

## EVALUASI UNJUK KERJA MEMORI SISTEM SPEKTROMETER GAMMA

Nugraha Luhur, Subiharto  
Pusat Reaktor Serba Guna – Badan Tenaga Nuklir Nasional  
Kawasan Puspipiek Serpong, Tangerang Selatan, 15313  
[nugrahal@batan.go.id](mailto:nugrahal@batan.go.id)

### ABSTRAK

**EVALUASI UNJUK KERJA MEMORI SISTEM SPEKTROMETER GAMMA.** Sistem spektroskopi gamma merupakan sistem pencacah radiasi yang paling banyak digunakan dalam berbagai pengukuran. Pada spektrometer terdapat instrumen *analog to digital converter (ADC)* yang digunakan untuk menkonversi sinyal analog (amplitudo pulsa) menjadi nilai digital yang sesuai kemudian dikonversikan ke dalam nomor kanal dan jumlah sinyal yang di cacah disimpan dalam memori pada spektrometer. Tulisan ini bertujuan untuk mengevaluasi unjuk kerja memori sistem spektrometer gamma milik Bidang Keselamatan Kerja dan Operasi (BK2O). Jumlah radiasi yang disimpan oleh memori spektrometer perlu dilakukan pengujian ketidaklinieran atau disebut *Diferensial Non Linierity (DNL)*. Metode pengujian yaitu dengan menggantikan pulsa dari detektor dengan sumber pulsa yang dapat memberikan input dengan amplitudo pulsa yang berbeda-beda mulai dari yang terkecil sampai 10 Volt. Diperoleh hasil pengujian DNL spektrometer gamma sebesar 1,17 %. Hasil ini masih mendekati spesifikasi DNL spektrometer yaitu sebesar 1 %. Disimpulkan bahwa sistem spektrometer gamma *ADC-MCA* model *TRUMP PCI 16K* buatan *Canberra* mempunyai Nilai *DNL (Diffrensial Non Linearity)* sebesar 1,17 %. Nilai tersebut masih mendekati nilai referensi DNL dari spectrometer

**Kata kunci:** memori, spektrometer, MCA

### ABSTRACT

**EVALIATION OF MEMORY PERFORMANCE OF SPECTROMETER GAMMA SYSTEM.** Gamma spectroscopy system is a system of radiation counting mostly used in a variety of measurements. In spectrometer there is an instrument memory the analog to digital converter (ADC) used to convert the analog signal (pulse amplitude) into the appropriate digital value that is then converted into the channel number. This paper is aimed to evaluate the memory performance of spectrometer gamma system owned BK2O. The amount of radiation deposited by the spectrometer is necessary to unlinierity test called *Diferrensial Non Linierity (DNL)*. Testing methods is done by replacing pulses of the detector with a pulse source that can provide input to the pulse amplitude by varying value from the smallest up to 10 Volts. It is obtained that DNL mtest result of gamma spectrometer is 1.17 %. This results are still approaching DNL in spesifikasi of 1%. It is concluded that gamma spectrometer system of *AND-MCA* model *TRIUM PCI 16K* made by *CANBERRA* having value of DNL of 17%. This value is still approaced than that of DNL reference of spectrometer

**Keywords:** memori, spektrometer, MCA

### PENDAHULUAN

Spektrometri gamma didefinisikan sebagai suatu metode pengukuran dan identifikasi unsur-unsur radioaktif di dalam suatu sampel dengan jalan mengamati spektrum karakteristik yang ditimbulkan oleh interaksi sinar gamma yang dipancarkan oleh zat-zat radioaktif tersebut dengan detektor<sup>[1]</sup>. Metode ini digunakan untuk perhitungan jumlah radiasi untuk masing-masing tingkat atau rentang energi tertentu. Sistem spektroskopi gamma merupakan sistem pencacah radiasi yang paling banyak digunakan dalam berbagai pengukuran, baik dalam bidang industri

