

RANCANG BANGUN SISTEM AKUISISI DATA UNTUK PENCARIAN SUMBER RADIASI NUKLIR MENGGUNAKAN ROBOT *HEXAPOD*

Joko Sunardi, Djiwo Harsono, dan Alan Batara Alauddin

Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-BATAN
Jalan Babarsari PO BOX 6101, Yogyakarta 55282
Email: den_joksun@yahoo.com

ABSTRAK

RANCANG BANGUN SISTEM AKUISISI DATA UNTUK PENCARIAN SUMBER RADIASI NUKLIR MENGGUNAKAN ROBOT *HEXAPOD*. Telah dirancang dan dibangun sistem akuisisi data untuk pencarian sumber radiasi nuklir menggunakan robot *hexapod*. Tujuan penelitian ini adalah membuat suatu sistem akuisisi data yang dapat diakses dari jarak jauh. Radiasi nuklir ditangkap oleh detektor *Geiger Muller* menghasilkan pulsa listrik. Pulsa dikondisikan oleh rangkaian *inverter* dan pembentuk pulsa kemudian dicacah oleh rangkaian *minimum system* ATmega8. Data selanjutnya ditransmisikan oleh *transreceiver* UM96 dan ditampilkan pada komputer menggunakan *software* Borland Delphi. Telah diuji pencarian sumber Co-60 dengan metode sisir sehingga diketahui letak sumber. Jarak jangkauan maksimum akuisisi data adalah 220 m. Robot dilengkapi dengan kamera untuk mengetahui lingkungan sekitar robot.

Kata kunci : akuisisi data, sumber radiasi nuklir, robot *hexapod*

ABSTRACT

DESIGN AND CONSTRUCTION OF ACQUISITION DATA SYSTEM FOR SEARCHING NUCLEAR RADIATION SOURCES USING *HEXAPOD* ROBOT. A data acquisition system has been designed to search for sources of nuclear radiation using a *hexapod* robot. The purpose this research is to develop a data acquisition system which can be accessed remotely. Nuclear radiation is captured by a *Geiger Muller* detector generates an electrical pulse. Pulse is conditioned by the *inverter* circuit and a pulse shaper and then chopped by a series of *minimum system* ATmega8. Further data transmitted by *transreceiver* UM96 and displayed by a computer using *software* Borland Delphi. It has been tested search Co-60 source with a comb method, so that known the location of source. The maximum range of acquisition data is 220 m. Robot equipped with cameras to determine the environments around the robot.

Keywords: data acquisition, the source of nuclear radiation, hexapod robot

PENDAHULUAN

Sumber radiasi gamma yang digunakan dalam pekerjaan industri biasanya berbentuk sumber terbungkus yang mempunyai aktivitas besar, sehingga mempunyai potensi bahaya paparan radiasi yang besar. Berkurang atau lepasnya pengendalian terhadap pemakaian sumber radiasi dapat menimbulkan kecelakaan atau pemaparan radiasi yang tak terduga. Salah satu kecelakaan radiasi adalah kasus hilang atau tercecernya suatu sumber radiasi yang disebabkan kelalaian pekerja radiasi. Untuk

menanggulangnya dilakukan pencarian sumber radiasi hilang dengan mengukur laju paparan radiasi di lokasi yang diprediksi sebagai tempat tercecernya sumber radiasi. ⁽¹⁾

Pengukuran laju paparan radiasi biasanya dilakukan dengan cara operator ikut mendekati ke obyek yang dideteksi bersama alat pendeteksi radiasinya. Hal ini menjadikan resiko bahaya radiasi terhadap operator semakin besar apabila obyek yang dideteksi memiliki intensitas radiasi yang besar. Dengan demikian untuk keperluan proteksi radiasi

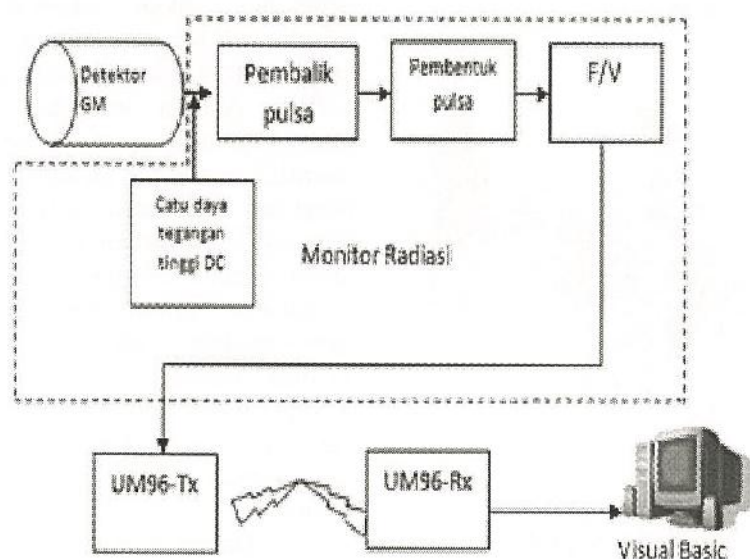
dibutuhkan suatu cara untuk dapat meminimalkan resiko tersebut, yaitu dengan membuat suatu sistem pemantau radiasi jarak jauh⁽²⁾. Untuk mencapai hal tersebut maka dalam penelitian ini dibuat "Rancang Bangun Sistem Akuisisi Data Untuk Pencarian Sumber Radiasi Nuklir Menggunakan Robot Hexapod". Sistem akuisisi pemantau radiasi digabungkan dengan perangkat transmisi nirkabel yang diangkut oleh robot hexapod. Penelitian ini merupakan pengembangan dari "Rancang Bangun Perangkat Pengiriman Data Analog Menggunakan AVR ATmega 16 Dengan Sistem Transmisi Nirkabel"⁽³⁾ dan juga "Rancang Bangun Sistem Monitor Radiasi Nirkabel"⁽²⁾.

