

DESAIN DAN PERANCANGAN *MULTI CHANNEL ANALYZER (MCA)* DENGAN 16 INPUT 4096 KANAL MEMORI BERBASIS KOMPUTER PRIBADI DAN SISTEM *TELEMONITORING*

Sunarno¹ dan Agus Budhie Wijatna²

ABSTRACT

The aim of this research is to set up a sufficient system, which is used for a real-time Multi Channel Analyzer (MCA) with 16 inputs and 4096 memory channels based on a personal computer and a telemonitoring system.

The completed research results in the hardware design of a multi channel analyzer (MCA) with 16 inputs and 4096 memory channels based on a personal computer. The MCA contains buffer analog series, a multiplexer, an ADC, a parallel port interface, and a power supply. Several tests were done step by step on each series, and then continued by an overall test.

The test result shows that the MCA can transfer a 12-bit data simultaneously through the parallel port and can accommodate input voltage of 0 to 10 V. The MCA has 250 μ s dead time, so it maximum decay that could still be detected are 240.000 cpm. INL test results 0.12 % prove can convert pulses with constant height into the appropriate digital values. DNL test results 1,486 %. The experiment concludes that the MCA was capable to inform the channel number. A Radio FM can transfer data through radio frequency with operational frequency UHF FM 437 MHz.

Keywords: MCA, personal computer, radio FM, frequency

PENDAHULUAN

Pada penelitian di bidang ilmu nuklir, *Multi Channel Analyzer (MCA)* merupakan instrumentasi yang sangat penting. Pulsa-pulsa yang dihasilkan oleh detektor radiasi nuklir kebanyakan berupa pulsa yang bersifat *random* dan data yang diperoleh terutama berupa: laju cacah (jumlah pulsa per satuan waktu) dan tinggi pulsa. Laju cacah merupakan informasi intensitas radiasi, sedangkan tinggi pulsa mewakili energi radiasi. Radiasi yang dipancarkan oleh setiap sumber radiasi mempunyai karakteristik yang berbeda-beda.

Prinsip dasar MCA adalah mengelompokan (pencacahan) pulsa-pulsa yang tinggi pulsa tertentu. Istilah *channel* (kanal) pada instrumen ini menggambarkan jumlah cacah dari tinggi pulsa tertentu. Banyaknya kanal menggambarkan kemampuan alat untuk memilah-milah tinggi pulsa yang masuk pada masukan MCA. Semakin banyak kanal pada MCA, semakin tinggi resolusi MCA tersebut. Resolusi yang biasa ditemukan di pasaran adalah 1024, 2048, atau 4096 kanal.

Kemampuan memilah-milah tinggi pulsa ini sebenarnya sangat terkait dengan kemampuan unit pengubah dari data analog menjadi informasi digital, yakni unit *Analog to Digital Converter (ADC)*. Saat ini, untuk keperluan penelitian dalam bidang deteksi radiasi nuklir, MCA dengan resolusi 4096 kanal sudah sangat memadai. Untuk itu pada sistem yang dirancang pada penelitian ini digunakan ADC 12 bit.

Mengingat MCA dirancang berdasarkan pemilahan tinggi pulsa, selain dibutuhkan data 12-bit *binary* untuk dilolohkan pada sistem komputer melalui antar muka yang dirancang khusus untuk ini, juga dibutuhkan perangkat lunak untuk menghitung/mencacah banyaknya pulsa pada setiap kanalnya. Agar aktivitas penghitungan dapat berlangsung cepat dan tidak kehilangan data, maka dibutuhkan ADC yang mempunyai kecepatan konversi yang memadai. Semakin cepat konversinya dan penghitungan cacah per kanal, semakin akurat hasil yang ditampilkan pada MCA. Perlu diketahui bahwa selama proses konversi, MCA tidak dapat menerima data berikutnya untuk dikonversi (*dead time*).

Pengukuran radiasi kebanyakan tidak dapat dilakukan dalam jarak dekat. Hal ini disebabkan adanya bahaya radiasi bagi operator maupun bagi peralatan digital. Penelitian yang telah dilakukan oleh Sunarno membuktikan bahwa radiasi nuklir sangat berpotensi mengubah data digital "0" menjadi "1" atau sebaliknya (Sunarno, 1995). Oleh karena itu sangat penting menjauhkan sistem detektor dari sistem pengolah data digitalnya, dengan merancang sistem pengukuran jarak jauh (*telemonitoring system*) agar risiko bahaya bagi operator maupun bagi peralatan digital dapat diminimalisir. Sehubungan dengan itu telah dirancang bangun MCA yang mampu menerima data yang dikirim dari jarak jauh secara nirkabel dengan mode pengiriman FM (*Frequency Modulation*).

¹ Ir. Sunarno, M.Eng., Ph.D., Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknik, UGM Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta 55281

² Ir. Agus Budhie Wijatna, M.Si., Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknik, UGM Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta 55281

Tinjauan Pustaka

Proses penampilan spektrum energi pada MCA membutuhkan ketepatan dan kecepatan yang tinggi. *Personal computer* (PC) memiliki persyaratan tersebut. Dengan membuat *interface* menggunakan ADC antara detektor dan PC serta pemberian *software* penunjang maka PC dapat difungsikan sebagai MCA.

Kurnianto (1992) telah berhasil membuat sistem antarmuka MCA berbasis IBM PC XT. Pindahkan data 16 bit dari ADC ke PC dilakukan dua kali dengan PPI 8255 *port* A dan *port* B. Antarmuka ini menempati *port* alamat \$300-\$30F. Prosedur interupsi sewaktu dan transfer data dilakukan dengan memberikan sinyal interupsi melalui jalur IRQ2 dan IRQ3.