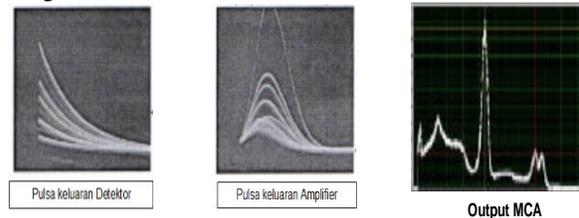
maupun penelitian, karena sistem ini dapat melakukan pencacahan secara integral maupun differensial, sekaligus menghasilkan spektrum distribusi energi radiasi. Detektor yang digunakan dalam sistem spektroskopi gamma harus memiliki kemampuan untuk membedakan energi radiasi. Untuk tujuan spektroskopi gamma diperlukan perangkat spektrometer gamma. Perangkat spektrometer gamma generasi sebelum tahun 2000 masih menggunakan beberapa modul-modul elektronik yang terdiri dari detektor radiasi gamma (biasanya detektor germanium kemurnian tinggi (*High purity Germanium sering disebut Hp-Ge*) beserta penguat awal (*pre-amplifier*),

suplai tegangan tinggi detektor (*High Volatage*), penguat pulsa (*spectroscopy amplifier*), dan penganalisis saluran ganda (*Multi Channel Analyzer disingkat MCA*) yang biasanya dapat di gabungkan dengan seperangkat komputer. Dalam teknologi nuklir, *MCA* digunakan untuk mengukur spektrum energi sebuah sumber radioaktif, sehingga selanjutnya bermanfaat untuk mengetahui distribusi energi yang dimiliki oleh suatu sumber radioaktif atau mengidentifikasi sebuah sumber radioaktif berdasarkan distribusi energi yang terukur<sup>[2]</sup>. Pada *MCA* terdapat instrumen *analog to digital converter (ADC)* yang digunakan untuk menkonversi sinyal analog (amplitudo pulsa) menjadi nilai digital yang sesuai yang dikonversikan ke dalam nomor kanal dan jumlah sinyal disimpan dalam memori pada *MCA*. Dalam *MCA* terdapat kanal-kanal yang akan mencatat pulsa sesuai dengan tingginya. Jadi di dalam *MCA*, tersimpan informasi berupa nomor kanal, tinggi pulsa, dan energi radiasi. Kemudian akan digambarkan kurva yang menghubungkan antara tinggi pulsa dengan jumlah cacahan. Jumlah kanal dalam *MCA*, tergantung tipe *MCA*-nya itu sendiri<sup>[3]</sup>. Pencacahan radiasi menggunakan *MCA* biasanya dilakukan selama selang waktu tertentu dan selang waktu dalam pencacahan radiasi sangat mempengaruhi hasil pengukuran. Akurasi jumlah cacahan yang ditampilkan oleh sistem spektrometer pada kanal dalam hal ini yaitu jumlah radiasi yang disimpan oleh memori *MCA* perlu dilakukan pengujian secara regular. Pengujian yang sering dilakukan terhadap *MCA* yaitu pengujian akurasi dan waktu pencacahan, pengujian koreksi waktu mati, pengujian *Diffrensial Non Linearity (DNL)* dan pengujian *Integral Non Linearity (INL)*. Dalam tulisan ini hanya akan di bahas yang berkenaan dengan pengujian *Diffrensial Non Linearity (DNL)*. Pengujian *DNL* pada dasarnya merupakan pengujian akurasi pencacahan hanya saja kalau dalam pengujian akurasi pencacahan dilakukan hanya dilakukan pada kanal-kanal tertentu dari *MCA*, tetapi dalam pengujian *DNL* dilakukan pada seluruh kanal-kanal pada *MCA* secara bersamaan. Pengujian ini perlu dilakukan karena kemampuan setiap kanal pada *MCA* untuk menyimpan atau mencatat data berbeda-beda dan dapat menurun fungsi waktu dengan bertambahnya usia *MCA*. *DNL* merupakan suatu nilai yang dapat menunjukkan keseragaman dari kumpulan memori pada *MCA* untuk menampung data. Nilai *DNL* spektrometer gamma dengan resolusi tinggi adalah kurang dari 1 % dengan nilai rata-rata sekurang-kurangnya 10.000 cacahan<sup>[4], [5]</sup>. Pada tulisan ini dilakukan pengujian *DNL* pada *ADC-MCA* model *TRUMP PCI 16K* milik Bidang keselamatan Kerja dan Operasi di Pusat Reaktor Serba Guna. Metode pengujian yang di lakukan adalah dengan melepaskan/memutuskan sinyal dari detektor pada

