

RANCANG BANGUN PEMILIH ARUS DAN PEWAKTU PADA PESAWAT SINAR-X BERBASIS MIKROKONTROLER AT89S51

Ferry Suyatno, Djiwo Harsono, Azizah Marwiana

Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir – Badan Tenaga Nuklir Nasional
Jl. Babarsari Kotak Pos 6101/YKBB Yogyakarta
Telp : (0274) 48085 ; Fax : (0274) 489715

INTISARI

Telah dilakukan penelitian **Rancang Bangun Pemilih Arus dan Pewaktu pada Pesawat Sinar-X Berbasis Mikrokontroler AT89S51**. Pesawat sinar-X adalah suatu alat yang digunakan untuk melakukan diagnosa medis dengan menggunakan sinar-X. Pada pengoperasian pesawat sinar-X perlu dilakukan pengaturan parameter yaitu tegangan tinggi (kV), arus tabung (mA) dan waktu paparan (s). Pemilih arus dan pengatur waktu pesawat sinar-X konvensional memiliki sedikit variasi dengan hasil pengaturan terbatas. Perencanaan dilakukan untuk menambah jumlah variasi arus yang dapat digunakan dengan menggunakan mikrokontroler AT89S51 sebagai pengendalinya. Perencanaan menghasilkan pemilih arus dan pengatur waktu yang memiliki lebih banyak variasi pilihan arus yaitu sebanyak 6 pilihan meliputi 50 mA, 60 mA, 70 mA, 80 mA, 90 mA dan 100 mA.

Kata kunci: sinar-X, pemilih arus, pewaktu, mikrokontroler AT89S51.

ABSTRACT

*Research has been done about **Current Selector and Timer Design and Construction of X-Ray Machine Based on Microcontroller AT89S51**. X-ray machine is a tool used for medical diagnosis by using X-rays. To operate the device, the parameters need to be set are high voltage (kV), tube current (mA), and exposure time (s). Current selector and timer regulator in conventional X-ray machine has a slight variation with the limited results settings. Engineering done to increase the current amount of variation that can be used using AT89S51 microcontroller as the controller. The engineering resulting timer and current selector has more variety options it is about six current options, it is about 50 mA, 60 mA, 70 mA, 80 mA, 90 mA and 100 mA.*

Keywords: X-rays, current selector, timer, AT89S51 microcontroller.

PENDAHULUAN

Sistem kedokteran nuklir yang dimanfaatkan di rumah sakit di Indonesia salah satunya menggunakan aplikasi pesawat sinar-X untuk berbagai kebutuhan medis, mulai dari analisis dan struktur dental dan tulang, analisis organ dalam termasuk melihat bercak-bercak pada paru-paru ataupun organ lain.

Sistem kendali pada pesawat sinar-X digunakan untuk mengatur dosis sinar-X pada saat penyinaran (*exposure*). Sistem ini terdiri dari 3 variabel, yaitu tegangan (kV), arus (mA), dan waktu (s). Kendali peralatan rontgen pada umumnya masih menggunakan kontrol analog dan manual yang cukup akurat tetapi sulit dalam pengoperasiannya, serta pemilihan variasi arus yang terbatas. Sistem kendali ini dapat dimodifikasi dengan menggunakan suatu sistem yang dapat menambah variasi nilai pengaturan arus dan kemudahan dalam pengoperasian.

Dua diantaranya yaitu arus (mA) dan waktu (s) menjadi objek yang akan digunakan dalam penelitian tentang "RANCANG BANGUN PEMILIH ARUS DAN PEWAKTU PADA PESAWAT SINAR-X BERBASIS MIKROKONTROLER AT89S51". Perencanaan ini dilakukan pada pesawat sinar-X tipe 100 mA untuk menambah variasi nilai arus dan mempermudah pengoperasian alat agar kesalahan dalam penggunaan dapat diminimalisasi. Alat ini menggunakan komponen yang banyak di pasaran untuk memudahkan dalam proses perawatannya.

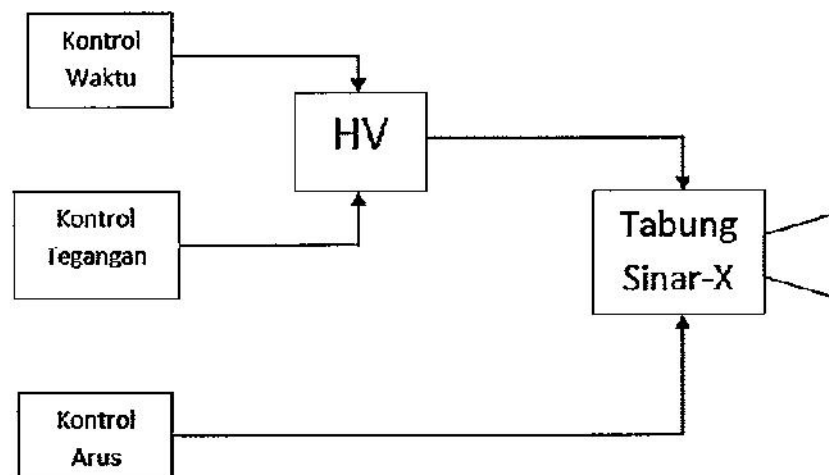
PESAWAT SINAR-X

Pesawat sinar-X atau pesawat Rontgen merupakan salah satu alat yang digunakan untuk melakukan diagnosa medis yang memanfaatkan sinar-X. Sinar-X yang dipancarkan dari tabung diarahkan pada bagian tubuh yang akan didiagnosa. Berkas sinar-X tersebut akan menembus bagian tubuh dan akan ditangkap oleh film, sehingga akan terbentuk gambar dari bagian tubuh yang disinari.

Sinar-X dihasilkan di dalam suatu tabung gelas yang dikonstruksi khusus dan secara umum terdiri dari sumber untuk memproduksi elektron, sumber energi untuk mempercepat elektron, lintas elektron bebas, pemokus berkas elektron, dan bahan untuk menghentikan elektron.

