

KALIBRASI DAN VERIFIKASI PERFORMA  
LSC PACKARD 1900 TR SETELAH MASA  
PERBAIKAN

Satria, Evarista Ristin, Syafalni, Alip

# KALIBRASI DAN VERIFIKASI PERFORMA LSC PACKARD 1900TR SETELAH MASA PERBAIKAN

Satrio, Evarista Ristin, Syafalni, Alip  
Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi

## ABSTRAK

**KALIBRASI DAN VERIFIKASI PERFORMA LSC PACKARD 1900TR SETELAH MASA PERBAIKAN.** Telah dilakukan proses kalibrasi dan verifikasi ulang terhadap performa LSC Packard 1900TR yang ada di bidang Hidrologi P3TIR. Sejak pertengahan 1997 hingga Juli 2000 sistem pencacah ini telah mengalami beberapa kali kerusakan dan perbaikan. Setelah masa perbaikan, maka untuk memastikan bahwa performa sistem masih baik, dilakukan kalibrasi ulang dan dilanjutkan dengan proses verifikasi. Kalibrasi dan verifikasi dilakukan menggunakan standar  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$  dan background *unquenched*. Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa nilai rata-rata dari: cacahan *background*  $^3\text{H}$  dan  $^{14}\text{C}$  masing-masing  $12,38 \pm 0,79$  cpm dan  $18,24 \pm 0,69$  cpm; FOM  $^3\text{H}$  dan  $^{14}\text{C}$  masing-masing  $285,03 \pm 15,95$  dan  $641,06 \pm 16,45$ ; efisiensi  $^3\text{H}$  dan  $^{14}\text{C}$  masing-masing  $59,13 \pm 0,28$  % dan  $95,09 \pm 0,31$  %. Dari data verifikasi diperoleh informasi bahwa parameter *quenching* yaitu SIS dan tSIE  $^{14}\text{C}$  nilainya masih dalam batas-batas toleransi. Kemudian efisiensi  $^3\text{H}$  dan  $^{14}\text{C}$  masih berada diatas batas minimumnya. Sedangkan fluktuasi *background* juga masih menunjukkan batas-batas yang normal. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa hingga saat ini performa LSC Packard 1900TR masih berada dalam kondisi baik dan layak digunakan untuk pencacahan.

## ABSTRACT

**CALIBRATION AND PERFORMANCE VERIFICATION OF LSC PACKARD 1900TR AFTER REPAIRING.** Calibration process and repeated verification of LSC Packard 1900TR at Hydrology Section-P3TIR has been done. In the period of middle 1997 to July 2000, the counting system of the instrument has damaged and repaired for several times. After repairing, the system was recalibrated and then verified. The calibration and verification were conducted by using standard  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$  and background *unquenched*. The result of calibration shows that background countrates of  $^3\text{H}$  and  $^{14}\text{C}$  is  $12,38 \pm 0,79$  cpm and  $18,24 \pm 0,69$  cpm respectively; FOM  $^3\text{H}$  and  $^{14}\text{C}$  is  $285,03 \pm 15,95$  dan  $641,06 \pm 16,45$  respectively;  $^3\text{H}$  and  $^{14}\text{C}$  efficiency is  $59,13 \pm 0,28$  % dan  $95,09 \pm 0,31$  % respectively. From the verification datas, the parameter of SIS and tSIE for  $^{14}\text{C}$  is to be in range of limit. And then  $^3\text{H}$  and  $^{14}\text{C}$  efficiency is still above minimum limit. Whereas, the background fluctuation still show normal condition. It could be concluded that until now the performance of LSC Packard 1900TR is well condition and could be used for counting.

## PENDAHULUAN

Pencacah sintilasi cair Packard 1900TR yang ada di bidang hidrologi Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi - Batan digunakan untuk mencacah radioisotop  $^3\text{H}$  dan  $^{14}\text{C}$ , baik alam maupun buatan. Namun demikian, penggunaannya tidak hanya terbatas untuk mencacah  $\beta$  dari  $^3\text{H}$  dan  $^{14}\text{C}$  saja, tetapi dapat pula untuk menentukan aktivitas radioisotop pemancar  $\beta$  lainnya seperti  $^{131}\text{I}$  dan  $^{32}\text{P}$  serta pemancar  $\beta$  lainnya dengan energi tidak lebih dari 2000 keV. Alat ini telah ada sejak tahun 1992 dan pemanfaatannya cukup optimal, terutama digunakan dalam rangka menunjang penelitian bidang hidrologi, geothermal dan *enhanced oil recovery*. Disamping itu, bidang-bidang lain di lingkungan Batan dan instansi lain di luar Batan telah pula memanfaatkan alat ini.

