

## METODE PENCUPLIKAN TRITIUM DALAM SAMPEL RUMPUT

Poppy Intan Tjahaja dan Putu Sukmabuana

Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri - BATAN, Jl. Tamansari No. 71, Bandung, 40132  
e-mail : [pop\\_2411@yahoo.co.id](mailto:pop_2411@yahoo.co.id)

### ABSTRAK

**METODE PENCUPLIKAN TRITIUM DALAM SAMPEL RUMPUT.** Metode pencuplikan tritium ( $^3\text{H}$ ) dalam sampel rumput telah dipelajari dengan cara pemanasan dan pembakaran menggunakan tungku tabung. Rumput dikontaminasi dengan  $^3\text{H}$  dalam bentuk HTO (tritiated water) dengan cara menumbuhkan rumput pada media mengandung  $^3\text{H}$  dengan aktivitas bervariasi dari 370 sampai 1480 Bq selama 7 hari. Air sisa media pertumbuhan rumput masing-masing didistilasi, distilat sebanyak 2 mL ditambah 13 mL sintilator, kemudian aktivitas  $^3\text{H}$  diukur menggunakan pencacah sintilasi cair atau liquid scintillation counter (LSC). Selisih antara aktivitas  $^3\text{H}$  dalam media air mula-mula dengan aktivitas  $^3\text{H}$  setelah 7 hari merupakan aktivitas  $^3\text{H}$  yang terkandung dalam rumput. Rumput yang telah dikontaminasi kemudian dipanaskan menggunakan tungku tabung pada suhu  $150\text{ }^\circ\text{C}$  sambil dialiri gas nitrogen. Uap air hasil pemanasan disebut sebagai free water tritium (FWT) dikondensasikan. Kondensat didistilasi pada suhu  $80\text{ }^\circ\text{C}$ , kemudian 2 mL distilat ditambah 13 mL sintilator dan diukur dengan LSC. Rumput yang telah kering dalam tabung kemudian dibakar dengan tungku yang sama pada suhu  $450\text{ }^\circ\text{C}$ . Uap air hasil pembakaran dikondensasikan dalam tabung pendingin. Sama halnya dengan FWT, kondensat yang mengandung  $^3\text{H}$  dalam bentuk organically bound tritium (OBT) didistilasi kemudian dicacah dengan LSC. Jumlah aktivitas FWT dan OBT yang diperoleh dari hasil pengukuran dibandingkan dengan aktivitas tritium yang sebenarnya terkandung dalam rumput, sehingga diperoleh efisiensi metode, yaitu berkisar antara 65,79 % dan 89,95%.

**Kata kunci :** tritium,  $^3\text{H}$ , HTO, FWT, OBT, rumput, tungku tabung

### ABSTRACT

**THE METHOD OF TRITIUM SAMPLING FROM GRASS.** The method of tritium ( $^3\text{H}$ ) sampling from grass had been studied by heating and combusting the contaminated grass on a tube furnace. The grass were contaminated with  $^3\text{H}$  as HTO (tritiated water) by growing the grass on  $^3\text{H}$  contaminated water of 370 to 1480 Bq for 7 days. The remained of contaminated water were distilled respectively, the 2 mL of distillates were added with 13 mL of scintillator, and the  $^3\text{H}$  activities were measured using liquid scintillation counter (LSC). Contaminated grass were heated at  $150\text{ }^\circ\text{C}$  under nitrogen gas flow using tube furnace. The water vapor released from the process called as free water tritium (FWT) were condensed. The condensate were distilled at  $80\text{ }^\circ\text{C}$ , then 2 mL of distillate were added with 13 mL of scintillator, and counted using LSC. The dried samples on the tube were then combusted at  $450\text{ }^\circ\text{C}$  under nitrogen and oxygen gas flow using the same tube furnace. The water vapor released from combusted samples, i.e. organically bound tritium (OBT) were condensed on cooling tube. As the same as the FWT, the OBT were distilled and then counted using LSC. The total activities of FWT and OBT from the measurement were compared to the  $^3\text{H}$  activities contained on the grass to obtain the  $^3\text{H}$  the method efficiency, i.e. are in the range of 65,79 % and 89,95 %.