Pada dasarnya pesawat sinar-X terdiri dari bagian utama, yaitu tabung sinar-X, sumber tegangan tinggi (HV), dan unit pengatur yang dapat dilihat pada Gambar 1.



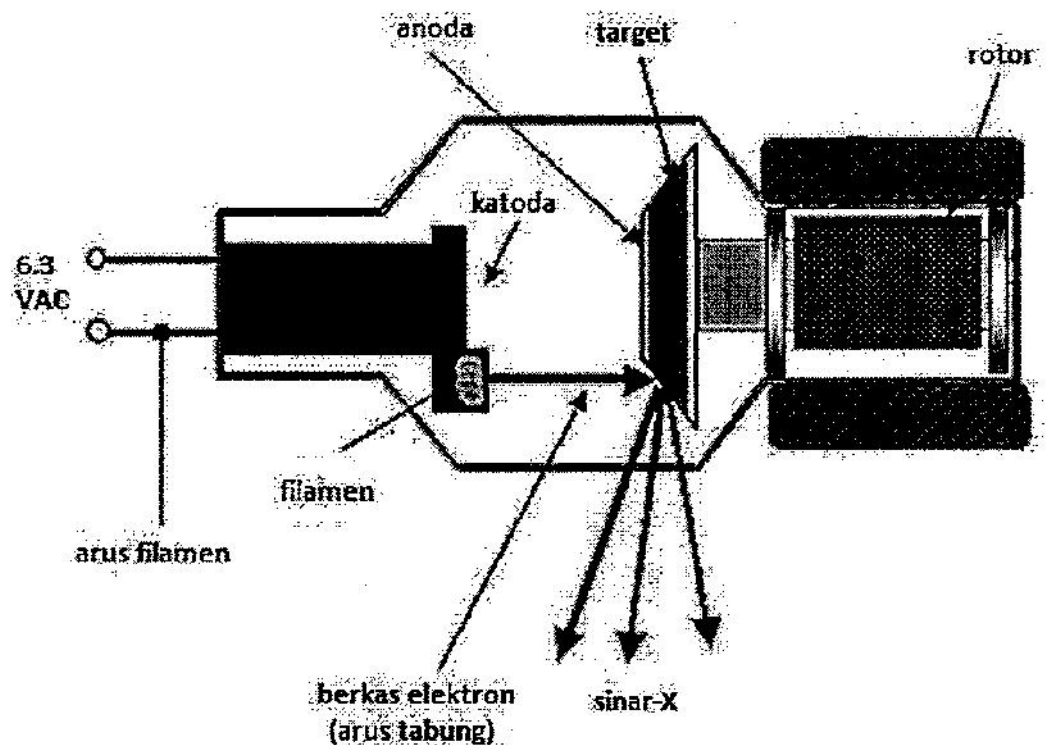


Gambar 1. Bagian Utama Pesawat Sinar-X

Masing-masing bagian utama pesawat sinar-X dapat dijelaskan sebagai berikut

1. Tabung Sinar-X

Bagian pesawat sinar-X yang menjadi sumber radiasi adalah tabung pesawat sinar-X. Struktur tabung sinar-X dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur Tabung Sinar-X

Di dalam tabung pesawat sinar-X yang biasanya terbuat dari bahan gelas terdapat filamen yang bertindak sebagai katoda, dan sasaran yang bertindak sebagai

anoda. Tabung pesawat sinar-X dibuat hampa udara agar elektron yang berasal dari filamen tidak terhalang oleh molekul udara dalam perjalanannya menuju anoda. Filamen yang dipanasi oleh arus listrik bertegangan rendah menjadi sumber elektron. Makin besar arus filamen, akan semakin tinggi dan berakibat makin banyak elektron yang dibebaskan per satuan waktu. Elektron yang dibebaskan oleh filamen tertarik ke anoda oleh adanya beda potensial yang besar atau tegangan tinggi antara katoda dan anoda yang dicatu oleh unit sumber tegangan tinggi (potensial katoda beberapa puluh hingga beberapa ratus kV atau MV lebih rendah dibandingkan potensial anoda) ; elektron ini menabrak bahan sasaran yang umumnya bernomor atom dan bertitik cair tinggi (misalnya wolfram), dan terjadilah proses bremsstrahlung. Dari proses ini dihasilkan sinar-X kontinyu karena diakibatkan perlambatan berkas elektron cepat dalam medan magnet atom anoda yang mempunyai spektrum kontinyu.

Pada proses bremsstrahlung sinar-X mempunyai kemungkinan dipancarkan ke segala arah. Namun demikian, bagian dalam tabung atau di sekitar tabung, misalnya logam penghantar anoda, gelas tabung dan juga rumah tabung yang biasanya terbuat dari logam berat menyerap sebagian besar sinar-X yang dipancarkan sehingga sinar-X yang keluar dari rumah tabung; kecuali yang mengarah ke jendela tabung, sudah sangat sedikit. Sinar-X yang dimanfaatkan adalah berkas yang mengarah ke jendela, bagian yang paling tipis dari tabung.

Selain proses bremsstrahlung, dalam proses tumbukan ini juga dapat terjadi sinar-X karakteristik. Sinar-X ini dihasilkan akibat transisi elektron dari orbit tinggi ke orbit rendah dari atom anoda. Transisi elektron ini terjadi akibat adanya kekosongan elektron setelah ditumbuk oleh elektron berkecepatan tinggi.

Tumbukan elektron yang dipancarkan dari katoda menuju anoda menimbulkan sejumlah besar panas (99%) dan sinar-X (1%), oleh karena itu tabung sinar-X perlu pendinginan ketika dioperasikan.

2. Sumber Tegangan Tinggi (HV)

Tegangan tinggi (HV) berfungsi untuk menaikkan tegangan dari sumber tegangan PLN yang telah diatur dengan kV selektor ke tegangan kerja tabung sinar-X.^[5] Tegangan kerja ini untuk mencatu tegangan listrik pada kedua elektroda dalam tabung sinar-X, yang mempengaruhi kecepatan dan energi dari elektron cepat yang dihasilkan.