Penerapan sinyal interupsi pada jalur IRQ2 membuat antarmuka tersebut tidak dapat digunakan pada PC jenis AT ke atas (Santoso, 1997). *Port* alamat \$300-\$30F membuat penempatan *port* tidak fleksibel. Pindahkan data 16 bit yang dilakukan dua kali 8 bit juga kurang efektif karena pada PC tersebut telah menyediakan slot ekspansi dengan pemindahan data 16 bit secara serempak.

Santoso (1997) telah berhasil membuat antarmuka 16 bit yang menjembatani ADC Canberra 581 - 16 kanal dengan PC AT yang dilengkapi dengan *real timer* dan *live timer* serta dengan peningkatan fleksibilitas penempatan *port* alamat dan jalur IRQ.

Wahyudi (2003) telah berhasil membuat MCA *portable* terkendali menggunakan mikrokontroler AT89C51. Prototip MCA ini menggunakan ADC0804 sebagai pengkonversi tinggi pulsa dan hasilnya ditampilkan oleh 8 buah *seven segment*.

MCA *portable* 4096 saluran dengan menggunakan komputer sebagai pengendali dan telemetri untuk komunikasi data jarak jauh telah dibuat Santika (2005). MCA yang dibuat dikendalikan oleh mikrokontroler pada stasiun pemantau. Sebagai pengkonversi sinyal analog ke digital digunakan AD574 yang merupakan ADC 12 bit.

Dewasa ini telah banyak dikembangkan MCA dengan banyak masukan. Kemampuan ini dapat menekan biaya deteksi dan pengukuran radiasi karena MCA dapat digunakan secara bersama-sama. Di Laboratorium Analisis Radioaktivitas, kegiatan deteksi dan pengukuran radiasi sering kali dilakukan secara bersama-sama. Hal ini karena kegiatan praktikum dilakukan beberapa kelompok sekaligus pada waktu yang sama.

MCA yang dibuat pada penelitian Kurnianto, Santoso maupun Wahyudi memiliki 1 masukan saja. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dibuat MCA 8 masukan berbasis komputer pribadi. Secara singkat dapat dikatakan bahwa rancang bangun MCA

bukanlah hal yang baru lagi dan juga bukan merupakan hal yang sulit dilakukan. Mengingat perkembangan komponen elektronika ADC saat ini sangat pesat, maka selain murah, ADC saat ini juga dilengkapi dengan terminal masukan yang lebih banyak. Pada penelitian ini ADC yang digunakan adalah IC AD574. Karena berbasis pada ADC IC AD574 dan multiplexer CD4067, maka sistem MCA yang dirancang bangun pada penelitian ini mempunyai kemampuan 16 masukan, data berkapasitas 12 bit (4096 kanal), dengan kecepatan konversi 25 μ S dan ketepatan konversi $\pm \frac{1}{2}$ LSB.

Keistimewaan dari penelitian ini adalah keberhasilan dilakukan rancang bangun sistem MCA yang memungkinkan pengambilan data jarak jauh. Hal ini merupakan penggabungan antara sistem MCA dan sistem komunikasi data jarak jauh melalui gelombang radio dengan frekuensi UHF-FM 437 MHz.

FUNDAMENTAL

Sistem Deteksi dan Spektroskopi Radiasi

Kegiatan analisis sumber radiasi atau radioisotop dengan mengukur distribusi energi radiasi dari sumber radiasi atau radioisotop disebut spektroskopi. Piranti spektroskopi (spektrometer) dapat memisahkan pulsa-pulsa keluaran detektor sesuai tinggi pulsa yang nilainya sebanding dengan energi radiasi. Keluaran spektrometer memberikan informasi identifikasi sumber radiasi dan intensitasnya (Santosa, 1997).

Peralatan deteksi dan spektroskopi radiasi terdiri dari tiga bagian utama (Wahyudi, 2003), yaitu : detektor, alat pengolah sinyal, dan spektrometer.

a) Detektor

Detektor radiasi merupakan transduser yang bekerja berdasarkan interaksi radiasi dengan materi sehingga menghasilkan besaran lain yang mudah diukur, misal : tegangan.

Detektor sintilasi adalah transduser yang mengubah energi kinetik partikel penimbul ionisasi menjadi suatu kilatan cahaya (Wahyudi, 2003). Cahaya yang terjadi ditangkap oleh fotokatoda yang kemudian mengeluarkan elektron yang masuk ke *photo multiplier tube* (PMT) untuk diperkuat menjadi pulsa listrik (Tsoulfanidis, 1983). Tinggi pulsa listrik yang dihasilkan akan sebanding dengan energi radiasi yang masuk ke detektor. Tinggi pulsa keluaran berkisar dalam orde mikrovolt (Wahyudi, 2003). Detektor sintilasi yang sering digunakan adalah NaI(Tl). Silikon dan germanium adalah bahan semikonduktor yang paling sering digunakan sebagai detektor. Jika detektor semikonduktor ditembus

radiasi pengion, maka di dalam lapisan deplesi (depletion) timbul pasangan-pasangan *hole* elektron. Medan listrik yang ditimbulkan oleh *reversed biased voltage* menggiring *charge carrier* keluar dari lapisan deplesi dan masuk ke daerah di luar sambungan P-N. Jumlah muatan yang terbebaskan sebanding dengan energi radiasi dan menimbulkan pulsa listrik (Wahyudi, 2003).

b) Alat pengolah sinyal

Alat pengolah sinyal pada spektroskopi dibutuhkan untuk mengkondisikan pulsa agar dapat diolah oleh MCA. Pulsa keluaran detektor biasanya dalam orde mikrovolt (Wahyudi, 2003), sedangkan MCA bekerja dengan *range* masukan 0-10 V, sehingga memerlukan rangkaian *pre-amplifier* dan *amplifier*.