TEORI

Radiasi merupakan suatu cara perambatan energi dari sumber energi ke lingkungannya tanpa membutuhkan medium atau bahan penghantar tertentu. Radiasi nuklir memiliki

dua sifat yang khas, yaitu tidak dapat dirasakan secara langsung dan dapat menembus berbagai jenis bahan. Oleh karena itu untuk menentukan ada atau tidak adanya radiasi nuklir diperlukan suatu alat pengukur radiasi yang digunakan untuk mengukur kuantitas, energi, atau dosis radiasi.

Contoh alat ukur radiasi adalah surveymeter yang digunakan untuk mengukur tingkat paparan radiasi dan biasanya memberikan data hasil pengukuran dalam laju paparan dalam CPM (cacah per menit) atau mR/jam. Surveymeter dapat memberikan informasi laju dosis radiasi pada suatu area secara langsung. Sehingga, seorang pekerja radiasi dapat memperkirakan jumlah radiasi yang akan diterimanya bila akan bekerja di suatu lokasi selama waktu tertentu. Dengan informasi yang ditunjukkan surveymeter ini, setiap pekerja dapat menjaga diri agar tidak terkena paparan radiasi yang melebihi batas ambang yang diizinkan.



Gambar 1. Diagram blok surveimeter nirkabel

Berikut adalah penjelasan dari sistem surveimeter sesuai Gambar 1 :

1. Detektor radiasi yang dimaksud adalah transduser yang memanfaatkan interaksi radiasi sehingga menimbulkan besaran lain yang mudah dilihat dan atau diukur. Pada sistem ini menggunakan detektor GM.

2. Catu daya tegangan tinggi berfungsi sebagai catu daya detektor GM.
3. Pembalik pulsa sebagai pembalik pulsa keluaran dari detektor GM serta sebagai penyesuai impedansi.
4. Pembentuk pulsa berfungsi sebagai pembentuk pulsa yang akan masuk pada rangkaian selanjutnya.
5. Sistem minimum sebagai pencacah pulsa.

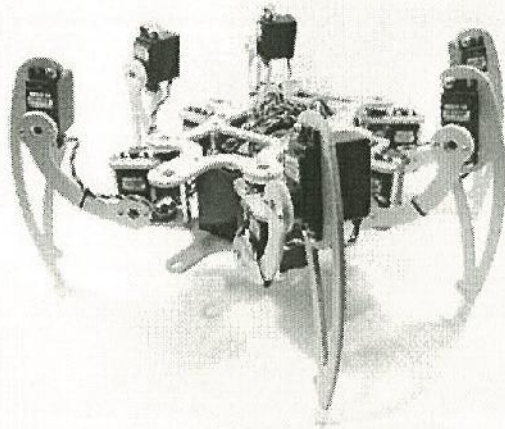
6. Modul UM96 ini merupakan perangkat pengiriman data jarak jauh menggunakan frekuensi radio sebesar 433 MHz. Perangkat ini dapat difungsikan sebagai transmitter (Tx) atau Receiver (Rx), tetapi dapat pula difungsikan kedua-duanya yaitu sebagai Tx dan Rx
7. Komputer berfungsi sebagai penampil dan penyimpan data.

METODE

Robot pelacak radiasi nuklir secara umum terdiri dari sistem mekanik, sistem kontrol dan sistem akuisisi data. Desain robot ditunjukkan pada Gambar 2. Mekanik robot berupa kaki yang berjumlah enam. Setiap kaki dilengkapi dengan tiga motor servo. Sistem akuisisi data dan modul transceiver berada bagian dalam bodi robot.

Robot hexapod

Salah satu jenis robot berkaki yang paling banyak digunakan ialah robot berkaki enam (*hexapod*) sesuai Gambar 2.



Gambar 2 Robot hexapod

Hexapod memiliki banyak keuntungan, di antaranya ialah fleksibilitas dalam pola gerakan, karena robot memiliki kestabilan statis jika tiga atau lebih kakinya ada di tanah.

Masing – masing kaki robot terdiri dari 3 buah motor servo yang diberi nama : *hip servo*, *knee servo* dan *ankle servo*. Arah gerakan *knee servo* dan *ankle servo* ialah rotasional dengan arah vertikal, sedang arah gerakan *hip servo* ialah rotasional dengan arah horizontal. Robot Hexapod berbasis ATmega 128 digunakan sebagai media pembawa detector pencari sumber radiasi, yang dalam

makalah ini tidak dibahas secara khusus.

Pencarian Sumber Radiasi Nuklir

Sumber radiasi gamma yang digunakan dalam pekerjaan industri biasanya berbentuk sumber terbungkus yang mempunyai aktivitas besar, sehingga mempunyai potensi bahaya paparan radiasi yang besar. Berkurang atau lepasnya pengendalian terhadap pemakaian sumber radisasi dapat menimbulkan kecelakaan atau pemaparan radiasi yang tak terduga. Salah satu kecelakaan radiasi adalah kasus hilang atau tercecernya suatu sumber radiasi yang disebabkan kelalaian pekerja radiasi. Untuk menanggulangnya dilakukan pencarian sumber radiasi hilang dengan mengukur laju paparan radiasi di lokasi yang diprediksi sebagai tempat tercecernya sumber radiasi.⁽¹⁾

Sebelum melakukan pencarian sumber, ada beberapa aspek praktis yang harus diperhatikan. Langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan area umum di mana pencarian akan dilakukan. Kemudian membentuk tim pencari yang terdiri dari orang yang terlatih dalam fisika radiasi dan proteksi radiasi, dengan keahlian profesional yang diakui. Beberapa pertimbangan berlaku ketika memilih instrumen pengukuran radiasi untuk pencarian. Secara umum instrumen yang digunakan tergantung pada radiasi yang dipancarkan. Kebanyakan sumber yang digunakan dalam radiologi atau industri memancarkan radiasi beta atau gamma. Sumber-sumber ini dapat dideteksi dengan menggunakan alat sederhana seperti monitor GM. Informasi topografi juga dibutuhkan berupa peta terbaru dari wilayah yang akan disurvei.