3. Unit Pengatur

Unit pengatur pada pesawat sinar-X terbagi atas pengaturan parameter tegangan (kV), arus (mA) dan waktu (s). Sistem kontrol berfungsi mengatur dan mengendalikan operasi pesawat sinar-X dalam menghasilkan kuantitas dan kualitas sinar-X. Kuantitas dan kualitas sinar-X tergantung dari elektron yang dihasilkan filamen dan energi sinar-X yang dihasilkan dari pengaturan tegangan tinggi. Penjelasan dari masing-masing parameter adalah sebagai berikut

a. Tegangan (kV)

Pengaturan tegangan (kV) digunakan untuk menentukan daya tembus sinar-X ke obyek. Diperlukan pembangkitan tegangan yang tinggi di dalam tabung sinar-X agar dapat dihasilkan berkas sinar-X. Rangkaian listriknya dirancang sedemikian rupa sehingga kV-nya dapat diubah dalam rentang yang besar, biasanya 30 kV sampai 100 kV atau lebih. Radiasi yang dihasilkan pada rentang

kV yang lebih tinggi akan memiliki energi yang lebih besar dan panjang gelombang yang lebih pendek.

b. Arus (mA)

Arus akan berpengaruh pada intensitas sinar-X atau derajat terang (*brightness*). Dengan peningkatan mA akan menambah intensitas sinar-X dan sebaliknya. Oleh sebab itu derajat terang dapat diatur dengan mengubah mA.

Arus (mA) adalah parameter yang berkaitan dengan jumlah elektron yang dihasilkan oleh filamen yang dipanaskan. Pengaturan arus dari kontrol luar menghasilkan arus filamen yang sebanding dengan arus tabung. Elektron ini nantinya akan menjadi elektron cepat yang melintas dari katoda dan anoda di dalam tabung sinar-X. Jumlah elektron yang melintas dari katoda ke anoda setiap detik terukur dalam miliAmpere (mA). Kuantitas elektron yang dihasilkan oleh filamen tergantung dari suhu filamen, dan suhu filamen dikendalikan oleh arus filamen. Arus filamen memiliki orde lebih besar dari arus tabung yaitu A.

Rangkaian pengatur arus terdiri dari trafo regulator, trafo filamen (*step down*), Resistor variabel, *relay* dan filamen yang berada didalam tabung. Seting arus dilakukan menggunakan *keypad* yang mengatur mikrokontroler untuk menggerakkan *relay*. Trafo regulator berfungsi penstabil tegangan antara tegangan masuk dan tegangan keluaran yang akan masuk ke trafo filamen. Tegangan kerja filamen itu rendah yaitu antara 7 Volt sampai 11 Volt khususnya untuk tabung buatan china. Untuk itu sebelum masuk ke filamen di pasang trafo *step down* (trafo filamen). Pengatur arus menggunakan resistor variabel.

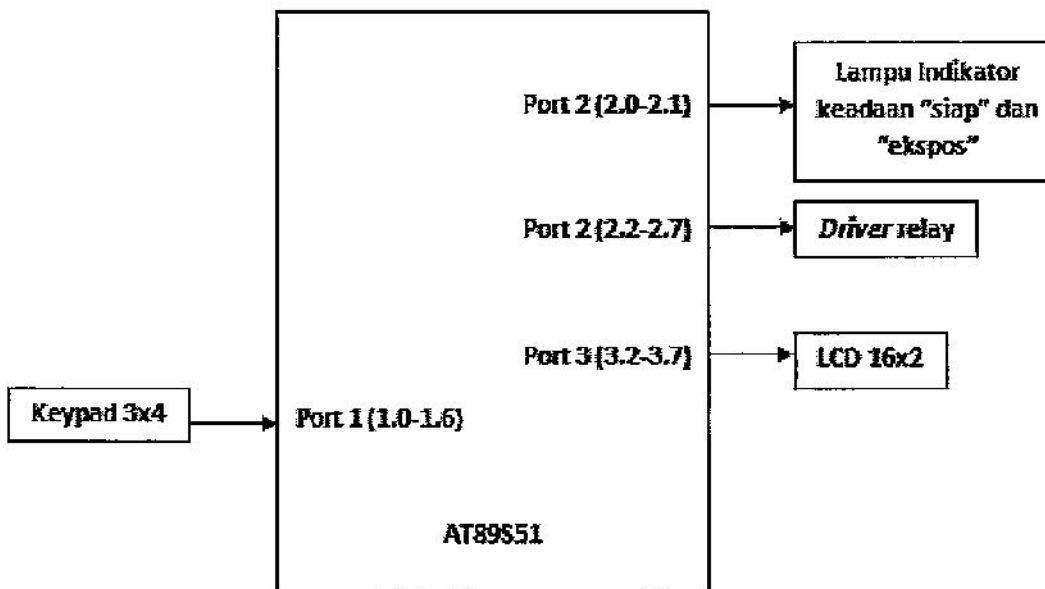
Dalam pengoperasian pesawat sinar-X, input yang dimasukkan sebagai pengatur arus adalah input untuk arus tabung yang diinginkan. Dalam kenyataan yang sebenarnya, ketika input masuk dan relay mengaktifkan arus filamen yang memiliki orde lebih besar (A) untuk menghasilkan arus tabung dengan orde mA yang diinginkan dalam input pertama kali. Pengukuran arus tabung ini dilakukan dalam tabung dan dapat disesuaikan dengan memperkirakan arus filamen yang diatur dengan tahanan geser. Ilustrasi perbedaan arus tabung dan arus filamen dapat dilihat pada Gambar 2.

c. Waktu (s)

Parameter waktu digunakan untuk menggerakkan SCR sebagai penghubung antara kontrol tegangan tinggi dengan sumber tegangan tinggi pada tabung sinar-X. SCR akan bekerja sesuai dengan *setting* pengatur waktu, sehingga tabung akan memancarkan sinar-X selama pewaktu bekerja. Hasil rekayasa *timer* diatur dengan memanfaatkan program *delay* pada mikrokontroler. Mikrokontroler bekerja berdasarkan sistem digital sehingga tingkat ketepatannya lebih tinggi dari *timer* analog.