Dari tahun 1992 hingga sekarang, alat ini telah mengalami beberapa kali kerusakan dan perbaikan. Komponen yang sering mengalami kerusakan adalah IC pengatur dan penggerak vial. Yang terakhir tahun 1999 dan 2000, masing-masing terjadi kerusakan *hardisk* dan IC. Setelah perbaikan-perbaikan dilakukan, selanjutnya alat dialibrasi ulang dan diverifikasi untuk mengetahui kembali performanya. Kalibrasi dilakukan menggunakan standar  $^3\text{H}$  dan  $^{14}\text{C}$  *unquenched* serta standar *background unquenched*. Performa dianggap baik, apabila parameter-parameter yang meliputi *background*, efisiensi, *figure of merit* (FOM) dan  $\chi^2$  (chi-square) nilainya masih berada dalam batas penerimaan yang telah didefinisikan.

Proses verifikasi atau pengecekan kembali performa sistem pencacah dilakukan menggunakan standar  $^3\text{H}$  dan  $^{14}\text{C}$  *unquenched* serta standar *background unquenched*, baik terhadap standar yang berada pada vial kecil maupun besar. Dalam proses verifikasi ini, beberapa parameter yang harus diketahui adalah:

- SIS (spectral index of the sample) dan tSIE (transformed spectral index of the external standard) dari standar  $^{14}\text{C}$  *unquenched* dengan nilai batas yang didefinisikan untuk masing-masingnya  $156 \pm 8$  dan  $1000 \pm 50$ .
- Efisiensi standar  $^3\text{H}$  *unquenched* vial-kecil dan vial besar.
- Efisiensi standar  $^{14}\text{C}$  *unquenched* vial kecil dan vial besar.
- Fluktuasi *background* dengan batasan:  $\text{background} \leq \text{rata-rata} + 4\sigma$ .

Untuk mengetahui nilai-nilai dari parameter-parameter di atas, maka standar  $^3\text{H}$  dan  $^{14}\text{C}$  *unquenched* tersebut dicacah selama masing-masing 1 menit 3 kali pengulangan dan selanjutnya dihitung efisiensinya. Sedangkan standar *background unquenched* dicacah selama 10 menit 3 kali pengulangan pada daerah energi 0-18,6 keV untuk  $^3\text{H}$  dan 0-156 keV untuk  $^{14}\text{C}$ . Parameter SIS dan tSIE akan tercetak dengan sendirinya untuk kedua radioisotop tersebut, sehingga hasilnya dapat langsung dibandingkan dengan nilai batas yang telah didefinisikan. Kesesuaian antara data kalibrasi dan verifikasi, selanjutnya akan memberikan informasi mengenai baik atau tidaknya performa alat.

## TATA KERJA

### 1) KALIBRASI

Untuk kalibrasi ini digunakan standar  $^3\text{H}$  *unquenched*, standar  $^{14}\text{C}$  *unquenched* dan standar *background unquenched* dengan urutan sebagai berikut:

1. Standar  $^{14}\text{C}$  *unquenched*
2. Standar  $^3\text{H}$  *unquenched*
3. Standar *background unquenched*

Standar  $^{14}\text{C}$  *unquenched* digunakan dalam memulai proses kalibrasi sistem untuk mendapatkan performa optimal melalui pengaturan tegangan pada tabung fotomultiflier. Standar tersebut kemudian dicacah selama 1 menit menggunakan *region* 0-156 keV untuk menentukan efisiensi dan 4-156 keV untuk menentukan FOM( $=E^2/B$ ). Selanjutnya, standar ini kemudian dicacah selama 0,5 menit 20 kali pengulangan untuk menentukan  $\chi^2$  (chi-square) dari instrumen dengan menggunakan *region* 74-156 keV (gain cek) untuk  $^{14}\text{C}$ .

Standar  $^3\text{H}$  *unquenched* dicacah selama 1 menit pada *region* 0-18,6 keV untuk menentukan efisiensi  $^3\text{H}$  dan pada *region* 1-18,6 keV untuk menentukan performanya. Chi-square untuk  $^3\text{H}$  kemudian ditentukan dengan mencacah selama 0,5 menit 20 kali pengulangan.

