

SISTEM KOMUNIKASI RADIO UNTUK MEMANTAU STATUS PENCACAH DI LIMBAH RADIOAKTIF

Hasan, Budiono, Pardi

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknik Nuklir - BATAN

ABSTRAK

SISTEM KOMUNIKASI RADIO UNTUK MEMANTAU STATUS PENCACAH DI LIMBAH RADIOAKTIF. Telah dibuat sistem komunikasi radio untuk memantau status pencacah di limbah radioaktif. Sistem yang dibuat terdiri dari detektor GM, pencacah, *shift register*, gerbang *nand*, *encoder*, DTMF, rangkaian pesawat pemancar frekuensi modulasi, rangkaian pesawat penerima frekuensi modulasi, *decoder*, *interface* dan komputer. *Prototype* ini telah diuji coba dengan menggunakan sumber radioaktif I-131. Hasil uji coba menunjukkan bahwa sistem komunikasi radio berbasis komputer ini dapat bekerja dengan baik.

Kata kunci : detektor GM, sistem komunikasi, *interface*

ABSTRACT

RADIO COMMUNICATION SYSTEM TO MONITOR COUNTER STATUS AT RADIOACTIVE WASTE. Radio communication system has been made to monitor counter status at radioactive waste. The system consists of GM detector, counter, shift register, nand gate, encoder, DTMF, transmitter frequency modulation circuit, receiver frequency modulation circuit, decoder, interface and computer. The prototype was tested using I-131. Yielded analysis show that the computer based radio communication system can be used satisfactorily.

Key words: GM detector, communication system, interface.

PENDAHULUAN

Setiap instalasi nuklir akan menghasilkan limbah radioaktif yang aktivitasnya bervariasi yaitu dari yang aktivitas radiasinya rendah sampai yang aktivitas radiasinya tinggi. Untuk memantau aktivitas radiasi tersebut, maka diperlukan sistem komunikasi

radio untuk meminimalkan terjadinya kontaminasi atau terkena paparan radiasi yang tinggi.

Untuk mengetahui tingkat radiasi pada limbah, maka pada limbah radioaktif dipasang beberapa detektor Geiger Muller untuk mengetahui apakah kandungan radioaktif dalam limbah sudah cukup aman atau belum. Jika kadar limbah radioaktif sangat kecil sehingga dapat dianggap aman, maka limbah tersebut dapat dibuang ke tempat pembuangan akhir. Salah satu cara untuk mengelola limbah radioaktif yaitu dengan cara dipantau dari jarak jauh dengan menggunakan sistem komunikasi radio. Sistem komunikasi radio yang dibuat ini hanya satu arah yaitu dari limbah radioaktif, datanya dikirimkan oleh pesawat pemancar dan diterima oleh pesawat penerima.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memudahkan para operator dalam mengelola limbah radioaktif. Untuk mengetahui tingkat radiasi pada limbah, maka pada limbah radioaktif dipasang beberapa detektor. Dalam penelitian ini telah dipasang 8 detektor Geiger Muller untuk mengetahui apakah kandungan radioaktif dalam limbah yang dideteksi sudah dapat dipindahkan ke tangki berikutnya atau belum. Pada detektor akan terjadi salah satu dari dua kondisi. Jika kandungan radioaktif masih tinggi, maka data dari detektor pada limbah ini tidak dapat dikirim. Berarti pencacah dalam keadaan *off*. Jika kandungan radioaktif relatif rendah dan berada dalam batas aman, maka detektor dalam limbah ini dapat mengirimkan datanya. Berarti pencacah dalam keadaan *on*.

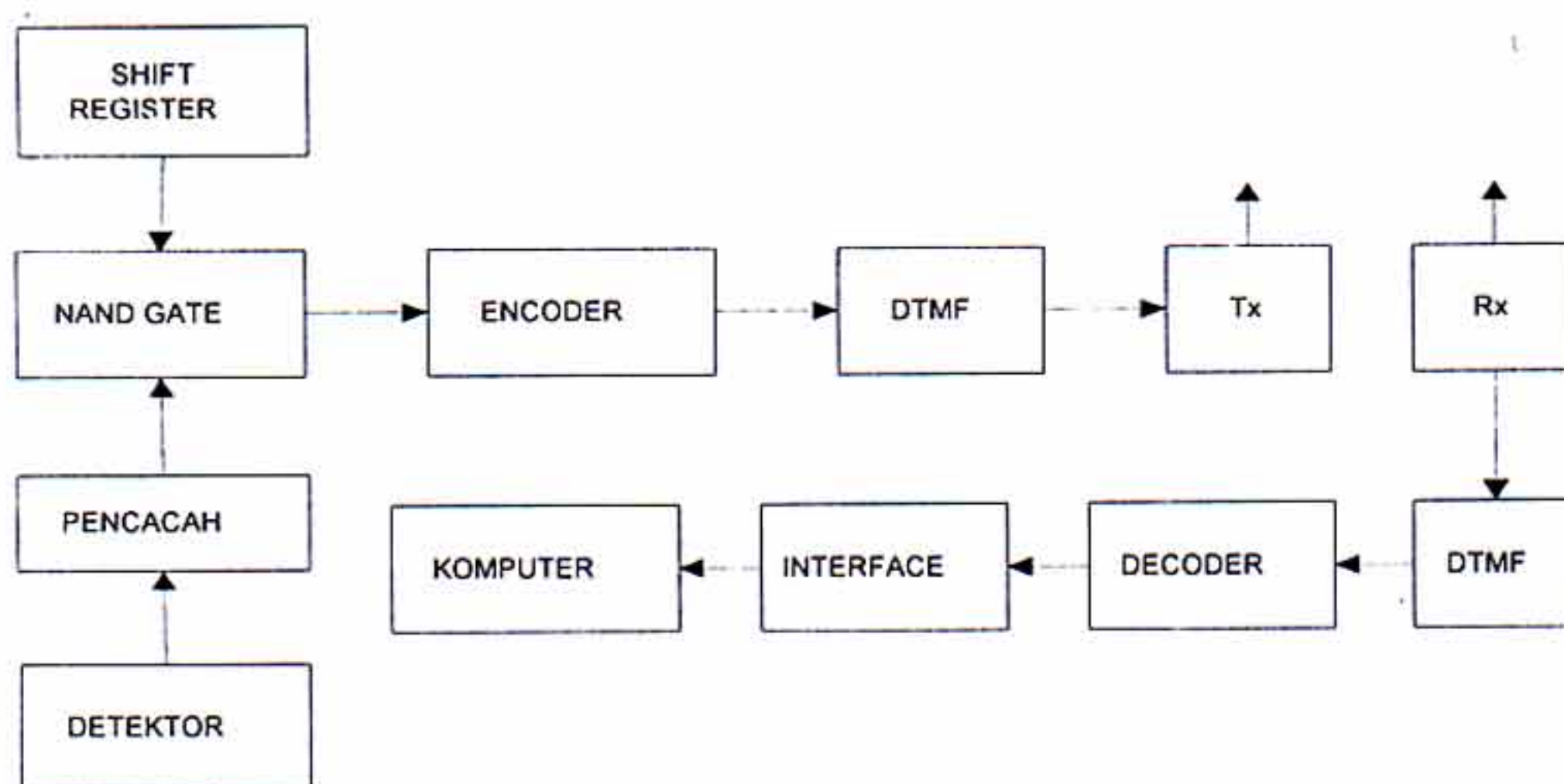
Sistem pemancar (*Transmitter*) dalam sistem komunikasi radio ini adalah sistem pemancar frekuensi modulasi (FM). Sistem pemancar FM dilengkapi dengan osilator untuk membangkitkan sinyal pembawa. Dalam sistem modulasi FM, frekuensi sinyal pembawa akan berubah sesuai dengan perubahan frekuensi sinyal informasi. Sinyal pembawa ini berfungsi untuk membawa dan melindungi sinyal informasi dari pesawat pemancar menuju ke pesawat penerima (*Receiver*). Di dalam pesawat penerima, sinyal informasi tersebut diubah ke dalam bentuk bilangan biner oleh *dual*