**Key words :** tritium,  $^3\text{H}$ , HTO, FWT, OBT, grass, tube furnace

## 1. PENDAHULUAN

Tritium ( $^3\text{H}$ ) merupakan radionuklida pemancar  $\beta$  dengan umur paruh 12,34 tahun. Tritium terdapat di lingkungan, baik secara alamiah (kosmogenik) maupun dari hasil kegiatan manusia (antropogenik). Operasi normal reaktor nuklir melepas tritium ke lingkungan yang sebagian besar dalam bentuk uap air (HTO) [1,2]. Tritium kemudian mengikuti siklus air di lingkungan, yaitu terdeposisi ke permukaan tanah atau sistem perairan, untuk selanjutnya masuk ke dalam biota (tanaman, hewan) dan manusia [3]. Karena sifatnya yang sama dengan hidrogen maka apabila masuk ke dalam tubuh manusia akan menyebar ke seluruh jaringan dan dapat terikat dalam jaringan yang akhirnya dapat menimbulkan kerusakan pada struktur DNA [1].

Tritium di dalam tanah terdapat dalam bentuk senyawa air yang bebas bergerak di antara partikel tanah disebut dengan *free water tritium* (FWT), dan berikatan dengan senyawa organik tanah disebut sebagai *organically bound tritium* (OBT). Di dalam tanaman, tritium yang merupakan hasil penyerapan dari dalam tanah juga terdapat dalam bentuk FWT dan OBT, demikian pula halnya di dalam tubuh hewan dan manusia [4].

Keberadaan  $^3\text{H}$  di lingkungan dipantau dengan cara mengambil sampel udara, air, tanah, dan biota, kemudian diukur aktivitasnya. Berbagai metode analisis untuk pemantauan  $^3\text{H}$  di lingkungan telah dikembangkan. Untuk analisis  $^3\text{H}$  dalam sampel tanaman, Takashima [5] menggunakan metode *freeze drying* untuk pencuplikan FWT dan metode pembakaran untuk pencuplikan OBT. Pencuplikan OBT dilakukan dengan cara pembakaran sampel kering hasil proses *freeze drying* dalam tabung kuarsa yang dipanaskan dengan api menggunakan bunsen [5]. Prosedur ini dirasakan kurang efisien ditinjau dari segi waktu, karena untuk memperoleh FWT dan OBT diperlukan 2 prosedur yang berbeda. Lebih jauh lagi proses pencuplikan OBT menggunakan pemanas bunsen (gas) mengandung risiko bahaya kebakaran. Pada penelitian ini akan dikembangkan metode pencuplikan FWT dan OBT dalam sampel tanaman, yaitu rumput, menggunakan perangkat alat tungku tabung (*tube furnace*) yang dianggap lebih aman dan praktis.

Tritium dalam bentuk FWT dapat diambil dari sampel rumput dengan cara pemanasan

menggunakan tungku tabung pada suhu  $150\text{ }^\circ\text{C}$ , sedang dalam bentuk OBT dapat diambil dengan cara pembakaran pada suhu  $450\text{ }^\circ\text{C}$ . Uap hasil pemanasan dan pembakaran diembunkan kemudian diukur aktivitas  $^3\text{H}$  dengan alat *liquid scintillation counter* (LSC). Untuk proses pemanasan, pembakaran, dan pengembunan digunakan suatu perangkat alat yang dapat mengakomodasi proses tersebut secara berkesinambungan, sehingga tidak memungkinkan adanya uap hasil pemanasan ataupun pembakaran ke luar ke udara bebas, atau sebaliknya tidak ada udara dari luar yang dapat masuk ke dalam sistem dan mengkontaminasi sampel rumput. Unjuk kerja perangkat alat pencuplik  $^3\text{H}$  dalam sampel rumput akan diuji melalui penelitian ini menggunakan sampel rumput yang dikontaminasi dengan  $^3\text{H}$ .

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat diketahui efisiensi metode analisis  $^3\text{H}$  dalam sampel rumput, yang meliputi pencuplikan FWT dan OBT. Lebih jauh diharapkan metode ini dapat digunakan untuk pemantauan tritium di lingkungan di sekitar instalasi nuklir, baik reaktor penelitian maupun reaktor daya yang direncanakan akan dibangun di masa datang.

