

**PENETAPAN KADAR Zn DAN Fe DI DALAM TAHU YANG  
DIBUNGKUS PLASTIK DAN DAUN YANG DIJUAL DI  
PASAR KARTASURA DENGAN MENGGUNAKAN METODE  
PENGAKTIFAN NEUTRON**

**SKRIPSI**



Oleh:

**FITHRY CAHYANI AL-HARISI  
K.100.030.155**

**FAKULTAS FARMASI  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA  
SURAKARTA  
2008**

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang Masalah**

Undang-Undang Pangan Nomor 7 Tahun 1996 menyatakan bahwa kualitas pangan yang dikonsumsi harus memenuhi beberapa kriteria, di antaranya adalah aman, bergizi, bermutu, dan dapat terjangkau oleh daya beli masyarakat. Aman di sini mempunyai arti bahwa makanan tersebut harus bebas dari cemaran biologis, mikrobiologis, kimia, logam berat, dan cemaran lain yang dapat mengganggu, merugikan, dan membahayakan kesehatan manusia (Anonim<sup>b</sup>, 2007).

Makanan yang bergizi, bermutu dan terjangkau oleh daya beli masyarakat diantaranya adalah tahu, tempe, telur dan lain sebagainya. Banyak masyarakat yang mengetahui bahwa tahu merupakan makanan yang menyehatkan karena kandungan protein yang sangat tinggi serta mutu yang setara dengan mutu protein hewani. Oleh sebab itu tahu merupakan makanan yang sering dikonsumsi oleh masyarakat (Anonim<sup>a</sup>, 2007).

Tingginya daya beli masyarakat terhadap makanan tahu ini menyebabkan banyak bermunculan industri tahu. Industri tahu merupakan salah satu industri rumah tangga yang proses produksinya masih menggunakan cara yang sederhana. Banyak diantara para pengrajin tahu yang belum mengerti akan kebersihan lingkungan sehingga dapat menyebabkan berkurangnya mutu dari tahu yang dihasilkan, diantaranya adalah terkontaminasi oleh bakteri, senyawa-

senyawa kimia dan logam, seperti logam Zn dan Fe, dalam jumlah melebihi batas yang ditetapkan dapat menyebabkan keracunan.

Senyawa logam Zn dan Fe ini kemungkinan berasal dari peralatan yang digunakan dalam proses produksi tahu, seperti loyang atau panci besar yang terbuat dari campuran seng, kuningan dan aluminium. Kemungkinan kontaminasi juga terjadi pada saat proses distribusi dari industri tahu ke pasar dan saat diperjualbelikan. Tahu dimungkinkan mengalami pengotoran oleh logam yang berasal dari penanganan yang tidak higienis, seperti wadah tahu, tempat untuk pemajangan tahu, tidak adanya penutup yang digunakan pada saat diperjualbelikan sehingga partikel-partikel logam dari material kendaraan bermotor yang sudah tidak layak pakai tetapi masih tetap beroperasi dapat mencemari tahu yang dijual di tepi jalan (Polizzi et al., 2007). Untuk menghindari pencemaran tersebut tahu perlu dikemas atau dibungkus untuk melindungi tahu tersebut.

Berdasarkan uraian di atas, maka perlu dilakukan penelitian untuk menentukan seberapa besar kadar Zn dan Fe yang terdapat dalam makanan tahu yang dibungkus plastik dan dibungkus daun yang dijual di Pasar Kartasura.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode Analisis Pengaktifan Neutron (APN), merupakan suatu metode analisis sampel atau cuplikan untuk mengetahui unsur-unsur yang terdapat di dalam bahan atau sampel yang didasarkan pada pengukuran keradioaktifan imbas jika suatu sampel atau cuplikan diiradiasi dengan neutron. Kelebihan dari analisis aktivasi neutron ini adalah mampu menganalisis unsur-unsur kelumit (trace element) dalam suatu

cuplikan bersama-sama, tanpa pemisahan kimia, penyiapan cuplikan yang mudah dan cepat, serta mempunyai kepekaan yang tinggi (Wisnu Susetyo, 1988).

### **B. Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang ada, maka dalam penelitian ini dapat diambil perumusan masalah sebagai berikut :

1. Apakah dalam tahu yang dibungkus plastik dan daun yang dijual di Pasar Kartasura terdapat logam Zn dan Fe?
2. Berapakah konsentrasi logam Zn dan Fe dalam tahu yang dibungkus plastik dan daun yang dijual di Pasar Kartasura?

### **C. Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Untuk membuktikan ada tidaknya kandungan logam Zn dan Fe dalam tahu yang dibungkus plastik dan daun yang dijual di Pasar Kartasura.
2. Untuk menetapkan konsentrasi logam Zn dan Fe dalam tahu yang dibungkus plastik dan daun yang dijual di Pasar Kartasura.