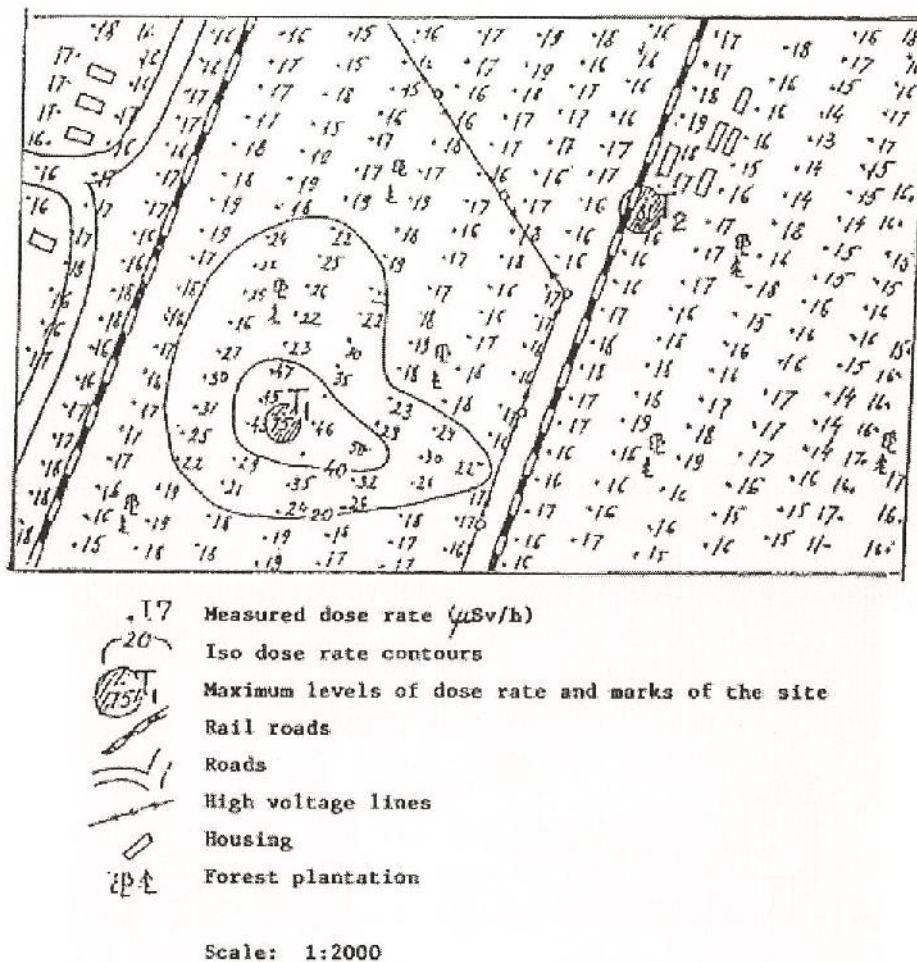
Dalam pencarian, personil juga harus dilengkapi dengan peralatan pengendalian keselamatan yang berupa dosimeter personal. Apabila area yang akan disurvei memiliki resiko kontaminasi maka personil dilengkapi pula dengan sarung tangan, sepatu *boot*, dan pakaian pelindung. Alat-alat yang digunakan sebelumnya dikalibrasi dan dicek. Alat-alat tersebut harus memiliki sertifikat kalibrasi dan dicek sebelum dan sesudah pengukuran. Cacah latar juga harus diukur sebelumnya pada area dengan level radiasi yang dianggap normal.

Karakteristik situs, area pabrik atau bangunan diidentifikasi untuk pencarian dan operasi yang dilakukan di sana. Perlu dianalisa

sebelum operasi pencarian dimulai. Ini penting khususnya berkaitan dengan indikator visual yang harus dicari.

Jika survei area yang luas sangat diperlukan, pemantauan dengan pesawat udara, helikopter, atau mobil dapat dipertimbangkan. Pencarian dengan berjalan kaki selalu dibutuhkan untuk menyelesaikan survei, rute yang direncanakan dari survei dan hasil

pengamatan visual dan pengukuran laju dosis harus dimasukkan pada peta survei yang menjadi dokumen dasar penelitian. Bila laju dosis tinggi ditemukan, tingkat distribusi dosis lengkap sekitar tempat itu perlu ditentukan dengan men-scan area dengan serangkaian rute paralel. Contoh peta hasil survei diberikan dalam Gambar 3.

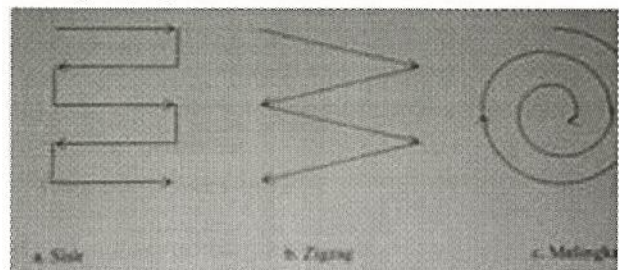


Gambar 3. Contoh peta yang telah ditandai pada survei gamma dengan berjalan kaki ⁽⁴⁾

Sebagai pengukuran lebih halus dibuat, menggunakan *grid* yang lebih halus pada peta survei, anomali radiasi akhirnya dapat ditemukan. biasanya pengukuran akan dilakukan pada ketinggian (50-100) cm di atas permukaan tanah. Jika laju dosis yang tinggi tidak dapat dipastikan lokasinya, detektor *collimated* dapat digunakan untuk menunjukkan kemungkinan arah sumber.