## 2. TATA KERJA

### 2.1. Alat dan bahan

Pada penelitian ini digunakan wadah plastik berbentuk kotak dengan volume sekitar 5 L sebagai wadah tempat tumbuhnya rumput dalam air yang mengandung  $^3\text{H}$  (HTO). Untuk pembuatan air yang mengandung  $^3\text{H}$  digunakan gelas piala, labu ukur, pipet volumetrik, serta pipet mikro. Peralatan lain yang dibutuhkan adalah neraca teknis; tabung pembakaran yang terbuat dari kuarsa; tabung gelas untuk pengembunan; perangkat alat distilasi yang terdiri dari *mantle heater*, kondensor, termometer, labu distilasi; vial sintilasi dengan kapasitas 20 mL; tungku tabung merek Thermoline model 21100; serta alat LSC.

Bahan-bahan yang dipakai adalah rumput gajah yang diperoleh dari penjual tanaman hias,  $^3\text{H}$  dalam bentuk HTO dengan aktivitas  $7,4 \times 10^3$  Bq/mL, sintilator Ultima Gold buatan Packard, akuades, es batu untuk pendingin pada proses pengembunan, gas nitrogen dan oksigen, serat gelas (*glass wool*), dan *silica gel*.

## 2.2. Kontaminasi $^3\text{H}$ pada rumput

Rumput yang akan digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari penjual tanaman hias di daerah Pasteur, Bandung, Jawa Barat. Rumput gajah dengan berat basah sekitar 250 gram ditumbuhkan pada satu liter media air yang mengandung  $^3\text{H}$  dengan aktivitas bervariasi yaitu 370 Bq, 740 Bq, 1110 Bq, dan 1480 Bq selama 7 hari. Sebagai kontrol dilakukan juga penumbuhan rumput pada medium air tanpa tritium.

Dengan menumbuhkan rumput dalam media air yang mengandung  $^3\text{H}$  diharapkan proses kontaminasi rumput dapat lebih cepat, mengingat  $^3\text{H}$  dalam air bebas lebih cepat diserap tanaman dari pada  $^3\text{H}$  dalam air tanah. Menurut hasil percobaan yang dilakukan oleh Momoshima [6], tanaman yang ditumbuhkan pada medium air yang dikontaminasi dengan unsur  $^{14}\text{C}$  dalam waktu 5 hari sudah mencapai tahap kestimbangan konsentrasi unsur dalam media dan tanaman, sedang menurut Belot [7] yang menumbuhkan tanaman bunga matahari pada media air mengandung  $^3\text{H}$ , kesetimbangan konsentrasi  $^3\text{H}$  antara tanaman (FWT) dengan media tercapai pada hari pertama (24 jam). Pada penelitian ini tanaman ditumbuhkan selama 7 hari untuk memberi kesempatan agar  $^3\text{H}$  yang berada dalam FWT dapat terasimilasi menjadi OBT, baik melalui proses fotosintesis maupun pertukaran atom.

Setelah 7 hari rumput diambil dari media, dikeringkan dari air yang menempel pada akar dan daun menggunakan kertas merang dan kertas *tissue*, kemudian dikering-anginkan. Rumput yang bagian luarnya sudah bebas dari air sudah dapat digunakan dalam uji metode.

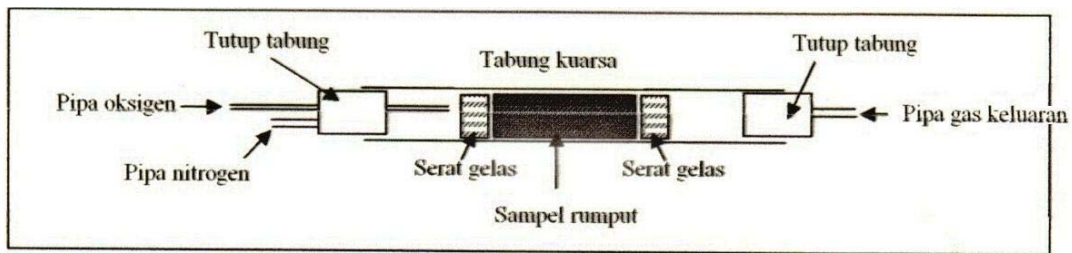
Medium air, baik kontrol maupun yang mengandung  $^3\text{H}$  diambil sekitar 20 mL, lalu didistilasi secara sempurna pada suhu  $80\text{ }^\circ\text{C}$ , sehingga diperoleh air yang jernih. Distilat diambil sebanyak 2 mL dan ditambahkan ke dalam 13 mL sintilator di dalam vial sintilasi, dikocok, didiamkan satu malam di tempat dingin dan gelap supaya terbentuk campuran yang stabil, kemudian dicacah dengan LSC selama 30 menit.

