

PENGEMBANGAN PAKET PROGRAM KOMPUTER PEMANTAUAN RADIASI GAMA DI SEKITAR FASILITAS NUKLIR

Yus R. Akhmad
Pudjijanto MS.

4

ABSTRAK

PENGEMBANGAN PAKET PROGRAM KOMPUTER PEMANTAUAN RADIASI GAMA DI SEKITAR FASILITAS NUKLIR. Paket program komputer untuk pemantauan radiasi gama di sekitar fasilitas nuklir telah dikembangkan sehingga dapat dicangkokkan pada portable gama analyzer yang tersedia secara komersial. Tahap paling penting dari kegiatan pada tahun pertama telah berhasil dilewati; yaitu bahwa paket program telah dicoba dan berhasil mentransfer file data (distribusi tinggi pulsa) dari luaran spektrometer MicroNOMAD (produk ORTEC) kemudian mengolahnya menjadi data besaran dosimetri dan fisika. Paket program ini diberi nama GABATAN (Gamma Analyzer of Batan) dan NAGABAT (Natural Gamma Analyzer of Batan). Program GABATAN dapat digunakan di berbagai fasilitas nuklir untuk menganalisis medan foton gama sampai energi 9 MeV. Sedangkan program NAGABAT digunakan untuk menganalisis sumbangan foton gama alam terhadap laju paparan di suatu lokasi.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF THE COMPUTER CODE TO MONITOR GAMMA RADIATION IN THE NUCLEAR FACILITY INVIRONMENT. Computer codes for gamma radiation monitoring in the vicinity of nuclear facility which have been developed could be introduced to the commercial portable gama analyzer. The crucial stage of the first year activity was succeeded; that is the codes have been tested to transfer data file (pulse high distribution) from MicroNOMAD gamma spectrometer (ORTEC product) and to convert them into dosemetry and physics quantities. Those computer codes are called as GABATAN (Gamma Analyzer of Batan) and NAGABAT (Natural Gamma Analyzer of Batan). GABATAN code can isable to used at various nuclear facilities for analyzing gamma field up to 9 MeV, while NAGABAT could be used for analyzing the contribution of natural gamma rays to the exposure rate in the certain location.

PENDAHULUAN

Untuk memenuhi kebutuhan praktek keselamatan kerja radiasi, perlu diupayakan penyediaan / penguasaan teknik pengukuran yang andal. Penerapan metoda matrik respon untuk menganalisis medan radiasi gama dari hasil pengukuran dengan spektrometer gama yang menggunakan detektor sintilasi NaI(Tl) telah lama diusulkan oleh peneliti terdahulu^{1,2,3)}. Dengan cara ini distribusi fluks (spektrum energi) di lokasi detektor dapat ditentukan melalui prosedur matematik, dikenal dengan istilah *unfolding*, yang dikenakan kepada distribusi tinggi pulsa terhadap salur. Dari data fluks ini dapat dihitung berbagai besaran lain seperti laju paparan, energi merata, laju dosis

serap di berbagai media, dan lain lain.

Dalam perkembangannya, walaupun teknik ini andal untuk mengkarakterisasi medan radiasi gama, tetapi pada masa lalu tidak umum untuk penggunaan survei rutin di lapangan karena memerlukan peralatan yang tidak praktis. Pada saat ini, dengan pesatnya perkembangan teknologi komputer dan elektronika, maka sudah memungkinkan untuk penyederhanaannya sehingga teknik ini dapat dikembangkan dan melengkapi peralatan survei. *Multichannel analyzer* (MCA) dan komputer pribadi (PC) berukuran kecil (*portable*) sudah tersedia secara komersial. Oleh karena itu di PRSG metoda matrik respon dikembangkan guna melengkapi peralatan pengawasan maupun penelitian.

Dalam laporan ini akan disampaikan hasil pengembangan program komputer untuk mengevaluasi medan radiasi gama di sekitar fasilitas nuklir berdasarkan metoda matrik respon sehingga program tersebut dapat dicangkokkan pada surveimeter gama (*portable gama analyzer*) yang tersedia secara komersial. Program komputer tersebut diberi nama GABATAN (Gama Analyzer of Batan) dan NAGABAT (Natural Gama Analyzer of Batan). Uji coba program komputer untuk mentransfer data luaran (agihan tinggi pulsa) dari *portable gamma analyzer* (PGA) MicroNOMAD dan mengolahnya menjadi besaran dosimetri dan fisika telah berhasil dilakukan.