PERANCANGAN SISTEM PEMILIH ARUS DAN PEWAKTU PADA PESAWAT SINAR-X BERBASIS MIKROKONTROLER AT89S51

Untuk merancang sistem pemilih arus dan pewaktu berbasis mikrokontroler diperlukan rangkaian mikrokontroler AT89S51 yang merupakan salah satu dari generasi MCS51. Pada rangkaian utama, *input* menggunakan keypad 3x4 yang dipasang pada Port 1.0-1.6 dan *output* lampu indikator keadaan "siap" dan "ekspos" pada Port 2.0-2.1, *driver* relay pada Port 2.2-2.7 dan LCD 16x2 pada Port 3.2-3.7. Gambar rangkaian utama ditunjukkan oleh Gambar 3.



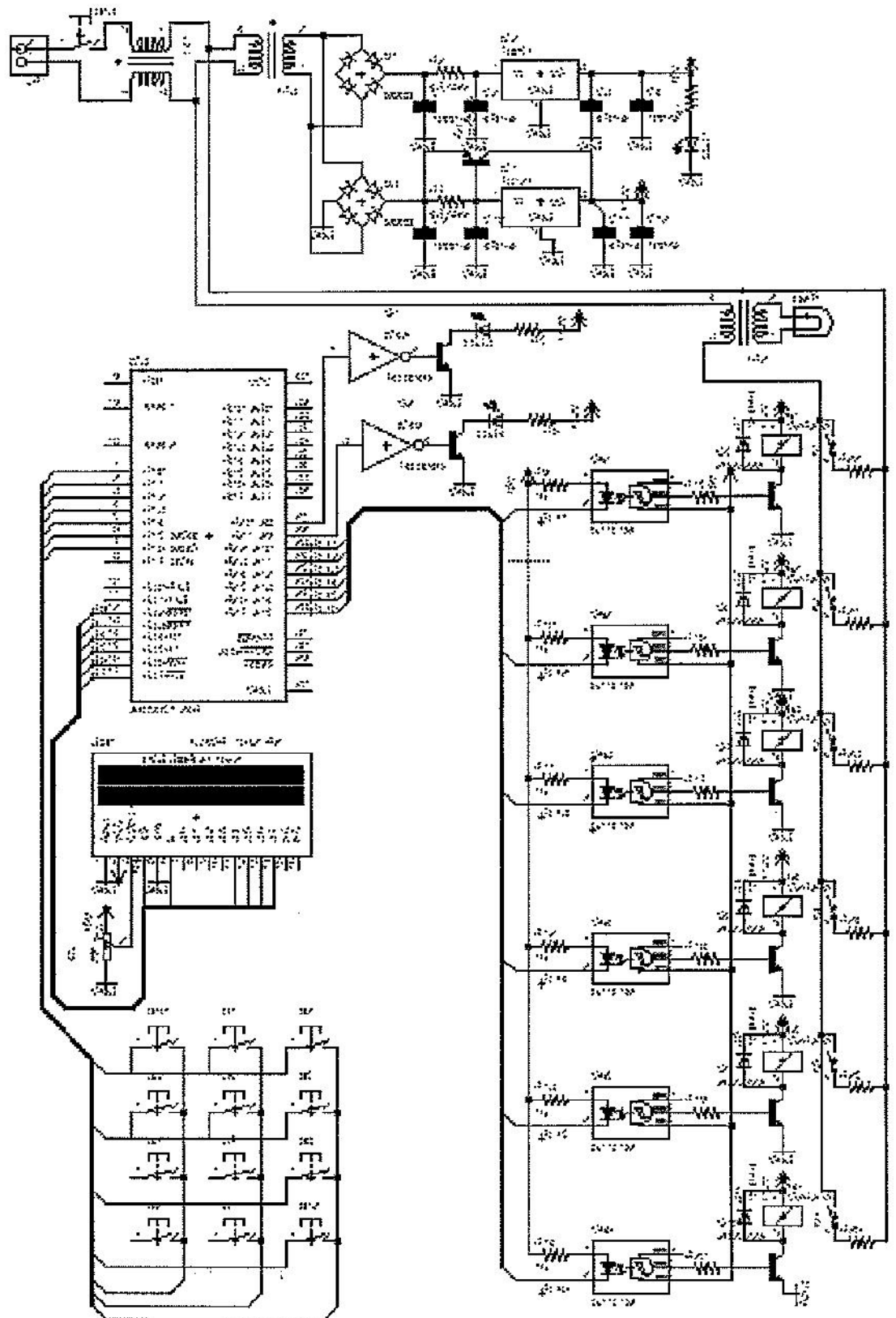
Gambar 3. Rangkaian Utama Sistem Pemilih Arus dan Pewaktu pada Pesawat Sinar-X Berbasis Mikrokontroler AT89S51

Rangkaian mikrokontroler, LCD dan *driver* relay membutuhkan catu daya DC 5 volt yang disediakan oleh rangkaian catu daya DC 5 volt. Rangkaian tersebut memuat sebuah transformator *step-down* yang berfungsi untuk menurunkan tegangan dari sumber PLN ke suatu level tegangan yang lebih rendah. Rangkaian ini memuat sebuah rangkaian penyearah untuk mengubah output AC dari transformator menjadi DC. Keluaran dari penyearah masih memiliki *ripple* sehingga ditambahkan rangkaian filter untuk menghasilkan output DC yang lebih rata. Kemudian ada rangkaian penstabil tegangan atau regulator 5 volt untuk menghasilkan tegangan yang relatif tetap meskipun beban berubah-ubah.

Relay sebagai saklar membutuhkan *supply* daya 12 volt sehingga dibutuhkan catu daya DC 12 volt. Rangkaian ini memuat komponen yang sama dengan catu daya DC 5 volt dengan tambahan transistor TIP 2955 yang berfungsi sebagai penguat arus.

