



**IDENTIFIKASI KANDUNGAN MINERAL PADA TEMPE DI WILAYAH  
KOTA SEMARANG MENGGUNAKAN METODE ANALISIS AKTIVASI  
NEUTRON (AAN)**

Skripsi

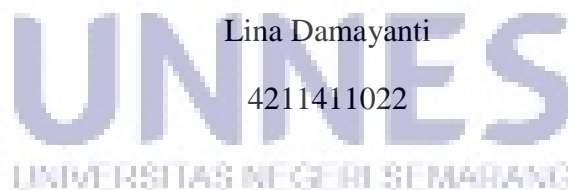
disajikan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Sarjana Sains Program Studi Fisika

oleh

Lina Damayanti

4211411022



**JURUSAN FISIKA**

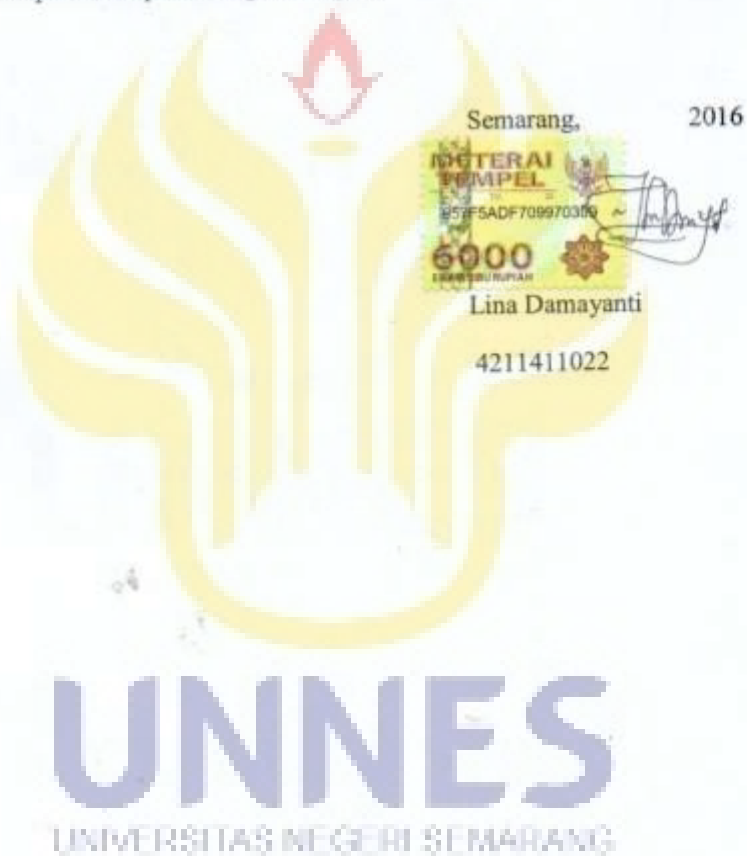
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

**2016**

## PERNYATAAN

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



## PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Identifikasi Kandungan Mineral Pada Tempe di Wilayah Kota Semarang  
Menggunakan Metode Analisis Aktivasi Neutron (AAN)

disusun oleh

Lina Damayanti

4211411022

Telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA UNNES  
pada tanggal 2 Maret 2016



Panitia

Ketua

Prof. Dr. Zaenuri, S.E., M.Si, Akt.  
NIP. 196412231988031001

Sekretaris

Dr. Suharto Linuwih, M.Si.  
NIP. 196807141996031005

Ketua Penguji

Prof. Dr. Sutikno, S.T., M.T.  
NIP. 197411201999031003

Anggota Penguji/Pembimbing I

Dra. Pratiwi Dwijananti, M.Si.  
NIP. 196203011989012001

Anggota Penguji/Pembimbing II

Prof. Drs. Nathan Hindarto, Ph.D  
NIP. 195206131976121002

## PERSETUJUAN PSTA-BATAN

Skripsi yang berjudul

Identifikasi Kandungan Mineral Pada Tempe di Wilayah Kota Semarang  
Menggunakan Metode Analisis Aktivasi Neutron (AAN)

disusun oleh


Lina Damayanti

4211411022

Telah disetujui dan disahkan oleh Pusat Sains dan Teknologi Akselerator (PSTA-  
BATAN Yogyakarta)

Kepala Bidang Fisika Partikel

Pembimbing Pendamping


  
Ir. Puradwi Ismu Wahyono, DEA  
NIP. 196110251988101001

  
Drs. Widarto  
NIP. 195602021983031008

**UNNES**  
Yogyakarta, 2016

Mengetahui  
Kepala PSTA-BATAN



  
Drs. Susilo Widodo, M.Eng.  
NIP. 195804141980031005

## MOTTO

Jangan cepat putus asa bila permohonan kita belum dikabulkan. Jangan pula iri melihat orang lain lebih dulu mendapat keinginannya. Bisa jadi ALLAH sedang “memasak” anugerah-Nya untuk kita, sekaligus menguji kesabaran kita. Karena itu, jangan pernah meninggalkan pintu permohonan kepada-Nya.

(Jalaludin Rumi)



## PERSEMBAHAN

Untuk Bapak dan Ibu, Dek Fitri, Dek Verin,  
Segenap keluarga besar Eyang Sudjono Wiryo dan Mbah Sasmito Sudjono,  
Semua pihak yang sudah membantu penelitian ini.

## PRAKATA

*Bismillahirrohmanirrohim,*

Segala puji syukur bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar. Skripsi ini memberikan informasi mengenai kandungan mineral dalam tempe di wilayah kota Semarang. Penulis dalam menyusun skripsi ini mendapat bantuan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Rektor Universitas Negeri Semarang
2. Dr. Susilo Widodo, M. Eng, Kepala PSTA BATAN
3. Prof. Dr. Zaenuri, S.E., M.Si, Akt., Dekan FMIPA Universitas Negeri Semarang.
4. Dr. Suharto Linuwih, M.Si., ketua Jurusan Fisika.
5. Dra. Pratiwi Dwijananti, M.Si. dan Prof. Drs. Nathan Hindarto, Ph.D, pembimbing skripsi yang telah meluangkan waktu, nasehat, saran, dan motivasi selama penyusunan skripsi.
6. Prof. Dr. Sutikno, S.T., M.T., dosen penguji yang telah memberikan saran kepada penulis
7. Drs. Widarto, dosen pembimbing lapangan.
8. Ian Yulianti M.Eng., dosen wali yang telah membimbing dan memberikan saran dalam perkuliahan.
9. Segenap Bapak dan Ibu Dosen, teknisi laboratorium, dan staf Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang.
10. Bapak, Ibu, dan Adikku yang telah memberi dukungan dan do'a.
11. Segenap keluarga besar Eyang Sudjono Wiryo dan Mbah Sasmito Sudjono yang telah memberi dukungan dan do'a.

14. Teman-teman Fisika Medik 2011 (Riza, Ana, Dewi, Dwi, Alvin, Azka, Hanen, Adda, Serli, Ninik, Messi, Santi, Ekberd).
15. Teman-teman STTN (Junaidi Afika, Khoirunisa, dan Faisal) yang telah membantu selama penelitian.
16. Saudaraiku (Mbak Aya, Mbak Dian, Dek Dinar, Dek Khusnul) yang telah membantu selama tinggal di Jogja.
17. Teman-teman Kost Putri Bunga Anggrek (Rasyifa, Eni, Zulekho, May, Rahma, Mentari, Nila, Mbak Khalida, Dita, Jelita).

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini masih belum sempurna dengan banyak kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik dari pembaca. Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan memberikan manfaat bagi kemajuan penelitian dan riset di Indonesia. Aamiin.

Semarang,

2016

Penulis



Lina Damayanti

NIM. 4211411022

**UNNES**  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG



## ABSTRAK

Damayanti, L. 2016. *Identifikasi Kandungan Mineral Pada Tempe Di Wilayah Kota Semarang menggunakan Metode Analisis Aktivasi Neutron (AAN)*. Skripsi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing I, Dra. Pratiwi Dwijananti, M.Si. dan pembimbing II, Prof. Drs. Nathan Hindarto, Ph.D.

Kata kunci: tempe kedelai, mineral, analisis aktivasi neutron.