sistem spektrometer gamma dan menggantikan dengan sumber pulsa yang dapat memberikan input dengan amplitudo pulsa yang berbeda-beda mulai dari yang terkecil sampai 10 Volt (maksimum 10 Volt sesuai kemampuan spektrometer) Pengujian ini baru yang pertama kali dilakukan dan akan dilakukan secara regular di waktu mendatang.

## TEORI

Secara ideal, setiap radiasi yang mengenai detektor akan diubah menjadi sebuah sinyal (pulsa) listrik dengan amplitudo tertentu. Banyaknya radiasi yang dipancarkan oleh sumber radiasi dan terdeteksi oleh detektor akan dapat ditentukan jumlahnya dengan mengukur jumlah pulsa listrik yang dihasilkan. Tinggi sinyal (pulsa) listrik yang dihasilkan detektor menunjukkan energi radiasi sehingga energi radiasi dapat ditentukan dengan mengukur tinggi pulsa listrik yang dihasilkan detektor. Pulsa listrik yang dihasilkan oleh detektor biasanya berbentuk pulsa eksponensial dengan karakteristik waktu munculnya pulsa sangat cepat (sering disebut *rise-time*) dan waktu jatuhnya pulsa sangat lambat (sering disebut *fall-time*). Sangatlah sulit untuk mendeteksi atau mengukur tinggi pulsa yang berbentuk eksponensial ini. Amplifier pada perangkat spektrometer mempunyai fungsi untuk mengubah pulsa eksponensial yang dihasilkan detektor menjadi pulsa Gaussian dan mempertkuat amplitudo pulsa agar mempunyai tinggi dengan orde Volt.



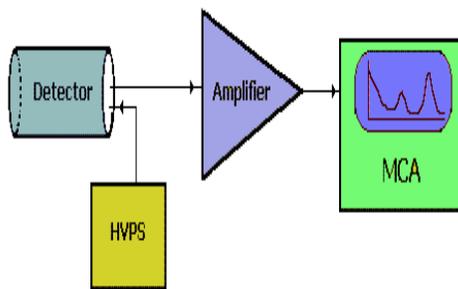
Gambar 1. Ilustrasi pulsa listrik dari detektor dan Amplifier

Dari Gambar 1 di atas dapat dilihat bahwa terdapat tujuh buah radiasi yang mengenai detektor, empat radiasi mempunyai energi rendah, dua radiasi mempunyai energi sedang dan sebuah radiasi yang mempunyai energi tinggi.

### 1. Multi Channel Analyzer (MCA)

Pengukuran energi radiasi dari zat radioaktif menggunakan *MCA* dilakukan dengan melakukan perekaman distribusi tinggi pulsa dari partikel yang dipancarkan oleh sumber radioaktif yang terdeteksi oleh detektor. *MCA* memiliki saluran (kanal) pencacahan ganda yang dibatasi oleh *pulse height analysis (PHA)*. *PHA* mempunyai fungsi untuk

