

**KOMPARASI SPEKTRA ENERGI PADA MCA eMorpho ANTARA
HASIL KALIBRASI 'SINGLE ENERGY' DAN 'MULTI ENERGY'**

Mohamad Amin, Joko Triyanto, Dian Fitri, Fitri Suryaningsih
PRFN – BATAN, Gedung 71, Kawasan PUSPIPTEK, Setu, Tangerang Selatan, Banten.
E-mail : amin123@batan.go.id

ABSTRAK

*KOMPARASI SPEKTRA ENERGI PADA MCA eMorpho ANTARA HASIL KALIBRASI 'SINGLE ENERGY' DAN 'MULTI ENERGY'. Multi Channel Analyzer (MCA) eMorpho adalah salah satu jenis MCA berbasis teknologi Field Programmable Logic Array (FPGA). Dengan teknologi ini, metode kalibrasi kanal energy, disebut "single-energy", hanya membutuhkan suatu radionuklida dengan satu spektra energi gamma, seperti ^{137}Cs . Cara ini berbeda dengan metode kalibrasi kanal energi MCA yang lazim. Metode kalibrasi MCA yang lazim adalah dengan melibatkan sejumlah spektrum energi yang bersumber dari satu atau beberapa radionuklida. Paper ini mencoba mengkomparasi hasil pembacaan spektrum energi suatu radionuklida yang berasal dari MCA eMorpho yang telah dikalibrasi menggunakan kedua metode tersebut. MCA eMorpho tersebut adalah eRC1653 dan eRC1660. Selanjutnya, spektra energi yang digunakan sebagai penguji adalah 511 keV yang berasal dari radionuklida ^{22}Na . Hasil pengamatan spektra energi pada eRC1653 dan eRC1660 dari hasil kalibrasi "single energy" adalah berturut-turut sebesar 522,75 keV dan 515,59 keV. Berikut, nilai spektra energi pada eRC1653 dan eRC1660 dari hasil kalibrasi 'multi energy' adalah sebesar 524,70 keV dan 509,26 keV. Berdasarkan hasil pengamatan spektrum energi yang diperoleh dari kedua metode kalibrasi pada eRC1653 dan eRC1660 tersebut dan dari nilai **full width half maximum (FWHM)** terkecil MCA eMorpho sebesar 6,86 %, dapat disimpulkan bahwa penggunaan kedua metode kalibrasi tersebut tidak memiliki perbedaan yang signifikan dalam menentukan nilai spektra energi dari suatu radionuklida.*

Kata kunci: mca, single energy, multi energy, komparasi, kalibrasi.

ABSTRACT

ENERGY SPECTRA COMPARATION ON MCA eMorpho BETWEEN THE CALIBRATION RESULT OF "SINGLE ENERGY" AND "MULTI ENERGY". Multi Channel Analyzer (MCA) eMorpho is a type of MCA based on Field Programmable Logic Array (FPGA) technology. With this technology, the energy channel calibration method, called "single energy", requires a radionuclide with only one gamma energy spectra, such as ^{137}Cs . This method differs from the usual MCA energy channel calibration method. The usual method, called "multi energy", involves a number of energy spectrum emitted from one or more radionuclides. This paper compares the reading results of the energy spectrum of a radionuclide derived from an eMorpho MCA that has been calibrated using both methods. The eMorpho MCAs are eRC1653 and eRC1660. Furthermore, the energy spectrum used as the testers is 511 keV derived from the ^{22}Na radionuclide. The result of energy spectra observation on eRC1653 and eRC1660 from calibration "single energy" is 522.75 keV and 515,59 keV respectively. Here, the energy spectra of eRC1653 and eRC1660 from the calibration of 'multi energy' is 524,70 keV and 509,26 keV. Based on the results of observations of energy spectrum obtained from both calibration methods on eRC1653 and eRC1660 and from the smallest full width half maximum (FWHM) of MCA eMorpho of 6.86%, it can be concluded that the use of both calibration methods has no significant difference in determine the energy spectra value of a radionuclide.

Keyword: mca, single energy, multi energy, comparation, calibration.

1. PENDAHULUAN

Multichannel analyzer (MCA) adalah suatu instrumentasi ukur yang umumnya digunakan untuk mengamati distribusi tinggi pulsa-pulsa masukan dari suatu radionuklida [1]. Tinggi pulsa-pulsa tersebut kemudian disajikan dalam bentuk kanal-kanal berurutan. Kanal-kanal tersebut merepresentasikan spektrum energi dari radionuklida yang sedang diamati. MCA dikenal juga dengan nama Pulse Height Analyzer (PHA).

Pada awalnya, MCA merupakan rangkaian elektronika sederhana yang hanya terdiri dari sebuah blok rangkaian penguat linear pulsa atau disebut *linear amplifier*, dan sebuah rangkaian blok MCA dengan ADC yang berfungsi melakukan konversi sinyal dari bentuk analog ke sinyal bentuk digital sebagai komponen utamanya [2]. MCA generasi berikutnya mengalami perbaikan dengan penambahan beberapa blok rangkaian seperti blok rangkaian *pile up rejector* dan blok rangkaian *baseline restorer*. Blok rangkaian *pile up rejector* digunakan untuk menghilangkan efek penjumlahan dua buah pulsa radionuklida yang masuk secara bersamaan ke rangkaian penguat linear. Sementara blok diagram *baseline restorer* digunakan untuk mengembalikan posisi tegangan *baseline* ke posisi semula bila terjadi pergeseran posisi.

