasil yaitu 0,00011 dengan faktor koreksi $3,91 \times 10^7$. Untuk sudut 225° didapatkan hasil 0,000084 dengan faktor koreksi $2,66 \times 10^8$ dan yang terakhir untuk sudut 270° didapatkan hasil 0,00013 dengan faktor koreksi $2,23 \times 10^6$. Sehingga didapatkan hasil data seperti yang ditampilkan pada gambar grafik 4.3 berikut ini:



Gambar 4.7 grafik Kr-85 dengan berbagai variasi sudut

Pada pengukuran dengan berbagai variasi sudut seperti pada grafik 4.6 di atas dengan sumber standar Kr-85 hanya dapat mengukur dengan detektor babyline saja. Hal ini dilakukan dikarenakan pada pengukuran dengan detektor atomtex atau dengan menggunakan detektor Inspector tidak dapat dilakukan, dikarenakan nilai paparan yang dipancarkan terlalu tinggi sehingga tidak mampu untuk mendeteksi paparan yang dipancarkan, hal ini dikarenakan adanya beberapa faktor diantaranya adanya paparan yang dipancarkan lebih banyak hamburan balik dari beta gamma dibandingkan dengan pancaran bremsstrahlung sendiri dan juga untuk dudukan sumber mengalami kebocoran sehingga data yang didapat hanya dihasilkan dengan detektor babyline saja.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengukuran spektrum dan paparan bremsstrahlung dengan sumber standar beta (Sr-90 dan Kr-85) dapat disimpulkan bahwa untuk hasil spektrum dan paparan didapatkan untuk Kr-85 lebih rendah dibandingkan dengan Sr-90. Hal ini disebabkan karena energi β_{max} dari Kr-85 lebih rendah yaitu 687 keV dibandingkan dengan Sr-90 yang memiliki energi β_{max} 2.274keV. Kemudian untuk pengukuran spektrum atau paparan bremsstrahlung, untuk keadaan sumber terbuka hasil yang didapat selalu lebih besar dibandingkan dengan keadaan sumber tertutup. Hal ini dikarenakan adanya hamburan balik dari sinar beta dan sinar gamma. Selain itu faktor lain yang mempengaruhi yaitu karena kemampuan yang berbeda-beda dari berbagai variasi detektor.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya disarankan agar surveymeter beta yang digunakan dalam bidang industri dapat dikalibrasi dengan standar ISO 6980-2 Nuclear energy – Reference beta – particelel – radiation – Part 2 : *“calibration fundamentals related to basic quantities characteizing the radiation field”* dan ISO 4037-4 Xand gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and determining their response as a function of photonenergy – Part 4 : *“Calibration of area and personal dosemters in low energy X reference radiation fields”*.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan.



DAFTAR PUSTAKA

Atkins, P.W. Kerajaan Periodik: Perjalanan Ke Tanah Elemen Kimia. Basic Books, 1995.

Curtis, M.L., 1972.IJART 23, 17.

Tseng, H.K., Pratt, R.H., 1971.Exact screened calculations of atomic field bremsstrahlung, Phys. Rev. A. At. Mol. Opt. Phys.3.100-115.

Sommerfeld , A., 1931. Diffraction and scattering of electrons, Ann, Physic.11, 257-330

Wurdianto, G. 2005. Pengaruh Komposisi Volume Larutan Sintilator Pada Pengukuran Aktivitas Sr⁹⁰. Buletin Altara 6 (2): 117-123.

Herman, Chamber., 1996. "Introduction to Health Physics" 3rd Ed., McGraw-Hill Book Company, Inc.

Martin, Dylan. 2005. X-Ray Detection . University of Arizona Optical Sciences Center. Diakses pada 2008-12-05.