Tempe merupakan salah satu sumber protein nabati dari olahan kedelai yang lazim dikonsumsi masyarakat Indonesia karena harga tempe yang relatif lebih murah dibandingkan sumber protein hewani. Selain itu, tempe juga dikenal memiliki kandungan nutrisi yang lengkap, salah satunya adanya kandungan mineral. Kandungan mineral dalam tempe dapat diketahui melalui metode yang memiliki sensitivitas tinggi dalam analisis unsur bahan yaitu metode analisis aktivasi neutron (AAN). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan mineral dalam tempe di kota Semarang secara analisis kualitatif, analisis kuantitatif, serta terhadap standar baku tempe. Sampel tempe diambil dari lima produsen di kota Semarang secara random. Kemudian sampel diiradiasi waktu pendek selama lima menit di sistem transfer pneumatik dengan fluks neutron  $3,53 \times 10^{12}$  neutron/cm<sup>2</sup>s, serta waktu panjang selama lima jam di fasilitas iradiasi *Lazy Susan* dengan fluks neutron  $6,95 \times 10^{11}$  neutron/cm<sup>2</sup>s. Setelah iradiasi waktu pendek, selanjutnya dilakukan pencacahan menggunakan spektrometer gamma secara langsung yang sebelumnya telah dikalibrasi terlebih dahulu menggunakan standar <sup>152</sup>Eu, sedangkan waktu iradiasi panjang dilakukan pencacahan pada hari berikutnya. Selesai dilakukan pencacahan akan diperoleh data puncak-puncak (*peak*) spektrum energi gamma yang menunjukkan karakteristik suatu unsur. Selanjutnya, data yang diperoleh akan dilakukan analisis kualitatif untuk mengetahui suatu unsur dalam tempe, dilanjutkan dengan analisis kuantitatif untuk mengetahui kadar unsur. Hasil analisis kualitatif menunjukkan mineral yang terkandung dari produsen di wilayah kota Semarang antara lain seng, mangan, aluminium, magnesium, kalsium, tembaga, natrium, kalium, indium, klorin, dan vanadium. Kadar mineral secara berurutan adalah seng  $(4,02 \pm 3,27) \cdot 10^{-7}$  mg/gram, mangan  $(3,70 \pm 0,77) \cdot 10^{-3}$  mg/gram, aluminium  $(3,84 \pm 0,02) \cdot 10^{-8}$  mg/gram, tembaga  $(4,70 \pm 0,08) \cdot 10^{-4}$  mg/gram, natrium  $(1,28 \pm 0,01) \cdot 10^{-7}$  mg/gram, kalium  $(9,56 \pm 0,16) \cdot 10^{-2}$  mg/gram, indium  $(5,35 \pm 1,52) \cdot 10^{-3}$  mg/gram, dan klorin  $(3,05 \pm 1,80) \cdot 10^{-7}$  mg/gram. Mineral besi, kalsium, dan fosfor dalam standar baku tempe tidak teridentifikasi dalam tempe dari produsen di wilayah kota Semarang.



## ABSTRAK

Damayanti, L. 2016. *Identifikasi Kandungan Mineral Pada Tempe Di Wilayah Kota Semarang menggunakan Metode Analisis Aktivasi Neutron (AAN)*. Skripsi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing I, Dra. Pratiwi Dwijananti, M.Si. dan pembimbing II, Prof. Drs. Nathan Hindarto, Ph.D.

Keywords: soybean tempe, mineral, neutron activation analysis

Tempe is one of the vegetable source of protein from processed soybeans that are customarily consumed by Indonesian peoples because the price of the tempe is relatively cheaper than animal protein sources. In addition, tempe is also known to have high nutritional content, one of them by the presence of minerals. Mineral content in tempe can be known through the method that has high sensitivity in the analysis of elements of material namely neutron activation analysis method. This research aims to know the mineral content in tempe in the city of Semarang in qualitative analysis, quantitative analysis, as well as the raw tempe standard. Samples taken randomly from five manufacturers of tempe in Semarang city. Then the samples are irradiated in short time for five minutes in the pneumatic transfer system with neutron flux  $3,53 \times 10^{12}$  neutrons/cm<sup>2</sup>s, as well as long time for five hours on a Lazy Susan irradiation facilities with the neutron flux  $6,95 \times 10^{11}$  neutrons/cm<sup>2</sup>s. After a short time of irradiation, next step is counting by using gamma spectrometer directly which had previously been calibrated in advance using standard <sup>152</sup>Eu, while long time irradiation, counting is done the next day. Finished counting will be retrieved data peaks (peak) of gamma energy spectrum that shows characteristics of an element. Furthermore, the data obtained will be made a qualitative analysis to find out an item in tempe, followed by quantitative analysis to find out the levels of the element. The results of the qualitative analysis indicates the mineral contained from the manufacturer in the city of Semarang, consist of zinc, manganese, aluminium, copper, sodium, potassium, indium, and chlorine. The levels of minerals in a sequence are zinc  $(4,02 \pm 3,27) \cdot 10^{-7}$  mg/gram, manganese  $(3,70 \pm 0,77) \cdot 10^{-3}$  mg/gram, aluminium  $(3,84 \pm 0,02) \cdot 10^{-8}$  mg/gram, copper  $(4,70 \pm 0,08) \cdot 10^{-4}$  mg/gram, sodium  $(1,28 \pm 0,01) \cdot 10^{-7}$  mg/gram, potassium  $(9,56 \pm 0,16) \cdot 10^{-2}$  mg/gram, indium  $(5,35 \pm 1,52) \cdot 10^{-3}$  mg/gram, and chlorine  $(3,05 \pm 1,80) \cdot 10^{-7}$  mg/gram. Minerals are iron, calcium, and phosphorus in the raw standard are not identified in the tempe from the manufacturer in the city of Semarang.

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
PERSETUJUAN PSTA-BATAN .....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN .....	v
PRAKATA .....	vi
ABSTRAK .....	viii
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
<b>BAB</b>	
1. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
1.6 Sistematika Skripsi .....	5
2. TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Tempe .....	7
2.2 Mineral .....	9
2.3 Reaksi Inti .....	11
2.4 Interaksi Neutron dengan Bahan .....	12
2.5 Sumber Neutron dari Reaktor .....	13
2.6 Reaktor TRIGA Kartini sebagai Sumber Neutron.....	14
2.7 Aktivasi Neutron .....	16

2.8 Aktivitas .....	18
<b>3. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>24</b>
3.1 Lokasi dan Waktu .....	24
3.2 Sampel .....	24
3.3 Variabel Penelitian .....	24
3.3.1 Variabel Bebas .....	24
3.3.2 Variabel Terikat .....	24
3.3.3 Variabel Terkendali .....	24
3.4 Alat dan Bahan .....	25
3.4.1 Alat Penelitian .....	25
3.4.2 Bahan Penelitian .....	26
3.5 Prosedur Penelitian .....	26
3.5.1 Preparasi Sampel .....	26
3.5.2 Persiapan Iradiasi .....	27
3.5.3 Iradiasi Sampel .....	27
3.5.4 Pencacahan Sampel .....	27
3.5.4.1 Kalibrasi Energi .....	28
3.5.4.2 Kalibrasi Efisiensi .....	29
3.5.5 Pencacahan .....	29
3.5.5.1 Analisis Kualitatif .....	30
3.5.5.2 Analisis Kuantitatif .....	30
3.6 Diagram Alir Penelitian .....	32
<b>4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>33</b>
4.1 Hasil .....	33
4.1.1 Kalibrasi Energi .....	33
4.1.2 Kalibrasi Efisiensi .....	35
4.1.3 Analisis Kualitatif .....	37
4.1.4 Analisis Kuantitatif .....	40
4.2 Pembahasan .....	41

5. PENUTUP .....	45
5.1 Simpulan .....	45
5.2 Saran .....	45
DAFTAR PUSTAKA .....	46
LAMPIRAN .....	49



## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
4.1 Data Hasil Analisis Kualitatif Mineral dalam Tempe di Wilayah Kota Semarang.....	38
4.2 Hasil Analisis Kuantitatif Mineral dalam Tempe di Lima Produsen di Wilayah Kota Semarang .....	40



## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Reaksi Fisi Uranium-235 dan Neutron yang menghasilkan Neutron Baru.....	16
2.2 Proses Reaksi Nuklir pada Analisis Aktivasi Neutron .....	17
2.3 Prinsip Dasar Analisis Aktivasi Neutron pada Merkuri.....	17
2.4 Grafik Aktivasi Peluruhan .....	22
4.1 Grafik Kalibrasi Energi pada Rak Nomor Dua.....	34
4.2 Grafik Kalibrasi Energi pada Rak Nomor 13.....	34
4.3 Grafik Kalibrasi Efisiensi pada Rak Nomor Dua .....	36
4.4 Grafik Kalibrasi Efisiensi pada Rak Nomor 13.....	36



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Penghitungan Kalibrasi Energi .....	49
2. Penghitungan Kalibrasi Efisiensi .....	52
3. Data Hasil Analisis Kualitatif .....	54
4. Penghitungan Analisis Kuantitatif .....	63
5. Dokumentasi Penelitian .....	73
Surat Keputusan Dosen Pembimbing	
Surat Ijin Penelitian	
Surat Tugas Panitia Ujian Sarjana	





# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kedelai merupakan salah satu komoditas penting di Indonesia setelah beras dan jagung. Setiap tahun kebutuhan kedelai meningkat seiring bertambahnya jumlah penduduk serta kesadaran gizi yang ditandai dengan meningkatnya konsumsi kedelai sehingga industri olahan kedelai menjadi bertambah (Sriyadi, 2011). Tempe termasuk salah satu sumber protein nabati dari olahan kedelai yang lazim dikonsumsi masyarakat Indonesia karena harga tempe yang relatif lebih murah dibandingkan sumber protein hewani.