### **D. Tinjauan Pustaka**

#### **1. Tahu (*Tofu*)**

Tahu merupakan makanan yang dibuat dari kacang kedelai yang difermentasikan dan diambil sarinya. Berbeda dengan tempe yang asli dari Indonesia, tahu berasal dari China, penemunya adalah Liu An yang merupakan seorang bangsawan. Tahu adalah kata serapan dari bahasa *Hokkian* yaitu *tauhu* yang secara harfiah berarti kedelai difermentasi. Di Jepang dikenal dengan nama *tofu*. Dibawa para perantau dari China, makanan ini menyebar ke Asia Timur dan

Asia Tenggara, lalu akhirnya ke seluruh dunia. Beraneka jenis tahu yang ada di Indonesia, umumnya dikenal dengan tempat pembuatannya, misal tahu Sumedang dan tahu Kediri (Anonim<sup>a</sup>, 2007).

Kepopuleran tahu tidak hanya terbatas karena rasanya yang enak, tetapi juga mudah untuk membuatnya dan dapat diolah menjadi berbagai bentuk masakan serta harganya murah. Tahu juga salah satu makanan yang menyehatkan karena kandungan protein yang tinggi serta mutu yang setara dengan mutu protein hewani. Oleh karena itu, tahu dapat dikonsumsi oleh segala lapisan masyarakat (Anonim<sup>a</sup>, 2007).

Proses pembuatan tahu meliputi langkah-langkah sebagai berikut:

1. Perendaman

Perendaman kedelai ini dilakukan selama 3 - 12 jam. Perendaman ini mempunyai tujuan untuk memudahkan pelepasan kulit biji kedelai, sehingga nantinya kedelai benar-benar siap untuk diolah menjadi tahu.

2. Pengupasan

Pengupasan ini bertujuan untuk memisahkan kulit kedelai dengan biji kedelai. Hal ini dimaksudkan untuk menghilangkan tanah, debu dan kontaminasi lain yang terdapat pada kulit kedelai.

3. Pencucian atau perendaman kembali

Biji kedelai yang telah terpisah dari kulitnya dicuci kembali sehingga benar-benar bersih dari pengotoran, setelah itu dilakukan perendaman kembali dengan maksud agar biji kedelai tersebut lunak sehingga akan memudahkan dalam proses penggilingan biji kedelai.

#### 4. Penggilingan

Dalam proses penggilingan ini memerlukan air panas ( $80-100^{\circ}\text{C}$ ) sebagai pelumat sehingga dapat memudahkan dalam proses penggilingan. Perbandingan air panas dengan kedelai yang digiling adalah 8 : 1. Hal ini menunjukkan bahwa kebutuhan air sangat besar. Setelah kedelai digiling akan dihasilkan bubur kedelai.

#### 5. Penyaringan

Bubur kedelai yang dihasilkan kemudian disaring dan menghasilkan filtrat yang akan diproses lagi.

#### 6. Pendidihan

Filtrat yang dihasilkan kemudian dididihkan lagi selama kurang lebih 30 menit sehingga benar-benar masak dan terbentuk protein tahu yang akan menggumpal.

#### 7. Penggumpalan

Setelah proses pendidihan maka dilakukan penggumpalan dengan membiarkan filtrat tahu tersebut dalam suatu wadah sampai terbentuk protein tahu dan air.

#### 8. Penyaringan

Protein tahu dan air yang dihasilkan kemudian disaring. Proses penyaringan ini akan didapatkan protein tahu dan air buangan.

#### 9. Pengepresan

Protein tahu yang dihasilkan kemudian dipress sehingga akan terbentuk tahu padat dalam bentuk lembaran-lembaran.

## 10. Pemotongan

Lembaran-lembaran tahu kemudian dipotong-potong sesuai dengan selera atau keinginan para konsumen. Kemudian tahu dipasarkan secara langsung ataupun melalui para penjual tahu di pasar.

(Anonim<sup>a</sup>, 2007).

## 2. Pencemaran Logam

Pada umumnya semua logam berat tersebar di seluruh permukaan bumi, tanah, air, maupun udara. Beberapa diantaranya berperan penting dalam kehidupan makhluk hidup dan disebut sebagai hara mikro esensial. Secara biologis beberapa logam dibutuhkan oleh makhluk hidup pada konsentrasi tertentu dan dapat berakibat fatal apabila tidak dipenuhi. Oleh karena itu logam-logam tersebut dinamakan logam-logam atau mineral-mineral esensial tubuh, tetapi jika logam-logam esensial masuk dalam tubuh dalam jumlah berlebihan, akan berubah fungsi menjadi racun bagi tubuh. Dapat dikatakan bahwa semua logam berat dapat menjadi racun yang akan meracuni tubuh makhluk hidup (Palar, 1994).