tone multi frequency (DTMF) sesuai dengan kondisi pencacah yang sedang aktif pada rangkaian pemancar. Selanjutnya data tersebut dimasukkan ke komputer melalui *interface* 8255. Dengan menggunakan program turbo Pascal, maka data-data dari detektor di penampungan limbah radioaktif dapat diproses dan hasilnya dapat dilihat pada layar komputer.

TATA KERJA

1. Sistem Perangkat Keras.

Diagram blok dari perancangan perangkat keras sistem komunikasi radio berbasis komputer untuk memantau limbah radioaktif dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok diagram sistem komunikasi radio untuk memantau limbah radioaktif.

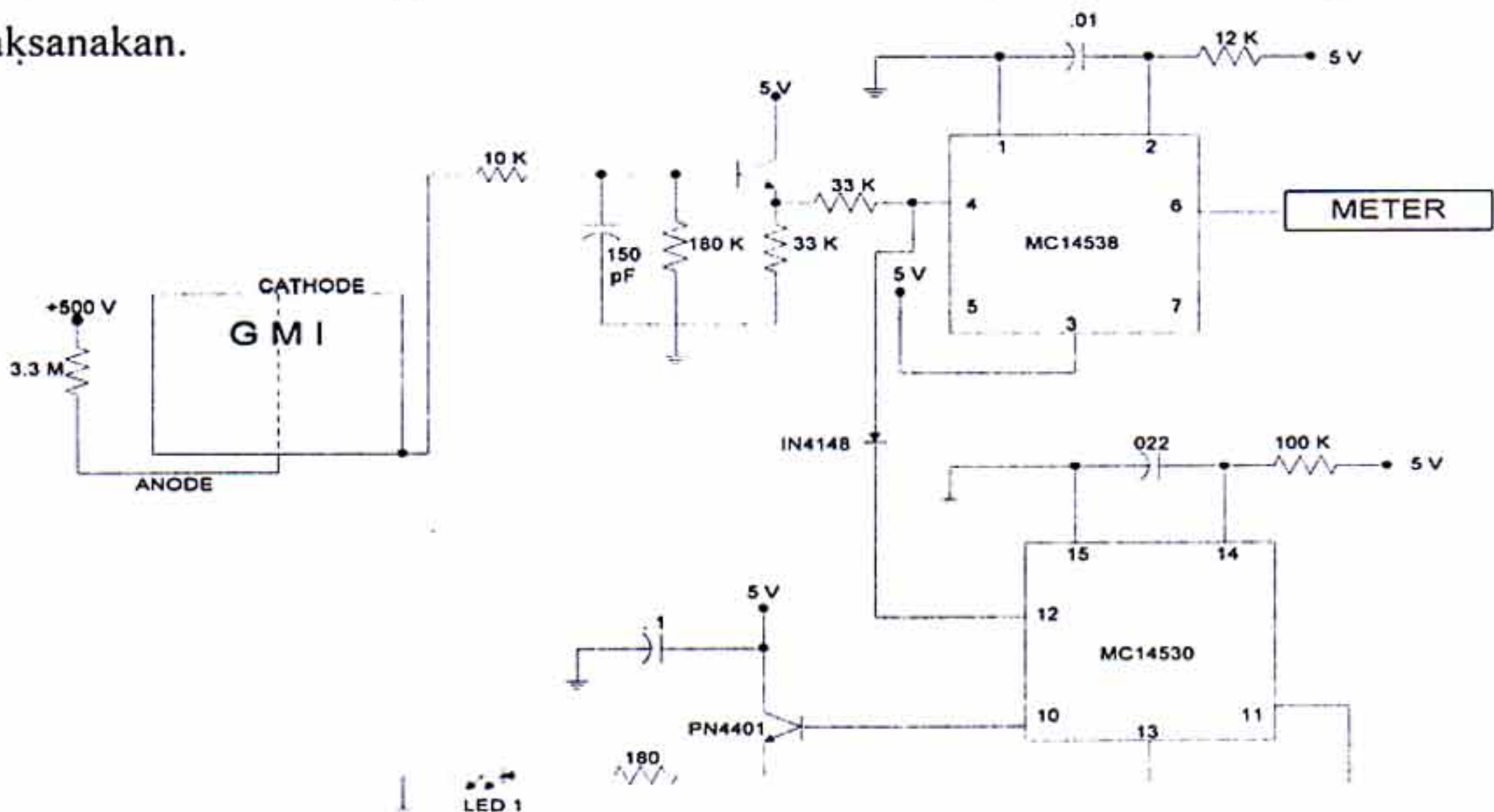
Komponen dari sistem ini adalah detektor Geiger Muller (GM), pencacah, gerbang *Nand*, *shift register*, *encoder*, *dual tone multi frequency* (DTMF), pesawat pemancar (*transmitter*), pesawat penerima (*receiver*), *decoder*, *interface* dan komputer [1].