Dalam pencarian sumber hilang/tercecer, daerah lokasi sumber yang paling memungkinkan ditentukan terlebih

dahulu. Pencarian di daerah tersebut dapat dilakukan dengan metode sisir, zigzag atau melingkar, seperti Gambar 4.

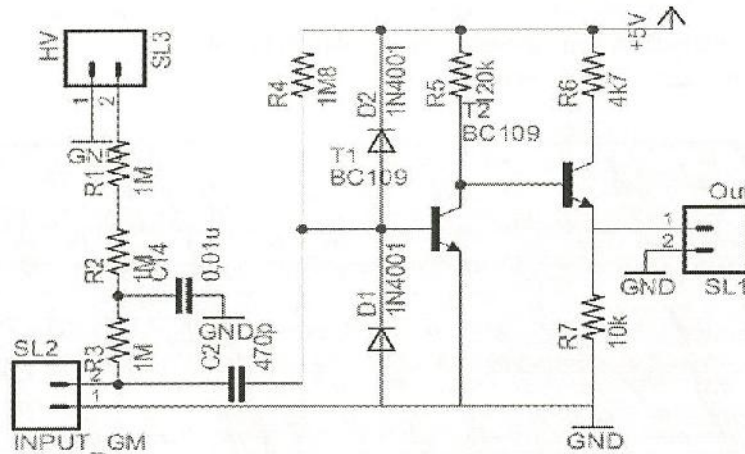


Gambar 4. Metode pencarian lokasi sumber ⁽¹⁾

Rangkaian Pembalik Pulsa

Prinsip kerja rangkaian GM *inverter* adalah apabila ada pulsa masukan berpolaritas negatif yang berasal dari keluaran detektor GM

dan masuk kedalam input GM *inverter* maka pulsa tersebut akan dibalik menjadi pulsa positif dan dikuatkan tinggi pulsa tersebut oleh transistor BC109. Skematik rangkaian ditunjukkan pada Gambar 5.

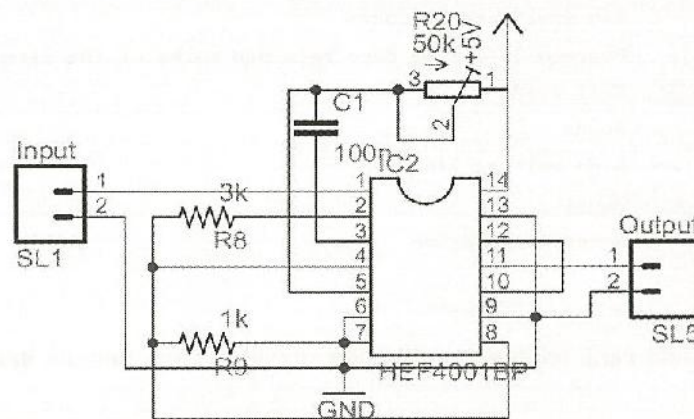


Gambar 5. Rangkaian GM *inverter*

Rangkaian Pembentuk Pulsa

Rangkaian pembentuk pulsa berfungsi sebagai penguat dan pembentuk pulsa kotak standar TTL dengan tinggi pulsa 5 volt dan lebar pulsa yang dapat diubah dengan standar

untuk instrumentasi nuklir adalah (50–200) us. Pulsa kotak tersebut selanjutnya diolah mikrokontroler untuk mengetahui jumlah cacahan. Rangkaian pembentuk pulsa dapat dilihat pada Gambar 6.