Pada umumnya, output dari mikrokontroler berarus rendah (sekitar 5 volt) sehingga dibutuhkan rangkaian tambahan berupa penggerak (*driver*) yang berupa *electronic switch* untuk bisa mengendalikan relay 12 volt. Rangkaian ini tersusun dari resistor sebagai pembagi tegangan, optocoupler sebagai pengamanan rangkaian dan transistor sebagai penguat arus.

Relay 12 volt akan dihubungkan dengan resistor variabel sebagai pengatur arus yang disimulasikan dengan indikator lampu 220 volt dan 12 volt. Rangkaian ini akan dimodifikasi untuk menghasilkan pemilihan arus dengan lebih banyak variasi pilihan dibandingkan pesawat sinar-X tipe 100 mA konvensional. Gambar skematik rangkaian total ditunjukkan oleh Gambar 4.

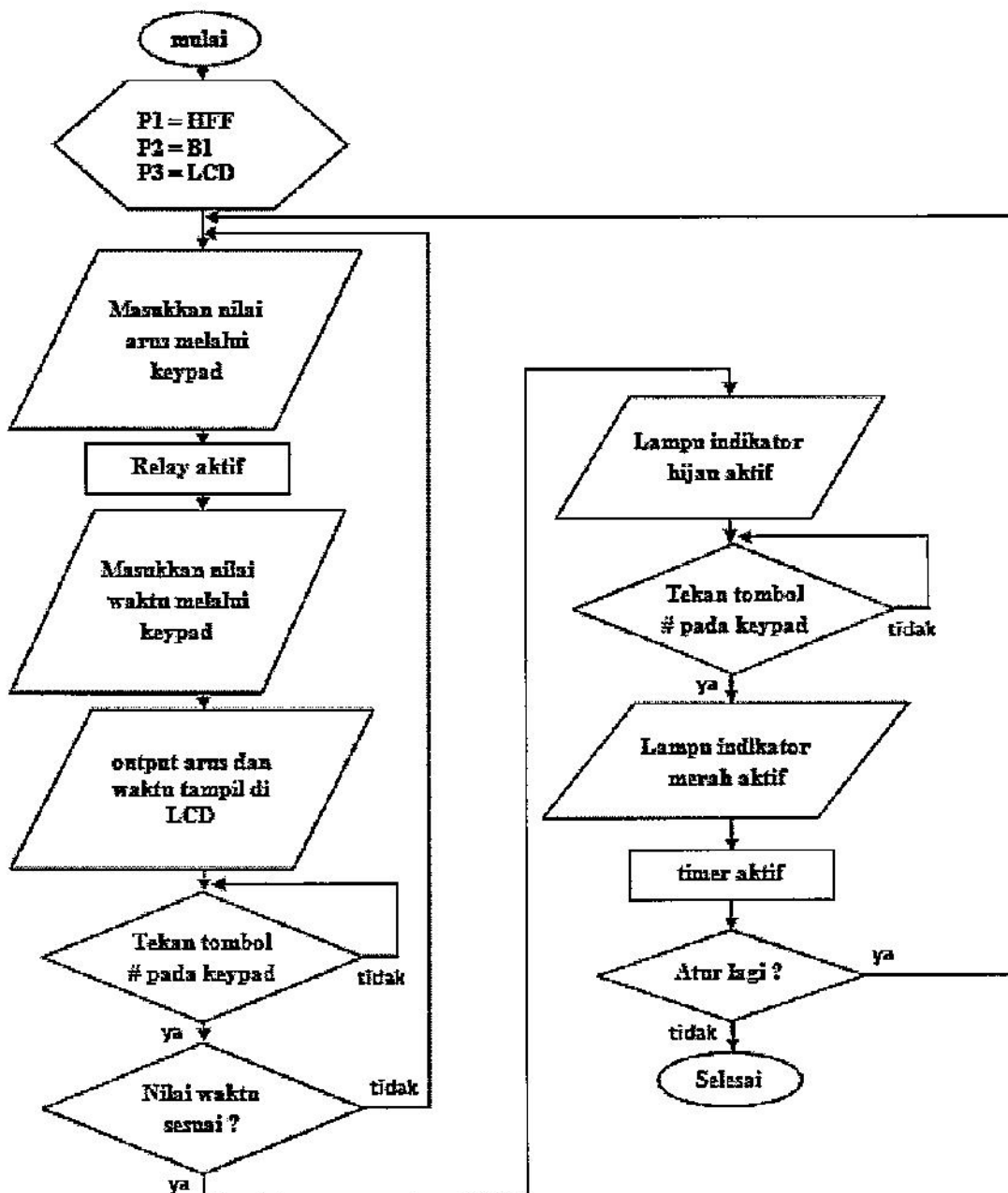


Gambar 4. Rangkaian Skematik Sistem Pemilih Arus dan Pewaktu pada Pesawat Sinar-X Berbasis Mikrokontroler AT89S51

Perangkat Lunak

Pemrograman dilakukan dengan BASCOM-51 meliputi 3 program utama yaitu program keypad dan LCD (termasuk dalam rangkaian mikrokontroler) untuk program pengaturan input data arus dan waktu, pengendali relay dan pengendali lampu indikator.

Sebelum membuat program perlu dibuat diagram alirnya untuk memudahkan dalam membuat program. Diagram alir dibuat sebagai arahan yang mempermudah penangkapan logika program. Diagram alir program yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Alir Perangkat Lunak (Program)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Rangkaian

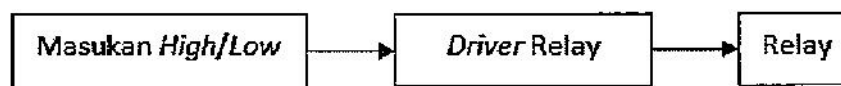
Pengujian pada tahap ini adalah pengujian terhadap masing-masing rangkaian hardware yang menyusun alat. Tujuannya adalah masing-masing rangkaian sudah dipastikan bekerja sesuai dengan fungsinya sebelum disusun menjadi kesatuan sistem alat.