1.1. Detektor GM dan Pencacah.

Detektor Geiger Muller termasuk salah satu dari detektor radiasi nuklir. Detektor radiasi nuklir merupakan alat yang memanfaatkan interaksi radiasi sehingga menimbulkan besaran lain yang mudah dilihat atau diukur [2].

Prinsip kerja dari detektor GM yaitu mengubah radiasi nuklir menjadi sinyal listrik. Dalam sistem instrumentasi ini, digunakan 8 buah detektor untuk mengukur radiasi nuklir pada limbah radioaktif. Detektor yang kadar radiasinya paling kecil akan diproses dan datanya dikirimkan oleh pesawat pemancar (*transmitter*) ke pesawat penerima (*receiver*) melalui DTMF. Rangkaian detektor pada limbah radioaktif dapat dilihat pada Gambar 2.

Keluaran dari detektor berupa arus listrik dan dimasukkan ke rangkaian pencacah. Rangkaian pencacah yang digunakan adalah IC *programmable interval timer* (PIT) 8253. IC PIT 8253 terdiri atas 4 bagian yaitu *data bus buffer*, *read/write logic*, *control word register* dan *counter*. Pada bagian *counter* ini pencacahan dilaksanakan.



Gambar 2. Rangkaian detektor limbah radioaktif.

1.2. Shift register dan Gerbang nand

Keluaran dari pencacah dimasukkan ke *shift register* dan gerbang *nand*. *Shift register* dan gerbang *nand* digunakan untuk memilih system pendeteksi yang aktif sehingga operator dapat memilih limbah radioaktif yang kadar radiasinya paling kecil sehingga dapat dibuang. *Shift register* merupakan rangkaian elektronik digital. Pada umumnya *shift register* dibentuk dari beberapa flip-flop yang jumlahnya disesuaikan dengan kebutuhan. Keluaran *shift register* digunakan untuk melacak detektor mana yang aktif dan dimasukkan ke salah satu gerbang *nand*.

Gerbang *nand* merupakan gabungan dari gerbang *and* dan *not*. Dalam gerbang *and*, *output*-nya akan berharga satu bila seluruh *input*-nya berharga satu. Bila salah satu *input*-nya berharga nol, maka *output*-nya berharga nol. Gerbang *not* (*inverter*) juga disebut pembalik. Dalam gerbang *not*, *output*-nya akan menjadi lawan *input*-nya [3].

1.3. Encoder

Sebuah *encoder* menerima kode masukan N-bit dan menghasilkan keadaan *high* atau *low* hanya pada satu saluran keluaran. Sebuah *encoder* memiliki beberapa saluran masukan. Hanya satu dari seluruh masukan yang diaktifkan pada satu saat, dan menghasilkan kode keluaran N-bit, tergantung dari masukan mana yang diaktifkan.

Dalam makalah ini *encoder* yang digunakan adalah IC 74147 yang dapat berfungsi sebagai *priority encoder* desimal ke BCD. *Encoder* digunakan untuk mengubah kondisi delapan buah detektor yang telah disediakan ke dalam bentuk BCD. BCD ini merupakan *input* DTMF. IC 74147 ini juga dapat digunakan sebagai *switch encoder*. Ketika sebuah tombol angka ditekan, rangkaian *encoder* akan menghasilkan kode BCD untuk angka tersebut. Karena IC 74147 merupakan *priority encoder*, maka penekanan tombol secara bersamaan akan menghasilkan kode BCD untuk tombol dengan prioritas lebih tinggi [4].

1.4. Dual tone multi frequency (DTMF)

Pesawat pengirim data, DTMF berfungsi sebagai pembangkit frekuensi berdasarkan *input* BCD yang masuk. Frekuensi tersebut digunakan sebagai pemodulasi pada pemancar FM. DTMF yang digunakan pada pesawat pengirim data adalah IC MT8880. DTMF ini mempunyai beberapa kelebihan yaitu membutuhkan catu daya yang rendah, dapat dihubungkan dengan mikroprosesor, mempunyai *internal counter* sehingga mampu menyediakan fasilitas *burst tone*, yaitu pengaturan lama pembangkitan sinyal DTMF secara otomatis.

Pada sistem DTMF ini digunakan metode matrik untuk menghasilkan 16 buah frekuensi *output*. Frekuensi ini berasal dari penggabungan delapan frekuensi *low* dan delapan frekuensi *high* sehingga digit yang ditekan akan menampilkan nomor. *Input* DTMF berupa bilangan BCD yang dihasilkan dari *encoder*, yang dimasukkan ke DTMF melalui *port* data DTMF di mana data yang masuk ditampung terlebih dahulu di dalam *data bus buffer* [5].