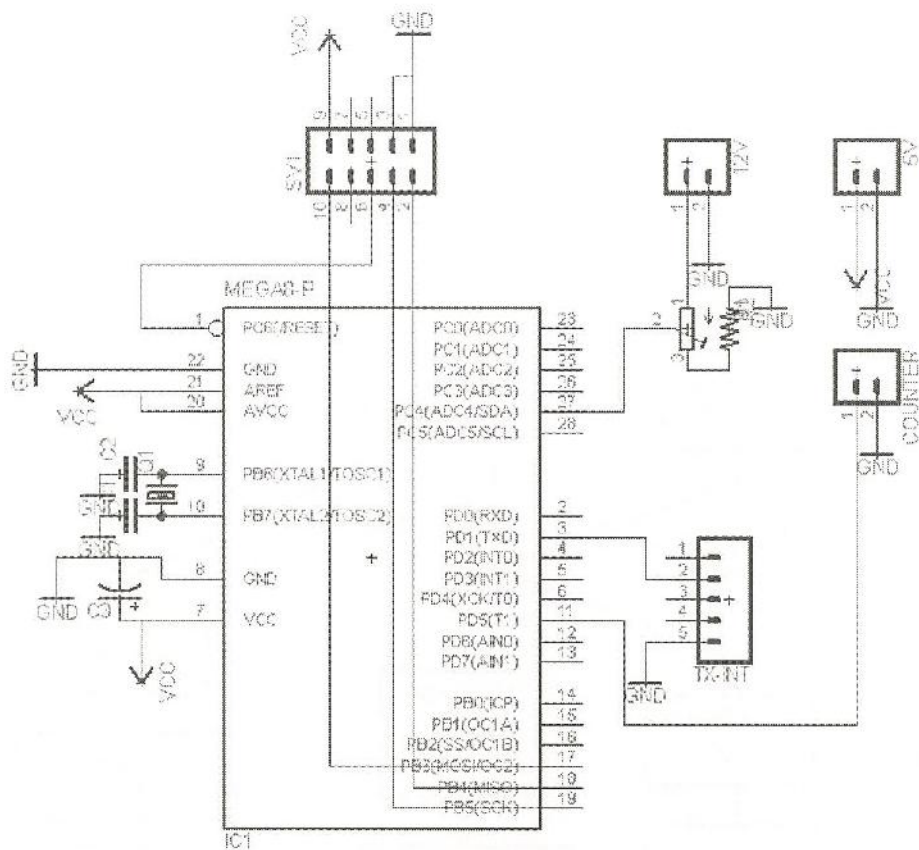


Gambar 6. Rangkaian pembentuk pulsa

Rangkaian Pencacah

Sistem pencacah dibuat berbasis mikrokontroler digunakan untuk mengolah pulsa kotak standar TTL dari rangkaian pembentuk pulsa untuk diketahui jumlah frekuensi sebagai informasi hasil cacah suatu sumber radiasi ataupun cacah latar. Sistem berbasis mikrokontroler ini dilengkapi dengan rangkaian komunikasi serial RS232 yang bisa

mengirimkan data ke komputer secara serial. Agar data dapat disalurkan melalui port USB, maka diperlukan modul *DB9 to USB Converter*. *Minimum system* mikrokontroler AMegal28 yang dibuat digunakan juga sebagai kontrol robot. *Minimum system* adalah rangkaian yang umumnya terdiri dari mikrokontroler, *crystal*, kapasitor, dan fasilitas reset. Secara keseluruhan skematik rangkaian sistem minimum ditunjukkan pada Gambar 7.