Pengujian Keypad dan LCD

Pada pengujian bagian ini, program telah ditanam ke dalam mikrokontroler. Program yang digunakan untuk menguji adalah program untuk menampilkan angka yang ditekan pada keypad ke LCD. Hasil pengujian adalah setiap tombol mewakili angka sesuai dengan yang tertera pada keypad.

Pengujian *Driver* Relay dan Relay

Pada pengujian ini, rangkaian driver dicoba sebanyak 2 kali yaitu pada saat merangkai di project board dan saat rangkaian sudah dicetak dan dirangkai pada pcb cetak. Diagram blok pengujian dapat dilihat pada Gambar 6.

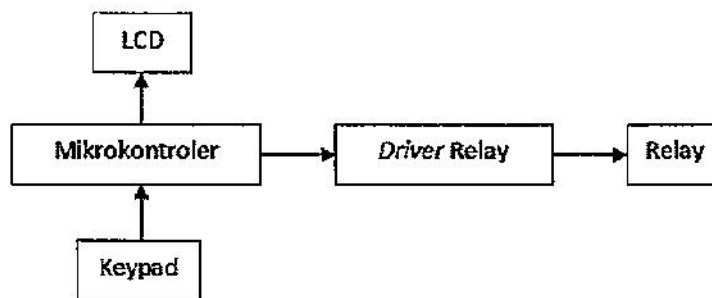


Gambar 6. Diagram Blok Pengujian *Driver* Relay dan Relay

Untuk mengaktifkan relay digunakan input *Low*, dan setiap driver akan mengaktifkan masing-masing relay yang berbeda. Jadi kondisi awal adalah semua input driver diberikan input High. Jika diinginkan Relay 1 yang aktif maka port 1 pada driver relay diberi input Low (Ground), sedangkan port yang lain tetap dalam kondisi High (+5V). Cara ini dapat digunakan untuk memilih pengaktifan relay yang dibutuhkan dalam sistem alat.

Pengujian Keypad, LCD, *Driver* Relay dan Relay

Pengujian ini dilakukan dengan program yang sudah tertanam pada mikrokontroler. Program yang digunakan adalah program untuk menampilkan nilai pilihan arus tabung yang diinginkan dan mengaktifkan relay berdasarkan nilai tersebut. Diagram blok pengujian dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram Blok Pengujian Keypad, LCD, *Driver* Relay dan Relay

Hasil pengujian pada bagian ini adalah input keypad akan tampil di LCD dan mengaktifkan salah satu relay. Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian keypad, lcd, *driver* relay dan relay.

Tabel 1. Hasil Pengujian Keypad, Lcd, *Driver* Relay Dan Relay

No	Tombol Keypad yang Ditekan	Nilai Arus yang Ditampilkan di LCD	Relay yang Aktif
1	1	mA = 50	Relay 1
2	2	mA = 60	Relay 2
3	3	mA = 70	Relay 3
4	4	mA = 80	Relay 4
5	5	mA = 90	Relay 5
6	6	mA = 100	Relay 6

Pengujian Rangkaian Total

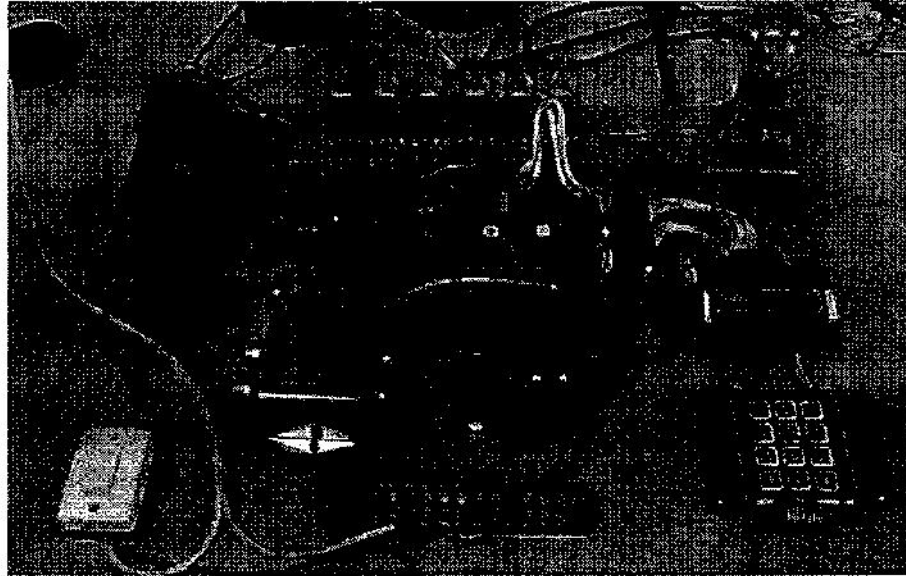
Pengujian ini meliputi keypad, mikrokontroler, LCD, *driver* relay, relay, dan lampu 12 volt. Program yang digunakan adalah program keseluruhan yaitu program untuk menampilkan tombol keypad pada LCD sebagai nilai arus tabung dan waktu yang diinginkan, serta mengaktifkan salah satu relay. Kemudian mengendalikan proses penembakan sinar-X dengan cara menekan keypad yang ditampilkan melalui indikator lampu 12 volt dan LCD. Hasilnya sudah sesuai dengan program yang dimasukkan pada pengujian ini.

Pengoperasian Alat

Kemudahan yang diberikan pada alat ini adalah untuk mengatur arus dan waktu cukup menekan keypad yang besarnya nilai ditampilkan di LCD dan pengaturan dapat divariasikan sesuai kebutuhan. Rangkaian sistem pemilih arus dan pewaktu pada pesawat sinar-X yang telah selesai dibuat ditunjukkan pada Gambar 8.