Selain harga yang terjangkau, tempe kedelai juga lebih mudah dicerna oleh tubuh (Hidayah *et al.*, 2012) serta dikenal sebagai makanan dengan nilai kandungan nutrisi yang lengkap seperti, karbohidrat, protein, lemak, mineral, vitamin, serat, dan bioaktif isoflavon (Bintari, 2013). Pada dasarnya tempe terbuat dari biji kedelai dengan kualitas bagus yang diolah melalui dua proses yaitu proses pemasakan kedelai dan dilanjutkan dengan proses fermentasi. Di dalam proses fermentasi, kapang tempe menghasilkan enzim fitase yang menguraikan asam fitat untuk mengikat beberapa mineral. Asam fitat yang terurai menjadikan mineral seperti besi, kalsium, magnesium, dan zink terdapat di dalam tempe sehingga dapat bermanfaat bagi tubuh ketika dikonsumsi (BSN, 2012).

Menurut Yuniastuti (2008), sekitar 6% tubuh manusia dewasa mengandung mineral. Mineral yang terkandung dalam tubuh manusia tidak dapat dihasilkan oleh tubuh. Mineral tersebut diperoleh dari tanaman sumber pangan yang menyerap mineral dari tanah kemudian disimpan dalam struktur tanaman. Hewan sebagai konsumen tingkat pertama menyimpan mineral dalam tubuhnya. Selanjutnya, manusia sebagai konsumen tingkat akhir memperoleh mineral dari pangan nabati dan hewani. Menurut Hidayah *et al.* (2012), di dalam kedelai mengandung sumber mineral yang baik seperti Ca, Fe, Cu, Zn, Mg, dan Na. Mineral dalam kedelai tidak mengalami perubahan secara signifikan setelah menjadi olahan tempe.

Menurut Sediaoetama (2008), mineral dalam analisis bahan makanan dikenal sebagai kadar abu. Kadar abu diperoleh dari hasil pembakaran sempurna dari bahan makanan yang menggambarkan banyaknya mineral yang tidak terbakar. Manusia memerlukan mineral berdasarkan jumlah yang dibutuhkan tubuh, antara lain mineral dengan jumlah yang relatif besar atau disebut dengan unsur makro (*macro element*), mineral dengan jumlah yang relatif kecil atau unsur mikro (*micro element*), dan mineral yang jumlahnya relatif sangat kecil dari unsur mikro atau *trace element*. Unsur makro yang dibutuhkan seperti K, Na, Ca, Mg, P, S, dan Cl. Unsur mikro yang dibutuhkan seperti Fe, Cu, Co, Se, Zn, dan J. Sedangkan *trace element* seperti Co, Cu, dan Zn. Selain mineral tersebut, terdapat suatu mineral dalam bahan makanan yang tidak diperlukan oleh tubuh sehingga disebut sebagai kontaminan atau pencemar. Mineral tersebut seperti Al, As, Ba, Bo, Pb, Cd, Ni, Si, Sr, Va, dan Br. Menurut Suarsana *et al.* (2014), tempe sebagai

makanan yang memiliki kandungan mineral kalsium dan fosfor sangat baik untuk pertumbuhan dan pemeliharaan tulang sehingga dapat mencegah terjadinya osteoporosis. Menurut Hidayah *et al.* (2012), mineral zat besi dalam tempe dimanfaatkan tubuh dalam pembentukan hemoglobin.

Mineral dalam bahan seperti pada tempe kedelai dapat diketahui dengan berbagai metode. Beberapa metode tersebut antara lain analisis aktivasi neutron (AAN), spektroskopi serapan atom (SSA), spektroskopi plasma induktif (ICP) dan spektroskopi fluoresensi sinar-X (XRF). Menurut Mulyaningsih *et al.* (2010), konsentrasi logam dalam bahan makanan memiliki jumlah yang sangat rendah, yaitu dalam orde ng/kg sampai dengan mg/kg sehingga diperlukan metode dengan sensitivitas yang tinggi dalam analisis unsur bahan. Metode analisis unsur bahan dengan keunggulan sensitivitas tinggi dibandingkan dengan metode yang lain yaitu metode analisis aktivasi neutron (AAN).

Analisis aktivasi neutron merupakan metode analisis dengan prinsip reaksi pengaktifan inti suatu unsur menggunakan neutron, sehingga terpancar radiasi gamma dengan energi spesifik yang mencirikan unsur tersebut (Sasongko *et al.*, 2010). AAN dapat digunakan untuk analisis secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif untuk menentukan jenis unsur sedangkan kuantitatif untuk mengetahui kadar unsur (Niati *et al.*, 2006). AAN salah satu teknik analisis nuklir yang memiliki keunggulan seperti non destruktif, multi elemen, dan sensitif (Lestiani *et al.*, 2009), tidak memerlukan perlakuan kimia terlebih dahulu pada sampel (Mulyaningsih *et al.*, 2010).

Berdasarkan uraian di atas, akan dilakukan penelitian pada tempe kedelai di wilayah kota Semarang menggunakan analisis aktivasi neutron (AAN) untuk mengetahui kandungan mineral di dalamnya atau analisis kualitatif. Selanjutnya dilakukan analisis kuantitatif untuk mengetahui kadar mineral dalam tempe kedelai.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, adapun rumusan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini antara lain:

1. Mineral apa saja yang terkandung dalam tempe dari produsen di kota Semarang ?
2. Berapa kadar mineral dalam tempe dari produsen di kota Semarang ?
3. Bagaimana kualitas tempe dari produsen di kota Semarang menurut standar baku tempe ?

## **1.3 Batasan Masalah**

Masalah dalam penelitian ini dibatasi pada sampel tempe kedelai yang diambil secara random di beberapa produsen tempe di wilayah kota Semarang.

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Dari rumusan masalah yang telah diutarakan, tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui adanya mineral dalam tempe dari produsen di kota Semarang.

2. Mengetahui kadar mineral yang terkandung dalam tempe dari produsen di kota Semarang.
3. Mengetahui kualitas tempe dari produsen di kota Semarang menurut standar baku tempe.

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini antara lain:

1. Memberikan informasi kepada peneliti dan masyarakat mengenai mineral dalam tempe.
2. Mengetahui informasi mengenai mineral yang dibutuhkan tubuh.

## **1.6 Sistematika Skripsi**

Skripsi ini dibuat dengan sistematika penyusunan sebagai berikut:

1. Bagian awal

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

2. Bagian isi

Bagian ini terdiri dari lima bab meliputi:

- a. Bab 1, Pendahuluan

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

b. Bab 2, Tinjauan Pustaka

Berisi kajian materi yang mendasari dan menunjang penelitian.

c. Bab 3, Metode Penelitian

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

d. Bab 4, Hasil dan Pembahasan

Menyajikan hasil yang diperoleh dalam penelitian meliputi jenis logam berat dalam sampel, kadar logam berat dalam sampel, tingkat keamanan sampel untuk konsumsi.

e. Bab 5, Penutup

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

3. Bagian akhir

Berisi daftar pustaka dan lampiran.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tempe**

Tempe merupakan salah satu produk fermentasi kedelai dengan menumbuhkan kapang *Rhizopus sp.* pada kedelai (Rahadiyanti, 2011). Tempe yang baik adalah tempe yang kompak, seluruh tubuh diselimuti miselium kapang berwarna putih, tidak bernoda hitam akibat timbul spora, tidak berlendir, mudah diiris, tidak busuk dan tidak berbau amoniak (Muslikhah *et al.*,2013).