Logam berat masuk ke dalam jaringan tubuh makhluk hidup melalui beberapa jalan, yaitu saluran pernapasan, pencernaan, dan penetrasi melalui kulit. Absorpsi logam melalui saluran pernapasan cukup besar, baik pada biota air yang masuk melalui sistem pernafasan, maupun biota darat yang masuk melalui debu di udara ke saluran pernapasan (Darmono, 2001).

Menurut Sugeng Murtopo (1989), logam berat berdasarkan sifat racunnya yang berdampak terhadap kesehatan manusia dapat dikelompokkan menjadi empat golongan yaitu:

- 1) Sangat beracun, yaitu dapat mengakibatkan kematian atau gangguan kesehatan dalam waktu singkat. Logam-logam tersebut antara lain: Pb, Hg, Cd, As, Sb, Ti, Be, dan Cu.
- 2) Moderat, yaitu mengakibatkan gangguan kesehatan baik yang dapat pulih maupun yang tidak dapat pulih dalam waktu yang relatif lama. Logam-logam tersebut antara lain: Ba, Be, Cu, Au, Li, Mn, Se, Te, Va, Co, dan Rb.
- 3) Kurang beracun, dalam jumlah besar dapat menimbulkan gangguan kesehatan. Logam-logam tersebut antara lain: Bi, Co, Fe, Ca, Mg, Ni, K, Zn, dan Ag.
- 4) Tidak beracun, yaitu tidak menimbulkan gangguan kesehatan seperti: Al dan Na.

### **3. Pencemaran pada Makanan**

Makanan sebagai faktor yang penting dalam kehidupan manusia bukanlah hanya sekedar harus memenuhi gizi dan mempunyai bentuk yang menarik, tetapi makanan juga harus tergolong aman, diantaranya harus bebas dari mikroorganisme, senyawa kimia ataupun logam yang dapat menimbulkan penyakit dan keracunan (Imansyah, 2005).

Munculnya beberapa penyakit dan kasus keracunan yang disebabkan oleh makanan dapat diakibatkan dari keadaan lingkungan yang kurang baik. Peran lingkungan yang dapat mempengaruhi kualitas makanan terbagi menjadi tiga golongan, yaitu lingkungan fisik, lingkungan kimia dan lingkungan biologi. Lingkungan fisik meliputi diantaranya air, udara, suhu, tanah, kelembaban dan

lain-lain. Lingkungan kimia meliputi pestisida, *food additive* (bahan tambahan makanan), antibiotika, logam dan lain-lain, sedangkan pengaruh lingkungan biologi meliputi jasad renik, tumbuhan, hewan dan manusia (Imansyah, 2005).

Semua bahan pangan alami mengandung logam dalam konsentrasi kecil, dan selama persiapan makanan kemungkinan kandungan logam akan bertambah. Pemanasan dapat melarutkan logam dari peralatan masak, alat-alat makan, dan wadah-wadah penyimpanan yang terbuat dari aluminium atau campurannya (Fardiaz, 1992).

#### **4. Seng (Zn)**

Seng dengan nama kimia Zink dilambangkan dengan Zn. Sebagai salah satu unsur logam berat Zn mempunyai nomor atom 30 dan memiliki berat atom 65,39. logam ini cukup mudah ditempa dan liat pada 110-150°C. Zn melebur pada 410°C dan mendidih pada 906°C (Palar, 1994). Zn dalam pemanasan tinggi akan menimbulkan endapan seperti pasir (Slamet, 1994).

Zn dan beberapa bentuk senyawanya banyak digunakan dalam produksi logam campuran, misalnya perunggu, loyang dan kuningan. Senyawa ini juga sering digunakan dalam pelapisan baja dan besi untuk mencegah proses karat, selain itu seng juga digunakan untuk industri baterai, plastik, gelas, karet, pigmen, dalam cat dan tinta (Darmono, 1995).

Sumber utama pemasukan logam ke dalam lingkungan berasal dari penggunaan pupuk kimia yang mengandung logam Cu dan Zn, buangan limbah rumah tangga yang mengandung logam Zn seperti korosi pipa-pipa air dan

produk-produk konsumen (misalnya, formula detergen) yang tidak diperhatikan sarana pembuangannya (Connel dan Miller, 1991).

Zn diperlukan tubuh untuk proses metabolisme, tetapi dalam kadar tinggi dapat bersifat menjadi racun. Di dalam air minum akan menimbulkan rasa kesat dan dapat menimbulkan gejala muntaber (Slamet, 1994). Gangguan kesehatan lain yang ditimbulkan adalah borok lambung, stomatitis dan letargia (Tjay dan Rahardja, 2002).