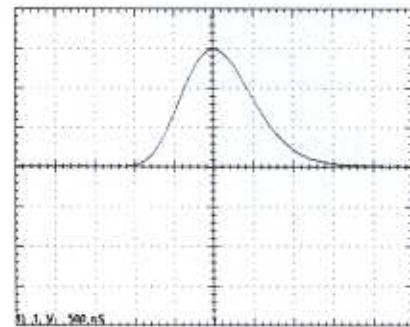
Pre-amplifier mengubah sinyal berorde mikrovolt dan mengandung banyak derau menjadi berorde milivolt (Wahyudi, 2003). Penguat awal yang paling cocok digunakan adalah penguat awal peka muatan (*charge sensitive pre-amplifier*). Penguat awal mempunyai fungsi sebagai berikut (Wahyudi, 2003):

- Untuk melakukan penguatan awal terhadap pulsa keluaran dari detektor
- Pembentukan pulsa pendahuluan
- Menyesuaikan impedansi keluaran detektor dengan impedansi masukan ke *amplifier*
- Mengubah muatan menjadi tegangan atau sebaliknya pada pulsa keluaran detektor
- Memaksimalkan rasio sinyal dengan derau

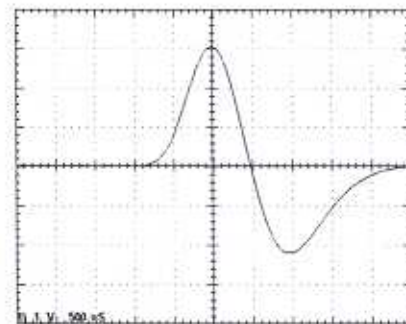
Penguat utama (*amplifier*) mengubah sinyal berorde milivolt menjadi berorde volt. *Gain* pada *amplifier* terdiri dari dua macam *coarse gain* (untuk penguatan kasar) dan *fine gain* (untuk penguatan halus)

Kelinieran penguatan merupakan syarat yang harus dipenuhi penguat utama karena memerlukan ketelitian dan stabilitas yang tinggi. *Amplifier* juga

berfungsi untuk memberi bentuk pulsa. *Tail pulse* yang dihasilkan *pre-amplifier* dibentuk lagi untuk mendapatkan pulsa yang jauh lebih sempit (Gambar 1) dengan waktu timbul yang lebih lambat dan waktu jatuh yang lebih cepat (Knoll, 1989).



(a)

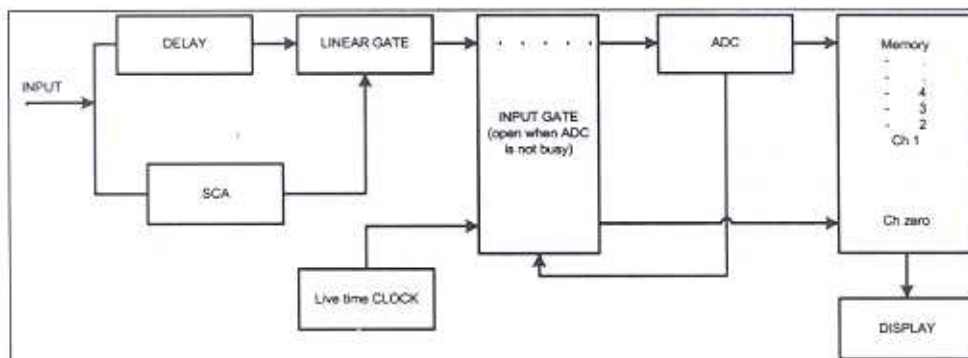


(b)

Gambar 1. Pulsa keluaran *amplifier* (a) unipolar (b) bipolar

c) Multi Channel Analyzer (MCA)

Fungsi utama dari sebuah MCA hanya melibatkan ADC dan memori yang dasar operasinya adalah mengubah suatu sinyal analog menjadi bilangan digital yang sesuai. Komponen utama suatu MCA diilustrasikan seperti Gambar 2.



Gambar 2. Blok diagram fungsional MCA

Gerbang masukan digunakan untuk menahan pulsa dengan rentang waktu selama ADC sibuk memproses pulsa sebelumnya. ADC memberikan level sinyal logika yang akan memegang (*hold*) gerbang masukan terbuka selama ADC tidak sibuk. Kecepatan penghitungan pulsa menyebabkan situasi gerbang masukan menutup untuk waktu yang tertentu. Waktu ini disebut waktu mati (*dead time*). Waktu mati MCA terdiri dari dua komponen: waktu proses (*processing time*) dan waktu penyimpanan ke memori (*memory storage time*). Pada ADC yang relatif lambat, laju pencacahan yang tinggi akan menyebabkan gerbang masukan sering ditutup untuk beberapa saat, sehingga banyak pulsa yang hilang selama waktu mati tersebut. Oleh karena itu pulsa yang direpresentasikan oleh *analyzer* harus meliputi pulsa yang hilang selama waktu mati. Tampilan dari MCA biasanya berupa grafik dari tinggi pulsa. Jumlah cacah direpresentasikan pada sumbu Y dan nomor kanal pada sumbu X (Knoll, 1989).

Pulse Stretcher

Pulse stretcher adalah suatu piranti untuk mendeteksi puncak pulsa dari radiasi nuklir. *Pulse stretcher* ini diharuskan dapat menjaga puncak pulsa sampai ADC selesai mengkonversi. ADC yang digunakan pada spektroskopi radiasi nuklir memiliki waktu konversi tertentu dalam mengkonversi tegangan terukur menjadi bilangan biner yang ekuivalen. Oleh karena itu, nilai puncak dari pulsa keluaran amplifier harus dijaga sampai proses konversi selesai.