Teknik pemilihan arus pada pesawat sinar-X yang dibuat yaitu pemilihan arus mempunyai 6 variasi meliputi 50 mA (tombol keypad 1), 60 mA (tombol keypad 2), 70

mA (tombol keypad 3), 80 mA (tombol keypad 4), 90 mA (tombol keypad 5) dan 100 mA (tombol keypad 6).



Gambar 8. Foto Rangkaian Pemilih Arus dan Pewaktu Pesawat Sinar-X

Algoritma pengoperasian alat dapat dijelaskan sebagai berikut

Misal diinginkan nilai arus 80 mA dan waktu 0.07 detik

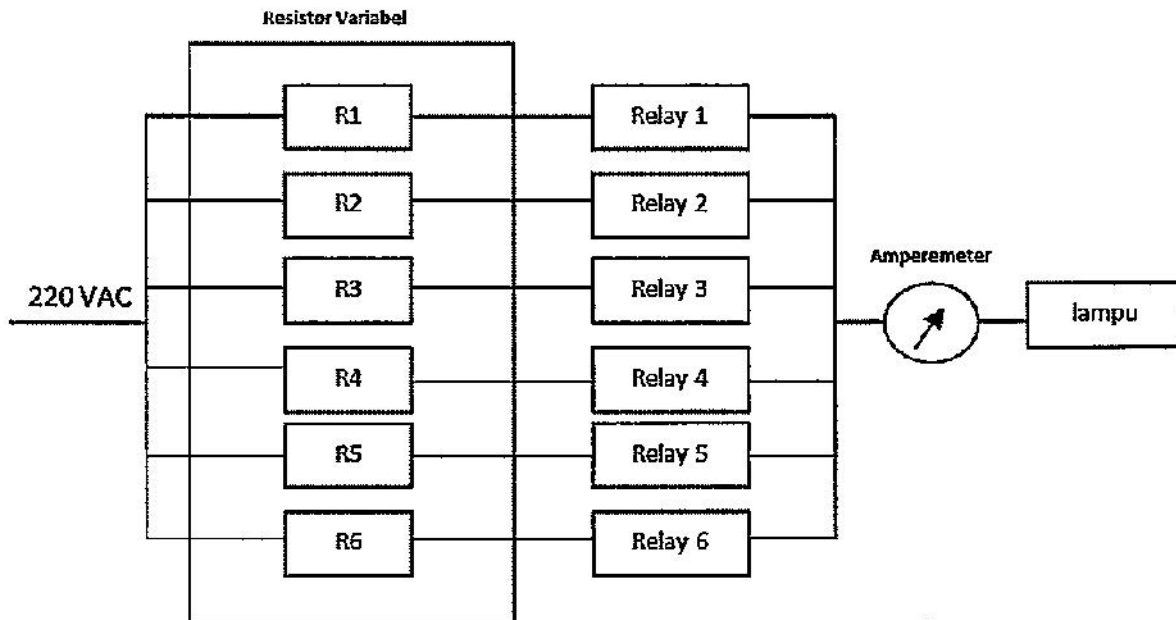
1. Pilih tombol arus. Cara : tekan tombol 4
2. Pilih waktu yang diperlukan. Cara : tekan tombol #, tekan angka (contoh : 0.07 \rightarrow 0*07)
3. Persiapan untuk penembakan sinar-X (kondisi "siap"). Cara : tekan tombol #
4. Penembakan sinar-X (kondisi "ekspos"). Cara : tekan tombol #

Langkah no 1 dan 2 dari langkah di atas digunakan untuk melakukan *setting* pemilihan arus dan pengaturan waktu. Setelah *setting* selesai, pada langkah no 3 LCD menampilkan kondisi "siap" dan lampu hijau menyala. Jika semua persiapan telah selesai dan siap untuk menembak, maka dilakukan langkah no 4 sehingga LCD menampilkan kondisi "ekspos", lampu merah menyala, dan proses penembakan akan berjalan beberapa detik. Setelah timer bekerja, LCD menampilkan kondisi Selesai, kedua lampu mati dan proses penembakan selesai. Sistem dapat dimatikan melalui saklar utama jika pesawat sinar-X telah selesai digunakan.

Pengujian Sistem Alat dan Pembahasan

Pengujian dalam tahap ini adalah pengujian dengan menggunakan rangkaian yang telah dirangkai menjadi satu kesatuan sistem untuk memperoleh data pemilihan arus. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa pengaturan arus dapat dilakukan dengan menggunakan tahanan geser yang digunakan. Arus yang diatur akan menjadi input arus filamen ke dalam tabung.

Lampu dalam alat ini digunakan untuk menggantikan filamen di dalam tabung dalam keadaan sebenarnya yang kemudian diuji sebagai arus input ke filamen. Pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 9.