## 2.3. Penentuan $^3\text{H}$ dalam sampel rumput

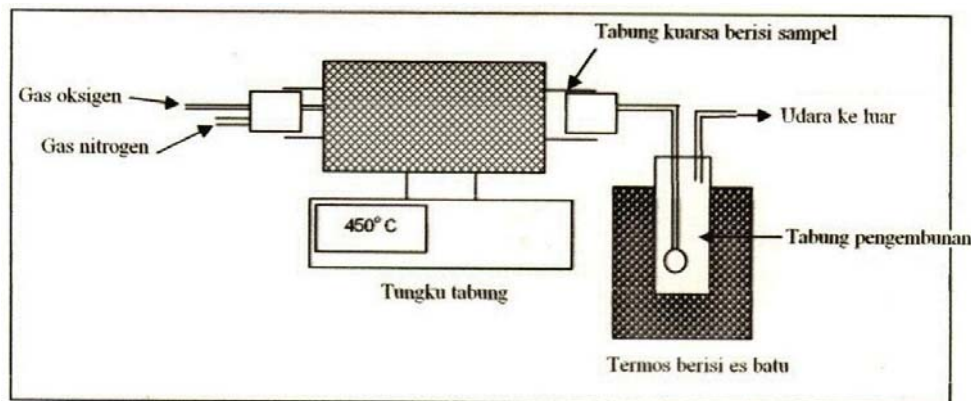
Sampel rumput, baik kontrol maupun yang telah dikontaminasi, masing-masing dipotong-potong dengan ukuran panjang lebih kurang 0,5 cm supaya proses pengeringan berlangsung cepat dan merata. Sampel kemudian

dipanaskan untuk memperoleh FWT. Pemanasan dilakukan dengan cara meletakkan sampel rumput dalam tabung pembakaran yang terbuat dari gelas kuarsa (Gambar 1) yang telah diketahui beratnya. Sampel rumput diletakkan di bagian tengah tabung dan pada kedua sisinya diberi penahan berupa serat gelas supaya posisi sampel tidak berubah. Tabung pembakaran yang telah berisi sampel ditimbang dengan neraca teknis, kemudian dimasukkan ke dalam tungku tabung. Salah satu ujung tabung dihubungkan dengan tabung gas nitrogen, sedang ujung lainnya dihubungkan ke tabung pengembunan. Setelah rangkaian siap, ke dalam sistem rangkaian alat dialirkan gas nitrogen selama lebih kurang 30 menit supaya udara di dalam tabung pembakaran dan tabung pengembunan terdorong ke luar. Setelah itu, tabung pengembunan didinginkan dengan cara memasukkannya ke dalam termos berisi es batu. Rangkaian alat dapat dilihat pada Gambar 2. Tungku tabung dipanaskan pada suhu  $150\text{ }^\circ\text{C}$  sampai air dalam sampel rumput menguap seluruhnya (sekitar 30 jam), yang dapat diketahui dengan tidak terlihatnya titik-titik air hasil pengembunan pada selang yang menghubungkan tabung pembakaran dengan tabung pengembunan. Pada keadaan ini telah diperoleh berat sampel rumput yang konstan. Air yang diperoleh dalam tabung pengembunan merupakan FWT. Sampel rumput kering di dalam tabung kuarsa ditimbang kemudian dibakar menggunakan tungku yang sama dengan cara menaikkan suhu sampai  $450\text{ }^\circ\text{C}$ . Pada saat pembakaran selain gas nitrogen dialirkan pula gas oksigen. Pembakaran dilakukan sampai sampel rumput menjadi abu dan tidak terjadi lagi pembakaran (lebih kurang selama 30 jam), yang ditandai dengan tidak terbentuk lagi uap air. Air di dalam tabung pengembunan merupakan OBT. Sampel abu di dalam tabung pembakaran kemudian ditimbang kembali.