Perkembangan ilmu dan teknologi rangkaian terintegrasi yang pesat dan *smart*, menghasilkan produk MCA yang lebih kompak dan andal serta terintegrasi dengan *Field Programmable Logic Array (FPGA)*[3] di dalam satu papan rangkaian berukuran kecil. FPGA tersebut bertugas untuk mengolah sinyal digital dalam waktu sebenarnya (*real time*). FPGA berisi sejumlah modul pemrosesan sinyal digital. Salah satu diantaranya adalah modul kalibrasi. Modul kalibrasi ini bertugas menyimpan data dan waktu tiba dari kejadian terakhir ditambah dengan data lingkungan dan diagnostik seperti nilai dari *DC-baseline* dan suhu dari *TwinBase*.

Perkembangan teknologi perangkat keras MCA, diiringi dengan perubahan metode kalibrasi untuk menganalisis distribusi spektrum energi dari suatu radionuklida. Metode kalibrasi pada MCA konvensional mensyaratkan penggunaan lebih dari spektrum energi. Oleh karena itu, metode kalibrasi pada MCA konvensional tersebut biasanya menggunakan satu atau beberapa radionuklida agar diperoleh sejumlah spektrum energi pada kanal-kanal yang berbeda. Sebaliknya, metode kalibrasi pada MCA berbasis FPGA merekomendasi penggunaan satu spektra energi saja, seperti ^{137}Cs dengan energi tunggal sebesar 662 keV[6]. Perbedaan metode kalibrasi ini memotivasi penulis dalam melakukan uji komparasi antara kedua metode tersebut untuk mengetahui ada atau tidaknya perbedaan hasil kalibrasi diantara keduanya.

Paper ini menyajikan komparasi nilai spektra energi suatu radionuklida hasil dari dua buah MCA eMorpho yang dikalibrasi menggunakan dua metode yang berbeda yaitu kalibrasi menggunakan single energi dan kalibrasi menggunakan multi energi. Kedua MCA eMorpho yang digunakan adalah eRC1653 dan eRC1660.

2. TEORI

Sinar gamma adalah suatu radiasi elektromagnetik yang berasal dari peluruhan suatu radionuklida. Ada dua parameter melekat dari radiasi sinar gamma, yaitu intensitas dan energi. Intensitas sinar gamma berhubungan dengan nilai aktifitas sumber radionulida yang memancarkan sinar gamma parallel dalam arah tertentu persatuan luas bidang yang dilewati persatuan waktu. Sementara energi sinar gamma berhubungan dengan kekuatan penetrasi sinar gamma tersebut ketika melewati suatu media .

Intensitas dan energi sinar gamma dapat diukur menggunakan detektor sintilasi. Detektor sintilasi adalah detektor yang menggunakan bahan sintilator. Bahan sintilator adalah medium yang dapat mengubah foton-foton sinar gamma yang datang mengenainya menjadi cahaya. Proses perpendaran sintilator menjadi cahaya terjadi ketika radiasi sinar gamma yang datang mengenai bahan sintilator yang terpasang pada detektor. Kuat cahaya pendaran berbanding lurus dengan energi sinar gamma yang mengenai sintilator tersebut. Selanjutnya, hasil pendaran tersebut diperkuat oleh rangkaian pengali cahaya agar diperoleh kuat arus yang sesuai untuk diproses oleh rangkaian elektronika berikutnya. Kuat arus tersbut kemudian dilewatkan pada rangkaian penguat awal yang disebut *preamplifier*. Penguat awal tersebut disamping bertugas memperkuat arus, juga melakukan konversi besaran arus ke besaran tegangan. Sebelum dilewatkan ke rangkain pengubah sinyal analog ke digital (rangkaiian *ADC*), keluaran dari penguat awal diperkuat lagi oleh rangkaian penguat lanjutan yang disebut *amplifier*.

Rangkaian *amplifier* merupakan bagian dari detektor sintilasi yang berfungsi tidak hanya sebagai penguat tegangan, akan tetapi juga berguna sebagai *buffer* dan tempat

untuk mengatur *gain* agar didapatkan linearitas pulsa hasil dari penguatan yang akan dilewatkan ke rangkaian *ADC*. Pengaturan *gain amplifier* tidak boleh menghasilkan pulsa hasil penguatan berada diluar jangkauan kerja tegangan input maksimum dari *rangkaian ADC*.

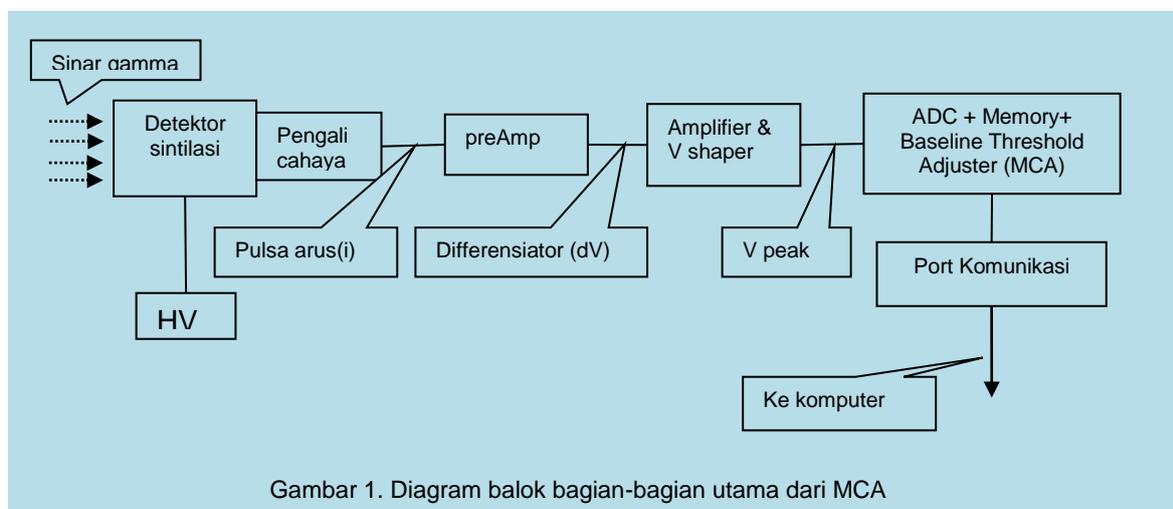
Keluaran dari *ADC* adalah suatu sandi biner dengan lebar bit sebanyak jumlah kaki keluaran dari rangkaian *ADC* tersebut. Keluaran *ADC* ini digunakan untuk menunjuk alamat memori tempat menyimpan nilai intensitas sinar gamma. frekuensi munculnya sebuah alamat dalam kurun waktu tertentu menyatakan intensitas dari sinar gamma pada alamat tersebut.