Produksi tempe dilakukan melalui tiga tahapan, yaitu (1) hidrasi dan pengasaman biji kedelai dengan direndam beberapa lama (untuk daerah tropis kira-kira semalam); (2) pemanasan biji kedelai, yaitu dengan perebusan atau pengukusan; dan (3) fermentasi oleh jamur tempe menggunakan *Rhizopus sp.* Selama proses produksi terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi tempe yang dihasilkan, yaitu bahan baku (kedelai), mikroorganismenya (kapang tempe), dan keadaan lingkungan (suhu, pH, dan kelembaban) (Dwinaningsih, 2010).

Pada dasarnya pembuatan tempe terdiri dari dua proses, yaitu proses pemasakan kedelai dan proses fermentasi. Proses pembuatan tempe diawali dengan melakukan penyortiran biji kedelai yang bagus. Biji kedelai yang sudah dipilih kemudian dicuci menggunakan air yang mengalir. Biji kedelai direbus selama 30 menit atau sampai mendekati setengah matang. Kedelai yang sudah direbus direndam semalam hingga menghasilkan kondisi asam. Keesokan harinya, kulit ari dikupas dengan cara memasukkan kedelai ke dalam air, kemudian dikuliti



hingga didapatkan keping-keping kedelai. Keping kedelai dicuci sekali lagi. Keping kedelai dimasukkan ke dalam panci lalu ditanak. Setelah matang, keping kedelai dihamparkan tipis-tipis di atas tampah, dibiarkan sampai keping kedelai kering. Pemberian ragi pada kedelai sambil diaduk hingga rata, untuk satu kilogram kedelai digunakan sekitar satu gram ragi. Kedelai yang sudah tercampur rata dengan ragi dibungkus menggunakan daun pisang atau plastik. Kedelai yang sudah dibungkus kemudian diperam. Bila pembungkusnya berupa plastik, pemeraman dilakukan di atas kajang-kajang bambu yang diletakkan pada rak-rak. Bila pembungkusnya berupa daun, pemeraman dilakukan pada keranjang bambu yang ditutup goni. Setelah diperam semalaman, dilakukan penusukan dengan lidi. Tujuannya agar udara segar dapat masuk ke dalam bahan tempe. Tempe diperam lagi semalaman, keesokan harinya tempe yang dibuat siap untuk dikonsumsi (BSN, 2012).

Tempe mengandung nutrisi yang tinggi sehingga bermanfaat bagi kesehatan. Protein di dalam tempe mengandung asam amino essensial yang setara dengan kualitas protein yang terkandung dalam daging dan unggas (Hidayah *et al.*, 2012). Komposisi protein, lemak, dan karbohidrat dalam kedelai tidak terdapat perubahan dalam tempe, tetapi selama proses fermentasi terjadi perubahan senyawa makromolekuler seperti protein, lemak, dan karbohidrat dalam kedelai menjadi senyawa yang lebih sederhana dalam tempe seperti peptida, asam amino, asam lemak, dan monosakarida sehingga tempe lebih mudah dicerna di dalam tubuh dari pada kedelai (Bastian *et al.*, 2013). Selama proses fermentasi juga terdapat komponen bioaktif isoflavon dalam tempe. Komponen

bioaktif ini memiliki keunggulan seperti aktivitas antioksidan, antidiare, mencegah penyakit degeneratif, serta berpotensi sebagai pangan hipoalergenik (Suwarno *et al.*, 2014). Kedelai mengandung sumber mineral yang baik seperti Ca, Fe, Cu, Zn, Mg, dan Na (Hidayah *et al.*, 2012), tetapi tidak terdapat perbedaan secara signifikan kandungan mineral kedelai apabila sudah menjadi olahan tempe (Bastian *et al.*, 2013).

## 2.2 Mineral

Tempe dikenal sebagai salah satu makanan dengan nilai gizi yang tinggi. Sejumlah penelitian mengenai nilai gizi tempe diperoleh hasil bahwa tempe mengandung elemen yang berguna bagi tubuh, salah satu elemen tersebut adalah mineral (BSN, 2012). Mineral merupakan elemen anorganik yang berasal dari alam dan tidak dapat dibuat dalam tubuh. Mineral mempunyai peran penting dalam berbagai fungsi tubuh dan diperlukan untuk mempertahankan hidup serta menjaga kesehatan secara optimal. Sebagian besar mineral dalam makanan secara langsung berasal dari tanaman dan air, sedangkan secara tidak langsung berasal dari hewan. Kandungan mineral air dan tanaman dalam makanan sangat bervariasi secara geografis karena kandungan mineral tanah dari suatu daerah ke daerah lain (<http://www.faqs.org/nutrition/Met-Obe/Minerals.html>).

Sekitar 6 % tubuh manusia dewasa terbuat dari mineral. Mineral tersebut diperoleh dari tanaman sumber pangan yang menyerap mineral dari tanah kemudian disimpan dalam struktur tanaman. Hewan sebagai konsumen tingkat pertama menyimpan mineral dalam tubuhnya. Selanjutnya, manusia sebagai

konsumen tingkat akhir memperoleh mineral dari pangan nabati dan hewani. Mineral merupakan bahan anorganik dan bersifat esensial. Apabila mineral tidak habis digunakan oleh manusia maka akan dikeluarkan oleh tubuh dan dikembalikan pada tanah. Secara umum mineral dalam tubuh berfungsi untuk memelihara keseimbangan asam dan air dalam tubuh, mengkatalisasi reaksi pemecahan karbohidrat, lemak, maupun protein, sebagai hormon dan enzim tubuh, serta berperan dalam pertumbuhan dan pemeliharaan tulang, gigi, dan jaringan tubuh lainnya. Mineral yang dibutuhkan manusia diklasifikasikan menjadi dua mineral, yaitu mineral makro dan mineral mikro. Mineral makro merupakan mineral dengan jumlah relatif besar dalam jaringan tubuh ( $>0,05\%$  dari berat badan). Mineral mikro disebut unsur renik (*trace element*) terdapat  $< 0,05\%$  dari berat badan (Yuniastuti, 2008:61-62).

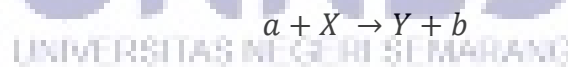
Mineral yang dibutuhkan di dalam tubuh manusia dapat dibedakan menjadi dua kelompok berdasarkan jumlah yang dibutuhkan, yaitu unsur makro dan unsur mikro. Unsur makro dibutuhkan dalam jumlah yang relatif besar, seperti K, Na, Ca, Mg, P, S, dan Cl. Unsur makro berfungsi sebagai zat aktif dalam metabolisme atau berperan penting dalam struktur sel dan jaringan. Unsur mikro berfungsi dalam enzim. Unsur mikro dapat dikelompokkan lagi menurut kegunaannya dalam tubuh, yaitu unsur mikro esensial, unsur mikro non-esensial, dan *trace element*. Unsur mikro esensial banyak dibutuhkan dalam tubuh, seperti Fe, Cu, Co, Se, Zn, J, dan F. Unsur mikro non-esensial tidak diperlukan dalam tubuh sehingga disebut sebagai kontaminan atau pencemar, seperti Al, As, Ba, Bo, Pb, Cd, Ni, Si, Sr, Va, dan Br. *Trace element* termasuk unsur mikro tetapi diperlukan

dalam jumlah yang lebih kecil lagi, seperti Co, Cu, dan Zn. Sejumlah besar enzim memerlukan unsur mikro dan *trace element* agar berfungsi secara maksimal (Sediaoetama, 2008:167-168).

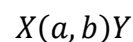
Menurut Badan Standardisasi Nasional (2012), hasil penelitian dari Kementerian Kesehatan pada tahun 1991 terdapat kandungan mineral di dalam tempe seperti kalsium, fosfor, dan besi. Kandungan mineral kalsium dalam tempe sebesar 155 mg dari 100 gram BDD (berat yang dapat dimakan), fosfor sebesar 326 mg dari 100 gram BDD, dan besi sebesar 4 mg dari 100 gram BDD.