TEORI

Teori mengenai metoda matrik respon untuk menganalisis medan radiasi gama dari hasil pengukuran dengan spektrometer gama yang menggunakan detektor sintilasi NaI(Tl) telah disajikan di berbagai pustaka^{1,2,3,4,5)}. Prosedur *unfolding* distribusi tinggi pulsa untuk memperoleh distribusi fluks gama dalam kerangka metoda matrik respon yang diadopsi oleh paket program GABATAN dan NAGABAT adalah prosedur teknik iterasi yang diusulkan oleh Scofield dengan algoritme programnya telah dipersiapkan oleh Mollenauer. Secara garis besar, prosedur iterasi tersebut telah disajikan pada pustaka (6). Pemanfaatan metoda matrik respon untuk mengevaluasi medan radiasi gama di PRSG telah dilakukan dengan hasil bersesuaian dibanding luaran dari surveimeter gama *ion chamber* dalam hal laju paparan⁷⁾.

PROGRAM GABATAN DAN NAGABAT

Diagram alir sederhana program GABATAN disajikan pada Gambar Program

ini dirancang agar dapat dieksekusi dengan personal komputer menggunakan bahasa pemrograman WATFOR77. Program bersifat interaktif sehingga dapat memberi kemudahan kepada pemakai dalam menelusuri kekeliruan pada data file masukan dan file luaran. Data masukan disiapkan dalam bentuk file di dalam disket atau harddisk yang ditulis dengan format ASCII dan dikelompokkan menjadi dua kelompok data file yaitu file pertama memuat antara lain data matriks respon, kelompok energi, koefisien absorpsi energi udara, dan data indeks taradosis $H_{1,d}$ dan $H_{1,s}$ dari Dimbylow. Data file kedua memuat data laju cacah per kelompok energi {distribusi tinggi pulsa atau spektrum luaran dari spektrometer gama NaI(Tl)}.

GABATAN menyaratkan bahwa spektrum luaran spektrometer gama sebelum diinputkan harus terkalibrasi dan dikelompokkan menjadi 46 kelompok energi dengan rentang dari 0,01 sampai 9,2 MeV. Rincian mengenai pengelompokan energi dapat dilihat pada contoh luaran GABATAN. Untuk memudahkan pemakaian dan penelusuran lebih lanjut, data yang diperlukan untuk masukan dan list program diberikan pada lampiran. Dengan memanfaatkan program GABATAN, medan radiasi gama dapat dispesifikasi meliputi distribusi fluks, fluks total, distribusi paparan, paparan total, energi rerata, indeks taradosis-dalam, dan indeks taradosis-permukaan.

Untuk program NAGABAT, algoritme secara garis besar mirip dengan GABATAN tetapi pengelempokan energinya terdiri dari 22 kelompok dengan rentang dari 0,05 sampai 3,2 MeV. Besaran yang dihitung selain paparan total dan fluks total meliputi juga perhitungan sumbangan dari radiasi gama alam dan perhitungan konsentrasi potasium, uranium dan

rium. Selain daripada itu disediakan pu...
erhitungan ratio antara nilai besaran teramati
an terhitung (model ideal) sebagai indikator
ntuk mengamati adanya penyimpangan dari
karakteristik paparan radiasi gama alam. Dengan
cara ini karakteristik paparan radiasi alam di
suatu lokasi dapat dievaluasi dan ketika ada
perubahan karena dampak operasi fasilitas nuklir
dapat segera diketahui.