Air hasil pengembunan, baik FWT maupun OBT, masing-masing didistilasi secara sempurna pada suhu  $80\text{ }^\circ\text{C}$  menggunakan perangkat distilasi, sehingga diperoleh air yang jernih. Distilat diambil sebanyak 2 mL dan ditambahkan ke dalam 13 mL sintilator di dalam vial sintilasi, dikocok, didiamkan satu malam di tempat dingin dan gelap (supaya terbentuk campuran yang stabil), kemudian dicacah dengan LSC selama 30 menit.



Gambar 1. Posisi sampel di dalam tabung pemanasan/pembakaran yang terbuat dari gelas kuarsa.



Gambar 2. Rangkaian alat untuk pencuplikan FWT dan OBT.

Data aktivitas yang diperoleh dari hasil pengukuran dengan LSC dibandingkan dengan aktivitas  $^3\text{H}$  dalam rumput yang dikontaminasi sehingga diperoleh nilai efisiensi metode.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Aktivitas  $^3\text{H}$  dalam media air dan rumput

No.	Aktivitas awal $^3\text{H}$ dalam media air (Bq)	Aktivitas akhir $^3\text{H}$ dalam media air (Bq)	Aktivitas $^3\text{H}$ yang diserap rumput (Bq)
1	0,0	0,0	0,0
2	370,0	144,3	225,7
3	740,0	288,6	451,4
4	1110,0	444,0	666,0
5	1480,0	518,0	962,0

Sampel rumput ditumbuhkan dalam media air selama 7 hari, kemudian rumput diambil untuk dipanaskan dan dibakar. Sisa media air didistilasi kemudian diukur aktivitas tritiumnya dengan LSC, hasilnya dapat dilihat pada Tabel 1. Banyaknya  $^3\text{H}$  yang tersisa dalam medium berkisar antara 35 – 40% dari aktivitas semula.

Selisih aktivitas  $^3\text{H}$  awal dan aktivitas akhir dianggap sebagai aktivitas  $^3\text{H}$  yang ada dalam rumput. Keadaan ini sesuai dengan hasil percobaan yang pernah dilakukan oleh Belot, yang menumbuhkan tanaman bunga matahari pada media air yang mengandung  $^3\text{H}$ . Dalam waktu 1 hari telah dicapai kesetimbangan  $^3\text{H}$  antara tanaman dan media, yaitu pada saat konsentrasi  $^3\text{H}$  dalam tanaman mencapai 50% dari konsentrasi awal dalam media [7].

Sampel rumput yang telah dikontaminasi dengan  $^3\text{H}$  dengan berbagai aktivitas dipanaskan dan dibakar menggunakan tungku tabung. Uap yang dihasilkan dari proses tersebut diembunkan, sehingga diperoleh FWT dan OBT rumput. Banyaknya FWT dan OBT yang diperoleh disarikan pada Tabel 2.

FWT dan OBT dalam rumput hasil pemanasan dan pembakaran masing-masing didistilasi, distilat sebanyak 2 mL ditambah dengan 13 mL sintilator dan dicacah dengan LSC. Aktivitas FWT dan OBT hasil pencacahan diperlihatkan pada Tabel 3. Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa aktivitas FWT hasil pengukuran meningkat sesuai dengan kandungan  $^3\text{H}$  dalam rumput yang dikontaminasi. Akan tetapi aktivitas OBT hasil pengukuran dengan LSC tidak menunjukkan

pola kenaikan yang bersesuaian dengan peningkatan aktivitas  $^3\text{H}$  dalam rumput. Kandungan  $^3\text{H}$  dalam OBT rumput lebih sedikit dibandingkan dengan kandungan  $^3\text{H}$  dalam FWT (4,5% - 36 %).