Standar *background* kemudian dicacah selama 60 menit dengan *region* sebagai berikut:

1. 0-18,6 keV untuk penentuan *background*  $^3\text{H}$
2. 0-156 keV untuk penentuan  $^{14}\text{C}$
3. 1-18,6 keV untuk penentuan FOM  $^3\text{H}$
4. 4-156 keV untuk penentuan FOM  $^{14}\text{C}$

### 2) VERIFIKASI

#### A. QIP/Pengecekan efisiensi $^{14}\text{C}$

- a. Tekan F1 (EDIT PROT) dan sistem akan menanyakan nomor *protocol* yang akan digunakan.
- b. Pilih nomor *protocol* yang sedang tidak digunakan dan masukan angkanya melalui papan ketik. Kemudian tekan <Enter>. Di layar monitor akan terlihat sejumlah pertanyaan yang harus diisi.
- c. Isi jawaban berikut terhadap pertanyaan:

# COUNTS/VIAL?	3
RADIONUCLIDA?	$^{14}\text{C}$
QIP?	tSIE dan SIS
- d. Tekan lagi F1 (EXIT EDIT) dua kali untuk kembali ke *Status Page*
- e. Atus *sample changer* sebagai berikut:
  - Pilih dan masukan *protocol plug* yang sesuai ke dalam *varisette cassette*

- Masukkan standar  $^{14}\text{C}$  *unquenched*
  - Lakukan pencacahan
- f. Hitung efisiensi sebagai berikut:

$$\% \text{ Ef} = \frac{\text{CPM region-A}}{\text{DPM standar } ^{14}\text{C}} \times 100 \%$$

Minimum efisiensi yang dapat diterima untuk  $^{14}\text{C}$  adalah 95 % untuk vial besar dan 94 % untuk vial kecil.

B. *Pengecekan efisiensi  $^3\text{H}$*

- a. Tekan F1 (EDIT PROT) dan sistem akan menanyakan nomor *protocol* yang akan digunakan.
- b. Pilih nomor *protocol* yang sedang tidak digunakan dan masukan angkanya melalui papan ketik. Kemudian tekan <Enter>. Di layar monitor akan terlihat sejumlah pertanyaan yang harus diisi.
- g. Isi jawaban berikut terhadap pertanyaan:
 

# COUNTS/VIAL?	3
----------------	---
- c. Tekan F1 (EXIT EDIT) dua kali.
- d. Atur *sample changer* sebagai berikut:
  - Pilih dan masukan *protocol plug* yang sesuai ke dalam *varisette cassette*
  - Masukkan standar  $^3\text{H}$  *unquenched*
  - Lakukan pencacahan
- e. Hitung efisiensi sebagai berikut:

$$\% \text{ Ef} = \frac{\text{CPM region-A}}{\text{DPM standar } ^3\text{H}} \times 100 \%$$

Minimum efisiensi yang dapat diterima untuk  $^3\text{H}$  adalah 60 % untuk vial besar dan 58 % untuk vial kecil.

C. *Pengecekan background*

- a. Tekan F1 (EDIT PROT) dan system akan menanyakan nomor *protocol* yang akan digunakan.
- b. Pilih nomor *protocol* yang sedang tidak digunakan dan masukan angkanya melalui papan ketik. Kemudian tekan <Enter>. Di layar monitor akan terlihat sejumlah pertanyaan yang harus diisi.
- c. Isi jawaban berikut terhadap pertanyaan:
 

# COUNTS TIME?	10
RADIONUCLIDE?	Manual
	Region A: LL=0,

UL=18,6  
 Region B: LL=0,  
 UL=156  
 Region C: LL=0,  
 UL=2000

- f. Tekan F1 (EXIT EDIT) dua kali.
- g. Atur sample changer sebagai berikut:
- Pilih dan masukan *protocol plug* yang sesuai ke dalam *varisette cassette*
  - Masukan standar *background unquenched*.
  - Lakukan pencacahan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1) AKTIVITAS STANDAR *UNQUENCHED*

Standar yang digunakan untuk kalibrasi dan verifikasi adalah standar yang diperoleh dari Packard yang dikirim bersama alat. Standar ini bersifat *unquenched*, artinya pada saat dicacah spektrumnya hampir tidak mengalami efek *quenching* atau gejala pemadaman. Akan tetapi, setelah sekitar 8 tahun aktivitas standar ini terus mengalami peluruhan sesuai waktu paronya. Aktivitas awal dan sekarang untuk masing-masing standar dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel-1. Aktivitas standar  $^3\text{H}$  dan  $^{14}\text{C}$  *unquenched*