menyaring apakah suatu pulsa dari keluaran amplifier diteruskan ke *ADC-MCA* atau tidak. Pulsa-pulsa yang mempunyai amplitudo lebih tinggi dari batas bawah tetapi lebih rendah dari batas atas saja yang akan diteruskan ke dalam *ADC-MCA* untuk di proses<sup>[2]</sup>. Pengolahan pulsa pada *PHA* dilakukan dengan mengelompokkan pulsa yang datang berdasarkan ketinggian pulsa tersebut, dan kemudian menyimpannya pada memori. Bagian utama dari suatu *MCA* adalah *ADC* (analog to digital converter) yang berfungsi untuk mengkonversi sinyal analog yang datang (amplitudo pulsa) dan mengubahnya menjadi nilai digital (bilangan biner). Bilangan biner tersebut akan diteruskan ke bagian memori yang akan menyimpan jumlah dari masing-masing bilangan biner yang dihasilkan *ADC*. Setelah pencacahan pulsa, isi dari memori akan berisi daftar bilangan yang sesuai dengan jumlah cacah pulsa pada tiap tinggi pulsa (nomor salur / kanal) sehingga akan ditampilkan pada layar berupa spektrum radiasi<sup>[3]</sup>.



Gambar 2. Ilustrasi pengolahan pulsa pada *MCA*

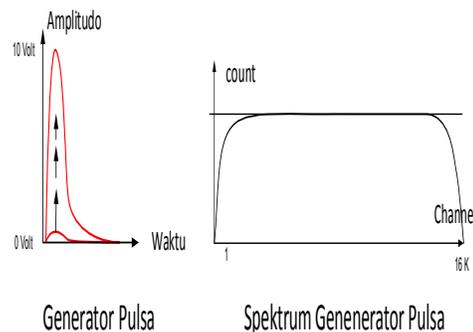
Walaupun radiasi gamma yang dipancarkan oleh suatu radioisotop bersifat diskrit, namun karena interaksi radiasi gamma dengan materi detektor lebih dari satu jenis interaksi, sehingga pada *MCA* tidak akan muncul satu energi saja. Spektrum yang membawa informasi energi gamma adalah yang berasal dari interaksi fotolistrik. Karena dalam spektrum ini, seluruh energi gamma terserap oleh atom bahan detektor. Oleh karena itu dalam pemilihan jenis detektor yang akan digunakan harus juga memilih detektor dengan bahan yang memiliki kemampuan/kemungkinan terjadinya interaksi fotolistrik dengan foton gamma yang tinggi. Jumlah kanal dalam *MCA*, tergantung tipe *MCA*-nya itu sendiri, saat ini jumlah kanal pada sebuah *MCA* mempunyai kemampuan mencapai 8000 kanal (8K) bahkan ada yang mempunyai kemampuan mencapai 16000 kanal (16K). Nomor kanal pada *MCA* sebanding dengan energi radiasi gamma yang tertangkap oleh detektor. Semakin besar energi radiasi gamma, semakin besar pula nomor kanal tempat munculnya spektrum radiasi tersebut, demikian pula sebaliknya.

Pada layar *MCA* akan ditampilkan spektrum radiasi gamma yang muncul pada beberapa nomor salur yang berlainan.

### 1) *Diffrensial Non Linearity (DNL)*.

Unjuk kerja sistem spektrometer gamma (*MCA*) harus diuji untuk mengetahui kelayakan sistem spektrometer untuk analisa suatu cuplikan. Salah satu pengujian unjuk kerja pada perangkat spektrometer gamma adalah pengujian kesetabilan pencacahan yang pada sistem spektrometer gamma disebut dengan pengujian *Diffrensial Non Linearity (DNL)*. Pengujian *DNL* ini diperuntukkan untuk menguji kemampuan memori pada *MCA* dalam menyimpan data jumlah pulsa pencacahan. Pengujian *DNL* pada dasarnya merupakan pengujian akurasi pencacahan hanya saja kalau dalam pengujian akurasi pencacahan dilakukan hanya dilakukan pada kanal-kanal tertentu dari *MCA*, tetapi dalam pengujian *DNL* dilakukan pada seluruh kanal-kanal pada *MCA* secara bersamaan. Sebagai ilustrasi apabila pada energi 1 keV terdapat 100 buah radiasi kemudian pada energi 2 keV terdapat 100 buah radiasi dan seterusnya sampai pada energi 100 keV terdapat 100 radiasi, maka spektrum radiasi yang terbentuk pada *MCA* akan menghasilkan sebuah garis lurus pada nilai cacahan 100. Namun pada kenyataannya akan terjadi beberapa titik yang menyimpang seperti pada gambar berikut:

Pembentukan Spektrum Ideal :



Gambar 3. Ilustrasi *Diffrensial Non Linearity (DNL)*

Hal tersebut disebabkan karena kemampuan setiap kanal untuk mencatat atau menyimpan data berbeda beda. Spektrometer gamma yang baik jika mempunyai kestabilan pencacahan (*DNL*) yang nilai relative kecil < 1 %<sup>[5]</sup>. Untuk melakukan pengujian *DNL* dibutuhkan suatu pembangkit pulsa yang dapat menghasilkan sejumlah pulsa yang sama dengan tinggi pulsa yang berbeda-beda agar dapat mengisi semua lokasi memori pada kanal *MCA* dengan nilai yang sama.

Apabila pada setiap lokasi memori pada kanal *MCA* diberi isi yang sama yaitu dengan memberi masukan pulsa analog dengan jumlah yang sama untuk setiap tinggi pulsa maka akan diperoleh spectrum seperti pada Gambar 3 diatas. Sedangkan nilai *DNL* ditentukan dengan relasi persamaan berikut [4].

$$DNL = \frac{C_{max} - C_{min}}{C_{rata-rata}} \times 100 \%$$

Dengan

- C max* : cacah pengukuran terbesar
- C min* : cacah pengukuran terkecil
- C rata-rata* : cacah rata-rata dari semua data pengukuran Penganalisis Salur Ganda (Multi Channel Analyzer)

Pengujian *DNL* dilakukan dengan mencacah sinyal dari generator pulsa pada frekuensi tertentu dengan variasi tegangan pulsa mulai dari 0 Volt sampai 10 Volt yang setara dengan jumlah kanal pada *MCA*. Nilai *DNL* spektrometer gamma dengan resolusi tinggi adalah kurang dari 1 % dengan nilai rata-rata sekurang-kurangnya (minimal) 10.000 cacahan [4], [5].

## METODOLOGI

Secara keseluruhan pengujian *DNL ADC-MCA* model *TRUMP PCI 16K* buatan Canberra dilakukan dalam beberapa tahapan sebagai berikut:

- 1) Menyiapkan peralatan yang diperlukan yaitu Pulser BNC PB-5, Oscilloscope, Perangkat Spektrometer Gamma, seperangkat komputer dan kabel-kabel penghubung jenis bnc.
- 2) Melakukan instalasi pengujian yaitu melepaskan kabel dari detektor ke amplifier dan input diganti dengan sumber pulsa, memasang kabel ke Oscilloscope
- 3) Melakukan pengujian awal yaitu dengan mengamati output dan input pada masing masing peralatan menggunakan Oscilloscope
- 4) Melakukan set-up pulser PB-5 pada mode ramp generator dan pada frekuensi 10 kHz, penentuan frekuensi ini didasarkan pada pengamatan dead time pada pencacahan di bawah 3 %
- 5) Melakukan set-up preset time pengukuran menggunakan batas pencacahan 10.000
- 6) Setelah semua peralatan terangkai dan sudah di set-up maka dilakukan pencacahan sampai pengukuran berhenti secara otomatis dan menyimpan data pada memori komputer.
- 7) Melakukan pengolahan data yaitu mengkonversi spektrum pencacahan menjadi