PENGOPERASIAN PORTABLE ANALYZER- MicroNOMAD(EG&G ORTEC)

MicroNOMAD dapat dihubungkan
dengan mudah ke PC melalui *high-speed parallel
port*. Software "MicroMCB™" (setiap pembelian
MicroNOMAD akan diberikan) dapat disisipkan
ke PC untuk pengendalian moda akuisisi, emulasi
MCA, dan analisis kuantitatif spektrum dari
detektor NaI(Tl). Setelah parameter operasi
ditetapkan, MicroNOMAD dapat dilepaskan dari
PC untuk pemakaian di lapangan. PC yang
digunakan harus mempunyai kelengkapan
sebagai berikut. *Software* : Microsoft Windows,
Versi 3.1 atau lebih tinggi; DOS 3.3 atau lebih
tinggi. *Hardware* : Intel 386 atau *processor* yang
lebih tinggi, 4-MB *memory*, 3.5-in. *floppy drive*,
hard disk, dan *coprocessor*. Microsoft atau IBM
mouse atau *built-in track ball* yang setara.

ESIFIKASI MicroNOMAD™

Memori Data: 128 k RAM, $2^{31}-1$ cacah
nal. Dapat menyimpan sampai 127 *file*
spektrum 256 kanal, atau 63 *file* untuk
am 512 kanal, atau 31 *file* untuk spektrum
anal, atau 15 *file* untuk spektrum 2048
pabila memori telah terisi penuh akan
esan LED untuk menunjukkan *ajar file*

stabilitas: Spectrum broadening dan
spectrum shift yang mencerminkan stabilitas atau
statistik pencacahan yang disumbangkan oleh
sistem spektrometer adalah masing-masing lebih
kecil dari 3% pada kanal 661 keV ^{137}Cs .

Waktu Pengoperasian : Lebih dari
delapan jam dengan 8 buah baterai alkaline ukuran
AA.

Catu daya : 8 buah baterai alkaline ukuran
AA atau dengan *external ac-power adapter*
(range 4 - 6 V).

KARAKTERISASI SPEKTROMETER GAMA NaI(TL)

Matriks (fungsi) respon dari spektrometer
gama merupakan himpunan data karakteristik
respon dari sistem spektrometer ketika foton
gama mengenai detektor untuk berbagai energi
foton yang diperhatikan. Apabila dimensi kristal
NaI(Tl) dan resolusi spektrometer sebagai fungsi
energi telah diketahui, maka matriks respon dapat
dibangkitkan dengan program komputer
SPHECYL (pemaparan di lingkungan) atau
dengan SPHCLMD (pemaparan di dalam fasilitas
nuklir). Karena PMT Base model 296 sebagai
media penghubung antara detektor dan
MicroNOMAD agar dapat dioperasikan secara
portable belum tiba pada saat pelaporan ini buat,
maka karakterisasi spektrometer belum dapat
dibuat. Akan tetapi pekerjaan ini tidak
memerlukan waktu lama sehingga ketika alat tiba
karakterisasi spektrometer segera dapat
diperoleh.

INTERAKSI PAKET PROGRAM DENGAN MicroNOMAD

Pada mulanya paket program disusun da
diuji coba untuk mengolah data *file* distrib
tinggi pulsa dari spektrometer produk EG



ORTEC model ADCAM 100. Karena MicroNOMAD merupakan produk yang termasuk dalam keluarga EG&G ORTEC, maka diperkirakan tidak diperlukan penyesuaian berarti dalam mengolah luarannya. Sesuai dengan perkiraan, setelah dilakukan modifikasi program berupa penyesuaian algoritme pemanggilan data masukan agar dapat menerima sandi / angka yang mencirikan tipe data *file* distribusi tinggi pulsa dari versi baru, maka paket program berhasil berkomunikasi dengan MicroNOMAD dan dapat mengolah data *file* spektrum gama yang disediakan oleh pemasok sebagai data *file* demonstrasi.