Umumnya detektor sintilasi telah dilengkapi oleh catu daya tegangan tinggi untuk mensuplai tegangan ke pengali cahaya, sementara rangkaian lain yang merupakan bagian dari sistem deteksi disuplai oleh tegangan yang sesuai.

Detektor sintilasi hasil teknologi modern menyertakan beberapa blok rangkaian tambahan yang berfungsi untuk memperbaiki kualitas hasil cacahan dan juga untuk pemrosesan awal (*preprocessing*) sebelum ditampilkan dan dianalisis lebih lanjut oleh perangkat lunak sistem deteksi yang terinstal di komputer. Blok-blok rangkaian tambahan tersebut antara lain *pile up rejector*, *firmware*, protokol komunikasi, pemroses histogram, kompensator suhu, kalibrasi otomatis, dan lain-lain.

Keseluruhan bagian rangkaian yang ada pada sistem detektor sintilator di atas disebut *Multichannel Analyzer* atau disingkat *MCA*. Berikut diperlihatkan bagian-bagian utama dari *MCA* menggunakan diagram balok (Gambar. 1).

Sebelum menggunakan *MCA* untuk mengukur spektrum energi dari radionuklida yang tidak diketahui, *MCA* harus dikalibrasi. Proses kalibrasi yang umum dilakukan adalah dengan menggunakan spektrum energi sinar gamma yang telah diketahui dari sebuah atau gabungan dari beberapa sumber radionuklida. Spektrum energi tersebut dipetakan ke masing-masing kanal keluaran *ADC* yang ditampilkan dalam bentuk grafik. Berdasarkan hasil pemetaan tersebut akan diperoleh hubungan linear yang dinyatakan dalam bentuk persamaan matematik antara spektrum energi sinar gamma dan kanal-kanal keluaran dari *ADC*. Selanjutnya persamaan matematik tersebut digunakan untuk menentukan radionuklida yang belum diketahui ketika spektrum energinya terpetakan pada kanal-kanal keluaran dari *ADC*. Saat ini teknik kalibrasi *MCA* ada yang menggunakan satu spektra energi saja [3]. Metode kalibrasi yang menggunakan beberapa spektrum energi dalam paper ini disebut teknik *multi energy*, sementara teknik kalibrasi yang menggunakan satu energy disebut *single energy*.



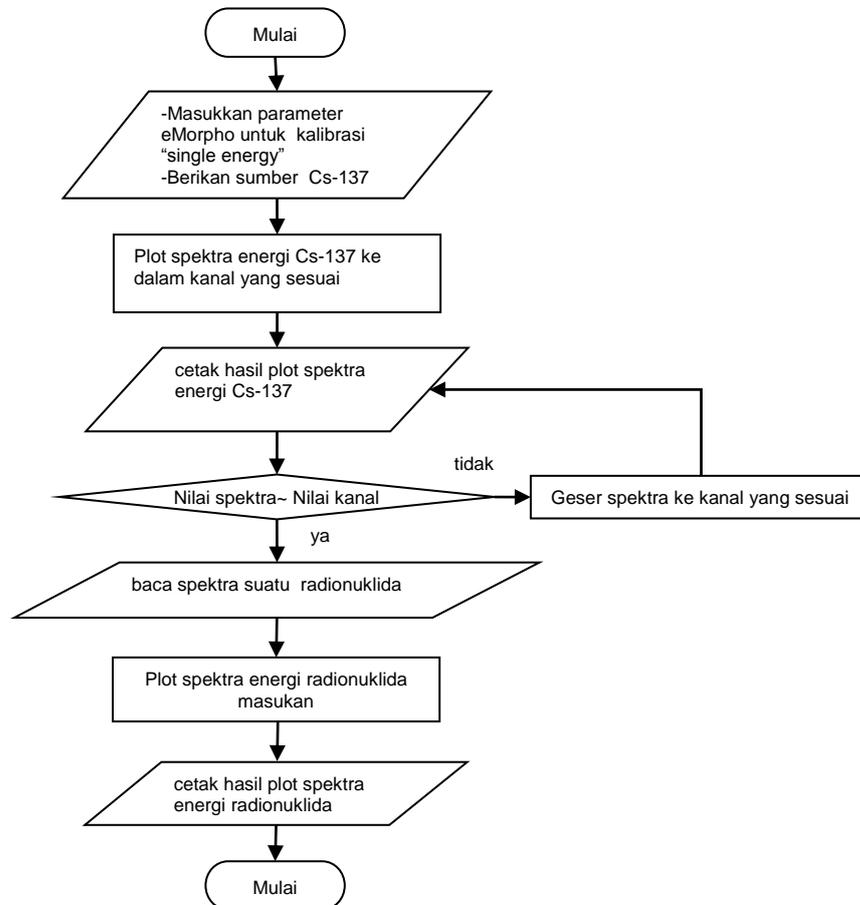
Gambar 1. Diagram balok bagian-bagian utama dari *MCA*

3. METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam melakukan komparasi terhadap hasil kalibrasi antara teknik kalibrasi menggunakan “*single energy*” dan “*multi energy*” dideskripsikan sebagai berikut :

3.1. Teknik kalibrasi “single energy”

- 1) Pertama-tama, sistem MCA eMorpho disetting untuk melakukan proses kalibrasi menggunakan teknik “single energy”. Proses kalibrasi ini memerlukan sumber ^{137}Cs yang memiliki spektrum energi sinar gamma tunggal sebesar 662 keV.
- 2) Tampilan spektra energi ^{137}Cs MCA di layar monitor komputer seharusnya berada pada kanal atau bin 662 yang merepresentasikan spektra energi ^{137}Cs . Jika tidak, maka spektra energi tersebut harus digeser ke nomor kanal tersebut dengan cara mengatur penguat (gain) elektronika, penguat (gain) digital, dan catu daya tegangan tinggi dari detektor sintilasi. Hasil pengaturan ini kemudian disimpan di dalam memori komputer tertanamnya eMorpho (*firmware*) yang dikenal dengan sebut *Non Volatile Memory* (NVEM).
- 3) Setelah proses kalibrasi menggunakan teknik “single energy” telah selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah mengganti sumber sinar gamma menggunakan radionuklida lain. Kemudian mencatat hasil pembacaan spektra energi sinar gamma dari radionuklida tersebut dari MCA eMorpho yang digunakan untuk tujuan komparasi.
- 4) Teknik kalibrasi “single energy” menggunakan cara yang sama pada sistem MCA eMorpho yang lain ketika akan digunakan untuk mengukur spektrum energi sinar gamma dari suatu sumber radionuklida.

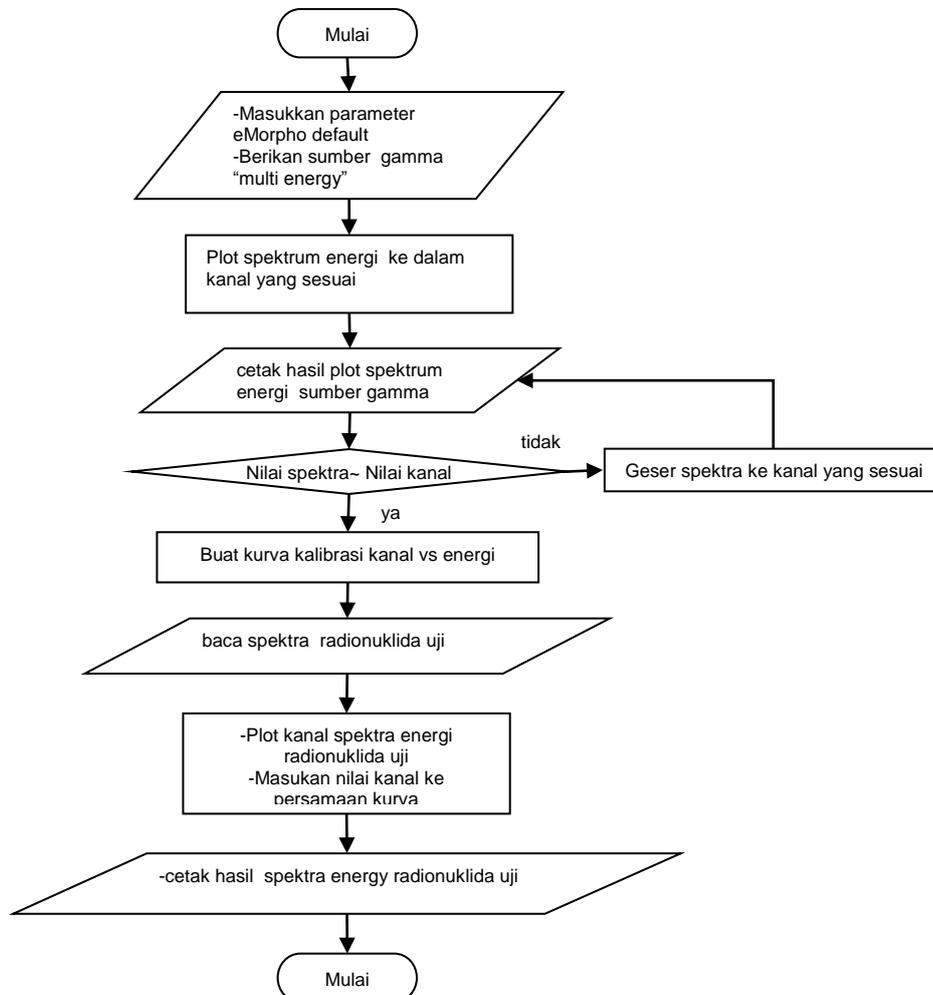


Gambar 2. Diagram alir kalibrasi menggunakan teknik “single energy”

3.2. Teknik kalibrasi “multi energy”

- 1) Pertama-tama, sistem MCA eMorpho dibiarkan hidup dalam kondisi yang belum terkalibrasi.