Sr. Little Flower, Mukerjee, R.N., Babu, B.R.S., Indira, A., Venkatamaiah, P., Gopala, K., Neelakandan, K., Baliga, B.B., 1992. Internal Bremsstrahlung form Ca⁴⁵, and Yr⁹¹. Indian J. Phys. 66A, 343-353

H.C. Manjunatha, B. Rudraswamy^b. 2012. External bremsstrahlung of ⁹⁰Sr-⁹⁰Y, ¹⁴⁷Pm and ²⁰⁴Tl in detector compounds. Elseiver Ltd. All rights reserved.

Inspector Handheld Radiation Alert Detektor. S.E International. Inc

Directorate-General for energy and transport Directorate H – Nuclear Energy Unit H.4 – Radiation Protection. 2009. Technical Recommendations for monitoring Individuals Occupationally Exposed to External Radiation. Radiation Protection No. 160.

<http://id.Chem-is-try.org,2008>

http://id.chem-is-try.org/tabel_periodik/krypton/

http://id.wikipedia.org/wiki/Partikel_Beta

<http://renideswantikimia.wordpress.com/kimia-kelas-xii-3/semester-i/3-kimia-unsur/5-unsur-radioaktif/>

<http://www.geschool.net/395673/blog/post/manfaat-dan-bahaya-zat-radioaktif>

<http://www.docstoc.com/docs/79036243/Partikel-Beta>

http://id.wikipedia.org/wiki/Peluruhan_beta

<http://kliktedy.wordpress.com/2010/03/22/radioaktivitas/>

<http://lukmanfauzi7.blogspot.com/2012/05/fisika-teknik-2.html>

<http://id.scribd.com/doc/30267797/RADIASI-1>

<http://usahamart.wordpress.com/2012/03/02/membuat-krypton/>

<http://id.wikipedia.org/wiki/Radiasi>

<http://radiodiagnostik.wordpress.com>

LAMPIRAN

Lampiran 1 : Tabel hasil pengukuran paparan bremsstrahlung dengan sumber standar beta (Sr-90 dan Kr-85)

- **Sumber** : Krypton (Kr⁸⁵)
- Casing** : Aluminium
- Bremsstrahlung** : 763,47 KeV

Sehingga didapatkan hasil dengan satuan (mRAD/h) :

jenis detektor	jarak	Sumber Tertutup		Sumber Terbuka	
		Hasil			
		sudut 90°		sudut 90°	
		terbuka	tertutup	terbuka	tertutup
Atomtex	6	3,3	1,72	3	0,166
Babyline 61A	6	76	52	260	52
Inspector	6	2,28		2,32	
FK		0,00285443		0,006698017	

Jenis detektor	jarak	sumber tertutup		sumber terbuka	
		Hasil			
		sudut 45°		sudut 45°	
		terbuka	tertutup	terbuka	tertutup
atomtex	6	3,7	2,06	3,7	2,54
Babyline 61A	6	73	48	7400	420
Inspektor	6	2,93		39	
FK		0,002736076		0,165933333	

Jenis detektor	Jarak	sumber tertutup		sumber terbuka	
		Hasil			
		sudut 135°		sudut 135°	
		terbuka	tertutup	terbuka	tertutup
atomtex	6	3,3	1,98	3,6	266
Babyline 61A	6	140	46	700	43
Inspector	6	9,66		30	
FK		0,004239241		0,016440084	

jenis detektor	jarak	Sumber Tertutup		Sumber Terbuka	
		Hasil			
		sudut 90°		sudut 90°	
		terbuka	tertutup	terbuka	tertutup
Atomtex	24	0,32	0,29	0,34	0,28
Babyline 61A	24	22	18	60	18
Inspector	24	0,52		0,65	
FK		0,0009		0,0017	

jenis detektor	jarak	Sumber Tertutup		Sumber Terbuka	
		Hasil			
		sudut 45°		sudut 45°	
		terbuka	Tertutup	terbuka	tertutup
Atomtex	24	0,36	0,31	0,36	0,3
Babyline 61A	24	28	17	220	19
Inspector	24	0,91		12,3	
FK		0,0009827		0,008923207	