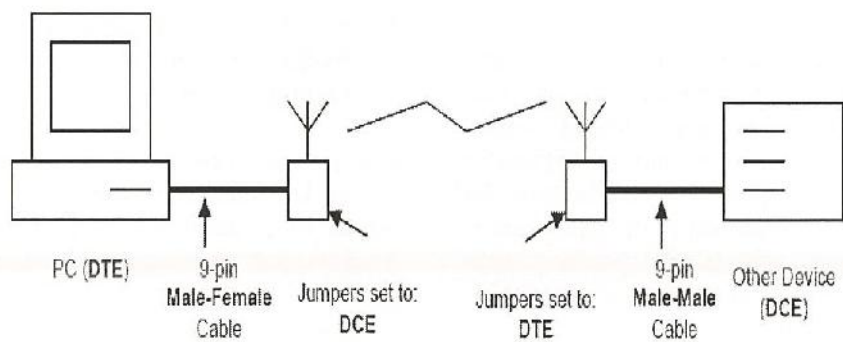


Gambar 7. Rangkaian sistem minimum

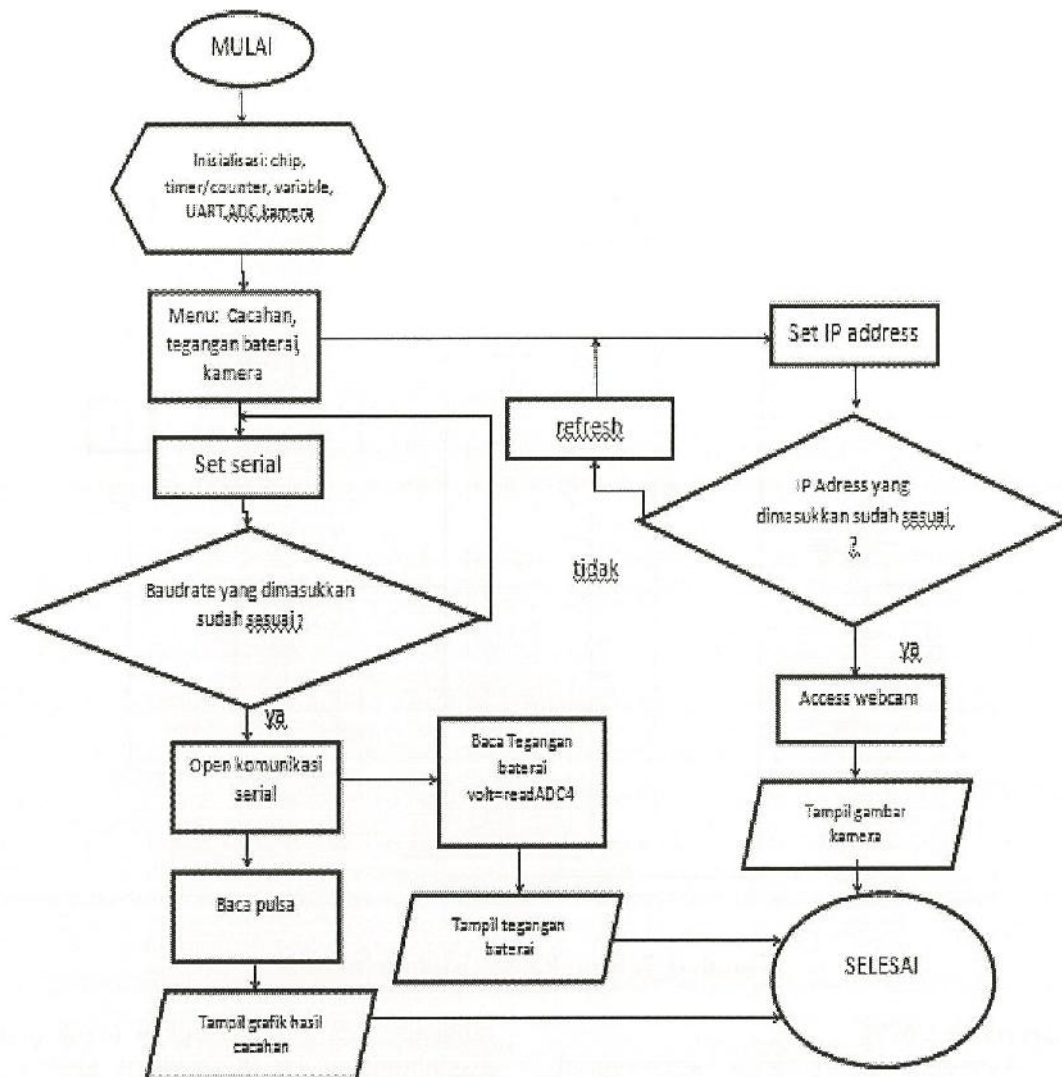
Transreceiver UM96

Agar dapat berkomunikasi secara serial, peka perangkat UM96 dirangkai sesuai dengan Gambar 8. Untuk pemancar disambungkan ke

rangkaian RS 232 sedangkan untuk penerima disambungkan ke PC melalui *DB9 to USB converter*. Flowchart Pencarian Sumber Radiasi dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 8. Koneksi modul UM96



Gambar 9. Flowchart Pencarian Sumber Radiasi Nuklir

Di dalam pencarian sumber dilakukan dengan asumsi bahwa sumber radiasi yang dicari telah diketahui tetapi lokasi sumber belum diketahui. Pencarian ini menggunakan robot *hexapod* yang dapat dikendalikan dari jarak jauh dan dilengkapi dengan kamera sehingga dapat diketahui posisi robot. Pencarian dilakukan dengan metode penyisiran dan dilakukan pencacahan selama 10 detik untuk setiap petak sesuai Gambar 9.

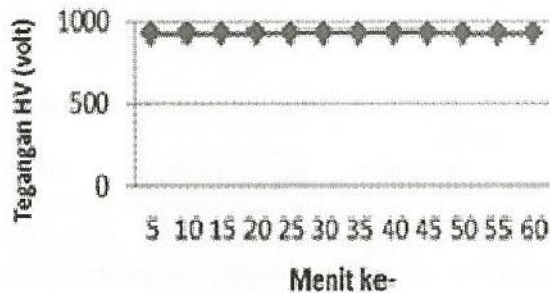
HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Pengujian stabilitas rangkaian penyedia tegangan tinggi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kestabilan catu daya tegangan tinggi DC. Detektor membutuhkan tegangan tinggi yang stabil karena perubahan tegangan tinggi dapat mempengaruhi linieritas keluaran detektor. Pengujian ini dilakukan dengan mengamati tegangan keluaran catu daya tegangan tinggi dengan beban menggunakan multimeter. Beban yang dipakai adalah detektor GM. Pengujian ini dilakukan selama 1 jam tanpa berhenti, data diambil setiap interval waktu 5 menit. Tabel 1 menunjukkan data hasil pengujian kestabilan catu daya tegangan tinggi.

Tabel 1. Data hasil pengujian kestabilan rangkaian penyedia tegangan tinggi

Waktu ke (menit)	Tegangan Keluaran HV (Volt)
5	920
10	921
15	922
20	922
25	923
30	924
35	924
40	924
45	923
50	922
55	922
60	922
Rata-rata	922,41



Gambar 10. Kestabilan hubungan antara waktu dengan tegangan

Kestabilan hubungan waktu dengan tegangan tinggi keluaran dengan beban ditunjukkan pada Gambar 10. Tegangan terendah diperoleh pada saat awal dioperasikan senilai 920 V (V_{min}) serta tegangan tertinggi yang diperoleh senilai 924 V (V_{mak}) sehingga diperoleh selisih tegangan $dV = V_{mak} - V_{min} = 924 \text{ V} - 920 \text{ Volt} = 4 \text{ V}$. Dengan menggunakan persamaan dibawah diperoleh angka ketidakstabilan sebesar,

$$\% \text{ ketidakstabilan} = \frac{4 \text{ V}}{922,41} \times 100 \% = 0,43 \%$$

Maka angka kestabilan diperoleh sebesar,
 $\% \text{ kestabilan} = 100 \% - 0,43 \% = 99,57 \%$

Hasil tersebut menunjukkan bahwa catu daya tegangan tinggi yang dibuat memiliki kestabilan dengan beban yang baik, yaitu sebesar 99.57 %.

b. Pengujian Rangkaian Pembalik Pulsa

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah pembalik pulsa dapat bekerja dengan baik sesuai fungsinya, yaitu dapat membalik pulsa negatif yang dihasilkan oleh detektor GM. Pengujian dilakukan dengan memberikan sebuah pulsa masukan dari *pulser* yang dapat menghasilkan pulsa seperti pulsa yang dihasilkan oleh detektor GM, kemudian diamati keluarannya menggunakan *oscilloscope*.

