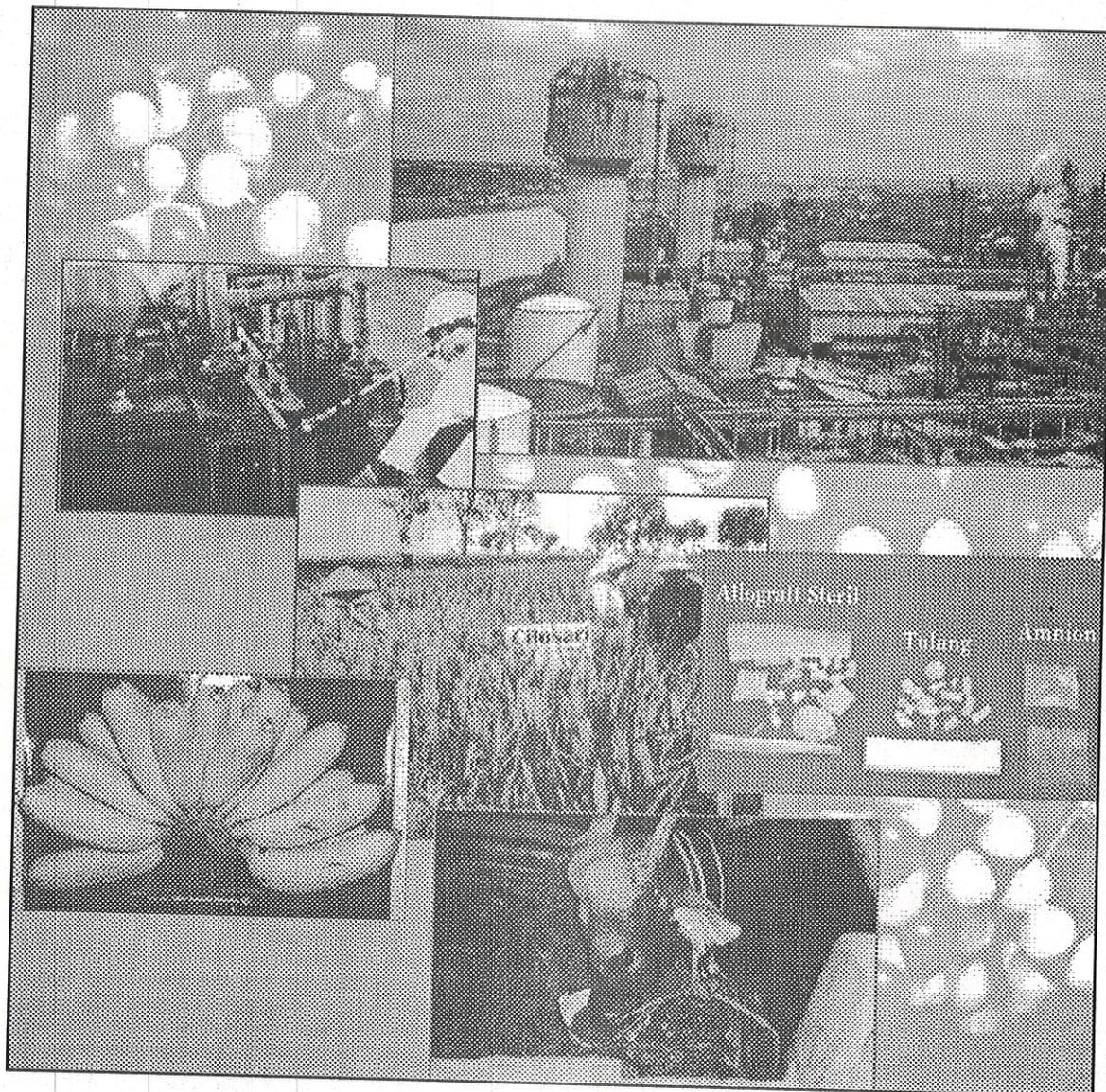


RISALAH PERTEMUAN ILMIAH PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI



**Industri, Lingkungan, Kesehatan,
Pertanian dan Peternakan**



**BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL
PUSLITBANG TEKNOLOGI ISOTOP DAN RADIASI
JAKARTA, 2002**

ISBN 979-85708-5-4

APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI RESEPTIF DAN PENGEMBANGAN RESEPTIF



Pertanian dan Peternakan,
Industri, Lingkungan, Kesehatan

BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL
PUSITBANG TEKNOLOGI ISOTOP DAN RADIASI
JAKARTA, 2002



**RISALAH PERTEMUAN ILMIAH
PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN
APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI
2001**

Jakarta, 6 - 7 Nopember 2001

Industri, Lingkungan, Kesehatan,
Pertanian dan Peternakan



**BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL
PUSLITBANG TEKNOLOGI ISOTOP DAN RADIASI**

RISALAH PERTANTAN ILMIAH
PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN
APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI

2001

Jakarta, 6 - 7 Nopember 2001

Pertanian dan Perikanan,
Industri, Lingkungan, Kesehatan,



PUSITBANG TEKNOLOGI ISOTOP DAN RADIASI
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL

- Penyunting :
- | | |
|---|---|
| 1. Dra. Nazly Hilmy, Ph.D, APU | P3TIR - BATAN |
| 2. Dr. Ir. Moch. Ismachin, APU | P3TIR - BATAN |
| 3. Dr. F. Suhadi, APU | P3TIR - BATAN |
| 4. Ir. Elsje L. Pattiradjawane, MS, APU | P3TIR - BATAN |
| 5. Dr. Singgih Sutrisno, APU | P3TIR - BATAN |
| 6. Marga Utama, B.Sc, APU | P3TIR - BATAN |
| 7. Ir. Wandowo | P3TIR - BATAN |
| 8. Dr. Made Sumatra, MS, APU | P3TIR - BATAN |
| 9. Dr. Mugiono, APU | P3TIR - BATAN |
| 10. Drs. Edih Suwadji, APU | P3TIR - BATAN |
| 11. Dr. Sofjan Yatim | P3TIR - BATAN |
| 12. Dr. Ishak, M.Sc. M.ID, APU | P3TIR - BATAN |
| 13. Dr. Nelly D. Leswara | P3TIR - BATAN |
| 14. Dr. Ir. Komaruddin Idris | Universitas Indonesia
Institut Pertanian Bogor |