- 2) Langkah berikutnya adalah menyiapkan satu atau beberapa radionuklida dengan beberapa spektrum energi yang telah diketahui untuk proses kalibrasi “*multi energy*”.
- 3) Tampilan spektrum energi dari sinar gamma yang berasal dari radionuklida-radionuklida yang digunakan tersebut diamati dan dicatat posisi kanalnya masing-masing. Jika kanal-kanal spektrum energi yang terbaca jauh menyimpang dari kanal-kanal spektrum energi yang sebenarnya, maka spektrum energi tersebut sebaiknya digeser dengan mengatur *gain* agar mendekati spektrum energi sebenarnya.
- 4) Hasil spektrum energi yang terbaca pada kanal-kanal energi MCA di layar monitor komputer selanjutnya dicatat dan digunakan untuk pembuatan grafik kalibrasi yang untuk mendapatkan hubungan antara kanal-kanal MCA eMorpho dan spektrum energi masing-masing sinar gama yang berasal dari radionuklida-radionuklida yang telah diketahui.
- 5) Grafik kalibrasi ini kemudian digunakan untuk menentukan nilai spektrum energi sebenarnya dari sumber radiasi gamma suatu radionuklida yang belum diketahui.
- 6) Hasil ini kemudian dikomparasi dengan nilai yang diperoleh dari proses kalibrasi dengan teknik “*single energy*”.
- 7) Cara kalibrasi dengan teknik “*multi energy*” adalah sama untuk MCA eMorpho yang lain.



Gambar 3. Diagram alir kalibrasi menggunakan teknik “multi energy”

Metodologi kalibrasi untuk mendapatkan hasil komparasi nilai spektrum energi suatu radionuklida yang belum diketahui dengan teknik “*single energy*” dan teknik “*multi energy*”

dideskripsikan secara berturut-turut menggunakan diagram alir (*flowchart*) dalam Gambar 2 dan Gambar 3.

4. ALAT, BAHAN DAN TATA KERJA KALIBRASI MCA eMorpho

Peralatan yang digunakan di dalam melakukan kalibrasi terdiri dari sebuah komputer pemroses berbasis windows 7. Di komputer tersebut telah terinstal perangkat lunak yang akan digunakan sebagai media kalibrasi dan penampil histogram dari spektrum energy gamma. Peralatan lain adalah dua buah MCA eMorpho yang telah terhubung dengan masing-masing detektor NaI(Tl).

Bahan-bahan yang diperlukan dalam proses kalibrasi MCA eMorpho adalah beberapa sumber radiasi gamma. Sumber radiasi gamma tersebut terdiri dari ^{137}Cs untuk proses kalibrasi dengan teknik "single energy" dan ^{133}Ba untuk proses kalibrasi dengan cara "multi energy". Kemudian, hasil kalibrasi diuji menggunakan salah satu spectra energy dari ^{22}Na .

4.1. Kalibrasi "Single Energy" dan Pengujiannya

Tahap-tahap yang dilakukan dalam proses kalibrasi dengan teknik "single energy" pada MCA eMorpho adalah sebagai berikut:

- 1) Komputer yang telah terinstal perangkat lunak kalibrasi MCA dianggap sudah terkoneksi dengan MCA eMorpho.
- 2) Perangkat lunak kemudian dijalankan (*di-running*) dan telah berada pada menu jendela kalibrasi.
- 3) Sumber radionuklida yang digunakan adalah ^{137}Cs .
- 4) Parameter penguat elektronik (*electronic gain*) yang ada pada menu kalibrasi di tetapkan sebesar 1100Ω (Ohm).
- 5) Energi Maksimum dari kanal/bin (*Max-Bin*) secara default diset 3200 keV.
- 6) Nilai dari *Check Pulse Height* diset ke 1.
- 7) Selanjutnya, tombol *start* ditekan, lalu diikuti dengan menekan tombol *refresh* di menu kalibrasi.
- 8) Nilai dari kanal/bin untuk puncak ^{137}Cs (662keV) dicatat..
- 9) Nilai kanal pada langkah ke 8 dikalikan dengan 662 keV lalu dibagi dengan 3200 keV.
- 10) Hasil perhitungan pada langkah ke 9 dimasukkan ke dalam kotak teks yang berada pada sisi kiri dari *move p.h. peak*.
- 11) Tekan tombol 'ENTER' pada papan ketik komputer. Hasil penekanan tombol ini akan merubah nilai catu daya tegangan tinggi dari MCA.
- 12) Untuk menerima perubahan catu daya tersebut, tombol *HV_OK* pada layar menu kalibrasi harus ditekan..
- 13) Tekan tombol *start*, dilanjutkan dengan menekan tombol *refresh*.
- 14) Tahapan proses kalibrasi di atas dapat diulangi dua hingga tiga kali untuk mendapatkan hasil kalibrasi yang lebih baik.
- 15) Selanjutnya, nilai dari catu daya tegangan tinggi dijaga agar tidak mengalami perubahan (tetap/konstan).
- 16) Nilai *Check Pulse Height* diatur ke 0. Tahap ini merupakan tahap akhir dari proses kalibrasi menggunakan teknik "single energy".
- 17) Hasil pengaturan dapat disimpan langsung ke dalam memori flash MCA eMorpho dengan menekan tombol *save to NVMEM*.
- 18) Untuk menguji hasil kalibrasi, sumber ^{137}Cs diganti dengan sumber ^{22}Na .
- 19) Pengamatan hasil pengujian berada pada menu Histogram.
- 20) Untuk memulai pengamatan, tekan tombol *start*, lalu tombol *refresh* di dalam menu *Histogram*.

4.2. Kalibrasi "Multi Energy" dan Pengujiannya

Proses kalibrasi MCA eMorpho dengan cara "Multi Energy" dilakukan melalui beberapa tahap berurutan .