Nama standar <i>Unquenched</i>	Waktu paro	Aktivitas awal (14/10-1992)	Selang waktu (tahun)	Aktivitas sekarang (14/10-2001)
$^3\text{H}$ vial kecil	12,43	248900	8,417	155677,232
$^3\text{H}$ vial besar	12,43	87400	8,417	54665,287
$^{14}\text{C}$ vial kecil	5730	131000	8,417	130866,713
$^{14}\text{C}$ vial besar	5730	41860	8,417	41817,409

### 2) KALIBRASI

Hasil kalibrasi sistem setelah masa perbaikan dapat dilihat pada tabel-2 di bawah ini. Kalibrasi ini dilakukan tidak secara periodik mengingat banyaknya sampel yang harus dicacah. Secara normal sesuai petunjuk operasionalnya, kalibrasi semestinya dilakukan tiap 23 jam sekali.

Tabel-2. Data kalibrasi

Tanggal Kalibrasi	BG <sup>3</sup> H (cpm)	BG <sup>14</sup> C (cpm)	Ef. <sup>3</sup> H (%)	Ef. <sup>14</sup> C (%)	FOM <sup>3</sup> H	FOM <sup>14</sup> C	$\chi^2$ - <sup>3</sup> H	$\chi^2$ - <sup>14</sup> C
15/07/00	12,15	18,05	59,08	95,22	290,58	660,21	17,21	13,35
01/08/00	13,23	18,63	58,86	95,43	261,48	634,35	10,18	11,64
06/08/00	11,90	17,97	59,15	95,17	293,20	646,38	15,65	25,08
04/09/00	11,22	17,90	58,74	94,65	308,96	624,23	16,14	17,72
04/12/00	11,72	17,53	58,92	94,46	297,56	638,60	27,41	20,19
05/12/00	12,28	17,90	58,94	95,17	287,52	664,02	16,28	19,32
16/02/00	12,15	17,47	59,56	95,08	291,73	662,72	19,10	16,83
14/03/00	12,35	18,63	59,24	95,07	286,86	620,88	20,07	17,43
18/03/00	13,97	19,83	59,49	95,25	257,69	625,02	9,79	15,20
19/03/00	12,90	18,48	59,33	95,44	274,73	634,22	12,26	10,78
Rerata	12,38 ±0,79	18,24 ±0,69	59,13 ±0,28	95,09 ±0,31	285,03 ±15,95	641,06 ±16,45		

### Background

Batas yang dapat diterima untuk cacahan *background* adalah: ( $background \leq \text{rata-rata} + 4\sigma$ ). Dari hasil kalibrasi pada tabel-1 terlihat bahwa nilai cacahan *background* rata-rata untuk <sup>3</sup>H sekitar 12,38±0,79 cpm dengan energi 0-18,6 keV dan untuk <sup>14</sup>C sekitar 18,24±0,69 cpm dengan energi 0-156 keV. Nilai-nilai cacahan *background* seperti tertera pada tabel-1 masih menunjukkan bahwa fluktuasi *background* masih relatif kecil, artinya dibandingkan terhadap rata-rata perbedaannya tidak terlalu besar.

### Efisiensi

Batas efisiensi kalibrasi untuk standar <sup>3</sup>H dan <sup>14</sup>C *unquenched* masing-masing 58 % dan 94 %. Dari data efisiensi seperti tertera pada tabel-2 diatas terlihat bahwa efisiensi rata-rata standar <sup>3</sup>H *unquenched* adalah 59,13±0,28 %. Efisiensi <sup>3</sup>H ini terus menurun sejalan dengan waktu paronya dan sekarang hampir mendekati batas minimumnya yaitu 58 %. Ini disebabkan karena radioisotop <sup>3</sup>H yang dijadikan standar tersebut memiliki waktu paro pendek yaitu 12,43 tahun dan terus mengalami proses peluruhan. Dalam waktu tidak lama lagi standar kalibrasi ini harus diganti jika efisiensinya telah melewati batas minimum 58 %. Untuk standar <sup>14</sup>C *unquenched* efisiensi rata-ratanya adalah 95,09±0,31 %. Nilai ini masih cukup jauh dari batas minimumnya, sehingga dapat diperkirakan bahwa standar <sup>14</sup>C ini masih dapat digunakan lebih lama lagi dan tidak perlu diganti, karena waktu paronya cukup panjang yaitu 5730 tahun.