PERTEMUAN ILMIAH PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI (2002 : JAKARTA), Risalah pertemuan ilmiah penelitian dan pengembangan aplikasi isotop dan radiasi, Jakarta, 6 - 7 Nopember 2001 / Penyunting, Nazly Hilmy ... (et al) -- Jakarta : Badan Tenaga Nuklir Nasional, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi, 2002.
1 jil.; 30 cm

Isi jil. 1. Industri, Lingkungan, Kesehatan, Pertanian dan Peternakan

ISBN 979-95709-8-0

I. Isotop - Seminar I. Judul II. Nazly Hilmy

541.388

Alamat : Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi
Jl. Cinere Pasar Jumat
Kotak Pos 7002 JKSKL
Jakarta 12070
Telp. : 021-7690709
Fax. : 021-7691607; 7513270
E-mail : p3tir@batan.go.id; sroji@batan.go.id
Home page : <http://www.batan.go.id/p3tir>

DAFTAR ISI

Pengantar	i
Daftar Isi	iii
Laporan Ketua Panitia Pertemuan Ilmiah	vii
Sambutan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional	ix
MAKALAH UNDANGAN	
Strategi Pengembangan Sumber Daya Manusia untuk Pemberdayaan Usaha Kecil Menengah PROF. Dr. ERIYATNO (Deputi SDM - BPSD KUKM)	1
Role of Isotopes and Radiation for Industrial Development and Advance Materials Dr. TADAO SEGUCHI (TRCRE, JAERI)	5
Strategi Pengembangan Industri Nasional Memasuki Abad Ke-21 Dirjen Industrial Kimia, Agro dan Hutan Industri	9
MAKALAH PESERTA	
Penyelidikan tingkat kebocoran bendungan Jatiluhur dengan pendekatan isotop alam dan hidro-kimia PASTON SIDAURUK, INDROJONO, DJONO, EVA RISTA RISTIN, SATRIO, dan ALIP	25
Penyelidikan daerah imbuhan air tanah Bekasi dengan teknik hidroisotop SYAFALNI, M. SRI SAENI, SATRIO, dan DJIJONO	33
Indikasi erosi di daerah perkebunan teh - gunung mas - Puncak - Jawa Barat menggunakan isotop alam ¹³⁷ Cs NITA SUHARTINI, BAROKAH ALIYANTA, dan ALI ARMAN LUBIS	43
Penentuan konsentrasi ²²⁶ Ra dalam air minum dan perkiraan dosis interna dari beberapa lokasi di Jawa dan Sumatera SUTARMAN, MARZAINI NAREH, TUTIK INDIYATI, dan MASRUR	49
Daerah resapan air tanah cekungan Jakarta WANDOWO, ZAINAL ABIDIN, ALIP, dan DJIJONO	57
Radioaktivitas lingkungan pantai Makassar : Pemantauan unsur torium dan plutonium dalam sedimen permukaan A. NOOR, N. KASIM, Y.T. HANDAYANI, MAMING, MERLIYANI, dan O. KABI	65
Metode perunut untuk menganalisis sifat aliran air dalam jaringan pipa SUGIHARTO, PUGUH MARTYASA, INDROJONO, HARIJONO, dan KUSHARTONO..	69
Penentuan nilai $\delta^{34}\text{S}$ dalam pupuk dan aplikasinya untuk menentukan sumber sulfur pada air tanah kampung Loji Krawang E. RISTIN PUJI INDIYATI, ZAINAL ABIDIN, JUNE MELLAWATI, PASTON SIDAURUK, dan NENENG L.R.,	75
Pembuatan komposit campuran serbuk kayu - poliester - serat sabut kelapa untuk papan partikel SUGIARTO DANU, DARSONO, PADMONO, dan ANGESTI BETTY	81
Kombinasi pelapisan permukaan kayu lapis Meranti (<i>Shorea spp</i>) dengan metode konvensional dan radiasi Ultra Violet DARSONO, dan SUGIARTO DANU	89