- 1) Komputer yang telah terinstal perangkat lunak kalibrasi MCA dianggap sudah terhubung ke MCA eMorpho.
- 2) Perangkat lunak kemudian dijalankan (*di-running*) dan telah berada pada menu jendela kalibrasi.
- 3) Sumber radionuklida yang digunakan adalah ^{133}Ba .
- 4) Status perangkat lunak dibiarkan dalam keadaan *default*.
- 5) Nilai tiap-tiap kanal yang sesuai dengan spektra energi yang terlihat pada layar kalibrasi dicatat.
- 6) Jika nilai kanal-kanal tersebut masih menyimpang jauh dari nilai spektra energi acuan dari sumber, maka spektra energi tersebut harus digeser dengan cara merubah nilai *Digital Gain* pada layar kalibrasi.
- 7) Hasil pencatatan kanal-kanal yang sesuai spektrum energi dari ^{133}Ba diplot ke spektrum energi acuan ^{133}Ba berdasarkan urutan nilai masing-masing.
- 8) Dari hasil plot tersebut akan diperoleh persamaan garis lurus kalibrasi dari teknik "multi energy". Tahap ini merupakan akhir dari proses kalibrasi "multi energy".
- 9) Untuk menguji hasil kalibrasi "multi energy", sumber ^{127}Cs diganti dengan sumber ^{22}Na .
- 10) Pengamatan hasil pengujian berada pada menu Histogram.
- 11) Untuk melakukan pengamatan, tekan tombol *start*, lalu tombol *refresh* di dalam menu *Histogram*.

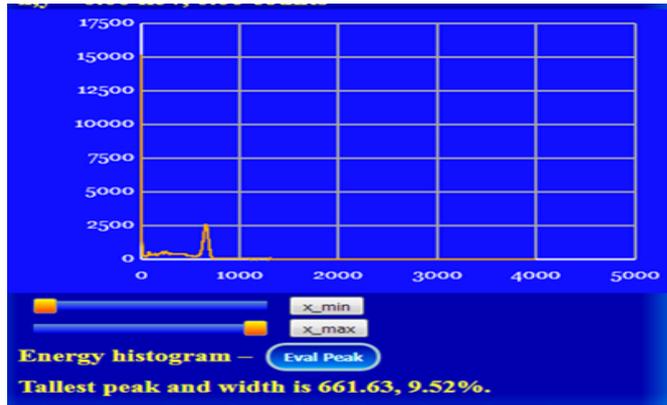
5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ada dua buah MCA eMorpho yang digunakan untuk melihat hasil kalibrasi antara teknik kalibrasi "single snergy" dan "multi energy". Kedua MCA eMorpho tersebut adalah eRC1653 dan eRC1660. Urutan pelaksanaan kalibrasi kepada kedua MCA eMorpho tersebut dilakukan secara berlawanan. Pada MCA eMorpho eRC1653, teknik kalibrasi "single energy" dilakukan terlebih dahulu hingga pengujian dari hasil kalibrasi tersebut telah selesai. Setelah itu, teknik kalibrasi "multi energy" dilakukan. Sebaliknya, pelaksanaan kalibrasi pada MCA eMorpho eRC1660 mendahulukan cara "multi energy". Hasil kalibrasi dan pengujian dari masing-masing MCA eMorpho diuraikan secara terpisah di dalam seksi-seksi berikut.

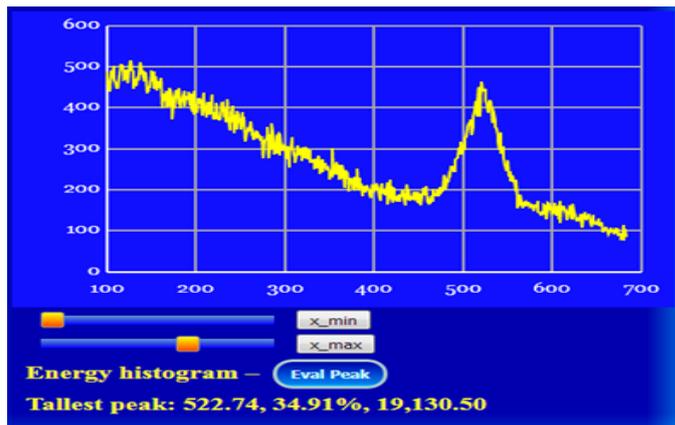
5.1.a. Hasil Kalibrasi "single energy" MCA eMorpho eRC1653

Kalibrasi MCA eMorpho eRC1653 dengan cara "single energy" menggunakan sumber radionuklida dari ^{137}Cs . Sumber tersebut memiliki spektra energi acuan sebesar 662 keV [4]. Selanjutnya spektra energi hasil kalibrasi terbaik yang terbaca di kurva histogram kalibrasi adalah sebesar 661.63 keV dengan *full width half maximum* (FWHM) sebesar 9.52%. FWHM merupakan nilai yang menunjukkan ukuran deviasi maksimum dari spektra energi puncak yang masih dapat diterima (Gambar 4).

Hasil kalibrasi MCA eMorpho eRC1653 "single energy" tersebut digunakan untuk menentukan nilai spektra energi dari radionuklida ^{22}Na . Berdasarkan hasil pengamatan, diperoleh kanal spektra energi yang diukur adalah sebesar 522.75 keV dengan FWHM sebesar 34.91%. Dengan demikian nilai ^{22}Na kalibrasi adalah $(661.63/662)*522.75$ yaitu sebesar 522.475. Energi sebenarnya adalah 511 keV. Karena fwhm dari hasil pengukuran adalah sebesar 34,91%, nilai spektra ^{22}Na masih berada dalam jangkauan FWHM 522,475 keV.