Pulse stretcher diharapkan dapat melakukan hal sebagai berikut :

- Mendeteksi dan memegang puncak pulsa
- Memberitahukan pada ADC bahwa puncak telah tercapai
- Memutus sendiri dari sumber pulsa
- Menerima sinyal dari ADC bahwa konversi telah dikerjakan
- Melakukan *discharge* puncak
- Menghubungkan kembali dari sumber pulsa untuk mengulangi proses

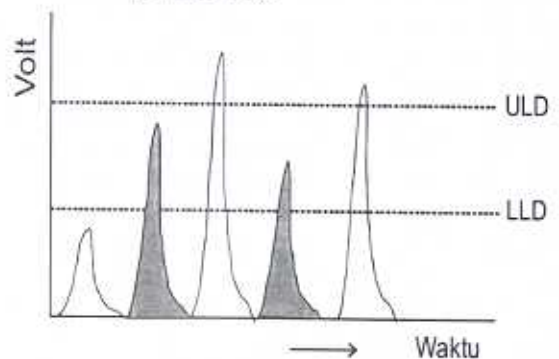
Discriminator

Discriminator berfungsi untuk mengurangi *noise* dan untuk menolak pulsa yang tidak diinginkan. Pada unit MCA modern, ada dua tombol pilihan. Satu tombol ditandai E atau LLD (*lower level discriminator*). Tombol yang kedua ditandai ΔE atau ULD/ ΔE untuk pilihan *upper level discriminator*/ ΔE .

Ada dua posisi *switch*, INT (*integral*) dan DIFF (*differential*). Pada posisi INT, hanya tombol E yang beroperasi, dan unit ini berfungsi sebagai

discriminator. Pada posisi DIFF, kedua-dua E dan ΔE beroperasi, dan unit ini disebut *single channel analyzer* (Tsoulfanidis, 1983).

Pilihan E (untuk energi) dapat diubah secara kontinyu dari 0 hingga 100. *Discriminator* bekerja berdasarkan pulsa tegangan, tetapi ada korespondensi satu-satu antara tinggi pulsa dan energi dari partikel radiasi. Jadi, *discriminator* mengeliminasi semua pulsa di bawah *Low Level Discriminator (LLD)* dan di atas *Upper Level Discriminator (ULD)*, serta meloloskan pulsa yanada diantara LLD dan ULD untuk dicacah (Gambar 3).



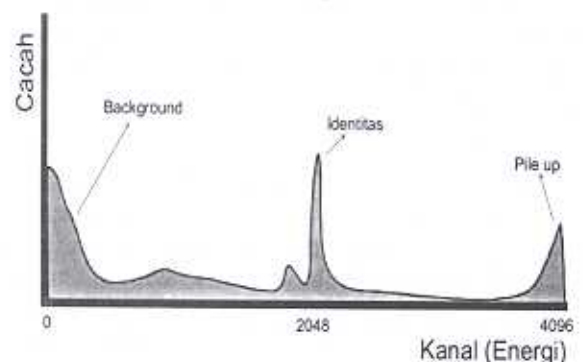
Gambar 3. Grafik tinggi pulsa

Single channel analyzer (SCA)

Posisi DIFF menunjukkan operasi E dan ΔE bersama-sama. Hanya pulsa dengan tinggi di antara E dan ΔE yang dicacah. Unit ini bekerja sebagai *SCA*.

Analog to Digital Converter (ADC)

Analog to Digital Converter adalah rangkaian elektronik yang berfungsi untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital dengan bobot yang proporsional. Resolusi suatu ADC, yang dinyatakan dalam bit, menunjukkan tingkat ketelitian suatu ADC dalam mengubah sinyal analog ke digital. Semakin banyak jumlah bit, maka semakin peka ADC tersebut terhadap perubahan masukan analognya. Misalnya ADC 12 bit dengan jangkauan masukan 10 volt, maka tegangan terkecil yang dapat dibedakan adalah $10/4096 = 2,4 \text{ mV}$ (Gambar 4).



Gambar 4. Contoh spektrum keluaran ADC 12 bit

Metode Modulasi

Modulasi berguna untuk mengubah sinyal-sinyal digital menjadi sinyal-sinyal kontinyu sehingga sinyal-sinyal tersebut dapat dibawa oleh frekuensi sebagai pembawa informasi. Demikian sebaliknya proses mengubah data dari sinyal frekuensi menjadi data digital disebut demodulasi maupun deteksi. Bentuk-bentuk modulasi dapat berupa amplitudo, frekuensi ataupun fase, setiap modulasi memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing

Dalam bentuknya yang sederhana suatu modulator dapat menyebabkan beberapa karakteristik sinyal RF (*Radio Frequency*) berubah sebanding dengan bentuk gelombang pemodulasi; hal ini disebut modulasi analog. Modulator yang lebih kompleks melakukan digitasi dan meng-encodekan sinyal pemodulasi sebelum dimodulasi. Dalam banyak penggunaan, modulasi digital lebih banyak dipilih daripada modulasi analog (Herbert L.Krauss, 1990).

Sistem komunikasi yang lengkap terdiri dari sumber informasi, sumber RF, modulator, saluran RF (termasuk baik tingkat pemancar maupun penerima, antena, saluran transmisi dan sebagainya), demodulator, dan pemakai informasi. Sistem tersebut dikatakan bekerja jika pemakai informasi menerima informasi sumber dengan kehandalan yang dapat diterima. Pemilihan jenis modulasi merupakan bagian yang penting dari perencanaan sistem komunikasi.