### 2.3 Reaksi Inti

Pada penelitian ini terdapat suatu reaksi dari inti unsur yang terkandung dalam tempe dengan neutron sehingga menghasilkan inti hasil yang bersifat radioaktif, reaksi tersebut dinamakan reaksi inti. Menurut Dwijananti (2012), reaksi inti terjadi jika partikel-partikel nuklir (nukleon atau inti) saling mengadakan kontak. Reaksi inti dari partikel-partikel nuklir dapat ditulis sebagai berikut:



atau dapat disingkat menjadi,



dengan X menunjukkan inti awal, Y sebagai inti akhir,  $a$  sebagai partikel datang, dan  $b$  sebagai partikel yang dipancarkan. Jika partikel datang  $a$  ditembakkan pada inti awal X, maka akan ada beberapa kemungkinan yang terjadi, yaitu hamburan elastik, hamburan inelastik, dan reaksi inti.

$$a + X \begin{cases} X + a & \text{hamburan elastik} \\ X^* + a' & \text{hamburan inelastik} \\ Y + b & \text{reaksi inti} \end{cases}$$

## 2.4 Interaksi Neutron dengan Bahan

Neutron bersifat netral atau tidak bermuatan dan tidak berinteraksi dengan partikel bermuatan. Neutron yang diserap inti akan menghasilkan radiasi sekunder. Radiasi sekunder terdiri dari inti yang tersebar dari induksi reaksi nuklir neutron. Menurut Litz *et al.* (2012), bentuk interaksi neutron dengan bahan sebagai berikut:

1. Hamburan lenting sempurna (elastis)

Hamburan lenting sempurna merupakan peristiwa tumbukan antara neutron dengan inti atom sehingga tidak terjadi perubahan energi gerak sebelum maupun sesudah tumbukan dari neutron dan inti materi.

2. Hamburan tak lenting (inelastis)

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

3. Pemancaran sinar gamma ( $n, \gamma$ )

Pemancaran sinar gamma termasuk dalam tangkapan radiatif yaitu tangkapan neutron tanpa mengalami pembelahan. Neutron yang ditangkap oleh inti menyebabkan inti mengalami kelebihan energi. Kelebihan energi tersebut akan dipancarkan dalam bentuk sinar gamma sehingga inti dalam keadaan normal.

#### 4. Pemancaran partikel bermuatan ( $n,\alpha$ ), ( $n,p$ )

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

Pada penelitian ini terjadi interaksi neutron dengan inti yang terkandung dalam tempe. Interaksi neutron dengan unsur yang terkandung dalam tempe akan membentuk inti hasil yang tidak stabil dan bersifat radioaktif. Kemudian inti hasil akan menjadi stabil kembali dengan memancarkan sinar gamma, sehingga interaksi neutron dengan bahan yang sesuai dengan penelitian ini adalah pemancaran sinar gamma ( $n,\gamma$ ).

### 2.5 Sumber Neutron dari Reaktor

Neutron merupakan partikel tidak bermuatan yang dapat dihasilkan dari suatu sumber seperti reaktor. Neutron adalah hasil utama reaktor nuklir berbasis uranium. Reaktor nuklir yang dirancang khusus untuk fluks yang besar terletak di *Oak Ridge National Laboratory* dengan fluks neutron  $10^{15}$  neutron/cm<sup>2</sup> s. Universitas terbesar yang mengoperasikan reaktor terletak di *University of Missouri Research Reactor (MURR)* dengan fluks neutron  $10^{14}$  neutron/cm<sup>2</sup> s (Litz *et al*, 2012). Reaktor nuklir di Indonesia tepatnya di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) seperti reaktor G.A Siwabessy mempunyai fluks neutron di *central irradiation position* sebesar  $1,26 \times 10^{14}$  neutron/cm<sup>2</sup> s (Awaludin, 2009),

dan di reaktor Kartini fasilitas iradiasi *Lazy Susan* dengan fluks neutron sebesar  $5,1 \times 10^{10}$  neutron/cm<sup>2</sup> s (Abidin *et al.*, 2009)

Neutron dari reaktor nuklir disebabkan adanya reaksi fisi berantai antara neutron dengan bahan bakar uranium. Pembelahan uranium secara langsung menghasilkan neutron cepat yang akan diubah menjadi neutron lambat atau neutron thermal agar reaksi fisi berlangsung secara terus menerus. Jejak neutron yang keluar dari inti bahan pada reaktor dimoderasi oleh bahan pelambat atau moderator yang berada di sekitar inti bahan. Neutron yang diperlambat mengakibatkan perubahan distribusi energi neutron yaitu neutron cepat, neutron epithermal, dan neutron thermal (Kurniawan, 2012).

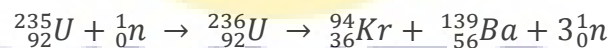
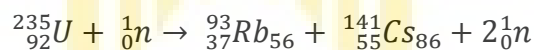
## 2.6 Reaktor TRIGA Kartini sebagai Sumber Neutron

Reaktor Kartini merupakan reaktor TRIGA MARK II (*Training, Research and Isotop Production by General Atomic*) tipe kolam terbuka dengan sistem pendinginan dari sirkulasi alam. Reaktor Kartini dioperasikan untuk keperluan iradiasi, AAN, penelitian, dan latihan personil (Rohman, 2009). Reaktor Kartini tersusun dari beberapa komponen antara lain beberapa reflektor yang ditembus oleh beberapa tabung berkas (*beam port*) radial yang berasal dari satu tabung berkas tangensial. Dibagian atas reflektor dan tengah teras reaktor terdapat ruang iradiasi (Dwijananti *et al.*, 2010).

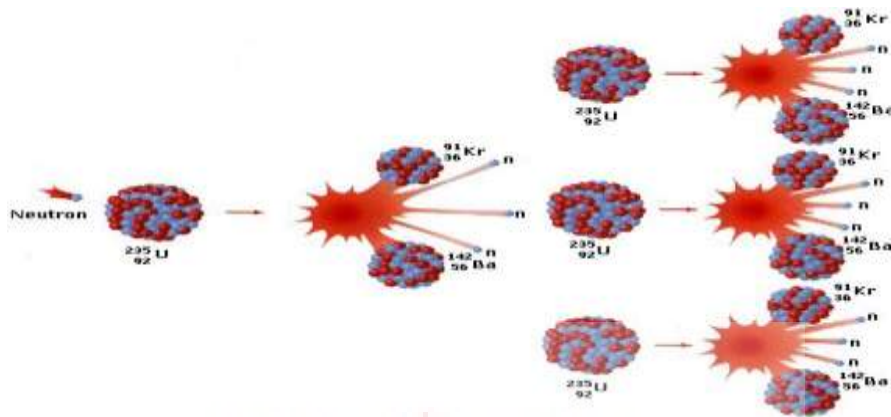
Teras reaktor terdiri dari bahan bakar campuran homogen uranium ( $^{235}_{92}\text{U}$ ) dan zirkonium hibrida (ZrH) dengan pengkayaan uranium 20% dan kandungan uranium 8% dari total berat bahan bakar (Kurniawan, 2003). Pada reaktor Kartini



terjadi reaksi fisi yang dihasilkan dari interaksi neutron dengan elemen bahan bakar reaktor. Neutron tunggal menumbuk inti uranium sehingga menjadi inti majemuk yang tidak stabil. Inti yang tidak stabil dengan segera membentuk dua inti hasil, dua sampai tiga neutron baru (Dwijananti *et al.*, 2010), disertai energi (panas) rata-rata 180 MeV dan beberapa partikel seperti alpha, beta dan gamma serentak (Kurniawan, 2012). Agar neutron dalam reaktor menjadi seimbang maka digunakan tiga buah batang kendali yaitu batang kendali kompensasi, batang kendali pengatur, dan batang kendali pengaman. Batang kendali kompensasi berisi serbuk boron karbida (BaC) yang berfungsi sebagai penyerap neutron (Kurniawan, 2003). Di bawah ini beberapa contoh reaksi fisi yang menghasilkan neutron.