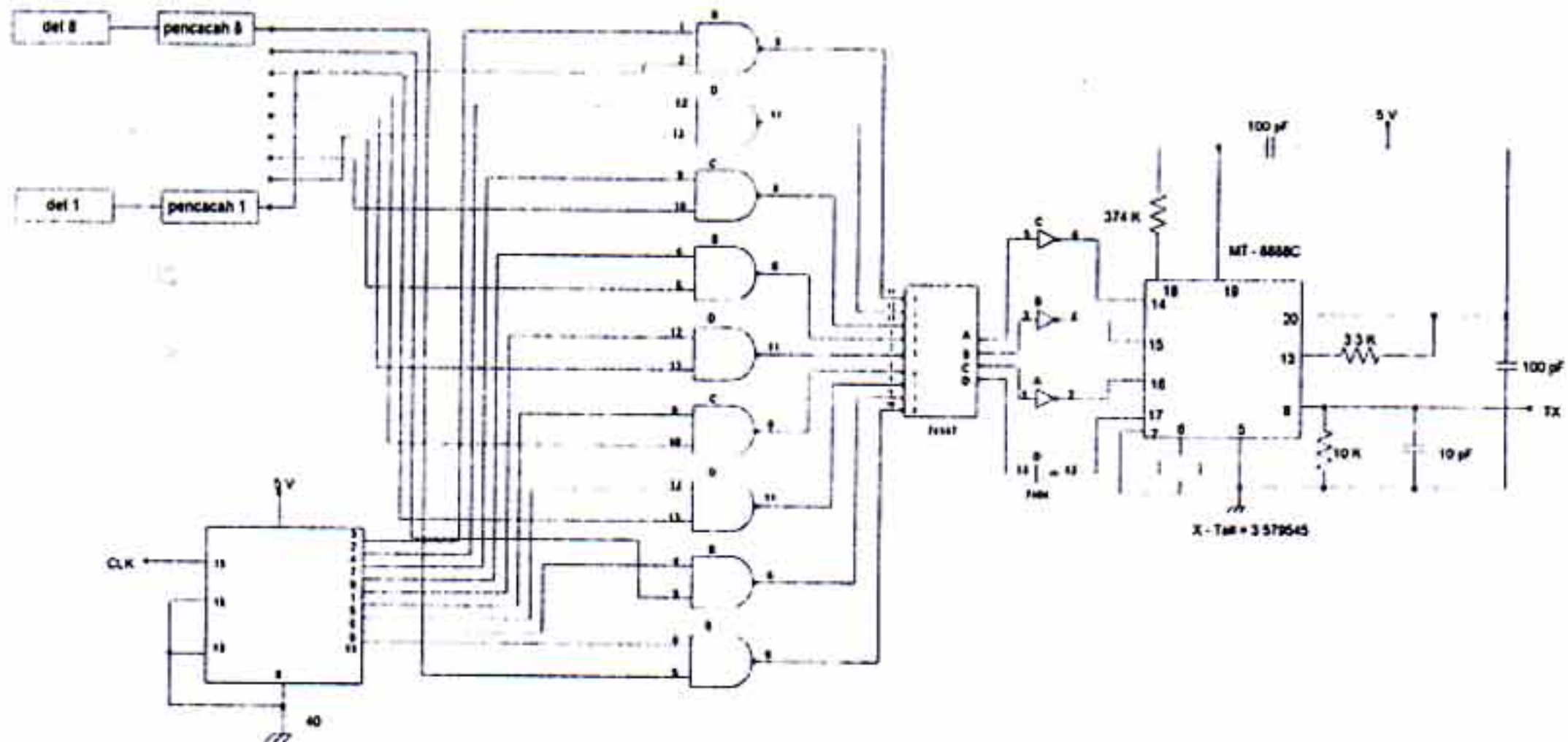
1.5. Pesawat pemancar FM

Pemancar yang digunakan pada makalah ini adalah pemancar FM. Dalam sistem frekuensi modulasi, frekuensi sinyal pembawa akan berubah sesuai dengan perubahan sinyal informasi yang dikeluarkan oleh DTMF. Sinyal pembawa dihasilkan oleh osilator yang terdapat dalam rangkaian pemancar FM. Fungsi sinyal pembawa adalah untuk membawa dan melindungi sinyal informasi. Dalam memilih frekuensi yang digunakan, maka harus diperhatikan pesawat pemancar yang sudah ada untuk menghindari terjadinya interferensi [5].