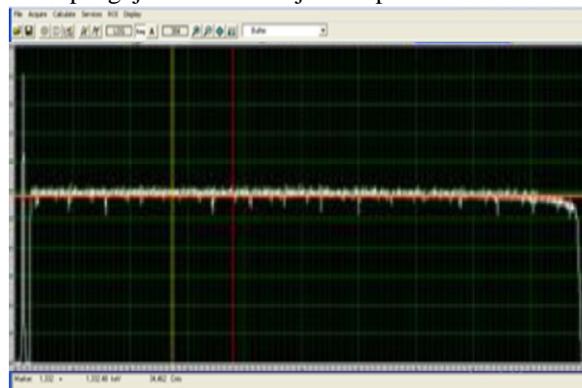
angka numerik

- 8) Mengolah data numeric menggunakan program Microsoft excel untuk melakukan perhitungan nilai *DNL*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam pengujian ini mode pulsa yang digunakan dari generator pulsa di set-up pada mode *ramp generator* dengan frekuensi 10 kHz. Dipilihnya frekuensi sebesar 10 kHz ini dengan pertimbangan pada *dead time* agar di bawah 3 %. Sebagai konsekuensi dengan frekuensi sebesar 10 kHz maka hasil pencacahan untuk mencapai 10.000 cps diperlukan waktu yang lama yaitu sekitar 60 jam. Batas pencacahan yang diambil pada pengujian ini diambil pada syarat minimal yaitu 10.000 cps [4], [5]. Dibeberapa referensi pencacahan dilakukan sampai diatas 50.000 cps [9].

Hasil pengujian *DNL* ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Spektrum hasil pencacahan

Untuk melakukan pengamatan dan perhitungan data, spektrum hasil pencacahan harus diolah ke dalam angka yang dapat menginformasikan jumlah cacahan. Proses tersebut dilakukan menggunakan program *mikrosoft excel*. Perhitungan nilai cacahan pada posisi channel awal dan channel akhir tidak dimasukkan ke dalam perhitungan dikarenakan pada posisi channel tersebut terjadi gangguan *nois* elektronik yang mempengaruhi hasil pencacahan. Dari hasil perhitungan menggunakan program Microsoft excel diperoleh rata rata cacahan 10017.67, cacahan maksimum 10063 dan cacahan minimum 9964. Sehingga dapat dihitung nilai *DNL* yang diperoleh dalam pengujian ini sebagai berikut:

$$DNL = \frac{C_{max} - C_{min}}{C_{rata-rata}} \times 100 \% = \frac{10063 - 9946}{10017,67} \times 100 \% = 1,1679 \%$$

Hasil nilai DNL pada pengujian ini diperoleh sebesar 1,17 %. Jika dibandingkan referensi yaitu sebesar 1 % nilai yang diperoleh dalam pengujian ini yaitu sebesar 1,17 % masih mendekati nilai referensi sehingga dapat dikatakan bahwa kemampuan memori ADC-MCA model *TRUMP PCI 16K* buatan *Canberra* masih memenuhi kriteria dikarenakan kesalahannya masih di bawah 20 % dalam pengujian ini kesalahannya 17 %<sup>[7]</sup>. Jika hasil pengujian nilai DNL mencapai diatas 20 % maka harus dilakukan penelusuran data pada channel manakah penyimpangan tersebut terjadi. Jika channel yang mengalami kesalahan telah diketahui maka dalam melakukan analisis spektrum dari unsur yang dimungkinkan akan muncul pada channel tersebut harus dihindari. Langkah untuk menghindari agar spektrum energi tidak muncul pada channel tersebut yaitu dengan melakukan pengaturan penguatan pada amplifier spectrometer sehingga spectrum energi tidak muncul pada channel yang mengalami penurunan unjuk kerja. Selain hal tersebut untuk menilai unjuk kerja sistem spektrometer perlu dilakukan kajian lebih jauh dan memerlukan beberapa tahapan yang lain seperti perlu di lakukan variasi frekuensi. Sehingga akan diperoleh beberapa nilai DNL pada masing masing frekuensi dan dapat di lihat polanya (*trend*). Hasil ini merupakan salah satu hasil yang diperlukan untuk menilai seperangkat spektrometer. Berkenaan dengan variasi frekuensi juga harus di lakukan pengujian terhadap lebar *band width*. Pengujian lebar *band width* diperlukan untuk menguji sistem spektrometer dimana tegangan keluar mulai menurun dengan bertambahnya frekuensi yang berdampak pada waktu mati. Nilai DNL yang diperoleh dalam pengujian ini sebagai indikasi awal dan untuk pengujian di tahun tahun berikutnya perlu dilakukan pengujian dengan jumlah hasil cacahan 50.000 cps.