### **5. Besi (Fe)**

Besi adalah logam dalam kelompok makromineral di dalam kerak bumi, tetapi termasuk kelompok mikro dalam sistem biologi. Logam ini mungkin logam yang pertama ditemukan dan digunakan oleh manusia sebagai alat pertanian. Besi termasuk dalam kelompok logam golongan VIII B dengan bobot atom 55,85. Sifat fisika kimia dari besi yaitu merupakan logam berwarna putih keperakan, titik lebur pada 1535°C, dapat ditarik oleh magnet dan tidak tahan terhadap proses oksidasi (Palar, 1994).

Pada sistem biologi seperti hewan, manusia dan tanaman, logam ini bersifat esensial, kurang stabil, dan secara perlahan berubah menjadi fero (FeII) atau feri (FeIII). Kandungan Fe dalam tubuh hewan sangat bervariasi tergantung pada status kesehatan, nutrisi, umur, jenis kelamin dan spesies (Darmono, 2001).

Logam Fe termasuk dalam kelompok logam esensial, tetapi kasus keracunan Fe sering dilaporkan terutama pada anak-anak. Keracunan Fe pada anak terjadi secara tidak sengaja, pada saat anak memakan makanan yang mengandung Fe, sedangkan pada orang dewasa hal ini jarang terjadi. Toksisitas

Fe jarang menyebabkan kematian, tetapi dapat menyebabkan gangguan mental serius. Kasus terjadinya toksisitas Fe pada anak kemungkinan terjadi karena banyak preparat yang mengandung Fe diberikan pada anak, baik berupa obat maupun vitamin. Di samping itu, kebiasaan anak makan sembarangan di lingkungan sekitarnya juga mempengaruhi hal tersebut (Darmono, 2001).

Ada lima fase klinis dari toksisitas Fe sehingga dapat digunakan sebagai pedoman untuk diagnosis dan cara pengobatannya, yaitu

- 1) Fase pertama biasanya berjalan 2 jam setelah memakan makanan terkontaminasi Fe, ditandai dengan sakit perut, diare atau muntah yang berwarna kecoklatan, terkadang bercampur dengan darah. Penderita akan terlihat lemah, gelisah dan sakit perut. Gejala ini biasanya jarang menimbulkan kematian, tetapi hal tersebut secara mendadak dapat saja terjadi kematian.
- 2) Gejala fase kedua terjadi setelah fase pertama berakhir. Pasien dapat terlihat membaik. Bila tidak, akan segera berkembang menjadi gejala fase ketiga.
- 3) Gejala fase ketiga terjadi 8-16 jam setelah fase pertama. Selama periode ketiga ini terjadi shock dan asidosis yang menyebabkan hipoglikemia, sianosis dan demam.
- 4) Fase keempat terjadi 2-4 hari setelah makan makanan terkontaminasi dan tercuri dengan kerusakan hati. Diduga terjadi nekrosis hati disebabkan oleh reaksi langsung dari Fe terhadap mitokondria dalam sel hati.

- 5) Fase kelima dari toksisitas Fe terjadi 2-4 minggu setelah makan makanan terkontaminasi Fe dan terciri dengan adanya obstruksi atau penyempitan saluran gastrointestinal, stenosis dan fibrosis lambung.

(Darmono, 2001).

## **6. Analisis Pengaktifan Neutron (APN)**

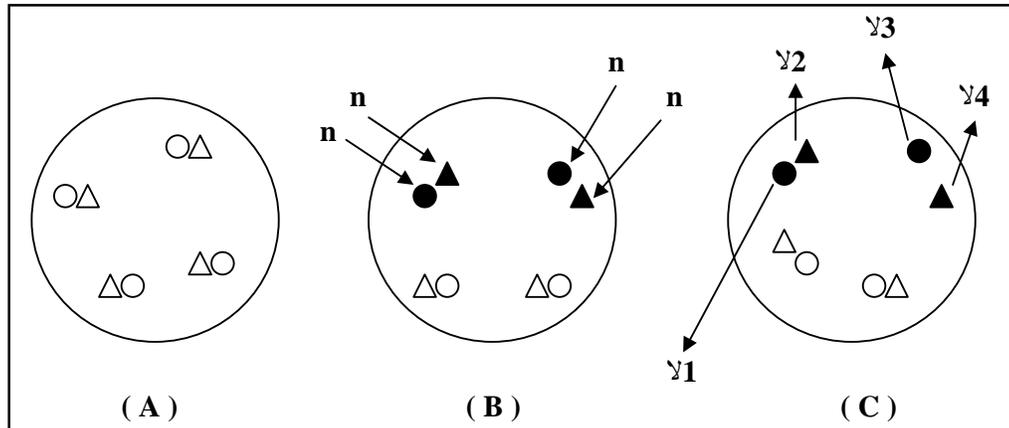
Penggunaan Spektrofotometer  $\gamma$  telah menjalar ke berbagai bidang ilmu seperti; fisika, kimia, biologi, pertanian, kedokteran dan lain-lain, berkat dikembangkannya teknik analisis unsur-unsur kelumit (*trace elements* = unsur-unsur dalam kadar yang sangat rendah) yang disebut Analisis Pengaktifan Neutron (APN). Analisis Pengaktifan Neutron adalah suatu analisis unsur yang didasarkan pada pengukuran keradioaktifan imbas jika suatu sampel disinari neutron (Wisnu Susetyo, 1988).