Berdasarkan penjelasan proses terjadinya reaksi fisi inti uranium dan neutron pada paragraf sebelumnya, berikut ini gambar proses terjadinya reaksi fisi inti uranium dan neutron yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Reaksi Fisi Uranium-235 dan Neutron yang Menghasilkan Neutron Baru

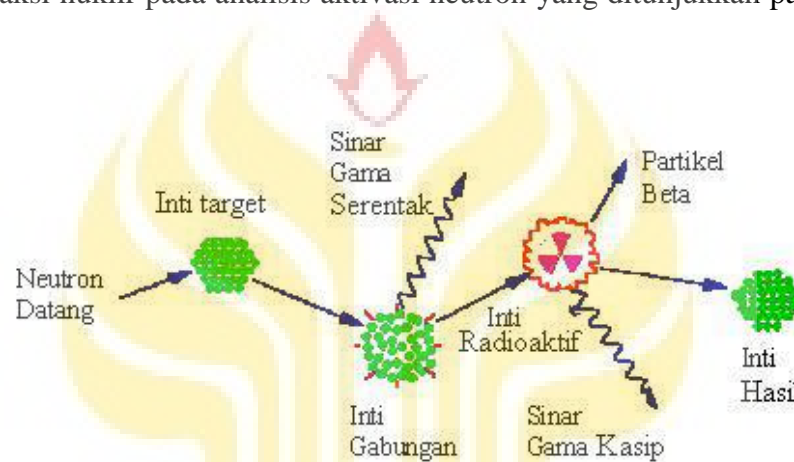
(sumber : <https://indone5ia.wordpress.com/2012/02/17/prinsip-kerja-pembangkit-listrik-tenaga-nuklir/>)

## 2.7 Aktivasi Neutron

Analisis Aktivasi Neutron (AAN) merupakan metode penentuan kualitatif dan kuantitatif unsur berdasarkan pengukuran karakteristik radiasi dari radionuklida yang terbentuk secara langsung atau tidak langsung oleh iradiasi neutron bahan. Sumber neutron yang tepat biasanya dari reaktor penelitian nuklir. Sensitivitas dan akurasi dalam analisis aktivasi neutron banyak diterapkan pada ilmu lingkungan, kesehatan, gizi, geologi, geokimia, ilmu material, arkeologi, forensik, dan pengukuran data nuklir (IAEA, 2001).

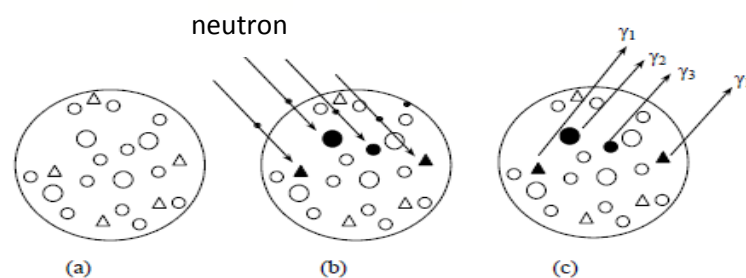
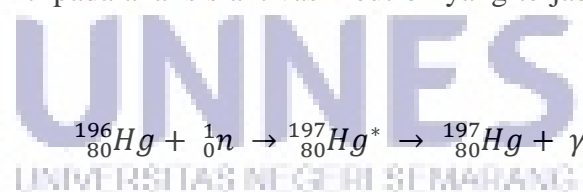
AAN memiliki kelebihan selektivitas dan sensitivitas yang tinggi, multi unsur, akurasi dan presisi yang baik, tidak terpengaruh gangguan matriks yang terkait dengan reaksi nuklir, proses peluruhan tidak terpengaruh oleh struktur fisika dan kimia bahan/sampel (Kurniawati *et al.*, 2014). Prinsip dasar AAN adalah adanya reaksi antara neutron dari reaktor yaitu neutron thermal dengan inti

bahan/materi. Interaksi antara neutron dan inti materi menyebabkan inti mengalami eksitasi dan bersifat radioaktif. Inti yang bersifat radioaktif akan mencapai keadaan stabil melalui pemancaran sinar gamma dengan energi yang spesifik. Energi spesifik dari sinar gamma tersebut digunakan untuk analisis kandungan unsur dalam bahan/materi. Berdasarkan penjelasan tersebut, berikut ini proses reaksi nuklir pada analisis aktivasi neutron yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Proses Reaksi Nuklir pada Analisis Aktivasi Neutron  
(sumber: Syarip, 2002)

Reaksi inti pada analisis aktivasi neutron yang terjadi pada merkuri dapat dituliskan:



Gambar 2.3 Prinsip Dasar Analisis Aktivasi Neutron pada Merkuri  
(sumber: Kurniawan, 2003)

- (a) Sampel terdiri atas bahan dasar ( $\circ$ ), ( $\odot$ ), dan unsur kelumit ( $\triangle$ , misal  $^{196}_{80}Hg$ ).
- (b) Sampel diiradiasi dengan neutron mengakibatkan beberapa atom menjadi radioaktif ( $\bullet$ ), ( $\bullet$ ), ( $\blacktriangle$ ,  $^{197}_{80}Hg$  yang bersifat radioaktif).
- (c) Sinar gamma yang dipancarkan sampel menghasilkan data kualitatif dan kuantitatif unsur dalam sampel.

Gambar 2.3 menunjukkan bahwa suatu sampel mengandung berbagai jenis unsur di dalamnya (gambar (a)). Kemudian sampel ditembak dengan neutron sehingga inti dari suatu unsur yang terkandung di dalam sampel menjadi tidak stabil dan bersifat radioaktif (gambar (b)). Unsur yang tidak stabil dan bersifat radioaktif dalam sampel akan menjadi stabil kembali dengan cara memancarkan sinar- $\gamma$  dengan energi tertentu yang menunjukkan karakteristik unsur tersebut (gambar (c)).

## 2.8 Aktivitas

Sampel tepe yang diiradiasi menggunakan neutron akan menyebabkan reaksi inti dari atom unsur yang terkandung dalam sampel dengan neutron sehingga atom unsur tersebut akan bersifat radioaktif. Menurut Kurniawan (2003), laju reaksi  $R$  suatu materi yang diaktivasi dengan fluks neutron  $\phi$  adalah,

$$R = N_0 \sigma_{act} \phi V \quad (2.1)$$

dengan  $N_0$  adalah jumlah inti atom bahan (materi) tiap satuan volume,  $\sigma_{act}$  tampang lintang aktivasi mikroskopis materi ( $\text{cm}^2$ ),  $\phi$  fluks neutron ( $\text{neutron cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) dan  $V$  volume materi teraktivasi ( $\text{cm}^3$ ).

Ketika terbentuk unsur yang bersifat radioaktif secara bersamaan terjadi peluruhan sebesar  $\lambda N$ , nilai  $\lambda$  menyatakan konstanta peluruhan dan  $N$  atom unsur yang bersifat radioaktif. Laju perubahan jumlah unsur yang bersifat radioaktif adalah,

$$\frac{dN}{dt} = R - \lambda N \quad (2.2)$$

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

apabila diperumpamakan,

$$U = R - \lambda N$$

$$dU = -\lambda dN$$

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

maka persamaan (2.3) menjadi,

$$\int \frac{dU}{-\lambda U} = \int dt \quad (2.4)$$

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

$$\ln U = -\lambda t + A \quad (2.6)$$

$$U = A e^{-\lambda t} \quad (2.7)$$

$$R - \lambda N = A e^{-\lambda t} \quad (2.8)$$

$$N = \frac{1}{\lambda} (R - A e^{-\lambda t}) \quad (2.9)$$

saat  $t_0 = 0$  maka nilai  $N_0 = 0$ , dan nilai  $R = A$ . Kemudian, ketika  $t_1 = t_1$ , maka nilai  $N_1$  adalah

$$N_1 = \frac{R}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t_1}) \quad (2.10)$$

$$\lambda N_1 = R (1 - e^{-\lambda t_1}) \quad (2.11)$$

nilai R disubstitusikan ke dalam persamaan (2.11) menjadi,

$$\lambda N_1 = N_0 \sigma_{act} \phi V (1 - e^{-\lambda t_1}) \quad (2.12)$$

karena tampang lintang aktivasi makroskopis  $\Sigma_{act} = N_0 \sigma_{act}$  maka menjadi,

$$\lambda N_1 = \Sigma_{act} \phi V (1 - e^{-\lambda t_1}) \quad (2.13)$$

$$A_{s1} = \Sigma_{act} \phi V (1 - e^{-\lambda t_1}) \quad (2.14)$$

Apabila iradiasi dilakukan dalam waktu yang sangat lama atau mencapai titik jenuh maka nilai  $t = \infty$ , sehingga besarnya aktivitas menjadi,

$$A_{s1} = \Sigma_{act} \phi V \quad (2.15)$$

Pada penelitian ini menggunakan detektor gamma sehingga besarnya aktivitas menjadi,

$$A_{s1} = k \Sigma_{act} \phi V (1 - e^{-\lambda t_1}) \quad (2.16)$$

dengan  $k = \epsilon Y$  merupakan konstanta yang diperoleh dari perkalian efisiensi detektor dan energi gamma yang dipancarkan oleh suatu unsur radioaktif (*yield*).