## KESIMPULAN

Pengujian memori sistem spektrometer gamma *ADC-MCA* model *TRUMP PCI 16K* buatan *Canberra* diperoleh Nilai *DNL (Differential Non Linearity)* sebesar 1,17 %. Nilai tersebut masih mendekati nilai referensi DNL dari spektrometer yaitu sebesar 1 %. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kemampuan memori pada ADC-MCA masih memenuhi kriteria sehingga dapat dikatakan bahwa unjuk kerja memori system spektrometer masih berfungsi dengan baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1.] SUSETYO, W., Spektrometri Gamma dan Penerapannya Dalam Analisis Pengaktifan

Neutron, Yogyakarta, Universitas Gajah Mada Press, 1988.

- [2.] G.F. Knoll, Radiation Detection and Measurement 3 rd ed., Michigan: John Wiley & Sons, Inc., 1995
- [3.] N. Tsoufanidis, Measurement and Detection of Radiation. Washington DC: Taylor & Francis, 1995
- [4.] Test Procedur For Multi Channel Analyzer IAEA, 2008
- [5.] *ADC-MCA model TRUMP PCI 16K ,”Operator’s Manual Spektrometer*, Canberra, USA.
- [6.] Quality Control Procedures Applied to Nuclear Instruments, IAEA TECDOC 1599, Proceedings of a Technical Meeting Vienna 23-24 August 2007
- [7.] Haditjahyono, Hendriyanto. 2006. Prinsip Dasar Pengukuran Radiasi
- [8.] [http://www.batan.go.id/pusdiklat/elearning/Pengukuran\\_Radiasi/\\_private/prinsip\\_dasar.pdf](http://www.batan.go.id/pusdiklat/elearning/Pengukuran_Radiasi/_private/prinsip_dasar.pdf)
- [9.] International Journal of Innovative Research In Science Engineering and Technology, (an Iso 3297:2007 certified organization), Vol. 4 issue 3 March 2015.

## PERTANYAAN

1. Maskur (PTRR)

Pertanyaan:

- a) Disebutkan dari referensi DNL yang baik adalah lebih kecil dari 1 %, dari hasil pengukuran diperoleh DNL 1,16 % tetapi dikatakan masih baik. Sampai berapa toleransi bisa dikatakan baik ?
- b) Jika DNL jelek atau melebihi toleransi yang dipersyaratkan langkah apa yang akan dilakukan ?

Jawaban:

- a) Toleransi kesalahannya masih di bawah 20 %, dalam pengujian ini diperoleh kesalahannya 17 %.
- b) Dilakukan penelusuran data pada channel manakah penyimpangan tersebut terjadi. Jika channel yang mengalami kesalahan telah diketahui maka dalam melakukan analisis spektrum dari unsur yang dimungkinkan akan muncul pada channel tersebut harus dihindari. Langkah untuk menghindari agar spektrum energi tidak muncul pada channel tersebut yaitu dengan melakukan pengaturan penguatan pada amplifier spektrometer sehingga spektrum energi tidak muncul pada

channel yang mengalami penurunan unjuk kerja.

2. Jaka Iman (PRSG)  
Pertanyaan:

- a) Apa tujuan dalam pengujian DNL ini ?
- b) Nilai batas DNL 1 % diambil dari nama ?

Jawaban:

- a) Pengujian *DNL* pada dasarnya merupakan pengujian akurasi pencacahan hanya saja kalau dalam pengujian akurasi pencacahan dilakukan hanya dilakukan pada kanal-kanal tertentu dari *MCA*, tetapi dalam pengujian *DNL* dilakukan pada seluruh kanal-kanal pada *MCA* secara bersamaan.
- b) Nilai referensi DNL 1 % tertuang dalam buku *manual* yang mencantumkan spesifikasi dari ADC-MCA Spektrometer.