Teknik analisa ini pertama kali ditemukan oleh seorang ahli berkebangsaan Hungaria bernama George Havesy ketika ia mencoba menemukan impuritas disporium (Dy) dalam sampel Ytrium (Y) dengan jalan menembaki sampel tersebut dengan neutron (Wisnu Susetyo, 1988).

### **a. Prinsip Dasar Pengaktifan Neutron**

Prinsip dasar dari metode pengaktifan neutron adalah cuplikan yang akan dianalisis diradiasi dengan suatu sumber neutron. Inti atom unsur-unsur yang terdapat di dalam cuplikan akan menangkap neutron sehingga berubah sifat menjadi radioaktif. Unsur-unsur radioaktif tersebut selanjutnya akan meluruh disertai dengan pemancaran sinar-sinar radioaktif. Sinar  $\gamma$  yang dipancarkan oleh berbagai unsur dalam cuplikan dapat dianalisis secara spektrometri  $\gamma$  karena

setiap unsur dalam cuplikan memancarkan sinar  $\gamma$  dengan karakteristik tersendiri. Secara sistematis prinsip dasar APN dapat dilihat pada Gambar 1 (Wisnu Susetyo, 1988).



**Gambar 1.** Prinsip Dasar APN (Wisnu Susetyo, 1988).

Keterangan :

- Sampel terdiri atas bermacam-macam unsur misalnya unsur-unsur dasar (  $\circ$  ) dan kelumit (  $\triangle$  ) dan lain-lain.
- Sampel diiradiasi dengan neutron dan membuat beberapa atom menjadi radioaktif (  $\blacktriangle$  dan  $\bullet$  ).
- Sinar  $\gamma$  yang dipancarkan oleh unsur-unsur radioaktif tersebut menunjukkan data kualitatif unsur-unsur dalam cuplikan.

### **b. Interaksi Sinar $\gamma$ dengan Materi**

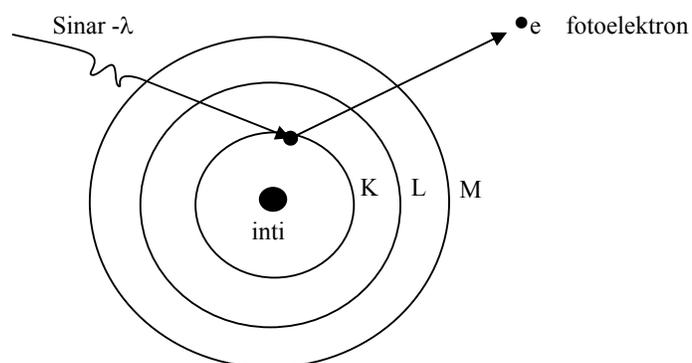
Interaksi sinar  $\gamma$  dengan materi dapat terjadi melalui bermacam-macam proses. Dari bermacam-macam proses tersebut hanya ada 3 macam proses yang penting untuk spektrometri  $\gamma$ , yaitu efek fotolistrik, efek Compton dan produksi pasangan.

## (a) Efek Fotolistrik

Efek fotolistrik adalah interaksi antara sinar  $\gamma$  dengan elektron dalam atom yaitu elektron pada kulit bagian dalam atom, biasanya kulit K atau L, sehingga menyebabkan elektron terpancar keluar dari atom. Pada peristiwa ini energi sinar  $\gamma$  diberikan kepada elektron atom yang ditumbuk, sebagian dari energi sinar  $\gamma$  tersebut digunakan untuk melepaskan ikatan elektron dengan inti atom dan sistemnya diubah menjadi energi kinetik elektron tersebut yang besarnya dinyatakan oleh persamaan (Arthur Beiser, 1999).

$$Ek = h\nu - hv_0 \quad (1)$$

Dengan  $Ek$  = energi kinetik elektron,  $h\nu$  = energi sinar  $\gamma$  yang menumbuk electron dan  $hv_0$  = energi minimum yang diperlukan untuk melepaskan elektron dari inti (energi ikat elektron). Efek fotolistrik penting pada daerah tenaga sinar  $\gamma$  di bawah 1 MeV. Secara skematis efek fotolistrik dapat dilihat seperti pada Gambar 2.