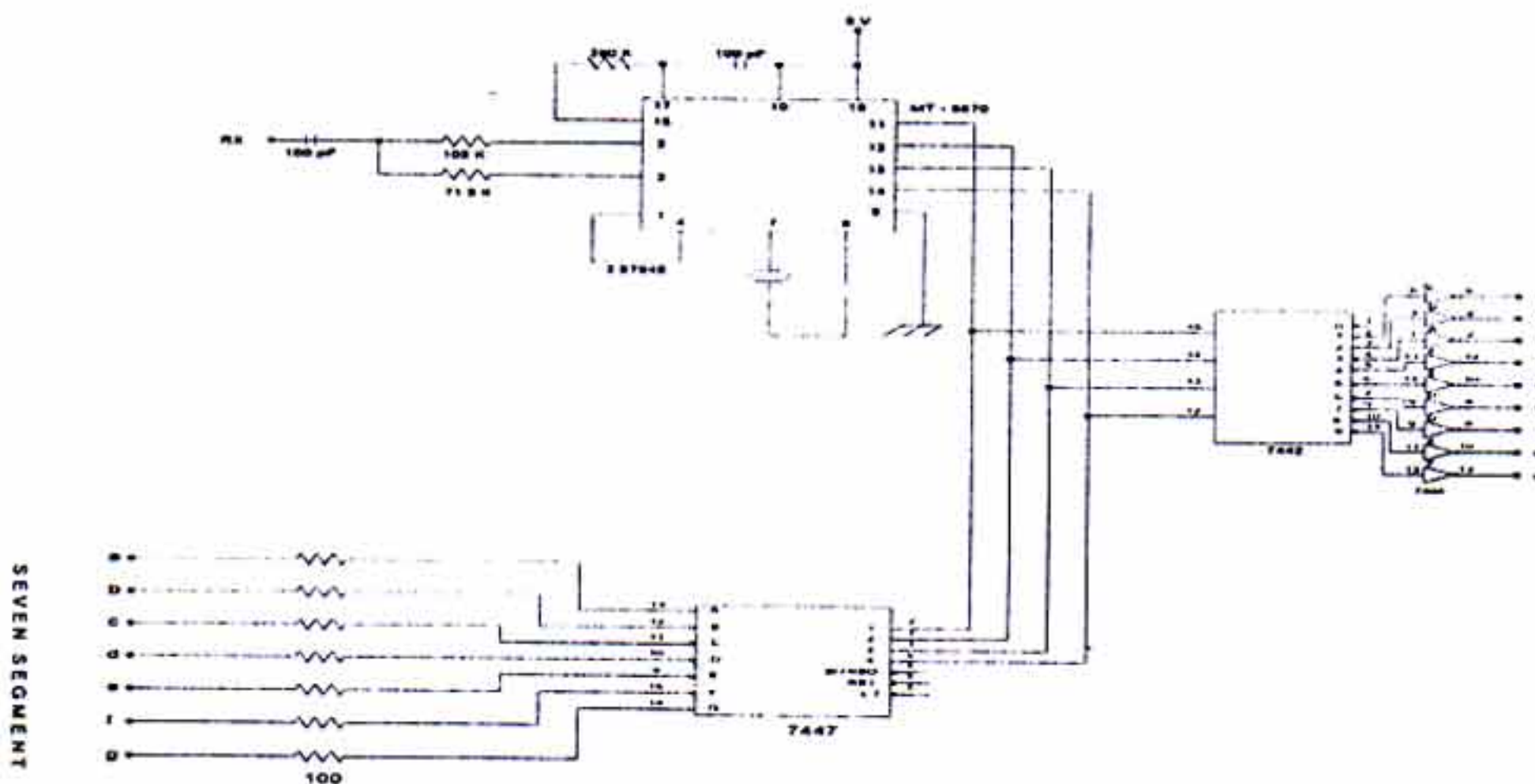
1.6. Pesawat penerima FM.

Rangkaian pesawat penerima (*Receiver*) terdiri dari pesawat sebuah penerima (Rx), DTMF *receiver* dan *decoder*. Frekuensi yang dikirim rangkaian pemancar

diterima oleh rangkaian penerima FM. Oleh detektor FM, sinyal frekuensi ini dideteksi sehingga frekuensi DTMF sebagai pemodulasi dapat dipisahkan. Proses selanjutnya adalah mengubah sinyal frekuensi ke dalam bentuk biner sesuai dengan kondisi detektor pada rangkaian pemancar. Keluaran dari DTMF *receiver* ini dimasukkan ke *decoder*, lalu dimasukkan ke komputer melalui *interface* [5].