Pada perancangan ini, digunakan modulasi frekuensi pada UHF-FM 437MHz. Dengan menggunakan modulasi frekuensi, rangkaiannya lebih sederhana dan memberikan ketahanan terhadap derau yang lebih baik daripada modulasi amplitudo. Selain itu penolakan terhadap sinyal-sinyal interferensi juga baik. Hanya saja jika dibandingkan dengan AM (*Amplitude Modulation*), sinyal-sinyal dengan modulasi frekuensi membutuhkan lebar pita lima kali lipat dari modulasi amplitudo.

Modulasi Frekuensi (FM)

Frequency Modulation (FM) merupakan kasus khusus dari modulasi sudut (*angular modulation*). Dalam sistem modulasi sudut, frekuensi dan fasa dari gelombang pembawa berubah terhadap waktu menurut fungsi dari sinyal yang dimodulasikan (ditumpangkan). Misal persamaan gelombang pembawa dirumuskan sebagai berikut :

$$U_c = A_c \sin(\omega_c t + \phi_c)$$

Dalam modulasi amplitudo (AM) maka nilai ' A_c ' akan berubah-ubah menurut fungsi dari sinyal yang ditumpangkan. Sedangkan dalam modulasi sudut yang diubah-ubah adalah salah satu dari komponen ' $\omega_c + \phi_c$ '. Jika yang diubah-ubah adalah komponen ' ω_c ' maka disebut *Frequency Modulation* (FM), dan jika komponen ' ϕ_c ' yang diubah-ubah maka disebut *Phase Modulation* (PM).

Jadi dalam sistem FM, sinyal modulasi (yang ditumpangkan) akan menyebabkan frekuensi dari gelombang pembawa berubah-ubah sesuai perubahan frekuensi dari sinyal modulasi. Sedangkan pada PM perubahan dari sinyal modulasi akan merubah fasa dari gelombang pembawa. Hubungan antara perubahan frekuensi dari gelombang pembawa, perubahan fasa dari gelombang pembawa, dan frekuensi sinyal modulasi dinyatakan sebagai indeks modulasi (m) dimana :

$$m = \frac{\text{Perubahan frekuensi (peak to peak Hz)}}{\text{frekuensi modulasi (Hz)}}$$

Dalam siaran FM, gelombang pembawa harus memiliki perubahan frekuensi yang sesuai dengan amplituda dari sinyal modulasi, tetapi bebas frekuensi sinyal modulasi yang diatur oleh frekuensi modulator (Team RTC-UI, 2000).

METODOLOGI PENELITIAN

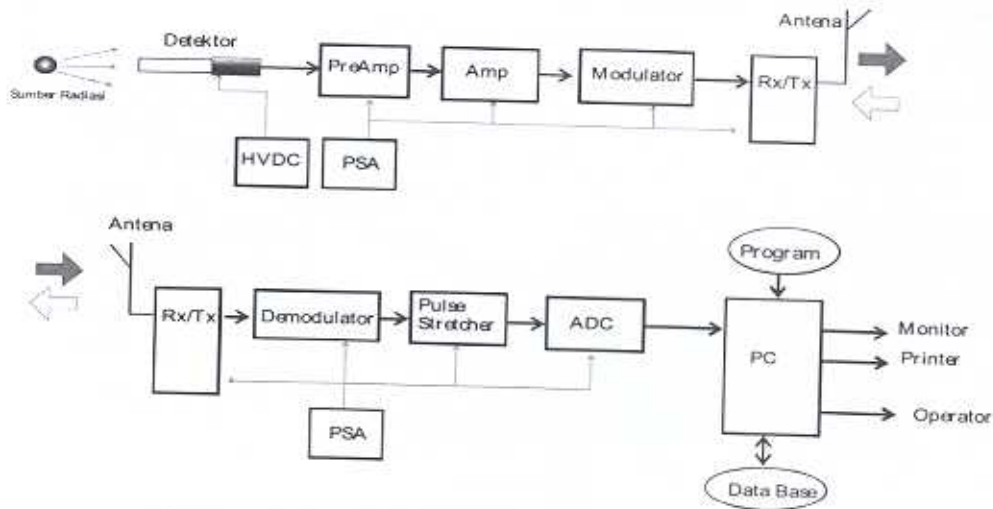
Prosedur Penelitian

1. Membuat dan menyusun sistem instrumentasi atas dasar model yang dikembangkan.
2. Mengembangkan sistem manajemen data.
3. Menguji secara simulasi bertahap untuk mendapatkan tingkat keakuratan data, optimalisasi sistem dan pengujian sistem komunikasi data.
4. Melakukan revisi model yang dikembangkan atas dasar data yang diperoleh.
5. Melakukan pengujian ulang sistem hingga diperoleh hasil sesuai yang diharapkan.
6. Melaporkan hasil penelitian berupa model sistem yang diusulkan, tingkat keakuratan data, dan informasi yang diperoleh selama penelitian untuk keperluan pengembangan.

Perancangan Sistem

Pada dasarnya sistem telemetri yang dirancang dalam penelitian ini terdiri atas: perangkat pengendali yang ditempatkan di stasiun pengendali (*control station*) dan perangkat pemantau yang ditempatkan di stasiun pemantau (*remote station*) yang ada di tempat yang jauh di daerah lokasi pemantauan.