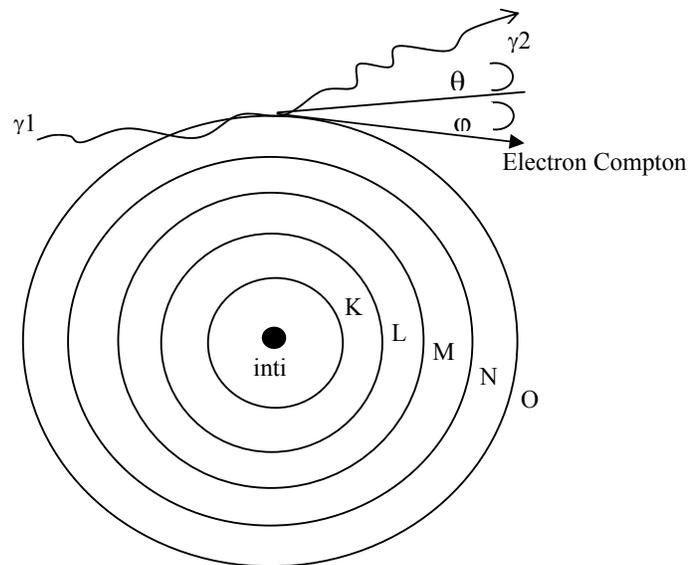
**Gambar 2.** Efek fotolistrik (Wisnu Susetyo, 1988).

## (b) Efek Compton

Efek Compton terjadi antara sinar  $\gamma$  dengan elektron yang terikat lemah. Dalam tumbukan elastis ini, sinar  $\gamma$  hanya memberikan sebagian energinya pada elektron yang ditumbukannya. Akibat dari tumbukan tersebut, Elektron terpelekat dari orbit dengan energi kinetik tertentu, sedangkan sinar  $\gamma$  terhambur dengan sudut  $\theta$ . Sinar  $\gamma$  terhambur ini mempunyai energi yang lebih kecil dari keadaan sebelum tumbukan. Elektron Compton yang terlepas dalam proses ini memiliki energi sebesar selisih antara energi sinar  $\gamma$  mula-mula dengan energi sinar  $\gamma$  terhambur (Wisnu Susetyo, 1988).

$$Ek = hv - hv' \quad (2)$$

Dimana,  $Ek$  = energi kinetik elektron compton,  $hv$  = energi sinar  $\gamma$  menumbuk electron,  $hv'$  = energi sinar  $\gamma$  terhambur. Efek Compton (Gambar 3) penting untuk daerah jangkauan tenaga yang sangat lebar.

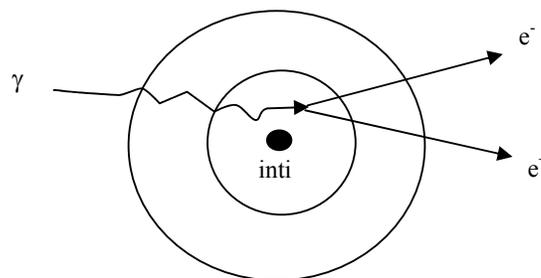


**Gambar 3.** Efek Compton (Wisnu Susetyo, 1988).

(c) Produksi Pasangan (*pair produksi*)

Produksi pasangan adalah peristiwa terbentuknya pasangan elektron positron sebagai akibat adanya interaksi sinar  $\gamma$  yang berenergi tinggi dengan medan listrik inti atom yang bermassa besar. Dalam keadaan diam elektron dan positron memiliki energi sebesar 0,511 Mev, oleh karena itu syarat terjadinya produksi pasangan adalah  $h\nu \geq 1,022$  Mev. Jika  $h\nu \geq 1,022$  Mev, maka energi sisanya akan berubah menjadi energi kinetik pasangan elektron dan positron yang terbentuk (Wisnu Susetyo, 1988).

Pembentukan pasangan hanya penting untuk tenaga sinar  $\gamma > 1,022$  MeV. Skema peristiwa terjadinya produksi pasangan dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Produksi pasangan (Wisnu Susetyo, 1988).

**c. Perangkat Spektrum  $\gamma$**

Secara praktis dan sederhana, spektrometri  $\gamma$  diartikan sebagai suatu metode pengukuran dan identifikasi unsur-unsur radioaktif di dalam suatu cuplikan dengan jalan mengamati spektrum karakteristik yang ditimbulkan oleh

interaksi sinar  $\gamma$  yang dipancarkan oleh zat-zat radioaktif tersebut dengan detektor (Wisnu Susetyo, 1988).