## FOM

Figure of merit (FOM) merupakan parameter untuk mengetahui sensitivitas dari sistem selama pengukuran. Semakin tinggi nilai FOM( $=E^2/B$ ), semakin sensitif sistem dalam mencacah. Pada tabel-2 terlihat nilai rata-rata dari parameter ini adalah  $285,03 \pm 15,95$  untuk  $^3\text{H}$  dan  $641,06 \pm 16,45$  untuk  $^{14}\text{C}$ . Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa sensitivitas masih cukup baik untuk pengukuran sampel. Batas minimumnya tidak ditentukan secara pasti, akan tetapi berdasarkan petunjuk operasionalnya, "user" dapat menentukan sendiri nilainya dengan mempertimbangkan efisiensi dan *background*.

## Chi-square

Stabilitas sistem pencacah ini diuji dengan parameter  $\chi^2$  pada saat kalibrasi. Berdasarkan petunjuk operasionalnya, sistem dinyatakan dalam kondisi stabil apabila nilai chi-squarenya masih berada dalam daerah penerimaan yang telah ditentukan yaitu:  $7,63 < \chi^2 \leq 36,19$ . Dari data kalibrasi terlihat bahwa nilai-nilai  $\chi^2$  ini masih berada dalam daerah penerimaan yang mengindikasikan kestabilan sistem pencacah ini masih cukup baik.

### 3) VERIFIKASI

Direkomendasikan bahwa standar dan alat harus selalu dikontrol dengan jalan melakukan verifikasi setiap saat untuk mengecek performanya. Verifikasi dimaksudkan untuk mengecek ulang dan memastikan performa sistem setelah proses kalibrasi dilakukan. Untuk melakukan verifikasi digunakan standar  $^3\text{H}$  dan  $^{14}\text{C}$  *unquenched* serta standar *background unquenched* dan data selengkapnya disajikan pada tabel-3 di bawah ini.

Tabel-3. Data verifikasi

Verifikasi ke:	Bg $^3\text{H}$ (cpm)	Bg $^{14}\text{C}$ (cpm)	Cacahan $^3\text{H}$ (cpm)	Cacahan $^{14}\text{C}$ (cpm)	SIS $^{14}\text{C}$	tSIE $^{14}\text{C}$
I Vial kecil	12,80	15,50	91661,0	124429,0	162,38	1000
	11,70	17,40	91670,0	124418,0	162,72	1002
	11,00	15,80	91467,0	124551,0	163,13	1003
I Vial besar	16,10	26,50	32875,0	39775,4	149,76	952
	16,40	26,50	32932,0	39678,4	148,48	950
	16,50	24,90	32906,0	40033,4	148,33	955
II Vial kecil	12,20	16,80	90787,0	124308,0	163,01	998
	13,90	18,70	91284,0	124174,0	163,00	1001
	12,60	18,20	91365,0	123796,0	162,88	999
II Vial besar	17,40	25,50	32869,0	400214	148,84	941
	18,00	26,40	32865,0	39667,4	148,63	940
	16,00	24,70	32922,0	39864,4	149,63	941



III Vial kecil	11,40	16,60	91036,0	123738,0	162,86	1000
	12,00	18,50	91064,0	124747,0	163,67	1005
	9,50	15,90	91144,0	124226,0	163,30	1006
III Vial besar	16,90	27,30	32913,0	39881,4	151,07	952
	17,70	28,53	32946,0	39961,4	149,01	958
	15,80	24,80	32921,0	40079,4	148,61	955

### SIS dan tSIE

SIS (spectral index of sample) dan tSIE (transformed spectral index of the external standard) merupakan parameter untuk memonitor efek *quenching*. Efek *quenching* merupakan gejala pemadaman dimana spektrum energi  $\beta$  bergeser ke energi yang lebih rendah dan menyebabkan penurunan efisiensi. Parameter *quenching* SIS menggunakan spektrum sampel untuk mendapatkan indeks *quenching*. Sedangkan tSIE dihitung dari spektrum Compton, dimana sampel diinduksi oleh standar eksternal ( $^{133}\text{Ba}$ ). Parameter verifikasi *quench index parameter* (QIP) yaitu tSIE dan SIS  $^{14}\text{C}$  tersebut memiliki batas toleransi masing-masing :  $1000 \pm 50$  dan  $156 \pm 8$ . Berdasarkan data SIS dan tSIE pada tabel-3 di atas terlihat bahwa nilainya masih berada dalam batas toleransi dan ini berarti bahwa standar  $^{14}\text{C}$  tersebut belum mengalami efek *quenching* yang berarti.