Studi kopolimerisasi radiasi stirena ke dalam film karet alam (Pengaruh dosis iradiasi dan kadar monomer) SUDRAJAT ISKANDAR, ISNI MARLIYANTI, dan MADE SUMARTI K.	95
Pengaruh pencucian dan pemanasan terhadap sifat fisik mekanik barang celup dari lateks alam iradiasi MADE SUMARTI K., MARGA UTAMA, dan DEVI LISTINA	103
Studi distribusi waktu tinggal pada proses pencampuran kontinyu dengan model bejana berderet SUGIHARTO, INDROJONO, KUSHARTONO, dan IGA WIDAGDA	109
Studi radiasi latar belakang sinar Gamma di laboratorium Sedimentologi, P3TIR, BATAN dengan spektrometri Gamma ALI ARMAN LUBIS, BAROKAH ALIYANTA, dan DARMAN	117
Penentuan Uranium dan Thorium sedimen laut dengan metode aktif dan pasif ALI ARMAN LUBIS, dan JUNE MELLAWATI.....	125
Deteksi virus hepatitis B (VHB) dalam serum darah dengan teknik PCR (<i>Polymerase Chain Reaction</i>) LINA, M.R., DADANG S., dan SUHADI, F.,	131
Pendahuluan pembuatan Kit Ria mikroalbuminuria untuk pemeriksaan albuminuria SUKIYATI D.J., SITI DARWATI, GINA M., DJOHARLY, TRININGSIH, dan SULAIMAN.....	137
Ekstraksi Uranium dari limbah cair artifisial dengan teknik membran cair aliran kontinyu RUSDIANASARI, dan BUCHARI	143
Meningkatkan akurasi probabilitas pancaran sinar Gamma energi 165.9 keV untuk ¹³⁹ Ba dengan peralatan koinsiden 4πβ-γ NADA MARNADA, dan GATOT WURDIYANTO.....	149
Efek demineralisasi dan iradiasi gamma terhadap kandungan Kalsium dan kekerasan tulang <i>Bovine</i> liofilisasi B. ABBAS, F. ANAS, S. SADJIRUN, P. ZAKARIA, dan N. HILMY	155
<i>Rejection study of cancelous allograft in emergency orthopaedic operation</i> MENKHER MANJAS, and NAZLY HILMY	161
<i>Experience of using amniotic membrane after circumcision</i> MENKHER MANJAS, ISMAL, and DODY EFMANSYAH	165
<i>Using amniotic membrane as wound covering after cesarean section operation</i> MENKHER M., and HELFIAL HELMI	169
Efek <i>Glutathione</i> terhadap daya tahan khamir <i>Schizosaccharomyces pombe</i> yang diiradiasi dalam N ₂ , N ₂ O, dan O ₂ NIKHAM	173
Radiolisis pati larut sebagai senyawa model polisakarida. I. Efek pelarut dan laju dosis iradiasi YANTI S. SOEBIANTO, SITI MEILANI S., dan DIAH WIDOWATI.....	181
Pengaruh iradiasi gamma terhadap derajat kekuningan (<i>Yellowness Index</i>) dan sifat mekanik plastik pengemas makanan RINDI P. TANHINDARTO, dan DIAN I.	191
Metode analisis unsur dengan spektrometri <i>total reflection x-ray fluorescence</i> YULIZON MENRY, ALI ARMAN LUBIS, dan PETER WOBRAUSCHEK	205

Pembentukan galur tanaman kacang tanah yang toleran terhadap Aluminium melalui kultur <i>in vitro</i> ALI HUSNI, I. MARISKA, M. KOSMIATIN, ISMIATUN, dan S. HUTAMI	215
Pembentukan kalus dan <i>spot</i> hijau dari kultur Antera galur mutan cabai keriting (<i>Capsicum annuum</i> L.) secara <i>in vitro</i> AZRI KUSUMA DEWI, dan ITA DWIMAHYANI	221
Peningkatan toleransi terhadap Aluminium dan pH rendah pada tanaman kedelai melalui kultur <i>in vitro</i> IKA MARISKA, SRI HUTAMI, dan MIA KOSMIATIN	225
Efek radiasi sinar gamma dosis rendah pada pertumbuhan kultur jaringan tanaman ciplukan (<i>Pysalis angulata</i> L.) ROSMIARTY A. WAHID	235
Pengujian galur mutan Sorghum generasi M4 terhadap kekeringan di Gunung Kidul SOERANTO, H., CARKUM, SIHONO, dan PARNO	241
Evaluasi penampilan fenotip dan stabilitas beberapa galur mutan kacang hijau di beberapa lokasi percobaan RIYANTI SUMANGGONO, dan SOERANTO HUMAN	247
Penggunaan pupuk hayati fosfat alam untuk meningkatkan produksi tanaman jagung di lahan kering HAVID RASJID, J. WEMAY, E.L. SISWORO, dan W.H. SISWORO	255
Pertumbuhan dan produksi kacang hijau pada kondisi ketersediaan air terbatas THOMAS	261
Peningkatan keragaman sifat agronomi tanaman melati <i>Jasminum sambac</i> (L.) W. Ait dengan teknik mutasi buatan LILIK HARSANTI, dan MUGIONO	273
Pengaruh sumber eksplan dan <i>Thidiazuron</i> dalam media terhadap regenerasi eksplan mutan nilam (<i>Pogostemon cablin</i> Benth.) ISMIYATI SUTARTO, MASRIZAL, dan YULIASTI	281
Kombinasi bahan organik dan pupuk N inorganik untuk meningkatkan hasil dan serapan N padi gogo IDAWATI, dan HARYANTO	287
Kuantifikasi transformasi internal ¹⁵ N untuk memprediksi daya suplai Nitrogen pada lahan paska deforestasi I.P. HANDAYANI, P. PRAWITO, dan E.L. SISWORO	295
Pengaruh fosfat alam dan pupuk kandang terhadap efisiensi pemupukan P pada oxisol Sumatera Barat JOKO PURNOMO, KOMARUDDIN IDRIS, SUWARNO, dan ELSJE L. SISWORO	305
Studi kandungan unsur mikro pada UMMB sebagai suplemen pakan ternak ruminansia FIRSONI, YULIZON MENRY, dan BINTARA HER SASANGKA	313
Penggunaan suplemen pakan dan pemanfaatan teknik <i>radioimmunoassay</i> (RIA) untuk meningkatkan efisiensi Inseminasi Buatan (IB) TOTTI TJIPTOSUMIRAT, DADANG SUPANDI, dan FIRSONI	319
Pembuatan antibodi pada kelinci yang diimunisasi dengan <i>Brucella abortus</i> SUHARNI SADI	325