Gambar 3. Rangkaian pengirim data

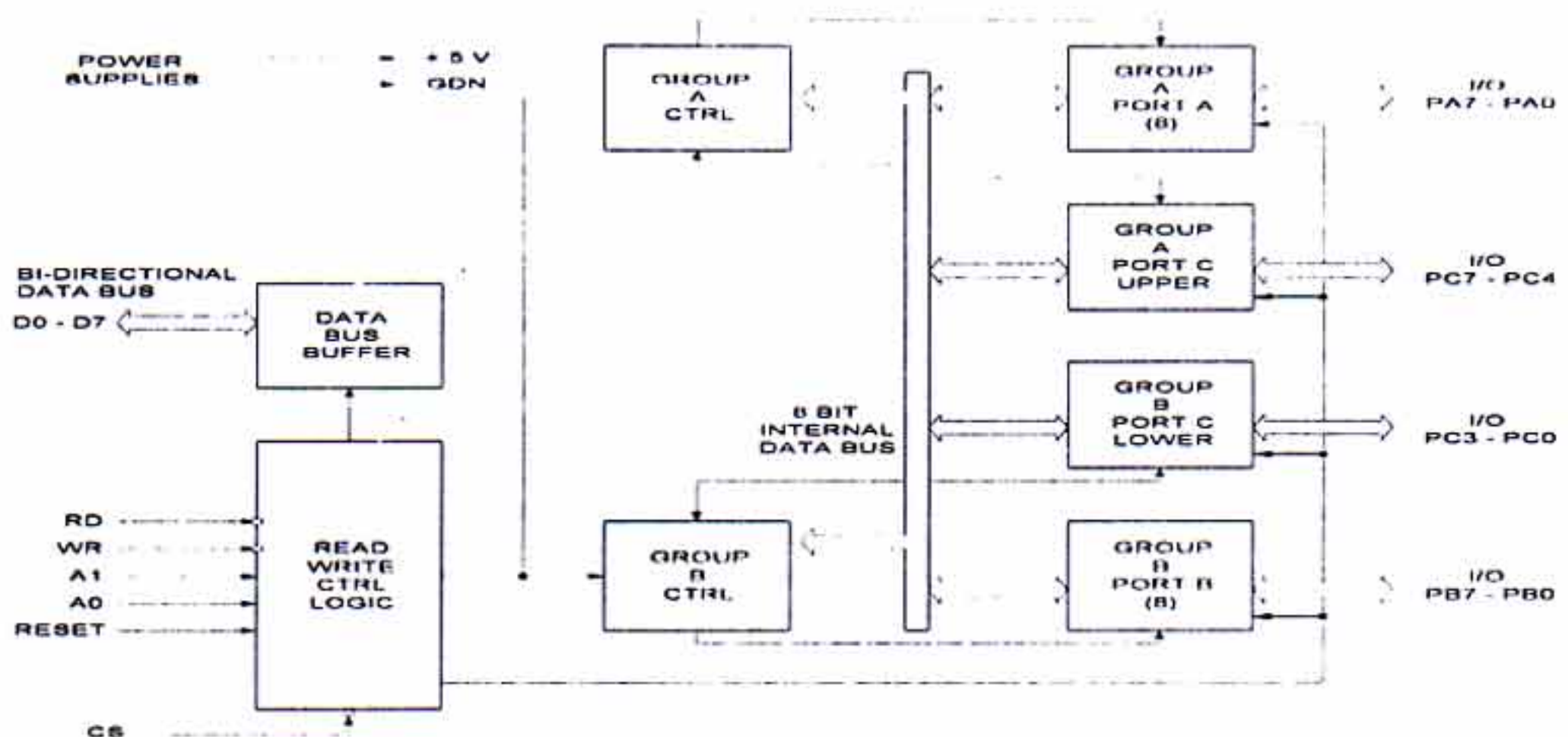


Gambar 4. Rangkaian penerima data

1.7. Interface

Interface yang digunakan dalam sistem komunikasi data ini adalah *programmable peripheral interface* (PPI) 8255 sebagai penghubung antara pesawat penerima dan komputer. Fungsi dari *interface* yaitu untuk mengambil data dari *decoder* sebagai luaran perangkat penerima. Untuk mengolah data dan menyesuaikan kecepatan data-data dari luar dengan kecepatan pemrosesan dari komputer maka digunakan perangkat lunak. Dengan demikian maka data-data dari limbah radioaktif dapat diproses di komputer.

PPI 8255 mempunyai 24 jalur yang terbagi atas tiga port yaitu *port A*, *port B* dan *port C*. Tiga *port* tersebut dihubungkan dengan internal data bus dan dibagi menjadi dua *group*. Masing-masing *group* dikendalikan oleh *control group* untuk mendefinisikan bagaimana tugas *port* masukan-keluaran yang beroperasi dalam system yang bersangkutan. Pengaturannya dilakukan dengan perangkat lunak. Melalui *port* ini data dari detektor dihubungkan. Adapun model kerja yang digunakan pada PPI 8255 ini adalah model 0, di mana setiap *port* dapat diset sebagai masukan atau keluaran. PPI 8255 ini dihubungkan ke komputer melalui salah satu slot yang telah tersedia [4].



Gambar 5. Blok diagram PPI 8255

1.8. Perangkat Lunak

Pengoperasian peralatan ini tergantung pada perangkat lunaknya. Dalam hal ini perangkat lunak dibuat dalam bahasa Turbo PASCAL. Perangkat lunak dalam sistem komunikasi data ini secara umum dibagi menjadi tiga bagian sebagai berikut.

1. Perangkat lunak untuk inisialisasi komponen *input-output*.
2. Perangkat lunak untuk sistem komunikasi radio.
3. Perangkat lunak untuk tampilan di layar monitor.

2. Prinsip kerja sistem

Prinsip kerja dari sistem komunikasi radio untuk memantau limbah radioaktif berbasis komputer ini adalah sebagai berikut. Bila detektor GM didekatkan pada zat yang memancarkan partikel-partikel alpha, beta atau gamma, maka partikel tersebut dapat menembus detektor dan masuk ke dalamnya. Partikel ini akan menumbuk salah satu atom gas dan menyebabkan atom dari gas tersebut terionisasi. Elektron yang terlepas keluar dari atom yang ditumbuk itu ditarik menuju anoda. Dalam perjalanannya ia dapat menumbuk atom lain dan menyebabkan ionisasi baru. Ion-ion gas yang kehilangan elektron akibat ionisasi akan ditarik ke arah katoda. Hal ini berarti perpindahan muatan listrik dan menyebabkan terjadinya arus listrik.

Dalam sistem ini, detektor yang digunakan untuk memantau limbah radioaktif ada delapan buah. Detektor tersebut digunakan untuk mengetahui apakah kandungan radioaktif dalam tabung limbah yang dideteksinya sudah dapat dipindahkan ke tangki berikutnya atau belum. Jika kandungan radioaktif masih tinggi, maka data dari detektor tersebut tidak dikirimkan ke *Receiver*. Jika kandungan radioaktif relatif rendah dan berada dalam batas aman, maka detektor dalam limbah ini mengirimkan datanya. Sinyal informasi dari detektor ini akan dicacah kemudian dimasukkan ke rangkaian

shift register dan gerbang *nand*. *Shift register* dan gerbang *nand* berfungsi untuk memilih pencacah yang aktif sehingga kondisi yang terjadi pada detektor dapat dipancarkan secara bergantian. Data dari detektor ini selanjutnya diproses dan dimasukkan ke *encoder*.

Encoder dalam sistem ini berfungsi untuk mengubah sinyal informasi dari detektor dalam bentuk BCD (*binary code decimal*). Untuk mengkodekan beberapa saluran *input* yang masuk ke *encoder*, menjadi bentuk BCD, maka salah satu *input*-nya harus berada dalam kondisi *low*, sinyal BCD dari *encoder* selanjutnya dimasukkan ke DTMF generator. Sebelum dimasukkan ke DTMF generator, Sinyal BCD ini harus dibalik lebih dahulu dengan menggunakan gerbang *not*.

DTMF berfungsi sebagai pembangkit frekuensi di mana frekuensi yang dihasilkan berdasarkan sinyal dari *encoder* yang masuk ke DTMF. Frekuensi tersebut selanjutnya digunakan sebagai frekuensi pemodulasi (sinyal informasi) pada pemancar FM.