Spektrometri  $\gamma$  terdiri dari detektor semikonduktor HPGe, sumber tegangan tinggi (HV), preamplifier, amplifier dan penganalisis salur ganda dan unit pengolahan data.

(a) 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  $-196^{\circ}\text{C}$  (77 K). Selain untuk menjamin daya pisah yang tinggi, nitrogen cair yang diperlukan untuk menjaga kestabilan daerah intrinsik (Wisnu Susetyo, 1988).

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 energi sinar  $\gamma$  yang berdekatan. Ukuran daya pisah detektor dinyatakan dengan lebar setengah tinggi maksimum atau FWHM (*Full Width Half Maksimum*) (Wisnu Susetyo, 1988).

(b) Sumber Tegangan Tinggi

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 standart tertentu yang disebut sebagai NIM (*Nuclear Instrument Module*). Modul-modul elektronik tersebut mempunyai bentuk, ukuran, serta tegangan kerja yang standart. Bin merupakan rak sebagai tempat modul-modul yang mengikuti standart NIM tersebut. Bin ini juga yang berfungsi sebagai pencatu dayanya. Sumber tegangan tinggi pada perangkat spektrometer  $\gamma$  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 (Wisnu Susetyo, 1988).

(c) Pre-Amplifier dan Amplifier

*Pre-amplifier* 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 Pre-Amplifier, dimana memberikan hasil keluaran yang memiliki daya pisah tinggi dan membentuk tampilan lebih baik dan terbaca (Wisnu Susetyo, 1988).

#### d. Penentuan Kadar Unsur Cuplikan dengan Metode Aktivasi

Peluruhan radioaktif merupakan peristiwa random murni yang dapat ditunjukkan secara statistik, karena dalam setiap sampel bahan radioaktif memiliki peluang untuk meluruh dalam suatu selang waktu tertentu. Agar gejala radioaktivitas dapat dinyatakan secara kuantitatif, ditinjau suatu peluruhan radioaktif sederhana sebagai berikut:



Dalam hal ini, X disebut *induk* dan Y adalah *anakluruhnya*. Peristiwa peluruhan semacam ini dapat disamakan dengan reaksi monomolekuler dalam kinetika kimia. Laju reaksi peluruhan radioaktif atau perubahan inti atom induk per satuan waktu sebanding dengan cacah atom induk pada saat t adalah  $N_t$ , maka dapat ditulis:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N_t \quad (4)$$

$$dN_t = -N_t \lambda dt \quad (5)$$

dengan  $\lambda dt$ : 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  $dt$ . Jika persamaan (5) diintegrasikan:

$$\int_{N_0}^{N_t} \frac{dN_t}{N_t} = -\lambda \int_0^t dt \quad (6)$$

$$\ln N_t - \ln N_0 = -\lambda t \quad (7)$$

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t} \quad (8)$$

terbentuk meluruh, sehingga laju pembentukan radionuklida merupakan selisih antara laju produksi inti radioaktif dan laju peluruhannya. Secara matematis dapat dinyatakan melalui persamaan:

$$\frac{dN}{dt} = \left[ \left[ \frac{dN}{dt} \right]_{produksi} - \left[ \frac{dN}{dt} \right]_{peluruhan} \right] \quad (9)$$

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

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t} \quad (10)$$

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

sebagai berikut: 
$$\frac{dN}{dt} = \frac{d(N_0 e^{-\lambda t})}{dt} = -\lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (11)$$

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

$$A_0 = \lambda N = R(1 - e^{-\lambda t_a}) \quad (12)$$

Dengan

$$R = \left[ \frac{dN}{dT} \right]_{produksi} \quad (13)$$

laju produksi inti radioaktif (R) sebanding dengan fluks neutron dan tampang lintang reaksi neutron, dinyatakan dalam persamaan:

$$R = N \int \tau(E) \Phi(E) dE \quad (14)$$

Dengan, N = jumlah inti target

$\tau$  (E) = tampang lintang

$\phi$  (E) = fluks lintang

Jika sampel diaktivasi dalam waktu sampai lima kali waktu paroh, maka aktivitas akan mendekati R. Keadaan inilah yang disebut dengan aktivitas jenuh ( $A_{\text{sat}}$ ). Andaikan  $\phi$  dan  $\tau$  tidak tergantung pada energi neutron maka dapat dinyatakan:

$$A_{\text{sat}} = R = N \phi \tau \quad (15)$$

Sehingga  $A_a$  dapat dinyatakan sebagai :

$$A_a = \lambda N = A_{\text{sat}} (1 - e^{-\lambda t}) \quad (16)$$

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:

$$A_d = R (1 - e^{-\lambda t_a}) (e^{-\lambda t_d}) \quad (17)$$

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  $\epsilon$  dan aktivitas akhir aktivasi  $A_d$ , maka laju cacah peluruhan sampai berakhirnya waktu pencacahan  $t_c$  dapat dinyatakan sebagai:

$$A_c = \int_0^{t_c} A_d e^{-\lambda t} \epsilon dt \quad (18)$$

Yang memiliki hasil integral:

$$A_c = \frac{A_d \epsilon}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t_c}) \quad (19)$$