jenis detektor	jarak	Sumber Tertutup		Sumber Terbuka	
		Hasil			
		sudut 135°		sudut 135°	
		terbuka	tertutup	terbuka	tertutup
Atomtex	24	0,36	0,31	0,38	0,33
Babyline 61A	24	40	16	220	16
Inspector	24	5,32		11,4	
FK		0,001307806		0,005234388	

jenis detektor	jarak	Sumber Tertutup		Sumber Terbuka	
		Hasil			
		sudut 90°		sudut 90°	
		terbuka	tertutup	terbuka	tertutup
Atomtex	42	0,13	0,128	0,144	0,132
Babyline 61A	42	14	12	20	12
Inspector	42	0,252		0,36	
FK		0,000559283		0,000688523	

jenis detektor	jarak	Sumber Tertutup		Sumber Terbuka	
		Hasil			
		sudut 45°		sudut 45°	
		terbuka	tertutup	terbuka	tertutup
Atomtex	42	0,147	0,144	0,148	0,135
Babyline 61A	42	16	13	80	140
Inspector	42	0,457		3,26	
FK		0,000627595		0,004716097	

jenis detektor	jarak	Sumber Tertutup		Sumber Terbuka	
		Hasil			
		sudut 135°		sudut 135°	
		terbuka	tertutup	terbuka	tertutup
Atomtex	42	0,155	0,136	0,152	0,142
Babyline 61A	42	20	12	70	12
Inspector	42	1,42		3,14	
FK		0,000711203		0,001802405	

sudut	Jarak 42 cm		rata-rata	FK
	detektor babyline			
	open	close		
0°	0,00084	0,00011	0,000475	5,01E-08
180°	0,00025	0,00084	0,000545	5,75E-08
315°	0,0073	0,00011	0,003705	3,91E-07
225°	0,00042	0,000084	0,000252	2,66E-08
270°	0,0421	0,00013	0,021115	2,23E-06

- **Sumber** : Stronsium (Sr^{90})
- Casing** : Aluminium
- Bremsstrahlung** : 546 - 2274 KeV

Sehingga didapatkan hasil dengan satuan (mRAD/h) :

jenis detektor	jarak	Sumber Tertutup		Sumber Terbuka	
		Hasil			
		sudut 90°		sudut 90°	
		terbuka	tertutup	terbuka	tertutup
Atomtex	6	0,39	0,33	0,43	0,33
Babyline 61A	6	12	14	14	10
Inspector	6	1,07		0,87	
FK		0,0002		0,0002	

jenis detektor	jarak	Sumber Tertutup		Sumber Terbuka	
		Hasil			
		sudut 45°		sudut 45°	
		terbuka	tertutup	terbuka	tertutup
Atomtex	6	0,34	0,27	0,32	0,34
Babyline 61A	6	10	10	30	8
Inspector	6	0,53		1,1	
FK		0,0002		0,0003	

jenis detektor	jarak	Sumber Tertutup		Sumber Terbuka	
		Hasil			
		sudut 135°		sudut 135°	
		terbuka	tertutup	terbuka	tertutup
Atomtex	6	0,36	0,32	0,42	0,34
Babyline 61A	6	11	8	18	10
Inspector	6	0,71		1,23	
FK		0,0002		0,0002	

jenis detektor	jarak	Sumber Tertutup		Sumber Terbuka	
		Hasil			
		sudut 90°		sudut 90°	
		terbuka	tertutup	terbuka	tertutup
Atomtex	24	0,103	0,094	0,41	0,085
Babyline 61A	24	8	10	12	7
Inspector	24	0,53		0,56	
FK		0,0001		0,0002	