Pemancar yang digunakan dalam sistem ini adalah pemancar FM (frekuensi modulasi). Pemancar FM dilengkapi dengan osilator yang berfungsi untuk membangkitkan sinyal pembawa. Fungsi sinyal pembawa yaitu untuk melindungi dan membawa sinyal informasi dari pemancar ke penerima. Dalam sistem modulasi frekuensi, frekuensi sinyal pembawa akan berubah sesuai dengan perubahan dari frekuensi sinyal informasi yang dikeluarkan dari rangkaian DTMF. Selanjutnya sinyal informasi dan sinyal pembawa dari osilator diperkuat di rangkaian *driver* lalu dipancarkan keluar. Pada rangkaian penerima, frekuensi yang dipancarkan oleh pemancar diterima oleh pesawat penerima (Rx). DTMF mengubah sinyal frekuensi tersebut menjadi bilangan biner BCD. Keluaran dari DTMF dimasukkan ke *decoder* dan diubah ke dalam bentuk desimal. Data dari *decoder* dimasukkan ke komputer melalui *interface*.

Dengan bantuan program Turbo Pascal, maka data tersebut dapat diolah oleh komputer dan hasilnya ditampilkan pada layar monitor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem komunikasi data ini dibuat untuk memantau radiasi nuklir pada limbah dari jarak jauh. Untuk mengetahui sampai sejauh mana kerja sistem ini, maka dilakukan uji coba di laboratorium P3TkN, Bandung. Pengujian dilakukan dengan menggunakan sumber radiasi iodium untuk mengetahui hasil cacahan radiasi dan oscilloscope untuk mengetahui bentuk gelombang yang dipancarkan.

1. Uji coba dengan menggunakan sumber radiasi iodium.

Uji coba pencacahan dilakukan dengan menggunakan sumber radiasi iodium (I-131). Uji coba dilakukan pada limbah radioaktif sebelum dipancarkan oleh pesawat pemancar. Dari 8 buah detektor GM, maka dilakukan pencacahan satu persatu dengan menggunakan *counter*. Pencacahan dilakukan dua kali pada jarak yang berbeda. Pengamatan dilakukan sebanyak 10 kali dengan waktu pencacahan selama 1 detik. Hasil cacahan dengan menggunakan sumber radiasi iodium pada jarak 25 cm ditampilkan pada layar komputer dan hasilnya dapat dilihat pada Table 1.

Tabel 1. Hasil pencacahan dengan sumber radiasi I-131 pada jarak 25 cm.

No.	CTR 1	CTR 2	CTR 3	CTR 4	CTR 5	CTR 6	CTR 7	CTR 8
1	14	12	14	14	14	14	12	13
2	15	12	11	12	13	13	12	12
3	13	13	16	13	11	13	13	14
4	13	11	12	10	14	12	12	13
5	15	12	11	12	15	15	13	11
6	14	13	14	11	14	14	13	12
7	13	16	11	12	15	14	12	16
8	15	13	13	14	11	13	12	11
9	12	10	10	12	11	11	11	16
10	14	15	14	11	14	14	15	13

Percobaan selanjutnya dilakukan dengan menggunakan sumber radiasi iodium pada jarak 5 cm. Hasil pencacahannya terlihat pada Table 2.

Tabel 2. Hasil pencacahan dengan sumber radiasi I-131 pada jarak 5 cm

No.	CTR 1	CTR 2	CTR 3	CTR 4	CTR 5	CTR 6	CTR 7	CTR 8
1	76	70	74	76	71	74	74	75
2	75	71	78	75	72	73	72	74
3	76	72	74	74	76	75	64	71
4	77	76	76	75	71	76	69	76
5	72	73	72	75	77	72	73	74
6	76	72	71	72	76	75	72	71
7	70	67	77	76	70	70	77	77
8	71	68	65	77	71	73	72	71
9	77	74	73	77	72	71	72	72
10	77	76	73	71	72	69	71	70

2. Uji coba pada pesawat pemancar (*Transmitter*).

Sesudah dilakukan uji coba di limbah radioaktif, maka uji coba berikutnya dilakukan pada pesawat pemancar untuk mengetahui bentuk gelombang yang dipancarkan. Pengukuran dilakukan pada DTMF generator. Pengukuran bentuk gelombang DTMF dilakukan dengan memberikan kode BCD, yang dimulai dari kondisi 0001 sampai 1001 (1-9). Hasil pengukuran tersebut menghasilkan bentuk gelombang dan tegangan sebagai berikut. Misalnya pada CTR 1, pada cacahan No.1 menghasilkan cacahan = 12, maka pada kode bilangan BCD, angka 1 diubah menjadi 0001 dan angka 2 diubah menjadi 0010. Angka 1 (0001) menghasilkan frekuensi rendah = 667 MHz dan frekuensi tinggi = 1209 MHz. Selisih frekuensi ini akan menghasilkan gelombang dengan amplitudo atau $V_{p-p} = 1,8$ Volt. Angka 2 (0010) menghasilkan frekuensi rendah = 667 MHz dan frekuensi tinggi = 1336 MHz. Selisih frekuensi ini akan menghasilkan gelombang dengan amplitudo atau $V_{p-p} = 1,85$ Volt. Kedua frekuensi tersebut digabung sehingga merupakan hasil CTR 1 pada cacahan

No.1. Dengan cara yang sama, maka frekuensi pemancar pada cacahan yang lain dapat diketahui .

Bentuk gelombang yang dihasilkan merupakan gelombang analog sebagai fungsi sinus dengan persamaan sebagai berikut.

$$V = a \sin (wt + \theta)$$

V = tegangan dari gelombang yang dipancarkan.