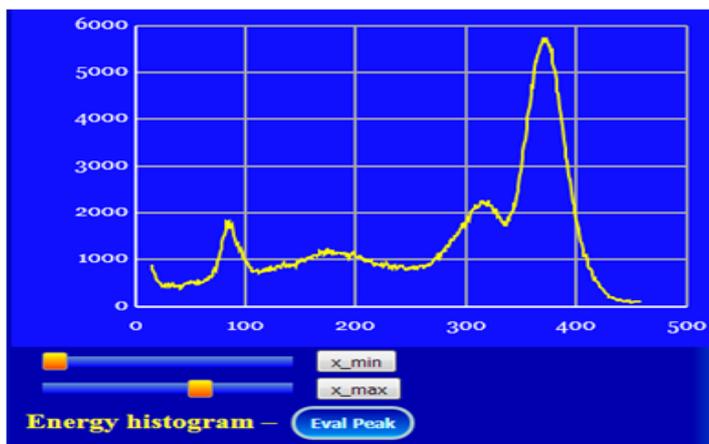
Gambar 4. Kalibrasi "single energy" eRC1653 dengan ^{137}Cs



Gambar 5. Uji kalibrasi "single energy" eRC1653 dengan ^{22}Na .

5.1.b. Hasil Kalibrasi "multi energy" MCA eMorpho eRC1653

Kalibrasi "multi energy" MCA eMorpho eRC1653 menggunakan radionuklida dari ^{133}Ba dengan spektrum energi yang terdiri dari spektra 81,0 keV, 302,8 keV, dan 356 keV [4,5]. Spektra energi hasil kalibrasi terbaik yang terbaca di kurva histogram kalibrasi berturut-turut adalah sebesar 85,36 keV (FWHM: 53,31%), 316,05 keV (FWHM 31,80%), dan 371,34 keV(FWHM:14,54%) (Gambar 6).

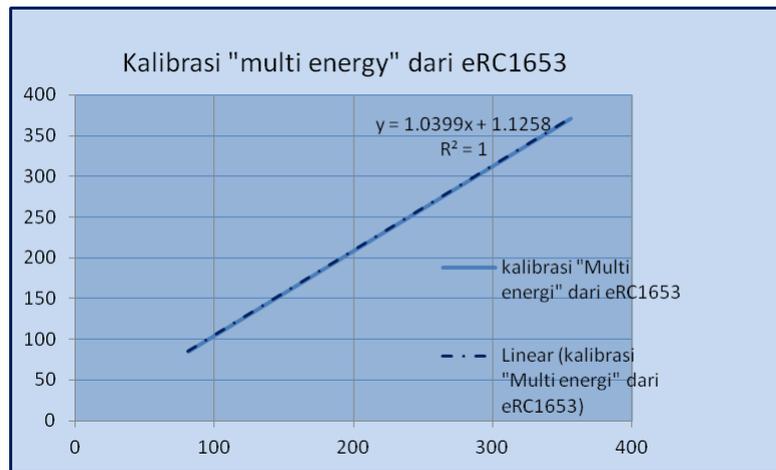


Gambar 6. Kalibrasi "multi energy" eRC1653 dengan ^{133}Ba

Hasil pengamatan kanal-kanal spektra energi kemudian dimasukkan ke dalam grafik hubungan antara kanal-kanal dan spektrum energi ^{133}Ba (Gambar 7). Dari hubungan grafik tersebut diperoleh hubungan matematik yang bersifat linear antara kanal-kanal

energy (sumbu x) yang diamati dan spektrum energi (sumbu y) acuan dari ^{133}Ba dengan persamaan $y=1,0399x+1.1258$ dengan kontanta korelasi (R^2) = 1. Berdasarkan persamaan tersebut diketahui bahwa jika energi acuan diketahui sebesar 511 keV, maka spektra energi yang terbaca pada kanal/bin adalah sebesar 532.5147 keV. Sementara hasil pengamatan nilai spektra energi yang terbaca pada kanal adalah sebesar 524,70 keV dengan FWHM sebesar 24,78%. Persentase kesalahan antara hasil kalibrasi dan pengukuran adalah sebesar 1.46%. Nilai spektra energi ^{22}Na hasil perhitungan tersebut berada di dalam daerah nilai hasil pengamatan.

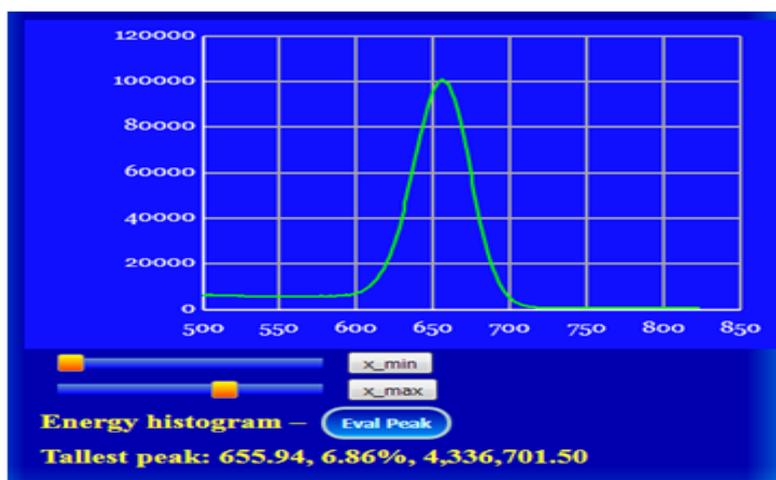
Hasil pengukuran spektra energi ^{22}Na pada eRC1653 dengan teknik "single energy" adalah sebesar 522.75, sementara dengan teknik "multi energy" adalah sebesar 524,70 keV. Komparsi hasil pengukuran dari kedua teknik ini tidak menunjukkan perbedaan nyata, karena kedua nilai tersebut berada di dalam wilayah deviasi hasil pengukuran keduanya.