jenis detektor	jarak	Sumber Tertutup		Sumber Terbuka	
		Hasil			
		sudut 45°		sudut 45°	
		terbuka	tertutup	terbuka	tertutup
Atomtex	24	0,105	0,101	0,097	0,77
Babyline 61A	24	9	8	19	8
Inspector	24	0,34		1,4	
FK		0,0001		0,0002	

jenis detektor	jarak	Sumber Tertutup		Sumber Terbuka	
		Hasil			
		sudut 135°		sudut 135°	
		terbuka	tertutup	terbuka	tertutup
Atomtex	24	0,172	0,099	0,09	0,09
Babyline 61A	24	8	8	14	7
Inspector	24	0,5		0,77	
FK		0,0001		0,0002	

jenis detektor	jarak	Sumber Tertutup		Sumber Terbuka	
		Hasil			
		sudut 90°		sudut 90°	
		terbuka	tertutup	terbuka	tertutup
Atomtex	42	0,059	0,056	0,03	0,053
Babyline 61A	42	6	8	8	5
Inspector	42	0,25		0,37	
FK		0,0001		0,0001	

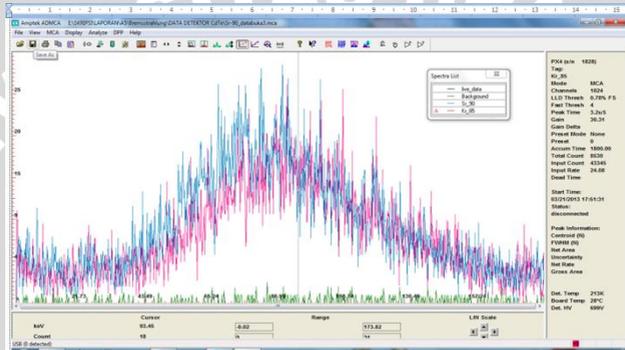
jenis detektor	jarak	Sumber Tertutup		Sumber Terbuka	
		Hasil			
		sudut 45°		sudut 45°	
		terbuka	tertutup	terbuka	tertutup
Atomtex	42	0,084	0,089	0,067	0,073
Babyline 61A	42	6	6	13	5
Inspector	42	0,25		0,74	
FK		0,0001		0,00014	

jenis detektor	jarak	Sumber Tertutup		Sumber Terbuka	
		Hasil			
		sudut 135°		sudut 135°	
		terbuka	tertutup	terbuka	tertutup
Atomtex	42	0,052	0,066	0,07	0,07
Babyline 61A	42	8	8	12	5
Inspector	42	0,23		0,5	
FK		0,0001		0,0001	

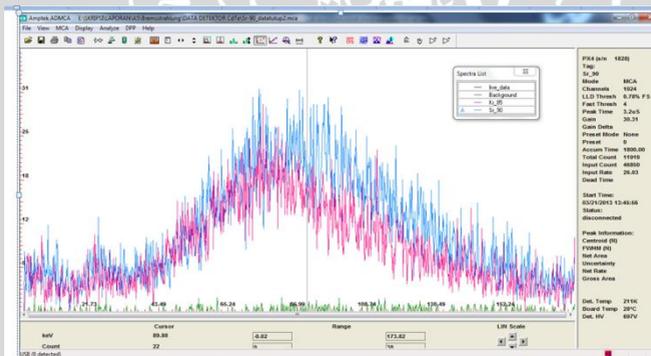
sudut	Jarak 42 cm					rata-rata	FK = B/s
	detektor babyline		Atomtex		Inspector		
	open	close	open	close			
0°	2	6	0,07	0,06	0,24	1,674	6,5E-05
180°	3	6	0,06	0,07	0,21	1,868	7,26E-05
315°	5	2	0,07	0,08	0,21	1,472	5,72E-05
225°	6	4	0,09	0,09	0,31	2,098	8,15E-05
270°	4	2	0,07	0,06	0,23	1,272	4,94E-05