Pengaruh dosis inokulasi <i>Trypanosoma evansi</i> terhadap gambaran darah hewan inang mencit M. ARIFIN	333
Penentuan dosis iradiasi pada <i>Fasciola gigantica</i> (cacing hati) yang memberi perlindungan pada kambing B.J. TUASIKAL, M. ARIFIN, dan TARMIZI	337
Pengalihan jenis kelamin ikan nila gift (<i>Oreochromis niloticus</i>) dengan pemberian hormon testosteron alami ADRIA P.M. HASIBUAN, dan JENNY M. UMAR	345
Pengamatan klinis dan serologis pada domba pasca vaksinasi L-3 iradiasi cacing <i>Haemonchus contortus</i> dalam uji skala lapangan SUKARJI PARTODIHARDJO, dan ENUH RAHARJO	349
Pengaruh iradiasi terhadap cemaran bakteri pada udang windu (<i>Penaeus monodon</i>) HARSOJO, DIDI ROHADI, LYDIA ANDINI S., dan ROSALINA S.H.	355
Kondisi optimal untuk penentuan radioaktivitas serangga hama bertanda P-32 dengan menggunakan pencacah sintilasi cair YARIANTO S., BUDI SUSILO, dan S. SUTRISNO	361
Kemandulan terinduksi radiasi pada hama kapas <i>Helicoverpa armigera</i> Hubner (Lepidoptera : Noctuidae) dan kemandulan yang diturunkan pada generasi F1 SUHARYONO, dan S. SUTRISNO	367
Pengembangan parasitasi <i>Biosteres</i> sp pada larva <i>Bactrocera carambolae</i> (DREW & HANCOCK) sebagai komplementer teknik serangga mandul DARMAWI SIKUMBANG, INDAH A. NASUTION, M. INDARWATMI, dan ACHMAD N. KUSWADI	373
Pengaruh iradiasi gamma terhadap Thiamin & Riboflavin pada ikan tuna (<i>T. thynnus</i>) dan salem (<i>Onchorhynchus gorbuscha</i>) segar RINDY P. TANHINDARTO, FOX, J.B., LAKRITZ, L., dan THAYER, D.W.	379
Budidaya ikan Nila gift yang diberi pakan pelet kelapa sawit YENNI M.U., dan ADRIA P.M.	385
Sintesis hidrogel kopoli (2-hidroksi etil metakrilat/N-vinil pirrolidon) dengan iradiasi gamma dan immobilisasi ametrin ERIZAL	389

MENINGKATKAN AKURASI PROBABILITAS PANCARAN SINAR GAMMA ENERGI 165,9 KEV UNTUK ^{139}Ba DENGAN PERALATAN KOINSIDEN $4\pi\beta\text{-}\gamma$

Nada Marnada* dan Gatot Wurdianto**

* Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN, Jakarta

** Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedical Nuklir, BATAN, Jakarta

ABSTRAK

MENINGKATKAN AKURASI PROBABILITAS PANCARAN SINAR GAMMA ENERGI 165,9 KEV UNTUK ^{139}Ba DENGAN PERALATAN KOINSIDEN $4\pi\beta\text{-}\gamma$. Radioisotop dengan waktu paruh relatif pendek sering dimanfaatkan untuk beberapa kegiatan seperti *tracer* dan aktivasi neutron. Untuk memenuhi kebutuhan pada radioisotop ^{139}Ba yang juga memiliki waktu paruh pendek ($T_{1/2} = 82,9$ menit), data nuklir berupa probabilitas pancaran sinar gamma yang diperlukan untuk menentukan aktivitas perlu ditentukan. Hasil yang akurat diperoleh melalui pengukuran menggunakan peralatan koincidensi $4\pi\beta\text{-}\gamma$ yaitu peralatan yang dapat mengukur aktivitas radioisotop yang memiliki waktu paruh pendek dengan nilai ketidakpastian yang relatif kecil. Pengukuran probabilitas pancaran sinar gamma energi 165,9 keV yang dipancarkan oleh ^{139}Ba menggunakan peralatan tersebut menghasilkan probabilitas sebesar 22,99 (7) %. Dibandingkan dengan probabilitas sebesar 23,76 (25) % yang dihasilkan Gehrke, hasil pengukuran sekarang memiliki nilai ketidakpastian yang jauh lebih kecil atau, dengan kata lain, probabilitas pancaran sinar gamma yang jauh lebih akurat.

Kata kunci: ^{139}Ba , 165,9 keV, sinar gamma, probabilitas pancaran, intensitas relatif, intensitas sinar beta

ABSTRACT

IMPROVEMENT OF THE ACCURACY OF GAMMA RAY EMISSION PROBABILITY WITH ENERGY OF 165.9 keV FOR ^{139}Ba BY USING A $4\pi\beta\text{-}\gamma$ COINCIDENCE APPARATUS. Radioisotopes with relatively short half-lives are frequently used for some applications such as tracer and neutron activation. To fulfill the need for ^{139}Ba radioisotope that also has short half-life ($T_{1/2} = 82.9$ min), its nuclear data of gamma ray emission probability that necessary for determination of activity is important to be determined. The accurate result is obtained by using a $4\pi\beta\text{-}\gamma$ coincidence apparatus, an apparatus that has an ability to measure the activity of radioisotope with short half-life attributed with small uncertainty. The measurement of emission probability for 165.9 keV gamma ray of ^{139}Ba by using the apparatus has resulted in the value of 22.99 (7) %. Comparing to that reported by Gehrke using similar method with the result of 23.76 (25) %, the present result has much smaller uncertainty or, in other word, the present gamma ray emission probability is much more accurate.

Key words: ^{139}Ba , 165.9 keV, gamma-ray, emission probability, relative intensity, beta-ray intensity

PENDAHULUAN

Probabilitas pancaran sinar gamma, didefinisikan sebagai jumlah kuantum sinar gamma yang dipancarkan per 100 kali peluruhan, merupakan parameter yang penting dalam beberapa bidang penelitian produk radiasi nuklir dan aplikasi radioisotop seperti monitoring isotop, tracer, analisis aktivasi neutron, kedokteran nuklir, dan menentukan pancaran panas yang dihasilkan dalam proses pembelahan nuklir. Untuk mendapatkan hasil atau jumlah yang akurat diperlukan nilai probabilitas pancaran sinar gamma seakurat mungkin. Sebagai contoh, dalam suatu pembelahan nuklir ^{235}U dihasilkan nuklida dengan nomor massa 139 sebanyak 6,6%. Salah satu radioisotop yang dihasilkan dalam rantai peluruhan adalah ^{139}Ba . Jumlah panas yang dihasilkan akibat pancaran nuklida bernomor massa 139 dalam pembelahan nuklir ^{235}U dapat ditentukan jika jumlah nuklida yang dipancarkan dapat ditentukan. Salah satu cara untuk menentukan jumlah nuklida adalah dengan menggunakan parameter probabilitas pancaran sinar

gamma. Karena itu jika data probabilitas pancaran dapat ditentukan secara akurat maka jumlah panas yang dipancarkan juga dapat ditentukan dengan akurat.