Tritium dalam rumput terdapat dalam dua bentuk yaitu yang berikatan dengan molekul air dalam cairan intra sel (FWT) dan yang terikat pada senyawa organik rumput (OBT). Pada penelitian ini kontaminan  $^3\text{H}$  diberikan dalam media air tempat rumput ditumbuhkan, sehingga  $^3\text{H}$  yang diserap oleh akar dapat segera masuk ke dalam rumput dan menjadi fraksi FWT. Selanjutnya secara perlahan terbentuk OBT melalui reaksi fotosintesis yang menggunakan  $\text{CO}_2$  udara dan  $\text{H}_2\text{O}$  dalam tanaman (dalam hal ini FWT) dan melalui pertukaran atom  $^3\text{H}$  dalam FWT dengan atom H pada jaringan tanaman. Berdasar hasil penelitian yang dilaporkan oleh McFarlane [8] pada sejenis kacang-kacangan alfalfa yang ditumbuhkan pada media air mengandung  $^3\text{H}$ , kandungan  $^3\text{H}$  dalam bentuk organik dalam tanaman adalah 22% lebih rendah daripada yang ada dalam FWT. Sementara itu menurut Garland dan Amieen, kandungan OBT pada tanaman jagung dan kacang masing-masing adalah 31% dan 46% lebih rendah daripada yang ada pada FWT [9].

Jumlah total aktivitas  $^3\text{H}$  dalam FWT dan OBT hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan aktivitas  $^3\text{H}$  dalam rumput, sehingga diperoleh nilai *recovery*  $^3\text{H}$  dalam sampel rumput, yang dinyatakan sebagai nilai efisiensi

metode, seperti diperlihatkan pada Tabel 3.

Nilai efisiensi metode analisis  $^3\text{H}$  dalam sampel rumput dengan cara pemanasan dan pembakaran menggunakan tungku tabung berkisar antara 65,79% dan 89,95%. Nilai efisiensi metode tidak bergantung pada aktivitas  $^3\text{H}$  dalam rumput, efisiensi terendah yaitu 65,79% diperoleh dari rumput yang dikontaminasi dengan aktivitas 451,4 Bq, sedang untuk sampel rumput lainnya, yaitu yang dikontaminasi dengan aktivitas 225,7 Bq; 666 Bq; dan 962 Bq, nilai efisiensi metode yang diperoleh hampir sama, yaitu masing-masing 81,44% ; 89,95%; dan 82,31%. Rendahnya nilai efisiensi metode pada rumput yang dikontaminasi dengan aktivitas 451,4 Bq kemungkinan disebabkan oleh kurang sempurnanya proses pemanasan dan pembakaran, sehingga sampel FWT dan OBT menjadi keruh dan mengakibatkan menurunnya hasil cacahan yang diperoleh.

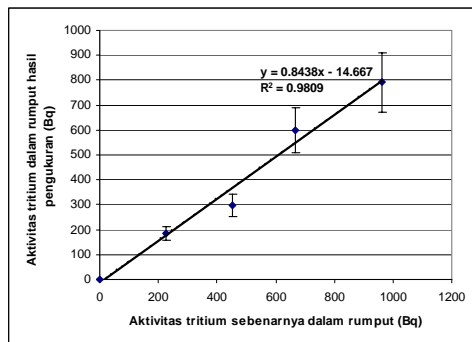
Kaitan antara aktivitas  $^3\text{H}$  hasil pencuplikan dengan metode pemanasan dan pembakaran terhadap aktivitas  $^3\text{H}$  sebenarnya dapat dilihat pada Gambar 3. Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa aktivitas FWT dan OBT yang tercuplik dari sampel rumput dengan metode pemanasan dan pembakaran berbanding lurus dengan aktivitas  $^3\text{H}$  yang dikontaminasikan pada rumput dengan nilai koefisien regresi 0,98. Artinya metode pemanasan dan pembakaran yang dipelajari mempunyai unjuk kerja baik, khususnya pada rentang aktivitas 225 Bq sampai 962 Bq.

**Tabel 2. Jumlah FWT dan OBT dalam rumput yang diperoleh dari proses pemanasan dan pembakaran**

No.	Aktivitas $^3\text{H}$ dalam air (Bq)	Aktivitas $^3\text{H}$ dalam rumput (Bq)	Berat rumput (gram)	Berat FWT (gram)	Berat OBT (gram)
1.	0,0	0,0	255,80	164,87	8,18
2.	370,0	225,7	254,49	154,70	10,33
3.	740,0	451,4	242,72	125,05	6,90
4.	1110,0	666,0	256,87	140,00	5,47
5.	1480,0	962,0	181,56	138,18	11,82