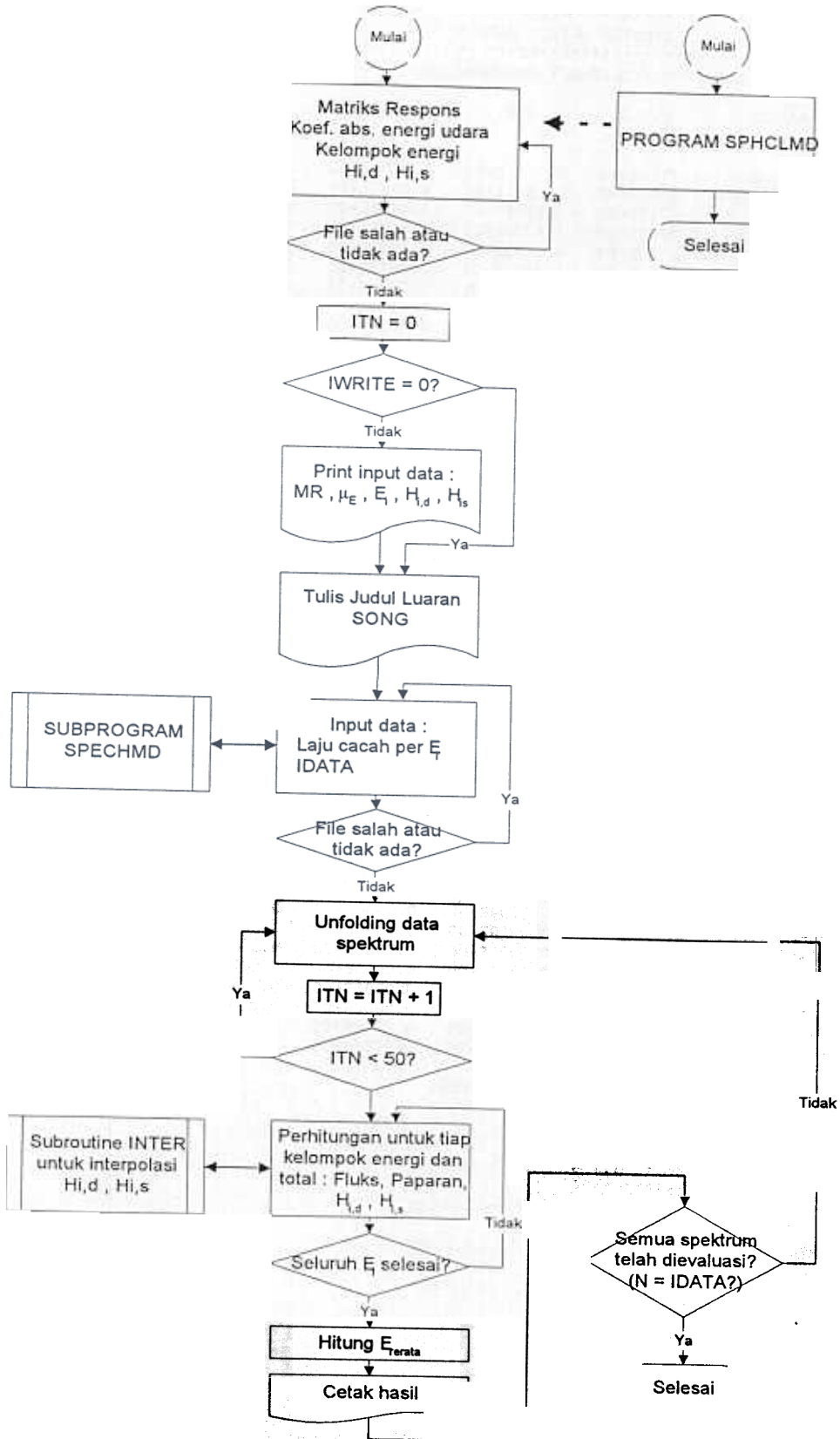
Paket program pengolah spektrometer NaI(Tl) ditulis dalam bahasa FORTRAN-77 dan telah disisipkan ke dalam *software* FORTRAN Power Station yang dapat bekerja dengan *sistem windows*. Apabila paket program dieksekusi, pemakai akan diminta memasukkan file matriks respon yang sesuai dengan kondisi iradiasi yaitu apakah untuk pengukuran di dalam fasilitas nuklir atau di lingkungan. Dalam hal pengukuran di dalam atau di sekitar fasilitas nuklir, disediakan data matriks respon dengan jangkau energi foton sampai 9 MeV. Sedangkan untuk pengukuran di lingkungan, disediakan matriks respon dengan jangkau energi foton sampai 3 MeV. Setelah file matriks respon dimasukkan, pemakai akan diminta untuk memasukkan file spektrum gama (luaran dari MicronNOMAD atau yang setara) dan nama file output program berikut identitas file seperlunya. Selain daripada itu, disediakan juga fasilitas kalibrasi (energi) ulang apabila pemakai menghendakinya. Contoh