Gambar 7. Grafik kalibrasi "multi energy" eRC1653 dengan ^{133}Ba

5.2.a. Hasil Kalibrasi "multi energy" MCA eMorpho eRC1660

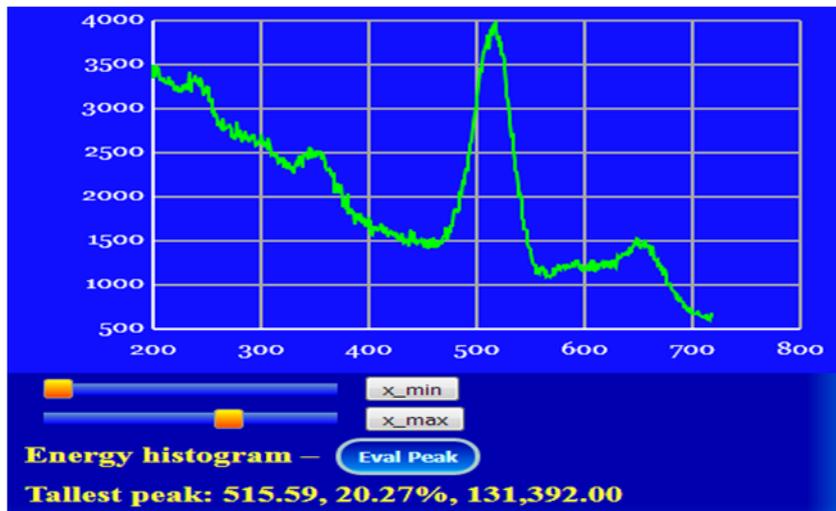
Dari hasil kalibrasi MCA eMorpho eRC1660 dengan teknik "multi energy" dapat diplot hubungan spektrum antara energi acuan (sumbu x) dari ^{133}Ba (81 keV; 302.8 keV; 356 keV) dan spektrum energi hasil pengamatannya (sumbu y) (82.38 keV; 305,66 keV; 360,27). Dari hasil plot tersebut diperoleh hubungan linear antara keduanya dalam bentuk persamaan $y=1,0094x+0.5223$. Dari persamaan ini dapat ditentukan nilai spektra energi ^{22}Na (511 keV) sebesar 516,33 keV. Sementara hasil pengukuran adalah sebesar 509,26 keV dengan FWHM sebesar 22,39%. Kedua hasil ini tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan.



Gambar 8. Kalibrasi "single energy" eRC1660 dengan ^{137}Cs

5.2.b. Hasil Kalibrasi "single energy" MCA eMorpho eRC1660

Proses kalibrasi MCA emorpho eRC1660 adalah sama seperti pada bagian 5.1.a. Kalibrasi "single energy" dengan ^{137}Cs (662keV) adalah 655,94 keV dengan FWHM sebesar 6,86% (Gambar 8). Hasil uji kalibrasi tersebut dengan ^{22}Na (511keV) berada pada nilai 515,59 keV (Gambar 9). Hasil uji adalah lebih kecil dari nilai FWHM. Dengan demikian, komparasi hasil uji kalibrasi yang dilakukan antara "multi energy" dan "single energy" pada MCA eMorpho eRC1660 juga tidak menunjukkan perbedaan secara signifikan.



Gambar 9. Hasil uji kalibrasi "single energy" eRC1660 dengan ^{22}Na

6. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian dari hasil komparasi spektrum energi yang diperoleh dari hasil kalibrasi antara teknik "single energy" dan "muti energy" dalam bagian pembahasan memberikan kesimpulan bahwa penggunaan kedua cara kalibrasi tersebut tidak memberikan perbedaan hasil pengukuran spektrum energi secara signifikan. Ini berarti, penerapan kalibrasi "single energy" pada MCA eMorpho adalah valid sebelum MCA tersebut digunakan untuk mengukur nilai spektrum energi suatu radionuklida.

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] "THE MULTICHANNEL ANALYZER". Western University. <http://www.astro.uwo.ca/~jlandstr/p359/writeup/mca.pdf>. Diakses tanggal 1 Mei 2017.
- [2] KNOLL, GLENN F. Radiation Detection and Measurement, 3rd Edition. John Wiley & Sons, Inc. 1999. ISBN 0-471-07338-5.
- [3] _____. "eMorpho - Multichannel Analyzer". Nuclear Radiation Detection. Bridgeport Instruments. <http://www.bridgeportinstruments.com/products/emorpho/emorpho.html>. Diakses tanggal 10 Mei 2017.
- [4] _____. "Gamma energy (keV). Siegel's Home Page, Physics Department College of Science. <https://www.cpp.edu/~pbsiegel/bio431/genergies.html>. Diakses tanggal 10 Mei 2017.
- [5] _____. "List of Commonly Observed Gamma Energies". <https://www.fmf.uni-lj.si/~jazbinsek/Praktikum5/gammaenergies.pdf>. Diakses tanggal 10 Mei 2017.
- [6] _____. "eM_Calibration Struct Reference". eMorpho Applications Release 3.23. Nuclear Radiation Detection. Bridgeport Instruments. http://www.bridgeportinstruments.com/products/emdoxygen/em_api/oxygenoutput/html/structe_m_calibration.html. Diakses tanggal 10 Mei 2017.