Setelah iradiasi pada sampel selesai, unsur radioaktif yang terkandung dalam sampel akan mengalami peluruhan dengan memancarkan energi- $\gamma$ . Ketika akan dilakukan pencacahan sampel pada saat  $t_2$ , maka terjadi peluruhan selama selang waktu  $t_2 - t_1$  atau waktu tunda sehingga aktivitas saat  $t_2$  adalah,

$$A_{s2} = A_{s1} (e^{-\lambda(t_2-t_1)}) \quad (2.17)$$

$$A_{s2} = k \Sigma_{act} \phi V (1 - e^{-\lambda t_1}) (e^{-\lambda(t_2-t_1)}) \quad (2.18)$$

Saat sampel dicacah selama waktu yang ditentukan yaitu dari waktu  $t_2$  sampai  $t_3$ , dengan aktivasi selama  $t_1$  dan waktu tunda selama  $t_2 - t_1$  adalah,

$$C = \int_0^{t_3-t_2} A_{s2} e^{-\lambda t} dt \quad (2.19)$$

$$C = \int_0^{t_3-t_2} k \sum_{act} \phi V (1 - e^{-\lambda t_1})(e^{-\lambda(t_2-t_1)}) e^{-\lambda t} dt \quad (2.20)$$

$$C = k \sum_{act} \phi V (1 - e^{-\lambda t_1})(e^{-\lambda(t_2-t_1)}) \int_0^{t_3-t_2} e^{-\lambda t} dt \quad (2.21)$$

$$C = k \sum_{act} \phi V (1 - e^{-\lambda t_1})(e^{-\lambda(t_2-t_1)}) \left[ \frac{1}{-\lambda} e^{-\lambda t} \right]_0^{t_3-t_2} \quad (2.22)$$

$$C = k \sum_{act} \phi V (1 - e^{-\lambda t_1})(e^{-\lambda(t_2-t_1)}) \left[ \frac{1}{-\lambda} e^{-\lambda(t_3-t_2)} - \left( \frac{1}{-\lambda} e^{-\lambda(0)} \right) \right] \quad (2.23)$$

$$C = k \sum_{act} \phi V (1 - e^{-\lambda t_1})(e^{-\lambda(t_2-t_1)}) \left[ \frac{1}{-\lambda} e^{-\lambda(t_3-t_2)} - \left( \frac{1}{-\lambda} \right) \right] \quad (2.24)$$

$$C = k \sum_{act} \phi V (1 - e^{-\lambda t_1})(e^{-\lambda(t_2-t_1)}) \frac{1}{\lambda} (1 - e^{-\lambda(t_3-t_2)}) \quad (2.25)$$

$$k \sum_{act} \phi V = \frac{\lambda C}{(1 - e^{-\lambda t_1})(e^{-\lambda(t_2-t_1)})(1 - e^{-\lambda(t_3-t_2)})} \quad (2.26)$$

dengan  $V = \frac{m}{\rho}$ ,  $m$  adalah massa cuplikan (gram) dan  $\rho$  adalah kerapatan massa cuplikan ( $\text{gram.cm}^{-3}$ ), didapat persamaan,

$$\varepsilon Y N \sigma_{act} \phi \frac{m}{\rho} = \frac{\lambda C}{(1 - e^{-\lambda t_1})(e^{-\lambda(t_2-t_1)})(1 - e^{-\lambda(t_3-t_2)})} \quad (2.27)$$

dengan  $N = \frac{\rho}{A} N_A$ , nilai  $N$  menyatakan jumlah inti atom tiap satuan volume.

Karena atom unsur yang berinteraksi berbeda-beda maka dibutuhkan kelimpahan isotop  $a$  dari atom unsur tersebut sehingga menjadi  $N = \frac{\rho a}{A} N_A$ . Kemudian mensubstitusikan nilai  $N$  ke persamaan (2.27) dan diperoleh nilai  $m$  sebagai berikut,

$$\varepsilon Y \frac{\rho a}{A} N_A \sigma_{act} \phi \frac{m}{\rho} = \frac{\lambda C}{(1 - e^{-\lambda t_1})(e^{-\lambda(t_2-t_1)})(1 - e^{-\lambda(t_3-t_2)})} \quad (2.28)$$

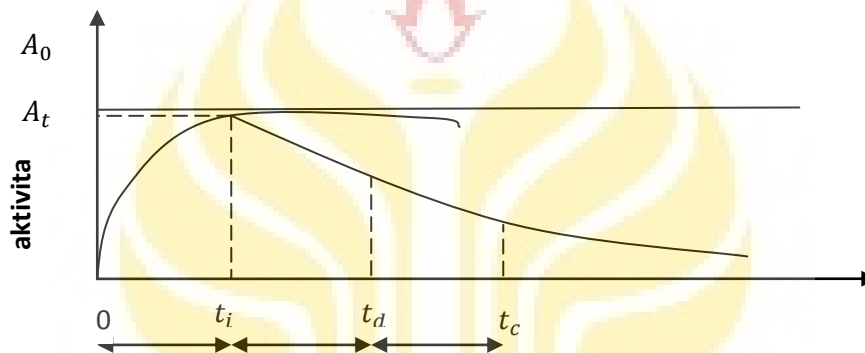
$$m = \frac{\lambda C A}{\varepsilon a Y N_A \sigma_{act} \phi (1 - e^{-\lambda t_1})(e^{-\lambda(t_2-t_1)})(1 - e^{-\lambda(t_3-t_2)})} \quad (2.29)$$

atau dapat ditulis dengan persamaan,

$$m = \frac{\lambda C A}{\varepsilon a Y N_A \sigma_{act} \phi (1 - e^{-\lambda t_i})(e^{-\lambda t_d})(1 - e^{-\lambda t_c})} \quad (2.30)$$

dengan  $t_i$  lama waktu iradiasi (sekon),  $t_d$  lama waktu tunda setelah iradiasi sampai sebelum dicacah (sekon),  $t_c$  lama waktu pencacahan,  $C$  menyatakan laju cacah (Cps),  $\lambda$  konstanta peluruhan ( $s^{-1}$ ),  $A$  nomor massa,  $\varepsilon$  efisiensi detektor,  $Y$  tenaga gamma (*yield*),  $N_A$  bilangan Avogadro,  $\phi$  fluks neutron ( $\text{neutron cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ),  $\sigma_{act}$  tampang lintang aktivasi mikroskopis materi ( $\text{cm}^2$ ),  $m$  massa cuplikan (gram).

Grafik aktivitas peluruhan suatu unsur ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Grafik Aktivitas Peluruhan

Gambar 2.4 merupakan grafik aktivasi peluruhan suatu unsur. Unsur tertentu yang terkandung dalam sampel apabila diiradiasi dengan partikel lain seperti neutron, unsur tersebut akan teraktivasi mulai dari  $t_0$  sampai aktivasi semakin naik dan mencapai titik jenuh  $A_t$  pada waktu  $t_1$ . Selang waktu dari  $t_0$  sampai  $t_1$  dinamakan waktu iradiasi  $t_i$ . Selesai dilakukan iradiasi dan aktivasi mencapai titik jenuh, selanjutnya akan dilakukan pencacahan sampel. Saat iradiasi berakhir inti atom unsur dalam sampel yang tidak stabil dan bersifat radioaktif akan mengalami peluruhan dengan memancarkan energi- $\gamma$ . Peluruhan inti atom unsur yang terjadi saat berakhirnya iradiasi  $t_1$  sampai akan dilakukan pencacahan pada waktu  $t_2$  dinamakan peluruhan pada waktu tunda  $t_d$ . Inti atom unsur masih mengalami peluruhan meskipun saat dilakukan pencacahan dari waktu  $t_2$  hingga inti atom



unsur menjadi stabil dan tidak bersifat radioaktif lagi pada waktu  $t_3$ . Selang waktu dari  $t_2$  sampai  $t_3$  dinamakan waktu cacah  $t_c$ .



## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Simpulan**

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Mineral yang terkandung dalam tempe dari produsen di wilayah kota Semarang antara lain seng, mangan, aluminium, tembaga, natrium, kalium, indium, klorin, dan vanadium.
2. Kadar mineral secara berurutan adalah seng  $(4,02 \pm 3,27) \cdot 10^{-7}$  mg/gram, mangan  $(3,70 \pm 0,77) \cdot 10^{-3}$  mg/gram, aluminium  $(3,84 \pm 0,02) \cdot 10^{-8}$  mg/gram, tembaga  $(4,70 \pm 0,08) \cdot 10^{-4}$  mg/gram, natrium  $(1,28 \pm 0,01) \cdot 10^{-7}$  mg/gram, kalium  $(9,56 \pm 0,16) \cdot 10^{-2}$  mg/gram, indium  $(5,35 \pm 1,52) \cdot 10^{-3}$  mg/gram, dan klorin  $(3,05 \pm 1,80) \cdot 10^{-7}$  mg/gram.
3. Mineral kalsium, besi, dan fosfor menurut standar baku tempe tidak teridentifikasi dalam tempe dari produsen di wilayah kota Semarang.

#### **5.2 Saran**

Penelitian ini dapat dilakukan lebih lanjut menggunakan sampel tempe kedelai dengan jumlah produsen yang lebih bervariasi dari segi lingkungan agar data yang diperoleh semakin valid.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z. & Widarto. 2009. Analisis Kandungan Brom (Br) pada Air Sumur Gali di Desa Klampok Kabupaten Brebes Jawa Tengah dengan Metode Analisis Pengaktifan Neutron. *Seminar Nasional V SDM Teknologi Nuklir*.
- Awaludin, R. 2009. Pembuatan Nanopartikel Emas Radioaktif dengan Aktivasi Neutron. *Makara, Teknologi, Vol 13 No. 1*
- Badan Standardisasi Nasional. 2012. *Tempe: Persembahan Indonesia untuk Dunia*. Jakarta: Pusat Informasi dan Dokumentasi Badan Standardisasi Nasional.
- Bastian, F., E. Ishak, A. B. Tawali, & M. Bilang. 2013. Daya Terima dan Kandungan Zat Gizi Formula Tepung Tempe dengan Penambahan Semi Refined Carrageenan (SRC) dan Bubuk Kakao. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan, Vol 2 No.1*
- Bintari, S. H. 2013. Pasteurization for Hygienic Tempe. *GSTF International Journal of BioSciences, Vol. 2 No. 2*.
- Dwijananti, P. 2012. *Diktat Mata Kuliah Fisika Inti*. Semarang: Jurusan Fisika FMIPA UNNES.
- Dwijananti, P., Widarto, & Y. Darmawati. 2010. Penentuan Kadar Radionuklida pada Limbah Cair Pabrik Galvanis dengan Metode Analisis Aktivasi Neutron Thermal Reaktor Kartini. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia, 6(2010): 30-34*.
- Dwinaningsih, E. A. 2010. *Karakteristik Kimia dan Sensori Tempe dengan Variasi Bahan Baku Kedelai / Beras dan Penambahan Angkak serta Variasi Lama Fermentasi*. Skripsi. Surakarta: Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret.
- Hidayah, N., Resa Setia Adiandri, & Mary Astuti. 2012. Evaluasi Sifat Fisikokimiawi dan Organoleptik Tempe dari Berbagai Varietas Kedelai. *Widyariset, Vol 15 No.2*
- International Atomic Energy Agency. 2001. *Use of Research Reactors for Neutron Activation Analysis*. Vienna. Tersedia di [www-pub.iaea.org/MTCDD/.../te\\_1215\\_prn.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCDD/.../te_1215_prn.pdf) [diakses 29-01-2015].
- Kurniawan, R. 2012. *Pemetaan Fluks Neutron pada Pusat Teras Pasca Pergantian Bahan Bakar Reaktor Kartini*. Skripsi. Yogyakarta: FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- Kurniawan, Y. B. 2003. *Analisis Kandungan Unsur Merkuru ( Hg ) dalam Tanah Pertanian Menggunakan Metode Analisis Pengaktifan Neutron ( APN )*. Skripsi. Surakarta: FMIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Lestiani, D. D., Muhayatun, & Natalia Adventini. 2009. Aplikasi Teknik Analisis Aktivasi Neutron pada Karakterisasi Sampel SRM Lingkungan. *Indo. J. Chem., 9(2): 231-235*.
- Litz, M., Christopher Waits, & Jennifer Mullins. 2012. Neutron Activated Gamma Emission: Technology Review. Adelphi. Army Research Laboratory.
- Liyanasari, I. K. 2008. *Penetapan Kadar Fe dan Zn di dalam Tempe yang di Bungkus Plastik dan daun yang Dijual di Pasar Kartasura dengan*

- Menggunakan Metode Pengaktifan Neutron*. Skripsi. Surakarta: Fakultas Farmasi Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Mulyaningsih, T. R., Istanto, Saeful Yusuf, & Siti Suprpti. 2010. Analisis Unsur Toksik dan Makro-Mikro Nutrien dalam Bahan Makanan dengan Metode Analisis Aktivasi Neutron. *Jurnal Iptek Nuklir Ganendra*, Vol. 13 No. 1: 46-55
- Muslikhah, S., Choirul Anam, & MA. Martina Andriani. 2013. Penyimpanan Tempe dengan Metode Modifikasi Atmosfer ( *Modified Atmosphere* ) untuk Mempertahankan Kualitas dan Daya Simpan. *Jurnal Teknosains Pangan*, Vol. 2 No. 3.
- Niati, Pratiwi Dwijananti, & Widarto. 2008. Penentuan Kandungan Unsur pada Instalasi Pengolahan Air Limbah ( IPAL ) RSUP DR. Soeradji Tirtonegoro Klaten dengan Metode Analisis Aktivasi Neutron Reaktor Kartini. *Jurnal Pend. Fisika Indonesia*, Vol. 4 No. 2.
- Rahadiyanti, A. 2011. Pengaruh Tempe Kedelai Terhadap Kadar Glukosa Darah Pada Prediabetes. *Artikel Penelitian*. Semarang: Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro.
- Rohman, B. 2009. Koefisien Reaktivitas Temperatur Bahan Bakar Reaktor Kartini. *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*, Vol. X No.2: 59-70.
- Sasongko, D. P. & Wildan Panji Tresna. 2010. Identifikasi Unsur dan Kadar Logam Berat pada Limbah Pewarna dengan Metode Analisis Pengaktifan Neutron. *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi TELAAH*, Volume 27.
- Sediaoetama, A. D. 2008. *Ilmu Gizi untuk mahasiswa dan profesi*. Volume 1. Jakarta: Dian Rakyat.
- Seelig, M. S. 2009. Human Needs for Magnesium are not Met by Most People. *Mineral Resources International*
- Sriyadi. 2011. Respon Konsumen Tempe Terhadap Kenaikan Harga Kedelai di Kabupaten Bantul. *Prosiding dalam Seminar Internasional dan Call for Papers "Towards Excellent Small Business"*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Suarsana, I N., Samuel Leonardo Silitonga, I Nyoman Sadra Dharmawan, I Made Kardena, & Bambang Pontjo Priosoeryanto. 2014. Pemberian Tepung tempe Meningkatkan Kualitas Tulang pada Tikus Ovariektomi. *Jurnal Veteriner*, Vol 15 No.4: 548-556
- Susetyo, W. 1988. Spektrometri Gamma dan Penerapannya dalam Analisis Pengaktifan Neutron. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Suwarno, M., Made Astawan, Tutik Wresdiyati, Sri Widowati, Siti Harnina Bintari, & Mursyid. 2014. Evaluasi Keamanan Tempe dari Kedelai Transgenik Melalui Uji Subkronis pada Tikus. *Jurnal Veteriner*, Vol 15 No.3: 353-362.
- Syarip. 2002. Eksperimen Pembuatan Sistem Penganalisis Unsur dengan Metode Gama Serentak Menggunakan Sumber Neutron Pu-Be. *Ganendra*, Vol.V, No.1
- WHO. 2003. *Aluminium in Drinking-water*. Geneva: WHO Press

WHO. 2004. *Copper in Drinking-water*. Geneva: WHO Press  
WHO. 2009. *Potassium in drinking-water*. Geneva: WHO Press  
WHO. 2011. *Manganese in Drinking-water*. Geneva: WHO Press  
Yuniastuti, A. 2008. *Gizi dan Kesehatan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

<http://www.faqs.org/nutrition/Met-Obe/Minerals.html>  
[health.detik.com/read/2011/11/25/110142/1775414/766](http://health.detik.com/read/2011/11/25/110142/1775414/766)  
<https://indone5ia.wordpress.com/2012/02/17/prinsip-kerja-pembangkit-listrik-tenaga-nuklir/>  
[www.meminerals.com/usage.asp](http://www.meminerals.com/usage.asp)