dari output paket program dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penyusunan program komputer pemantauan radiasi gama versi PC yang diberi nama GABATAN dan NAGABAT disajikan pada Lampiran. Teknik respon matrik untuk *unfolding* distribusi tinggi pulsa yang diadopsi program tersebut, yaitu yang mengandalkan teknik iterasi, mempunyai nilai kesalahan dalam hal laju pemaparan gama adalah sekitar 7,5 % seperti dibahas dalam pustaka (3). Pada pustaka (7), untuk meyakinkan bahwa luaran SONGMD1 memadai, telah dilakukan studi banding pengukuran laju dosis gama dengan berbagai survei meter gama di RSG-GAS.

SONGMD1 merupakan program komputer versi awal dari GABATAN. Perbedaan antara GABATAN dan SONGMD1 adalah bahwa SONGMD1 belum praktis dan tidak bisa memanggil data *file* distribusi tinggi pulsa dari luaran *portable gamma analyzer* MicroNOMAD produk ORTEC. Dilaporkan bahwa spesifikasi medan radiasi gama di balai operasi pada daya 25 MW berdasarkan luaran SONGMD1 adalah laju paparan ($53,5 \pm 8\%$) $\mu\text{R}/\text{jam}$, fluks gama $51 \text{ cm}^{-2} \text{ det}^{-1}$, dan energi reratanya 1,45 MeV. Dari pengukuran dengan survei meter 450P (Victoreen) dan Automess untuk laju dosis diperoleh masing-masing ($54,0 \pm 10,2$) $\mu\text{R}/\text{jam}$ dan (58 ± 15) $\mu\text{R}/\text{jam}$. Secara statistik, data laju dosis dari ketiga pengukuran di atas bersesuaian satu sama lain.



Gambar Diagram alir sederhana program GABATAN

Tabel 1. Test GABATAN mengambil data file MMCBDEMO.CHN dan mengolahnya.

```

*****
* GABATAN OUTPUT DATA *
*****
SPECTRUM FILENAME : MMCBDEMO.CHN

```

NO.	ENERGY RANGE	P.H.D.	E.D.	EXPOSURE	FLUX (/CM2/MEV/SEC)
	.010 >-> .200	6.2162E+02	4.2778E+00	6.9703E-01	2.2515E+01
2	.200 >-> .400	6.5098E+02	7.1515E+00	4.0977E+00	3.5758E+01
3	.400 >-> .600	3.6755E+02	3.5189E+00	3.4655E+00	1.7595E+01
4	.600 >-> .800	6.3671E+02	1.8399E+01	2.5026E+01	9.1994E+01
	.800 >-> 1.000	2.3703E+02	5.5189E+00	9.3878E+00	2.7594E+01
	1.000 >-> 1.200	3.0492E+02	1.4879E+01	2.9849E+01	7.4395E+01
	1.200 >-> 1.400	1.8461E+02	1.1783E+01	2.7023E+01	5.8917E+01
8	1.400 >-> 1.600	1.0002E+01	7.4145E-01	1.8956E+00	3.7073E+00
9	1.600 >-> 1.800	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
10	1.800 >-> 2.000	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
11	2.000 >-> 2.200	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
12	2.200 >-> 2.400	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
13	2.400 >-> 2.600	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
14	2.600 >-> 2.800	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
15	2.800 >-> 3.000	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
16	3.000 >-> 3.200	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
17	3.200 >-> 3.400	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
18	3.400 >-> 3.600	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
19	3.600 >-> 3.800	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
20	3.800 >-> 4.000	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
21	4.000 >-> 4.200	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
22	4.200 >-> 4.400	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
23	4.400 >-> 4.600	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
24	4.600 >-> 4.800	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
25	4.800 >-> 5.000	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
26	5.000 >-> 5.200	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
27	5.200 >-> 5.400	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
28	5.400 >-> 5.600	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
29	5.600 >-> 5.800	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
30	5.800 >-> 6.000	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
31	6.000 >-> 6.200	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
32	6.200 >-> 6.400	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
33	6.400 >-> 6.600	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
34	6.600 >-> 6.800	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
35	6.800 >-> 7.000	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
36	7.000 >-> 7.200	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
37	7.200 >-> 7.400	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
38	7.400 >-> 7.600	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
39	7.600 >-> 7.800	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
40	7.800 >-> 8.000	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
41	8.000 >-> 8.200	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
42	8.200 >-> 8.400	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
43	8.400 >-> 8.600	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
44	8.600 >-> 8.800	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
45	8.800 >-> 9.000	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
46	9.000 >-> 9.200	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00