Perangkat pemantau yang ditempatkan pada lingkungan yang diamati terdiri atas rangkaian detektor, *High Voltage-Direct Current* (HVDC), *Power Supply* (PSA), *pre-amp*, *amplifier*, Modulator (FM), (*Transmitter/Receiver*) Tx/Rx, rangkaian *Push-to-Talk* (PTT) dan antena. Sedangkan perangkat pada stasiun pengendali (*control station*) yang sering juga disebut *base station* yang merupakan pusat kendali berbasis komputer yang terdiri atas antena, rangkaian PTT, Tx/Rx, Demodulator (FM), PSA, *pulse stretcher*, ADC dan multiplexer, *buffer*, PC (*personal computer*) disertai perangkat lunak (*software*) pengendalinya. Diagram blok sistem pemantau dan pengendali ini tampak pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram blok sistem pemantau dan pengendali

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Power Supply

Pengujian terhadap *power supply* dilakukan untuk memastikan bahwa *power supply* bekerja dengan baik. Rangkaian *power supply* yang dirancang diharapkan dapat memberikan tegangan DC dengan faktor *ripple* kurang dari 5%. Pengujian dilakukan dengan cara mengukur tegangan keluaran secara berulang-ulang dengan menggunakan multimeter. Nilai fluktuasi tegangan terbesar digunakan untuk menentukan tegangan *ripple*. Dengan mengetahui tegangan *ripple*, maka faktor *ripple power supply* dapat dihitung. Dan hasil pengujian faktor *ripple (r)* masing-masing tegangan diperoleh nilai rata-rata 1,5% (faktor *ripple* ≤ 5%), hal ini menunjukkan bahwa *power supply* bekerja sesuai dengan hasil yang diharapkan

Rangkaian Buffer Analog

Rangkaian *buffer* analog diharapkan memiliki *gain* sama dengan satu. Hal ini dapat dipenuhi dengan merancang sebuah rangkaian *non inverting op-amp* dengan penguatan (*gain*) sama dengan 1. Pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan masukan bervariasi antara 0 – 10 V. Sumber tegangan masukan yang digunakan *power supply*. Perubahan nilai tegangan sebesar ± 0.2 V didapat dengan mengatur nilai potensiometer. Hasil pengujian *buffer* pada masing-masing masukan menunjukkan bahwa rangkaian *buffer* analog pada rancangan memenuhi syarat *gain* sama dengan satu. Nilai *error* terbesar ada pada rangkaian *buffer* masukan 0.

Multiplexer

IC *multiplexer* yang digunakan adalah DC4067. Pengujian rangkaian dilakukan dengan cara memberikan tegangan masukan pada salah satu *channel* masukan *multiplexer* secara bergantian.

Dengan mengatur nilai logika pada kaki D, C, B dan A, dapat diketahui kesesuaian *channel* X0-X15 yang terbuka. Mula-mula sebuah baterai 1,44 V dihubungkan pada masukan 0 dan nilai kontrol DCBA diberikan 0000. Jika rangkaian berjalan dengan baik, maka pada kaki keluaran multiplexer dihasilkan keluaran 1,44 V. Ketika nilai kontrol DCBA diubah selain bernilai 000, maka pada keluaran akan bernilai 0. Pengujian dilanjutkan dengan memvariasikan masukan yang mendapat masukan dan nilai kontrol DCBA. Hasil pengujian terhadap multiplexer menunjukkan 16 masukan berfungsi dengan baik.

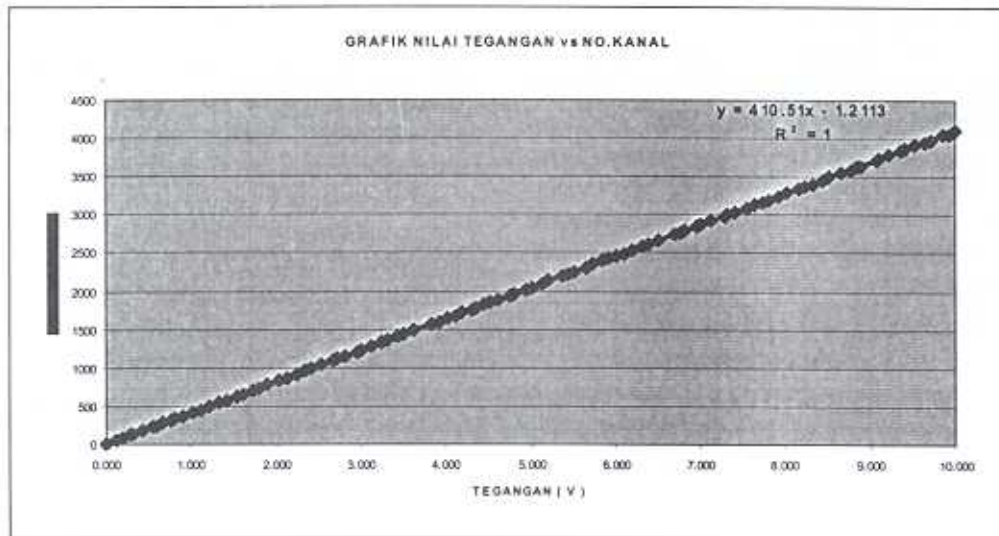
ADC (Analog to Digital Converter)

Pengujian AD574, yang merupakan ADC 12 bit, dilakukan dengan PC melalui port paralel. Karena port paralel dapat bekerja dwi-arah maka memungkinkan pembacaan data 12 bit secara serempak. 8 bit data pertama (DB0-DB7) masuk melalui port data dan 4 bit data terakhir (DB8-DB11) melalui port status. Pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan antara 0-10V dengan kenaikan interval sebesar 0,1 V sehingga didapatkan data hasil pengujian ketidaklinieran integral (*Integral non Linearity, INL*). Grafik perubahan nomor kanal terhadap variasi tegangan masukan ADC yang dibuat berdasarkan data pengujian tampak pada Gambar 5.