^{139}Ba adalah radioisotop pemancar beta-gamma yang meluruh menjadi ^{139}La dengan waktu paruh 82,9 menit. Karena waktu paruhnya yang relatif pendek ^{139}Ba dapat digunakan untuk berbagai kegiatan seperti *tracer* dan aktivasi neutron. Di antara sinar beta yang dipancarkan dalam transisinya, dua transisi terkuat adalah untuk transisi ke keadaan stabil (*ground state*) dan ke keadaan tereksitasi tingkat 165,9 keV. Burrows(1) melaporkan bahwa transisi untuk ke masing-masing keadaan tersebut adalah 70 % dan 24 % yang berarti transisi ke tingkat-tingkat energi lainnya hanya memiliki persentase dengan jumlah 6 %. Sinar gamma yang dipancarkan dari tingkat energi 165,9 keV adalah hanya sinar gamma dengan energi 165,9 keV. Oleh karena itu probabilitas pancaran sinar gamma tersebut jauh lebih besar dari sinar gamma lain yang dipancarkan oleh nuklida ^{139}Ba . Karena itulah untuk mendapatkan fluktuasi statistik yang kecil dalam pengukuran ini yang ditentukan secara langsung hanya

probabilitas pancaran sinar gamma energi 165,9 keV. Untuk memberikan data peluruhan nuklir lainnya dalam pengukuran ini juga ditentukan intensitas sinar beta ^{139}Ba (*beta-ray branching ratio*) menggunakan data probabilitas pancaran dan intensitas relatif sinar gamma.

BAHAN DAN METODE

Percobaan dilakukan di Institut Reaktor Penelitian Universitas Kyoto (*Kyoto University Research Reactor Institute*), Jepang. Radioisotop ^{139}Ba dibuat dengan cara mengiradiasi ^{138}Ba sebanyak 0,5 mgram yang telah dimasukkan ke dalam kapsul khusus untuk iradiasi dengan fluks termal neutron sebesar $2,75 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ di reaktor selama 10 menit. Setelah iradiasi larutan HCl dimasukkan ke dalam kapsul yang mengandung radioisotop ^{139}Ba untuk membuat sumber cair. Dengan menggunakan pipet sumber diletakkan di atas film VYNS (kopolimer dari *vinyl acetate* dan *vinyl chloride*) yang direntangkan pada cincin metal dengan diameter luar dan dalam masing-masing 39 dan 15 mm. Kemudian, sumber dilapisi dengan film yang sama sebelum dikeringkan di bawah lampu infra-merah.

Sumber yang diletakkan di atas film VYNS tersebut diperlukan untuk pengukuran menggunakan peralatan koinsiden $4\pi\beta\text{-}\gamma(2)$. Selain memiliki keunggulan dapat menentukan aktivitas yang akurat karena dilengkapi dengan sistem pengukuran dua dimensi, peralatan ini dapat mengukur dengan cepat suatu radioisotop yang meluruh dengan waktu paruh pendek karena detektor beta memiliki bagian penempatan sumber tipe *sliding*. Dalam percobaan ini ditentukan pula intensitas relatif sinar gamma yang berfungsi untuk menurunkan probabilitas pancaran sinar gamma energi-energi lain dan intensitas sinar beta ^{139}Ba . Karena itu dilakukan pengukuran spektrum dengan spektrometer yang menggunakan detektor HPGe tipe koaksial dengan efisiensi relatif 30 %. Sumber untuk spektrometer dibuat dengan cara meneteskan sumber cair di atas film mylar dengan kuantitas yang lebih besar dari sumber untuk pengukuran dengan peralatan koinsiden $4\pi\beta\text{-}\gamma$. Pembuatan sumber dengan kuantitas besar dimaksudkan untuk memperoleh intensitas spektrum sinar gamma ^{139}Ba yang kuat.

Pengukuran menggunakan peralatan koinsiden $4\pi\beta\text{-}\gamma$ dilakukan tiga kali untuk setiap sumber sampel, yaitu dua kali pengukuran laju disintegrasi dan satu kali pengukuran intensitas absolut. Pengukuran laju disintegrasi dilakukan dua kali untuk meminimalkan kehilangan cacahan karena "waktu mati" (*dead time loss*) dan untuk mendapatkan fluktuasi statistik yang kecil. Pada pengukuran menggunakan spektrometer, satu sumber diukur berulang-ulang untuk meminimalkan kehilangan cacahan karena "waktu mati". Setiap kali pengukuran dilakukan dalam waktu yang sama. Spektrum-spektrum yang diperoleh dari pengukuran satu sumber dijumlah untuk mendapatkan intensitas spektrum sinar gamma yang kuat.