EXPOSURE RATE = 1.0144060E+02 (MICRO-R/HR)

TOTAL FLUX = 6.6269840E+01 (G/CM2/SEC)

AVERAGE ENERGY (FLUX) = 8.2990720E-01 (MEV)

AVERAGE ENERGY (ENERGY) = 9.9353300E-01 (MEV)

AVERAGE ENERGY (EXPOSURE) = 9.8391170E-01 (MEV)

DEPTH INDEX = 6.4821110E-01 (micro Sv/hour)

SHALLOW INDEX = 1.0411310E+00 (micro Sv/hour)

ng
PRSGTn

abe Tes: NAGABAT me gam da fil MMC DE O CHN da iengolah: ya

EN:

EN:

FL:
CM2 / MEN

EN:

EM

RAT

RO-

CAT

be: daearkem
dengar

ni pelep

tod:

kolam ke balai operasi merupakan penyumbang paparan eksterna terbesar.

Hasil pengujian GABATAN dan NAGABAT dalam hal mentransfer dan mengolah data dari luaran *portable gamma analyzer* MicroNOMAD disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2. *File* data distribusi tinggi pulsa yang dipakai untuk pengujian ini merupakan *file* demo yang disediakan oleh pemasok. Keterangan mengenai karakteristik spektrometer gama yang digunakan, seperti ukuran detektor dan kondisi iradiasi tidak diberikan oleh pemasok. Informasi ini penting apabila bermaksud ingin menspesifikasi medan radiasi gama secara akurat untuk data *file* yang bersangkutan berdasarkan luaran program. Walaupun demikian, karena untuk sasaran kegiatan tahun pertama yaitu bahwa paket program dapat 'berkomunikasi' dengan luaran MicroNOMAD dan mengolahnya secara konsisten, maka informasi atau keterangan mengenai data *file* seperti dimaksudkan di atas tidak perlu harus ada.

Evaluasi kesalahan pembacaan data *file* MicroNOMAD oleh paket program dilakukan dengan cara membandingkan jumlah cacah total untuk rentang energi tertentu antara luaran paket program dan menurut luaran MCA-MicroNOMAD. Untuk data *file* yang bernama MMCBDEMO.CHN program GABATAN memberikan penyimpangan jumlah cacah total sekitar 0,1 % lebih besar daripada luaran MicroNOMAD untuk rentang energi 10,0 keV – 9,2 MeV, sedangkan program NAGABAT memberikan penyimpangan sekitar 1,4 % lebih besar untuk rentang energi 50 keV- 3,2 MeV. Adanya perbedaan penyimpangan pembacaan antara hasil dari GABATAN dan dari NAGABAT bisa dijelaskan sebagai berikut. Data file MMCBDEMO.CHN berisi data distribusi