Hasil analisa grafik pada Gambar 6 diketahui bahwa ADC dapat mengkonversi pulsa-pulsa dengan tinggi tetap menjadi nilai digital yang bersesuaian.

$$INL = \frac{V_d}{V_0(\max)} \times 100 \%$$

dengan $V_d = V_{act} - V_{nom}$
 V_{act} = Tegangan aktual
 V_{nom} = Tegangan nominal
 $V_{0(max)}$ = Tegangan maksimum



Gambar 6. Grafik nilai tegangan terhadap nomor kanal

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh nilai INL 0,12% menunjukkan bahwa ADC mampu mengkonversi pulsa-pulsa dengan tinggi tetap menjadi nilai digital yang bersesuaian.

Ketidaklinieran diferensial (*Differential Non Linearity*, DNL) adalah penyimpangan (deviasi) maksimum dari lebar nomor kanal rata-rata dengan yang sebenarnya dalam persen. Ketidaklinieran diferensial yang ideal adalah 0%. Unjuk kerja ADC dalam menanggapi perubahan tinggi pulsa masukan ditunjukkan dengan nilai DNL.

$$DNL = \left| 1 - \frac{N_x}{N_{av}} \right| \times 100\%$$

dengan,

N_x = Cacah pada kanal x dimana deviasi maksimum,

N_{av} = Nilai rata-rata cacah seluruh kanal

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh nilai DNL adalah 1,486 %. Nilai DNL hasil pengujian lebih besar dari pada nilai idealnya sehingga MCA yang dirancang memerlukan perbaikan desain untuk menghasilkan tingkat keakuratan yang lebih baik.

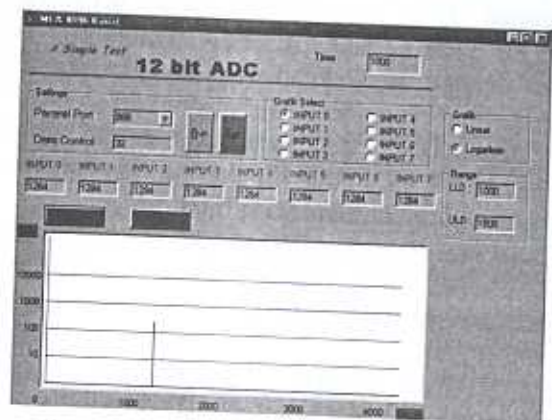
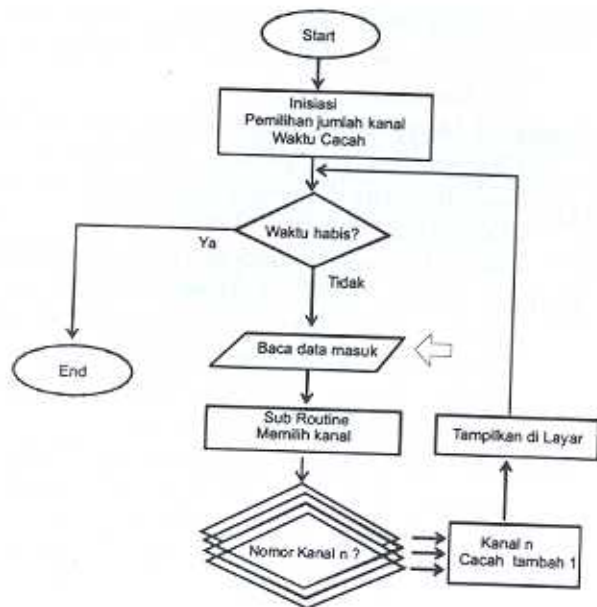
Pengujian Port Paralel

Pengujian port paralel dilakukan dengan memberikan masukan melalui rangkaian *switch*. Delapan buah *switch* (SW0-SW7) dihubungkan dengan register data dan 4 buah *switch* (SW8-SW11) dihubungkan dengan register status. Uji keluaran port paralel ditampilkan dengan 12 buah LED. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan 8 buah LED pada port data dan 4 buah LED pada port kontrol. Untuk register kontrol $\overline{PC0}$, $\overline{PC1}$, dan $\overline{PC3}$ sinyal yang

diberikan dibalik terlebih dulu dengan *software* karena bersifat *hardware inverted* sehingga dapat memberikan keluaran sesuai logika yang diberikan. LED dirancang aktif *low* sehingga akan menyala saat port paralel berlogika 0 dan mati saat berlogika 1. Hasil analisa terhadap data pengujian port paralel menunjukkan bahwa register data dan kontrol *port paralel* dapat mengirimkan data sesuai dengan logika yang diberikan. Saklar SW0-SW7 digunakan untuk memberikan nilai masukan biner pada port data 0 - 7. Logika 0 masuk jika saklar terhubung karena saklar disusun aktif *low*. Begitu pula sebaliknya, jika saklar terputus maka saklar menghasilkan logika 1. Masukan register status $\overline{PS4}$, $\overline{PS5}$, $\overline{PS6}$ dan $\overline{PS7}$ diperoleh dengan menghubungkannya dengan SW8-SW11. Untuk register status, logika bit 4 dibalik terlebih dahulu sebelum dikonversi ke nilai desimal. Hal ini karena $\overline{PS7}$ bersifat *hardware inverted*. Hasil pengujian masukan port paralel (baik melalui port data maupun port status), menunjukkan bahwa *port paralel* dapat menerima masukan 12 bit secara serempak sesuai dengan logika yang diberikan.

Pengujian Perangkat Lunak Sederhana

Perangkat lunak yang dirancang berfungsi menyimpan data hasil pencacahan sinyal radiasi sesuai nomor kanalnya dan menampilkannya dalam bentuk grafik spektrum energi radiasi. Perangkat lunak sederhana ini sebatas untuk menguji bahwa MCA dapat bekerja sesuai dengan fungsinya. Program ini dilengkapi dengan *timer* untuk mengatur lama waktu pengambilan data, serta penentuan LLD dan ULD secara *software*. Algoritma utama dan tampilan perangkat lunak MCA tampak pada Gambar 7.