Detektor sinar gamma yang digunakan dalam peralatan koinsiden $4\pi\beta\text{-}\gamma$ adalah detektor HPGe tipe koaksial dengan efisiensi relatif 25 %. Efisiensi deteksi detektor-detektor yang digunakan dalam peralatan di atas dikalibrasi menggunakan enam sumber standar yang biasa dipakai yaitu ^{46}Sc , ^{56}Co , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{133}Ba , dan ^{152}Eu dengan jumlah total puncak gamma yang digunakan sebanyak 24 buah. Pengukuran sumber-sumber standar dengan peralatan koinsiden $4\pi\beta\text{-}\gamma$ dilakukan sama seperti pengukuran sumber sampel. Sedangkan pengukuran dengan spektrometer cukup satu kali tapi dalam waktu yang panjang karena sumber-sumber standar memiliki waktu paruh yang panjang. Probabilitas pancaran sinar gamma untuk sumber-sumber standar tersebut diadopsi dari *IAEA-Technical Documentation*(3).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Salah satu contoh spektrum energi sinar gamma ^{139}Ba yang diperoleh dari hasil pengukuran diperlihatkan pada Gambar 1. Terlihat jelas pada spektrum bahwa puncak sinar gamma dengan energi 165,9 keV jauh lebih tinggi dibandingkan dengan puncak-puncak sinar gamma lain yang dipancarkan ^{139}Ba . Intensitas relatif puncak sinar gamma yang ditunjukkan pada gambar dengan energi 1420,5 keV hanya sekitar satu per seratus dari intensitas relatif puncak sinar gamma dengan energi 165,9 keV. Meskipun demikian, selain probabilitas pancaran sinar gamma energi 165,9 keV, probabilitas pancaran sinar gamma energi 1420,5 keV juga diberikan dalam tabel hasil untuk membandingkan dengan data yang diberikan dalam literatur. Data intensitas relatif sinar gamma 1420,5 keV digunakan untuk menentukan probabilitas pancarannya.

Hasil pengukuran probabilitas pancaran sinar gamma ^{139}Ba ditunjukkan pada Tabel 1. Untuk menguji hasil pengukuran, data probabilitas pancaran sinar gamma yang dilaporkan dalam literatur juga diperlihatkan pada tabel. Dari pengukuran lima sumber sampel ^{139}Ba diperoleh lima data yang seragam dalam lingkup satu simpangan standar (*one standard deviation*) dengan nilai ketidakpastian kurang dari 1%. Nilai rata-rata probabilitas pancaran sinar gamma kelima data tersebut adalah sebesar 22,97 (7) % untuk energi 165,9 keV. Dibandingkan dengan probabilitas pancaran sinar gamma yang dilaporkan Gehrke(4) dan Burrows(1), probabilitas pancaran sinar gamma energi 165,9 keV hasil pengukuran sekarang mempunyai nilai absolut sekitar 3 % lebih kecil. Sedangkan ketidakpastian (*uncertainty*) yang diperoleh jauh lebih kecil dibandingkan dengan yang dilaporkan baik oleh Gehrke maupun oleh Burrows.

Burrows menggunakan data intensitas relatif dan faktor normalisasi untuk menghitung probabilitas pancaran sinar gamma. Karena kedua parameter tersebut mempunyai nilai ketidakpastian yang besar, maka hasil perhitungannya memberikan ketidakpastian yang besar pada probabilitas pancaran sinar gamma yang ditentukan. Faktor normalisasinya sendiri

diturunkan menggunakan probabilitas pancaran sinar gamma yang dilaporkan oleh Gehrke untuk energi 1420,5 keV. Peralatan yang digunakan Gehrke serupa dengan peralatan yang digunakan dalam pengukuran ini, yaitu peralatan koinsiden $4\pi\beta\text{-}\gamma$. Akan tetapi dalam penentuan laju disintegrasi digunakan lembaran nikel sebagai *absorber* untuk mendapatkan efisiensi deteksi sinar beta yang berbeda-beda. Akibatnya, laju disintegrasi absolut yang ditentukan mempunyai ketidakpastian yang besar karena variasi efisiensi sinar beta yang diperoleh terlalu sedikit dan aktivitas yang diukur semakin kecil pada nilai-nilai efisiensi sinar beta yang terakhir. Karena laju disintegrasi digunakan dalam penentuan probabilitas pancaran sinar gamma maka hasilnya juga mempunyai nilai ketidakpastian yang relatif besar. Untuk probabilitas pancaran sinar gamma energi 1420,5 keV, baik yang ditentukan dalam pengukuran maupun yang dilaporkan oleh Gehrke nilainya dihitung menggunakan data relatif intensitas dan probabilitas pancaran sinar gamma energi 165,9 keV. Karena itu pada Tabel 1 tidak dicantumkan data hasil pengukuran sinar gamma energi 1420,5 keV. Probabilitas pancaran sinar gamma dalam pengukuran mempunyai nilai kepastian yang lebih baik karena nilai ketidakpastian probabilitas pancaran sinar gamma energi 165,9 keV jauh lebih kecil.

Data probabilitas pancaran kedua energi yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan data intensitas relatif sinar gamma energi lain yang diperoleh dari hasil pengukuran dengan spektrometer digunakan untuk menurunkan intensitas sinar beta ^{139}Ba . Data intensitas relatif dikonversi terlebih dahulu menjadi probabilitas pancaran sinar gamma. Sebagian intensitas sinar beta hasil perhitungan yang mempunyai nilai relatif besar ditunjukkan pada Tabel 2. Data yang diperoleh dari literatur juga ditunjukkan pada tabel tersebut untuk perbandingan.

Tabel 2 menunjukkan bahwa dibandingkan dengan data yang dilaporkan dalam literatur, intensitas sinar beta hasil pengukuran memiliki nilai yang lebih akurat baik untuk transisi yang langsung ke keadaan stabil (energi sinar beta: 2310,0 keV) ataupun transisi ke keadaan tereksitasi. Hal ini disebabkan probabilitas pancaran sinar gamma yang dihasilkan dalam pengukuran memiliki nilai ketidakpastian yang jauh lebih kecil. Dalam *paper* Gehrke hanya menentukan intensitas sinar beta untuk energi 2144,1 keV karena intensitas untuk energi lain terlalu kecil.