Lampiran 2 : Hasil pengukuran spektrum bremsstrahlung dengan sumber standar beta (Sr-90 dan Kr-85)

a. Spektrum bremsstrahlung terbuka



b. Spektrum bremsstrahlung tertutup



Keterangan : — Sr-90 — Background
— Kr-85

Lampiran 3 : Contoh Perhitungan data

L.3.1 Perhitungan paparan bremsstrahlung dengan sumber standar beta (Sr-90 dan Kr-85)

Pada penelitian ini dilakukan perhitungan untuk mengubah satuan untuk detektor atomtex dari μSv menjadi mRad/h dengan rumus berikut ini:

$$x = \frac{\text{Bacaan} \times 100}{1000} \quad (4.1)$$

Dimana nilai 100 merupakan hasil dari μSv ke μRad , kemudian dari μRad dibagi 1000 menjadi mRad/h .

Sedangkan untuk detektor Inspector didapatkan hasil dari pengukuran dengan satuan mR/h . Sehingga dilakukan perhitungan untuk mengubah satuan dari mR/h menjadi mRad/h dengan menggunakan rumus berikut ini:

$$x = \text{Bacaan} \times 0,00869 \quad (4.2)$$

Dimana : $1\text{R} = 0,00869\text{Gy}$

Kemudian dilakukan perhitungan faktor koreksi dari hasil rata-rata bacaan dibagi dengan nilai standar kalibrasi. Dimana nilai standart kalibrasi untuk Sr-90 adalah $4,29 \text{ mGy/menit}$ yang kemudian dijadikan mRad/h sehingga didapatkan hasil 25740mRad/h . Pada perhitungan Kr-85 ini sama dengan perhitungan yang dilakukan pada Sr-90, hanya saja untuk nilai standar kalibrasi untuk Kr-85 yaitu $1,58\text{mGy/menit}$, yang kemudian diubah menjadi mRad/h menjadi 9480mRad/h . seperti ditampilkan pada rumus berikut ini:

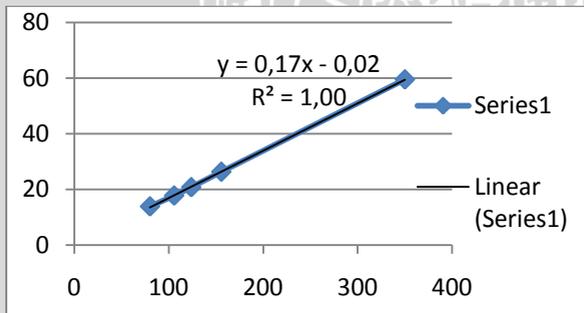
$$FK = \frac{\Sigma \text{Bacaan}}{25740} \quad (4.3)$$

L.3.2 Perhitungan Spektrum bremsstrahlung dengan sumber standar beta (Kr-85 dan Sr-90)

Kemudian dilakukan pengolahan data untuk setiap spektrum bremsstrahlung yang didapatkan. Pengolahan data dilakukan dengan microsoft excel dan menggunakan software MCA tersebut. Dimana data spektrum yang ada diplotkan dengan faktor kalibrasi yang sudah ada, seperti yang ditampilkan pada tabel berikut ini :

Kalibrasi	channel
80,01	13,9
105,58	17,8
123,71	20,8
155,58	26,345
350,09	59,537

Sehingga didapatkan grafik seperti gambar berikut :



Lampiran 4 : Gambar Alat dan Bahan Penelitian



Gambar L.4.1 Detektor CdTe xR-100T



Gambar L.4.2 Detektor Babyline 61A



Gambar L.4.3 Detektor Atomtex AT1103M



Gambar L.4.4 Inspector 30925



Gambar L.4.5 Dudukan sumber



Gambar L.4.6 Kolimator Aluminium (tempat sumber)



Gambar L.4.7 Waterpass



Gambar L.4.8 Rangkaian adaptor dan komputer (pendukung MCA)

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan.