Gambar 7. Algoritma utama dan tampilan perangkat lunak MCA

Waktu Mati MCA

Waktu mati merupakan rentang waktu ketika MCA tidak dapat memproses pulsa yang masuk, yang terdiri atas waktu proses konversi dan waktu penyimpanan.

Oleh karena itu, waktu mati dapat ditentukan dengan menjumlahkan nilai waktu konversi ADC dan waktu penyimpanan data ke *array*. Waktu konversi ADC maksimum 35 μ s. Waktu penyimpanan data ke *array* tidak dapat ditentukan karena PC melakukan *multitasking* yang sangat kompleks.

Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa dengan menjalankan program MCA tanpa *delay* selama selang waktu 1 detik berulang-ulang didapatkan jumlah rerata data sebanyak 4000. Jadi dalam satu siklus (konversi dan penyimpanan data) minimal membutuhkan waktu 250 μ s. Waktu ini jauh lebih besar daripada waktu maksimum yang diperlukan ADC untuk mengkonversi satu sinyal analog menjadi nilai digital yang bersesuaian, maka dapat dipastikan bahwa data yang diambil telah *valid*.

Berdasarkan analisa hasil pengujian maka waktu mati MCA diketahui sebesar 250 μ s. oleh karena itu cacah maksimum yang dapat dideteksi MCA sebesar 240.000 cpm.

Pemancar FM

Tujuan dari pemancar FM adalah untuk mengubah satu atau lebih sinyal masukan yang berupa *Audio Frequency* (AF) menjadi gelombang termodulasi dalam sinyal RF (*Radio Frequency*) yang dimaksudkan sebagai *keluaran* daya yang kemudian diumpankan ke sistem antena untuk dipancarkan.

Dalam bentuk sederhana dapat dipisahkan atas modulator FM dan sebuah *power amplifier RF* dalam satu unit. Sebenarnya pemancar FM terdiri atas rangkaian blok subsistem yang memiliki fungsi tersendiri, yaitu:

- *FM exciter* merubah sinyal audio menjadi RF yang sudah termodulasi
- *Intermediate Power Amplifier* (IPA) dibutuhkan pada beberapa pemancar untuk meningkatkan tingkat daya RF agar mampu meng-handle *final stage*
- *Power Amplifier* di tingkat akhir menaikkan power dari sinyal sesuai yang dibutuhkan oleh sistem antena
- *Catu daya* (*power supply*) merubah masukan power dari sumber AC menjadi tegangan dan arus DC atau AC yang dibutuhkan oleh tiap subsistem
- *Transmitter Control System* memonitor, melindungi dan memberikan perintah bagi tiap subsistem sehingga mereka dapat bekerja sama dan memberikan hasil yang diinginkan
- *RF lowpass filter* membatasi frekuensi yang tidak diinginkan dari keluaran pemancar
- *Directional coupler* yang mengindikasikan bahwa daya sedang dikirimkan atau diterima dari sistem antena

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, telah dibangun *multichannel analyzer* (MCA) 16 masukan 4096 kanal memory berbasis *personal computer* (PC) dan telemetri.

MCA berbasis PC yang dibuat mampu menerima masukan 0-10V dan mentransfer data 12 bit secara serempak melalui *port paralel* dengan waktu mati 250 μ s, sehingga cacah maksimum yang mampu dideteksi sebesar 240.000 cpm.

Pengujian INL memberikan hasil 0,12 %, membuktikan bahwa ADC mampu mengkonversi pulsa-pulsa dengan tinggi tetap menjadi nilai digital yang bersesuaian. Pengujian DNL menunjukkan hasil 1,486 %. Nilai DNL hasil pengujian lebih besar daripada nilai idealnya, hal ini dipengaruhi keakuratan ADC dan kestabilan *masukan* yang diterima.

MCA yang dibuat telah mampu mengakuisisi data dan dapat dipergunakan untuk kebutuhan pengukuran jarak jauh (telemetri).

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada Memory Motivanisman Waruwu, Rony Wijaya, Martinus Hendriansah, Trianita Kumalasari W., Donatus Ari Hartanto, Vivin Denny Andraini, I Made Dharma Santika dan rekan-rekan lainnya yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Kurnianto, Kristedjo, 1992, *Pembuatan Multichannel Analyzer dengan ADC Canberra 581*, Skripsi Mahasiswa Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

- Knoll, Glenn F., 1989, *Radiation Detection and Measurement*, edisi kedua, John Willey & Sons. Inc, Toronto.
- Santika, I Made Dharma, 2005, *Rancang Bangun Multi Channel Analyzer (MCA) 4096 Saluran Jarak Jauh Berbasis Komputer dan Telemetri*, Skripsi Mahasiswa Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Santosa, Waris, 1997, *Antarmuka Multi Channel Analyzer (MCA) Menggunakan ADC Canberra 581 dengan IBM PC*, Skripsi Mahasiswa Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Sunarno, 1995, *Studies Soft-Error On Memory Ics Induced By Fusion Neutrons*, Departement Of Nuclear Engineering, Osaka University, Japan.
- Team RTC-UI, 2000, *Pemancar FM*, Elektro-UI, No. 29, Tahun VI, Januari 2000, www.elektroindonesia.com/elektro/elek29.html
- Tsoulfanidis, Nicholas, 1983, *Measurement And Detection of Radiation*, Hemisphere Publishing Co., New York.
- Wahyudi, Didik, 2003, *Pembuatan Multi Channel Analyzer Terkendali Menggunakan Mikrokontroler AT89C51*, Skripsi Mahasiswa Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.