### Efisiensi

Batas minimum efisiensi verifikasi untuk standar  $^3\text{H}$  dan  $^{14}\text{C}$  *unquenched* vial kecil dan vial besar masing-masing sebagai berikut:

Standar  $^3\text{H}$ : - vial kecil : Efisiensi  $\geq 58\%$

- vial besar : Efisiensi  $\geq 60\%$

Standar  $^{14}\text{C}$ : - vial kecil : Efisiensi  $\geq 94\%$

- vial besar : Efisiensi  $\geq 95\%$

Berdasarkan hasil rata-rata hasil verifikasi seperti terlihat pada tabel-4 di bawah ini menunjukkan bahwa secara keseluruhan efisiensinya standar  $^3\text{H}$  dan  $^{14}\text{C}$  *unquenched* masih di atas batas-batas minimumnya sebagaimana telah didefinisikan di atas. Khusus untuk standar  $^3\text{H}$  *unquenched* baik standar pada vial kecil maupun vial besar nilainya sudah mendekati batas minimumnya, sehingga dalam waktu tidak lama lagi standar ini dinyatakan kadaluwarsa dan harus diganti dengan standar baru. Sedangkan efisiensi standar  $^{14}\text{C}$  *unquenched* baik pada vial kecil dan besar, walaupun sudah mendekati batas minimumnya, kedua standar tersebut masih bisa digunakan lebih lama lagi mengingat waktu paronya cukup panjang.

## DAFTAR PUSTAKA

1. ARAVENA, R. O., HEEMSHERK A. R., DIEBOLT & JOHNSON J. C., *RADIOCARBON DATING*, Technical Procedure 17.0, Revision 01, Environmental Isotope Laboratory Department Of Earth Sciences University Of Waterloo, 1994.
2. GUPTA, SUSHIL K. & POLACH, HENRY A., *RADIOCARBON DATING PRACTICE AT ANU*, Handbook, Radiocarbon Laboratory, Research School Of Pacific Studies, ANU, Canberra, 1985.
3. STANLEY, P. E. & SCOGGINS, B. A., *LIQUID SCINTILLATION COUNTING*, Recent Developments, Academic Press, Inc., New York and London, 1974.
4. Operation Manual, " TRI-CARB Liquid Scintillation Analyzers" Model Packard 1900TR, Packard Instrument Company.

Tabel-4. Hasil rata-rata background dan efisiensi

Vial	Verifikasi ke :	Bg <sup>3</sup> H (cpm)	Bg <sup>14</sup> C (cpm)	Efisiensi <sup>3</sup> H (%)	Efisiensi <sup>14</sup> C (%)
Standar vial kecil	I	11,83	16,40	58,84	95,17
	II	12,49	17,90	58,55	94,82
	III	10,97	17,00	58,51	94,93
Standar vial besar	I	16,33	25,97	60,19	95,25
	II	16,00	25,97	60,15	95,30
	III	16,80	26,87	60,23	95,59

### Background

Cacahan rata-rata *background* berdasarkan hasil rata-rata seperti terlihat pada tabel-4 di atas, fluktuasinya tidak terlalu besar, artinya antara data *background* satu dengan lainnya tidak terjadi penyimpangan atau perbedaan yang mencolok.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan di atas dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil kalibrasi setelah masa perbaikan menunjukkan bahwa parameter-parameter cacahan background, efisiensi, *figure of merit* (FOM) dan chi-square nilainya masih berada dalam batas-batas yang normal.
2. Dari hasil tersebut terungkap bahwa efisiensi standar <sup>3</sup>H *unquenched* vial kecil dan besar nilainya sudah hampir mendekati batas minimumnya, sehingga dalam waktu tidak lama lagi standar kalibrasi <sup>3</sup>H ini harus diganti dengan standar baru. Sedangkan untuk standar <sup>14</sup>C *unquenched* vial kecil dan besar masih tetap dapat dipergunakan lebih lama lagi.
3. Secara umum, hingga saat ini performa LSC Packard 1900TR untuk pengukuran "low level" masih berada dalam kondisi baik dan layak digunakan untuk pencacahan.