Ringkasan hasil pengukuran, yaitu probabilitas pancaran sinar gamma untuk semua energi dan intensitas sinar beta untuk ke semua tingkat energi diberikan dalam Gambar 2 berupa skema peluruhan ^{139}Ba menjadi ^{139}La setelah memancarkan sinar beta dan gamma. Tingkat energi dan skema peluruhan diadopsi dari *Table of Isotopes*[5]. Pada gambar ini $E_\gamma(\text{keV})$ adalah energi sinar gamma dalam keV, $P_\gamma(\%)$ adalah probabilitas pancaran sinar gamma dalam %, $E_\beta(\text{keV})$ adalah energi maksimal sinar beta dalam keV dan $P_\beta(\%)$ adalah intensitas sinar beta dalam %. Sedangkan P_e adalah probabilitas pancaran untuk elektron konversi dalam %.

KESIMPULAN

Pengukuran probabilitas pancaran sinar gamma energi 156,9 keV untuk ^{139}Ba menggunakan peralatan koinsiden $4\pi\beta\text{-}\gamma$ menghasilkan probabilitas dengan nilai 22,97 (7) % yang jauh lebih akurat dari yang dilaporkan dalam literatur. Peningkatan dalam akurasi probabilitas sinar gamma ditunjukkan dengan nilai ketidakpastian yang hanya sebesar 0,3 %. Sedangkan nilai ketidakpastian probabilitas pancaran sinar gamma yang dilaporkan Burrows dan Gehrke masing-masing adalah lebih dari 14 % dan lebih dari 1 %. Nilai absolut probabilitas pancaran sinar gamma hasil pengukuran adalah sekitar 3 % lebih kecil dari yang dihasilkan oleh Gehrke.

Peningkatan akurasi probabilitas pancaran sinar gamma juga memberikan peningkatan akurasi intensitas sinar beta baik untuk transisi ke keadaan tereksitasi maupun ke keadaan stabil. Sebagai contoh, intensitas sinar beta untuk transisi langsung ke keadaan stabil (ditunjukkan dengan energi sinar beta 2310,0 keV dalam Tabel 2) yang dihasilkan dalam pengukuran adalah 70,95 (7) % sedangkan nilai yang dilaporkan oleh Burrows adalah 69,98 (31) %.

Dengan demikian dalam pengukuran kali ini telah diperoleh peningkatan akurasi dua parameter peluruhan yaitu probabilitas pancaran sinar gamma dan intensitas sinar beta untuk nuklida ^{139}Ba .

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. H. Miyahara, pembimbing penulis di Universitas Nagoya, Jepang, yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan percobaan dengan sampel ^{139}Ba dan menggunakan peralatan koinsidennya. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada peneliti di Institut Reaktor Penelitian Universitas Kyoto yaitu Dr. S. Yamada dan Dr. A. Taniguchi yang memberikan bantuan selama melakukan percobaan di fasilitas penelitian tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

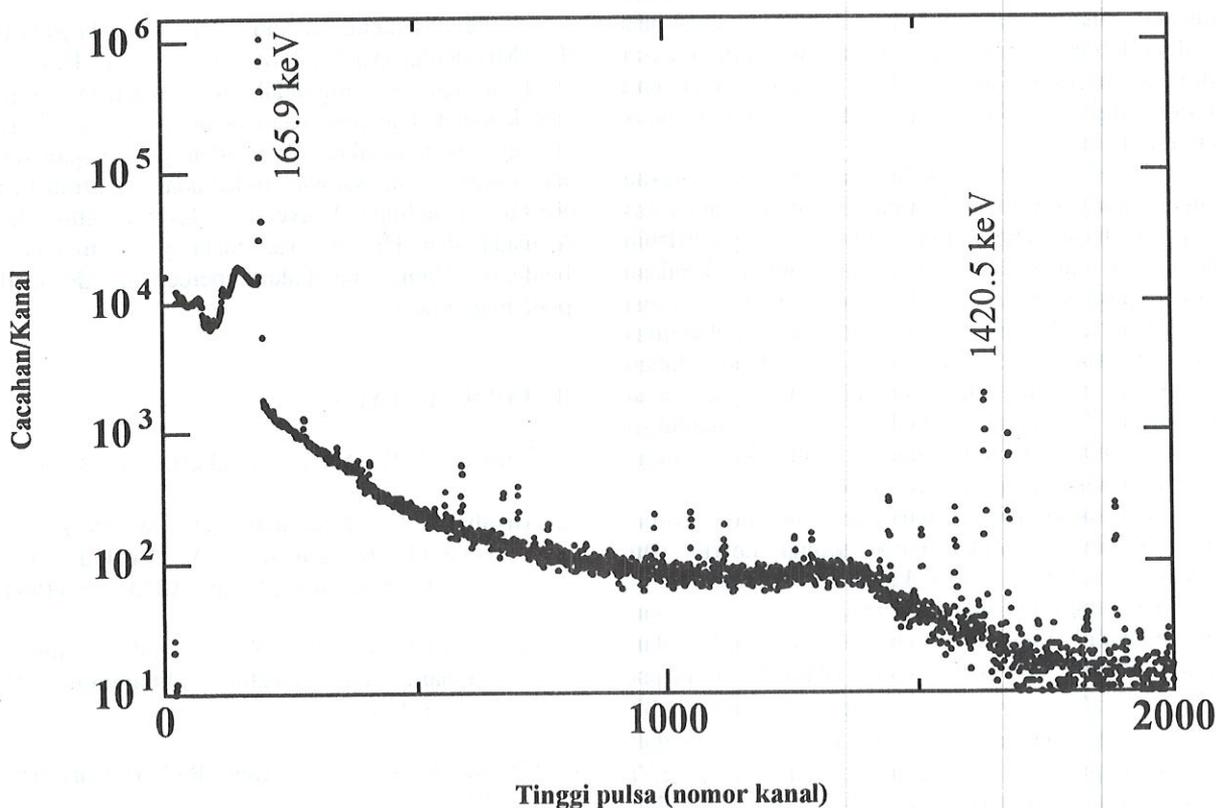
1. Burrows, T. W.: Nucl. Data Sheets, 57, 337 (1989).
2. Miyahara, H., Matumoto, H., Wurdianto, G., Yanagida, K., Takenaka, Y., Yoshida, A. and Mori, C.: Nucl. Instr. Meth., A353, 229 (1994).
3. IAEA-TECDOC-619: X-ray and Gamma-ray Standards for Detector Calibration, IAEA, Vienna, 1991.
4. Gehrke, R. J.: Int. J. Appl. Radiat. Isot., 31, 37 (1980).
5. Firestone, R. B. and Shirley, V. S.: Table of Isotopes, 8th edition, J. Wiley, New York, 1996.