Sinyal masukan dari *pulser* diberikan berupa pulsa negatif dengan tinggi 480 mV sampai dengan 2,56 V. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian pembalik pulsa

Bagian Yang diuji	Pulsa Masukan	Pulsa Keluaran
Bentuk pulsa	Pulsa negatif	Pulsa Positif
Tinggi pulsa (volt)	0,048 s/d 2,56	3,36
Lebar pulsa (μs)	960	190,8

Dari hasil pengujian yang didapat, rangkaian pembalik pulsa telah bekerja sesuai yang diharapkan yaitu mampu membalik pulsa negatif menjadi pulsa positif.

c. Pengujian rangkaian pembentuk pulsa

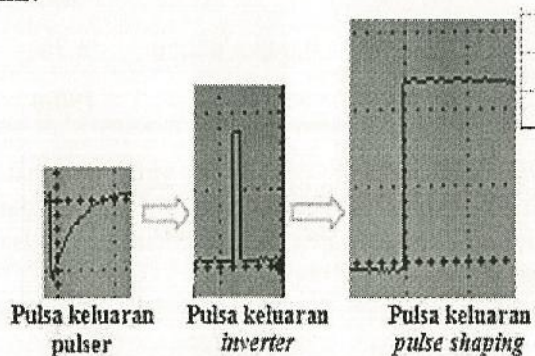
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah pembentuk pulsa dapat bekerja dengan baik sesuai fungsinya, yaitu pembentuk pulsa kotak standar TTL. Pengujian dilakukan dengan memberikan masukan pulsa yang berasal dari keluaran pembalik pulsa, kemudian keluaran pembentuk pulsa diamati menggunakan *oscilloscope*.

Pengujian ini mengamati pulsa keluaran rangkaian pembentuk pulsa yang meliputi bentuk, tinggi dan lebar pulsa sesuai dengan Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian pembentuk pulsa

Bagian Yang diuji	Pulsa masukan	Pulsa keluaran
Bentuk pulsa	Pulsa kotak positif	Pulsa kotak positif
Tinggi pulsa	3,36 V	5,12 V
Lebar pulsa	190.8 μ s	2.099ms

Bentuk pulsa masukan adalah pulsa positif yang belum standar. Tinggi pulsa masukan adalah 3,36 volt dan lebar 190.8 μ s. Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian dari rangkaian pembentuk pulsa dengan pulsa masukan berasal dari pembalik pulsa. Pada Gambar 11 terlihat bentuk pulsa dari keluaran rangkaian GM *Inverter* adalah pulsa positif yang belum standar TTL tinggi dan bentuknya. Dengan adanya rangkaian pembentuk pulsa ini membuat pulsa berbentuk kotak standar TTL dengan tinggi pulsa 5,12 volt dan lebar 2,099 ms.



Gambar 11. Tampilan pulsa pada osiloskop

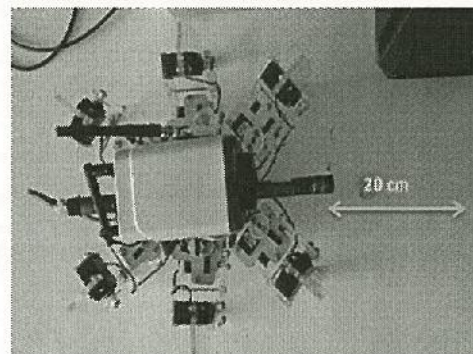
Dari hasil pengujian rangkaian pembentuk pulsa sesuai Tabel 3. dan Gambar 10 dapat dinyatakan bahwa pembalik pulsa dan pembentuk pulsa pada rancang bangun ini telah bekerja sesuai yang diharapkan. Hasil Pengujian Rangkaian Pemancar dan Penerima Data Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui jarak maksimal yang dapat dijangkau oleh rangkaian pemancar dan penerima dalam mengirim atau menerima data. Pengujian dilakukan pada jarak 20m hingga 260 m. Berdasarkan data pada Tabel 4 sistem transmisi nirkabel dapat bekerja dengan baik pada jarak maksimal 220 meter. Ketika melebihi jangkauan 220 meter maka data tidak dapat lagi ditransmisikan.

Tabel 4. Data hasil pengujian pengubah frekuensi ke tegangan

Jarak	Tegangan (volt)	Keterangan
20	12	Data terkirim
40	12	Data terkirim
60	12	Data terkirim
80	12	Data terkirim
100	12	Data terkirim
120	12	Data terkirim
140	12	Data terkirim
160	12	Data terkirim
180	12	Data terkirim
200	12	Data terkirim
220	12	Data terkirim
240	-	Data tidak terkirim
260	-	Data tidak terkirim

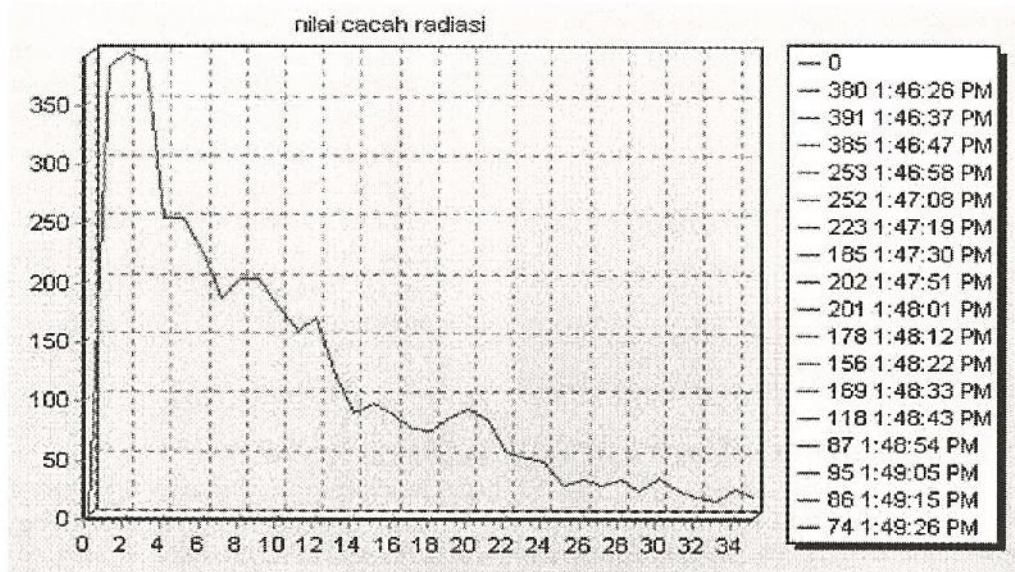
d. Pengujian Pencacahan Dengan Variasi Jarak

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja perangkat pencacah dengan menggunakan sumber radioaktif. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan semua rangkaian dan juga program penampil. Pengujian menggunakan sumber radioaktif Co-60 dengan aktivitas awal 1 μ C dengan jarak divariasikan dan waktu cacah selama 10 detik pada tegangan kerja HV 820 Volt. Gambar 12 adalah menunjukkan pengujian sistem pencacah.