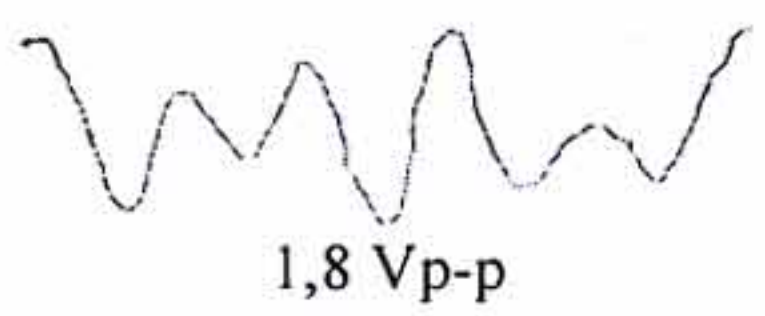
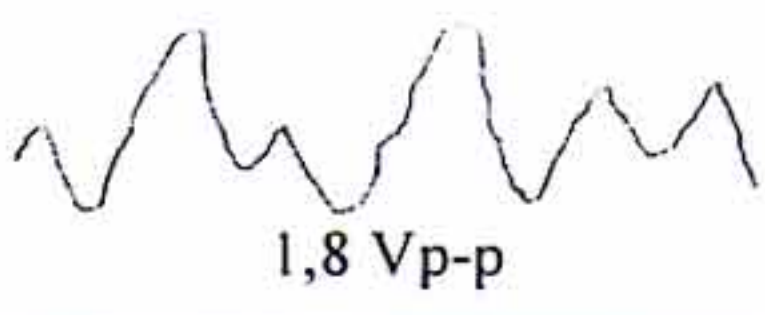
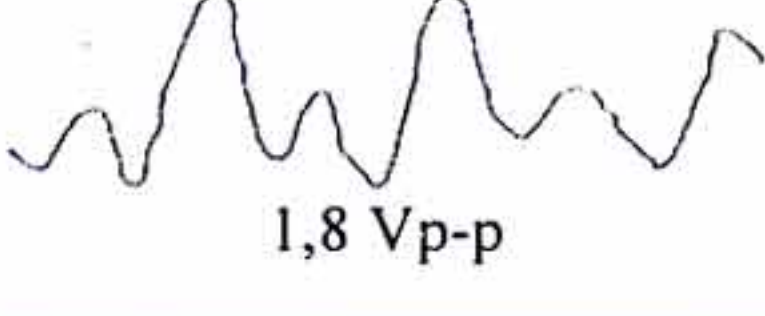
A = amplitudo


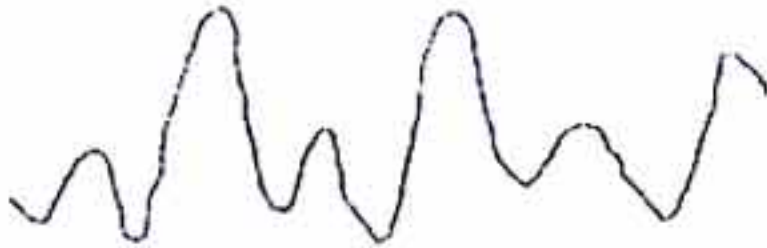

W = $2\pi f$ = frekuensi

θ = phase dari gelombang

Untuk frekuensi rendah dan frekuensi tinggi yang lain, maka akan menghasilkan bentuk gelombang dan tegangan seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Frekuensi dan bentuk gelombang pada pesawat pemancar

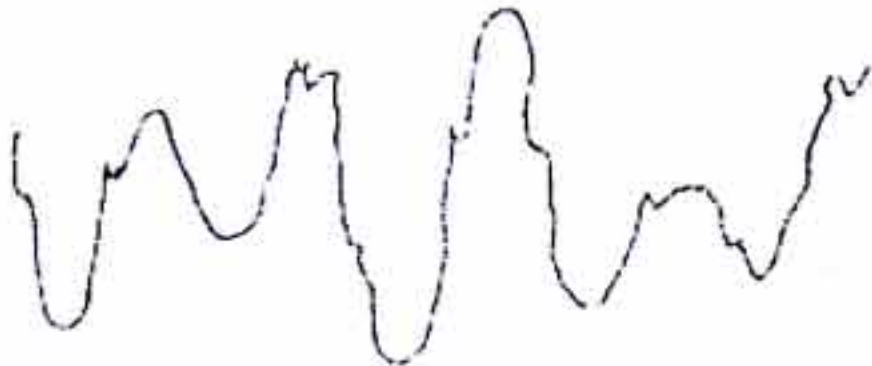


IN	F Low	F Hight	Digit	Bentuk Gelombang
0001	667	1209	1	 1,8 Vp-p
0010	667	1336	2	 1,8 Vp-p
0011	667	1477	3	 1,8 Vp-p

IN	F Low	F Hight	Digit	Bentuk Gelombang
0100	770	1209	4	 <p>1,8 Vp-p</p>
0101	770	1336	5	 <p>1,8 Vp-p</p>
0110	770	1477	6	 <p>1,8 Vp-p</p>

3. Uji coba pada pesawat penerima (Receiver).

Pada bagian pesawat penerima, dilakukan pengukuran bentuk gelombang dan tegangan *peak to peak* yang terjadi pada *input* DTMF penerima. Dari hasil pengukuran tersebut ternyata antara bentuk gelombang yang dipancarkan dan yang diterima ada sedikit perbedaan. Hal ini disebabkan adanya *noise*. Untuk menghilangkan *noise*, maka pada pesawat penerima diberi filter. Hasil pengukuran bentuk gelombang dan tegangan *peak to peak* pada *input* DTMF Receiver dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Tegangan *peak to peak* dan bentuk gelombang pada pesawat penerima

Bentuk Gelombang	Amplitudo	Display
	4 Vp-p	1
	4,2 Vp-p	2
	4 Vp-p	3

KESIMPULAN

Dari hasil uji coba alat yang dibuat, maka dapat disimpulkan sebagai berikut: Hasil uji coba dengan oscilloscope menunjukkan bahwa gelombang yang dikirim mempunyai tegangan *peak to peak* atau Vp-p sekitar 1,8 Volt. Pada pengiriman berikutnya, tegangan *peak to peak* juga sekitar 1,8 Volt. Pada bagian pesawat penerima, tegangan *peak to peak* sekitar 4 Volt. Pada pengiriman berikutnya, harga tegangan *peak to peak* juga sekitar 4 Volt. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa sistem komunikasi radio yang telah dibuat dapat bekerja dengan baik karena alat tersebut telah bekerja sesuai dengan yang telah direncanakan.