Tabel 1. Probabilitas pancaran sinar gamma (%) energi 165,9 dan 1420,5 keV untuk ¹³⁹Ba.

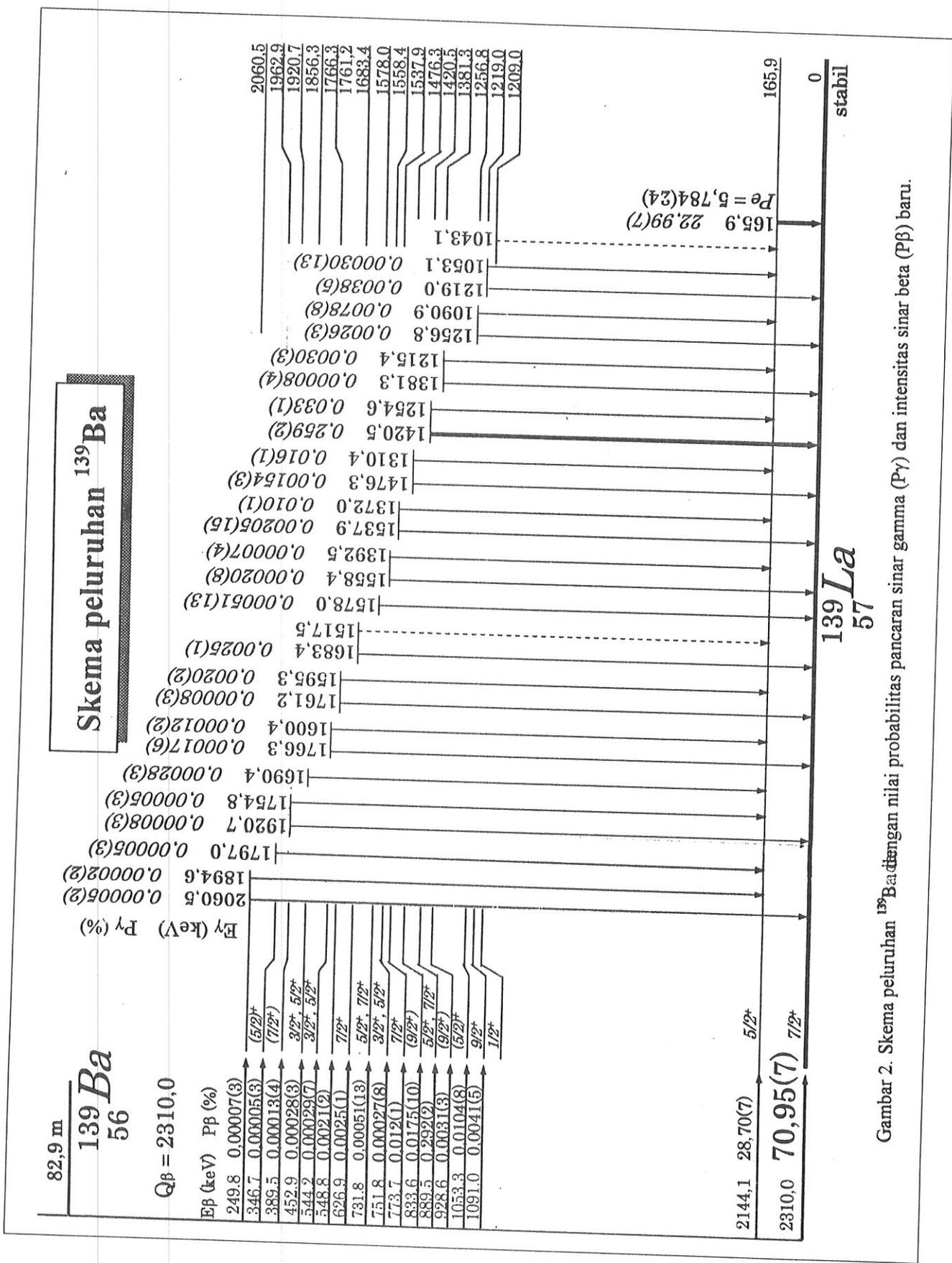
Energi gamma (keV)	Probabilitas pancaran sinar gamma (%)							
	Hasil pengukuran						Burrows(1)	Gehrke(4)
	a	b	c	d	e	Rata-rata		
165,9	23,06 (18)	22,95 (15)	23,12 (15)	22,91 (15)	22,93 (15)	22,99 (7)	23,7 (34)	23,76 (25)
1420,5	-	-	-	-	-	0,259 (2)	0,261 (37)	0,261 (5)

Tabel 2. Intensitas sinar beta (%) ¹³⁹Ba untuk beberapa energi.

Energi sinar beta (keV)	Intensitas sinar beta (%)		
	Hasil pengukuran	Burrows(1)	Gehrke(4)
833,6	0,0175 (10)	0,0175 (20)	-
889,5	0,292 (2)	0,287 (7)	-
2144,1	28,70 (7)	29,68 (31)	29,65 (32)
2310,0	70,95 (7)	69,98 (31)	-



Gambar 1. Contoh spektrum energi sinar gamma ¹³⁹Ba yang diperoleh dari hasil pengukuran.



Gambar 2. Skema peluruhan ¹³⁹Ba dengan nilai probabilitas pancaran sinar gamma (P_γ) dan intensitas sinar beta (P_β) baru.