**Tabel 3. Aktivitas FWT dan OBT dalam rumput hasil pemanasan dan pembakaran yang diukur dengan LSC**

No.	Aktivitas $^3\text{H}$ dalam rumput (Bq)	Aktivitas FWT (Bq)	Aktivitas OBT (Bq)	Total aktivitas FWT dan OBT (Bq)	Efisiensi metode (%)
1.	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
2.	225,7	135,19	48,63	183,82	81,44
3.	451,4	257,23	39,73	296,96	65,79
4.	666,0	572,88	26,21	599,09	89,95
5.	962,0	738,07	53,74	791,80	82,31



**Gambar 3. Perbandingan aktivitas tritium dalam rumput yang dikontaminasi dengan aktivitas tritium yang terukur (FWT dan OBT).**

Metode pencuplikan  $^3\text{H}$  dengan cara pemanasan dan pembakaran dengan tungku tabung pernah juga diaplikasikan untuk sampel tanah [10]. Untuk sampel tanah dengan aktivitas  $^3\text{H}$  sebesar 180 Bq – 740 Bq diperoleh nilai efisiensi metode sebesar 65% - 97%. Nilai efisiensi metode untuk sampel tanah tidak berbeda jauh dengan untuk sampel tanaman.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian ini, metode penentuan konsentrasi  $^3\text{H}$  dalam sampel rumput dengan cara pemanasan dan pembakaran cukup baik, dengan nilai efisiensi berkisar antara 65,79% dan 89,95%. Besarnya aktivitas  $^3\text{H}$  dalam rumput tidak mempengaruhi efisiensi dari metode. Metode penentuan aktivitas  $^3\text{H}$  dalam rumput dengan cara pemanasan dan pembakaran menggunakan tungku tabung dapat diterapkan untuk pemantauan  $^3\text{H}$  dalam sampel tanaman dari lingkungan.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada saudara Dida Pramudiya, mahasiswa Jurusan Teknik Lingkungan, ITB, yang ikut membantu dalam penelitian ini, dan Bapak Rosyid dari Laboratorium Material Teknik Fisika ITB yang telah membantu pembuatan dan penyempurnaan perangkat tabung pembakar.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

1. **EISENBUD, M., KORANDA, J., BENNETT, B., et al.**, Tritium in the Environment, in Behaviour of Tritium in The Environment (Proc. of A Symposium San Fransisco, October 1978), IAEA and NEA (OECD), Vienna (1979) 585-588.
2. **GLASSTONE, S. and JORDAN, W. H.**, Nuclear Power and Its Environmental Effect, American Nuclear Society, Illinois (1981).
3. **MASON, A. S. and OSTLUND, H. G.**, Atmospheric HT and HTO: Distribution and Large Scale Circulation, in Behaviour of Tritium in The Environment (Proc. of A Symposium San Fransisco, October 1978), IAEA and NEA (OECD), Vienna (1979) 3-16.
4. **KONIG, L. A.**, Tritium in the Food Chain, Radiation Protectio Dosimetry 30 (2)(1990) 77-86.
5. **TAKASHIMA, Y.**, Environmental Tritium Measurement and Analysis, Research Report, Faculty of Science, Kyushu University, Fukuoka (1987).
6. **MOMOSHIMA, N., TJAHAJA, P.I., TAKASHIMA, Y.**, Root Uptake of  $^{14}\text{C}$ -Labeled Glucose by Radish Seedling, Radioisotopes, 40 (2)(1991) 64-66
7. **BELOT, Y.**, Tritium in Plants : A review, Radiation Protection Dosimetry 16 (1-2) (1986) 101-105.
8. **McFARLANE, J.C.**, Tritium Fractionation in Plants, Environmental Experiment Botany 16 (1976) 9-14.
9. **GARLAND, J.A. and AMEEN, M.**, Incorporation of Tritium in Grain Plants, Health Physic, 36 (1979) 35-38.
10. **TJAHAJA, P. I. SUKMABUANA, P., ZULFAKHRI, WIDANDA, dan SITI ZULAIKA**, Metode Pencuplikan  $^3\text{H}$  dalam Sampel Tanah dengan Cara Pemanasan dan Pembakaran Menggunakan Tungku Tabung (Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, Yogyakarta Juli 2004), P3TM, BATAN, Yogyakarta (2004) 116-122.