tinggi pulsa dari hasil pengukuran untuk sumber Cs-137 dan Co-60 dengan kanal MCA yang terakhir dispesifikasi sebagai 1586,13 keV. Berdasarkan prosedur pengelompokkan energi foton yang dilakukan oleh program, maka data distribusi tinggi pulsa MMCBDEMO.CHN akan dikelompokkan menjadi dari kelompok 1 sampai 8 oleh GABATAN, lihat Tabel 1, dan dari kelompok 1 sampai 15 oleh NAGABAT, lihat Tabel 2. Dengan perkataan lain, untuk data MMCBDEMO.CHN, GABATAN melakukan prosedur pengelompokkan energi sebanyak 8 kali sedangkan NAGABAT sebanyak 15 kali. Untuk kelompok energi di atas 1586 keV diberi angka nol karena sudah tidak tersedia kanal (data cacah) di dalam MCA. Dengan demikian, dari sudut pandang jumlah cacah total, NAGABAT akan memberikan penyimpangan yang lebih besar daripada GABATAN dikarenakan melakukan prosedur pengelompokkan yang lebih banyak untuk interval energi yang diperhatikan. Walaupun begitu, dari sudut pandang laju paparan total, efek dari penyimpangan pembacaan cacah sekecil itu bisa diabaikan; sebagai contoh menurut luaran GABATAN dan NAGABAT, nilai laju paparannya masing-masing adalah 101,44 dan 100,84 μ R/jam atau berbeda sekitar 0,6 %. Adanya kesalahan kecil dari luaran program yang tidak bisa dihindari oleh prosedur pengelompokkan data cacah menurut energi di sini adalah disebabkan operasi aritmatika yang melibatkan bilangan ril dari variabel energi menuju bilangan integer untuk dinyatakan dalam variabel kanal.

Penjelasan detil mengenai besaran untuk luaran GABATAN disajikan pada pustaka (5), sedangkan untuk luaran NAGABAT disajikan pada pustaka (3). Di antara besaran penting untuk luaran GABATAN adalah *Depth Index* dan

Shallow Index. Besaran ini masing masing menyatakan laju dosis maksimum yang diterima bagian dalam tubuh dan bagian permukaan tubuh seperti didefinisikan pada pustaka (8). Mengenai luaran NAGABAT, seperti disajikan pada Tabel 2, di sini akan disampaikan penjelasan secara garis besar. Dari Tabel 2 dinyatakan bahwa konsentrasi potasium -K, uranium -U, dan torium -Th masing masing adalah 1,97 %, 0,0 ppm, dan 0,0 ppm. Data konsentrasi demikian bisa menjelaskan bahwa data distribusi tinggi pulsa adalah berasal dari suatu pengukuran di suatu lokasi dengan kondisi iradiasi bahwa sumbangan dari radiasi gama artifisial berenergi lebih kecil dari 1,69 MeV adalah sangat dominan; dalam hal ini sumbangan dari uranium, yang diwakili oleh kelompok 1,69 - 1,84 MeV dan 2,1 - 2,31 MeV, dan dari torium, yang diwakili oleh kelompok 2,51 - 2,72 MeV, tidak terdeteksi karena berada di luar energi terakhir dari MCA sehingga dinyatakan 0,0 ppm. Mengenai penentuan bahwa konsentrasi potasium adalah 1,97 %, nilai ini tidak bisa diterima karena kelompok energi yang mewakilinya yaitu 1,39 - 1,54 MeV sudah terganggu oleh sumbangan dari Co-60. Untuk dapat menganalisis sumbangan dari radiasi gama alam, NAGABAT menyaratkan bahwa sumbangan pulsa dari radiasi gama artifisial yang masuk ke kelompok energi lebih besar dari sekitar 1,39 MeV harus relatif jauh lebih kecil atau diabaikan dari pada sumbangan yang berasal dari potasium, uranium, dan torium. Selanjutnya mengenai besaran laju paparan (*exposure rate*) dan fluks total. Dalam hal ini, NAGABAT tidak membedakan apakah nilai besaran itu berasal dari radiasi gama alam atau gama artifisial, melainkan mencakup seluruh radiasi gama yang terdeteksi oleh sistem pengukuran. Besaran lainnya adalah EXCAL dan FLCAL yang masing-masing berarti

laju paparan dan fluks yang berasal dari sumbangan radiasi gama alam; nilainya bisa diterima apabila tidak terdapat sumbangan pulsa (dapat diabaikan) dari radiasi gama artifisial terhadap kelompok energi yang lebih besar dari 1,39 MeV. Terakhir adalah mengenai luaran ratio EOBS/ECAL dan FOBS/FCAL yang masing-masing berarti ratio antara laju paparan total terhadap laju paparan gama alam dan ratio antara fluks gama total terhadap fluks gama alam. Untuk kondisi iradiasi di mana sumbangan pulsa dari radiasi gama artifisial dapat diabaikan, maka nilai ratio ini berdasarkan pengalaman biasanya tidak menyimpang jauh dari angka 1.