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 (19) sehingga didapatkan:

$$A_c = \frac{YA_d \varepsilon}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t_c}) \quad (20)$$

Dengan substitusi persamaan (20) ke dalam persamaan (18) dan (15), maka persamaannya menjadi:

$$A_c = \frac{YN\Phi \tau \varepsilon}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t_a}) (1 - e^{-\lambda t_c}) (1 - e^{-\lambda t_d}) \quad (21)$$

$$\text{Dengan } N = \frac{mN_A a}{B_A}$$

Maka laju cacah pada saat berakhirnya pencacahan dapat dinyatakan sebagai:

$$A_c = \frac{mYN\Phi \tau \varepsilon}{B_A \lambda} (1 - e^{-\lambda t_a}) (1 - e^{-\lambda t_c}) (1 - e^{-\lambda t_d}) \quad (22)$$

Dimana :

$A_c$ = laju cacah (eps)	$\phi$ = fluks neutron (neutron/cm <sup>2</sup> detik)
$N_A$ = bilangan Avogadro (6,02 x 10 <sup>23</sup> atom/mol)	$\tau$ = tampang lintang reaksi (cm <sup>2</sup> )
$m$ = massa isotop unsur (gr)	$Y$ = yield gamma
$a$ = kelimpahan isotop	$\lambda$ = konstanta peluruhan
$\varepsilon$ = efisiensi detector	$t_e$ = waktu cacah (detik)
	$t_d$ = waktu tunda (detik)

(Wisnu Susetyo, 1988).

### **E. Landasan Teori**

Pencemaran logam pada dasarnya tidak berdiri sendiri, namun dapat terbawa oleh air, tanah dan udara. Apabila semua komponen tersebut telah tercemar oleh senyawa anorganik, maka di dalamnya kemungkinan dapat mengandung berbagai logam berat seperti Cr, Zn, Pb, Cd, Fe dan sebagainya (Sunu, 2001).

Kedelai merupakan salah satu sumber protein yang penting di Indonesia. Kandungan logam Zn dalam 100 gram kedelai adalah 0,99 mg, sedangkan ambang batas kandungan Zn dalam makanan sebanyak 40,0 mg/kg. Menurut penelitian, kandungan logam Cu dan Zn dalam kedelai di Kecamatan Trimurjo Kabupaten Lampung Tengah ditemukan logam Zn sebesar 69,54 mg/g (Ipin, 2007). Kadar logam Zn dalam kedelai tersebut diindikasikan masih di bawah nilai normal, namun jika dikonsumsi oleh masyarakat kadar logam tersebut akan terakumulasi dalam tubuh.

Semua bahan pangan alami mengandung logam dalam konsentrasi kecil, dan selama persiapan makanan kemungkinan kandungan logam akan bertambah. Pemanasan dapat melarutkan logam dari peralatan masak, alat-alat makan, dan wadah-wadah penyimpanan yang terbuat dari aluminium atau campurannya (Fardiaz, 1992).

Sumber utama pemasukan logam ke dalam lingkungan berasal dari buangan limbah rumah tangga yang mengandung logam Zn seperti korosi pipa-pipa air dan produk-produk konsumen (misalnya, formula detergen) yang tidak diperhatikan sarana pembuangannya (Connel dan Miller, 1991).

Tahu dibuat dari bahan baku kedelai yang diperoleh dari tanaman kedelai. Dalam proses pembuatan tahu digunakan peralatan yang terbuat dari logam diantaranya adalah Zn. Dimungkinkan kedelai yang diolah menjadi tahu ini mengandung logam yang berasal dari peralatan yang digunakan untuk membuat tahu. Beberapa logam seperti Zn, Bi, Co, Fe, Ca, Mg, Ni, K, dan Ag termasuk logam yang kurang beracun, tetapi dalam konsentrasi yang besar dapat menyebabkan keracunan (Sugeng Murtopo, 1989).

#### **F. Hipotesis**

Dalam penelitian ini makanan tahu yang dibungkus plastik dan daun diduga mengandung Zn dan Fe dalam jumlah tertentu yang diteliti pada lokasi penjualan yang sama.