Gambar 12. Pengujian sistem pencacah dengan variasi jarak

Dari Tabel 5 diperoleh data cacah sebanyak 3 kali untuk setiap variasi jarak. Hasil pengujian ini berdasarkan pengamatan data pada grafik yang ditunjukkan Gambar 13.



Gambar 13. Hubungan nilai cacah dengan variasi jarak

Tabel 5 Data hasil pengujian sistem pencacah menggunakan sumber radioaktif

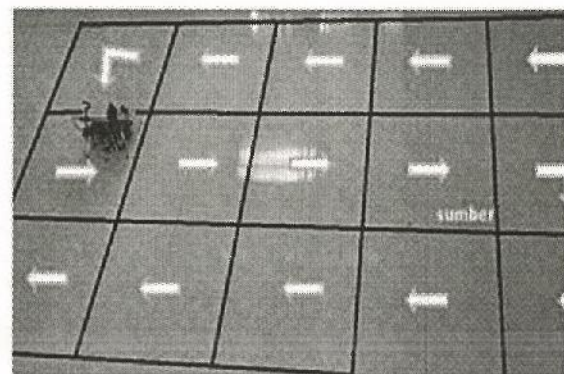
Jarak (cm)	Cacah 1	Cacah 2	Cacah 3	Rata-rata
0	380	391	385	385,33
2	253	252	223	242,67
4	185	202	201	196
6	176	156	169	167
8	87	95	86	89,33
10	56	48	43	49
12	32	30	37	33
14	12	9	15	12
16	21	20	10	17
18	14	17	10	13,67
20	16	15	17	16

Dari data yang diperoleh dapat dinyatakan bahwa semakin jauh jarak sumber dengan detektor maka paparan radiasi yang dicacah akan semakin sedikit. Pada jarak 14 cm atau lebih, hasil cacahan dianggap sama dengan cacah latar.

c. Pengujian Pencarian Sumber Radiasi Nuklir

Pengujian ini dilakukan pada area dengan luas 5,4 m². Pemetaan dilakukan dengan membagi setiap petak dengan luas 60cm × 60cm. Pada area pencarian sumber ini

terdiri dari 3 baris dan 5 kolom. Pencarian sumber dilakukan dengan asumsi bahwa sumber radiasi yang dicari telah diketahui tetapi lokasi sumber belum diketahui. Pencarian ini menggunakan robot *hexapod* yang dapat dikendalikan dari jarak jauh dan dilengkapi dengan kamera sehingga dapat diketahui posisi robot. Pencarian dilakukan dengan metode penyisiran dan dilakukan pencacahan selama 10 detik untuk setiap petak sesuai Gambar 14.



Gambar 14. Pencarian sumber radiasi nuklir dengan metode penyisiran

Berdasarkan hasil survey yang dilakukan oleh robot diperoleh nilai cacah untuk setiap petak sesuai dengan Gambar 15.

12 cacah	16 cacah	19 cacah	15 cacah	12 cacah
16 cacah	9 cacah	14 cacah	26 cacah sumber	15 cacah
13 cacah	15 cacah	12 cacah	19 cacah	16 cacah

Gambar 15. Data cacahan pada setiap petak

Dengan melakukan pencarian sumber dengan metode penyisiran, robot *hexapod* mampu mendeteksi sumber radiasi nuklir. Petak yang memiliki sumber radiasi nuklir adalah petak dengan nilai cacah tertinggi. Sumber radiasi nuklir berada pada petak baris kedua kolom keempat.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Telah dibuat rancang bangun sistem akuisisi data untuk pencarian sumber radiasi nuklir melalui robot *hexapod*.

2. Transmisi data dapat dilakukan hingga 220 meter secara nirkabel.
3. Program penampil dibuat menggunakan *Borland Delphi* yang memberikan informasi laju cacah, gambar kamera dan tegangan baterai dari robot.
4. Robot mampu melakukan pencarian sumber radiasi nuklir pada area dengan luas 5,4 m² terdiri dari 3 baris dan 5 kolom dengan luas setiap petak 60cm x 60cm.

DAFTAR PUSTAKA

1. Marjanto, D., Petunjuk Praktikum Proteksi dan Keselamatan Radiasi. Yogyakarta: STTN-BATA, (2010)
2. Suliswanto, Tugas Akhir, Rancang Bangun Sistem Monitor Radiasi Nirkabel. Yogyakarta, STTN-BATAN (2011).
3. Suseno, Tugas Akhir, Rancang Bangun Perangkat Pengiriman Data Analog Menggunakan AVR ATMEGA 16. Yogyakarta, STTN-BATAN, (2009)
4. IAEA-TEDOC-804. Methods To Identify And Locate Spent Radiation Sources. viena, Austria, (1995)
5. Saputro, Tedy. Rancang Bangun Robot Penelusur Dinding. Yogyakarta, STTN-BATAN, (2011)