KESIMPULAN

Pengembangan program komputer untuk pemantauan radiasi gama di sekitar fasilitas nuklir telah dilaksanakan sehingga dapat dicangkokkan pada *portable gamma analyzer* yang tersedia secara komersial. Tahap paling penting dari kegiatan pada tahun pertama telah berhasil dilewati; yaitu bahwa paket program telah dicoba dan berhasil mentransfer *file* data (distribusi tinggi pulsa) dari luaran spektrometer MicroNOMAD (produk ORTEC) kemudian mengolahnya menjadi data besaran dosimetri dan fisika. Penyimpangan pembacaan jumlah cacah dari *file* demo yang memuat data distribusi tinggi pulsa Cs-137 dan Co-60 setelah dikelompokkan mengikuti format kelompok energi foton gama dari program GABATAN dan NAGABAT adalah relatif kecil yaitu masing-masing hanya 0,1 % dan 1,4 %. Untuk maksud praktis efeknya terhadap penentuan besaran dosimetri dan fisika dapat diabaikan.

DAFTAR PUSTAKA

1. MINATO, S. and KAWANO, M., "On the Constitution of Terrestrial Gama Radiation", *Journal of Geophysical Research*, 75(29), (1970).
2. MINATO, S. and KAWANO, M., "Evaluation of Exposure due to Terrestrial Gama-Radiation by Response Matrix Method", *Journal of Nuclear Science and Technology*, 7(8), p. 401-406 (1970).
3. MINATO, S. "A Response Matrix of a 3"Ø × 3" NaI(Tl) Scintillator for Environmental Gama Radiation Analysis", *Report of the Government Industrial Research Institute, Nagoya*, 27(12) (1978), dalam bahasa Jepang.
4. BARAN, J. A., REYNOLDS, R. S., FAW, R. E., and KIMEL, W. R., "Analysis of Gama-Ray Spectroscopy Data", *Nuclear Applications and Technology*, vol. 9, (1970).
5. AKHMAD, Y.R. dan PUDJIJANTO, M.S., "SONGMD1: Program Pengolah Luaran Spektrometer Gama NaI(Tl) dan Penentuan 'Indeks Taradosis-dalam dan Taradosis-Permukaan', Lokakarya Komputasi dalam Sains dan Teknologi Nuklir VII-PPI Batan, Jakarta (1997).
6. MATSUDA, H., FURUKAWA, S., KAMINISHI, T., and MINATO, S. "A New Method for Evaluating Weak Leakage Gama-Ray Dose Using a 3"Ø × 3" NaI(Tl) Scintillation Spectrometer (I)", *Report of the Government Industrial Research Institute, Nagoya*, 31(5)(1983), dalam bahasa Jepang.
7. YUS R. AKHMAD dan PUDJIJANTO MS., "Evaluasi Spektrum Foton Gama dan Laju Paparan di RSG-GAS", *Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir*, Yogyakarta (1997).
8. DIMBYLOW, P.J. and FRANCIS, T.M. "A Calculation of the Photon Depth-dose Distributions in the ICRU Sphere for a Broad Parallel Beam, a Point Source and an Isotropic Field", *NRPB-R92, National Radiological Protection Board* (1979).

PERTANYAAN

Penanya Yan Bony Marsahala

Pertanyaan :

Dari judul penelitian saudara, yaitu Pengembangan paket program dst Kami belum dapat melihat pengembangan yang saudara maksud dari hasil presentasi saudara.

Tolong jelaskan paket program terdahulu itu apa? Dan setelah dikembangkan menjadi apa? Dan pada penjelasan saudara disebutkan adanya kesalahan pembulatan, ditanyakan metode apa yang anda gunakan dalam program tersebut untuk melakukan operasi pembulatan?

Jawaban :

Paket program sebelumnya belum dapat mentransfer data secara otomatis yaitu input data distribusi tinggi pulsa dimasukan secara manual. Paket program sebelumnya SONG dan SONGMD1 menjadi NAGABAT dan GABATAN.

Metode pembulatan adalah mengikuti bahasa Fortran 77 yaitu dari variable bilangan riil dikonversi menjadi bilangan integer.