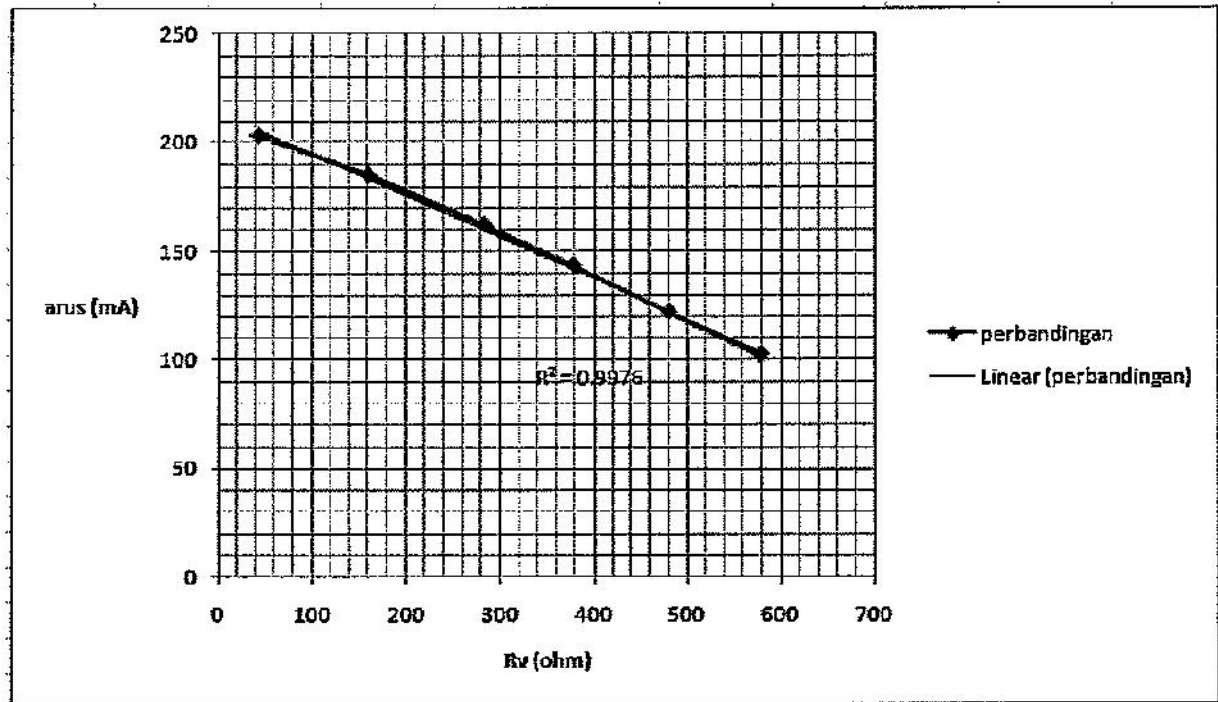


Gambar 9. Gambar Pengujian Arus Filamen

Dari hasil pengujian arus terukur melalui lampu bervariasi seperti ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 10.

Tabel 2. Arus Beban vs. Nilai Tahanan Rv

Pilihan	Arus (mA)	Rv (ohm)
50 mA	102	578
60 mA	122	480
70 mA	143	378
80 mA	162	282
90 mA	185	159
100 mA	203	43



Gambar 10. Arus Beban vs. Nilai Tahanan Rv

Dari Tabel 2 dan Gambar 10 dapat dilihat bahwa nilai tahanan berbanding terbalik dengan arus. Jadi dapat disimpulkan dengan nilai tahanan yang telah ditentukan pada penelitian, arus filamen dapat diatur sesuai dengan besar nilai tahanan yang dipilih.

Modifikasi sistem pemilih arus dan pewaktu pada pesawat sinar-X dilakukan agar mempunyai variasi pemilihan arus yang lebih banyak dan memudahkan dalam operasional alat.

Dari Tabel 2 menunjukkan 6 macam pemilihan arus tabung dari hasil modifikasi yang sebelumnya hanya 4 macam pilihan. Selain itu, operasional alat juga lebih mudah dan kesalahan pemilihan besar arus dan waktu dapat dihindari dengan program keamanan sebagai berikut

1. Pemilihan arus

Pada keypad, tombol 1 mewakili 50 mA, tombol 2 mewakili 60 mA, tombol 3 mewakili 70 mA, tombol 4 mewakili 80 mA, tombol 5 mewakili 90 mA, dan tombol 6 mewakili 100 mA. Contoh tampilannya dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Tampilan Nilai Arus yang Dipilih

Keamanan untuk pemilihan arus ini adalah nilai yang dimasukkan akan bernilai tepat sesuai dengan nilai yang diatur pada sistem alat.

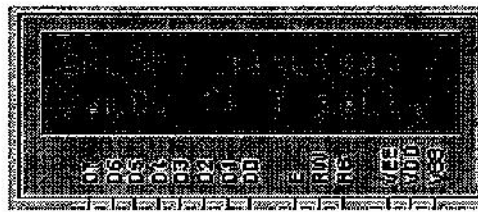
2. Input waktu

Input waktu dimasukkan sesuai dengan tombol keypad dari angka 0, 1 dan seterusnya sampai tombol angka 9. Contoh tampilannya dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Tampilan Nilai Arus dan Waktu yang Dipilih

Untuk memasukkan nilai waktu yang diinginkan, nilai maksimal adalah 1 detik. Jika nilai yang dimasukkan lebih dari 1 detik, maka relay yang sebelumnya aktif akan dinonaktifkan dan di LCD akan tampil tulisan seperti yang terlihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Tampilan LCD untuk nilai waktu lebih dari 1 detik

Setelah tulisan di LCD tersebut tampil maka pengaturan akan dimulai dari awal yaitu pengaturan arus. Pengaturan arus ini selalu diikuti dengan pengaturan waktu, jadi ketika nilai arus belum sesuai maka pengaturan waktu tidak dapat dilakukan. Demikian halnya dengan pengaturan waktu, ketika nilai waktu tidak sesuai maka akan dikembalikan ke pengaturan arus. Keamanan dalam sistem ini adalah proses penembakan tidak akan terjadi sebelum nilai arus dan waktu sesuai, serta proses penembakan tidak menyebabkan pasien terkena radiasi melebihi ketentuan karena waktu penembakan tidak akan terjadi lebih dari 1 detik.

KESIMPULAN

Telah dibuat sistem rangkaian pengatur arus dan pewaktu berbasis mikrokontroler AT89S51 yang dapat digunakan untuk mengatur arus dan pewaktu pada pesawat sinar-X tipe 100 mA dengan pilihan pengatur arus yang lebih bervariasi yaitu 6 pilihan meliputi 50 mA, 60 mA, 70 mA, 80 mA, 90 mA dan 100 mA.

DAFTAR PUSTAKA

- Bishop, Owen. 2002. *Dasar-Dasar Elektronika*. Jakarta : Erlangga.
 Bushong, Stewart C. 1993. *Radiologic Science for Technologists : Physics, Biology, and Protection*. USA : Mosby – Year Book, Inc.

- Djoko Maryanto, Solichin, Zaenal Abidin. 2008. *Analisis Keselamatan Kerja Radiasi Pesawat Sinar-X di Unit Radiologi RSU Kota Yogyakarta*. Yogyakarta: Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir.
- Ferry Suyatno, Istofa, Lely Yuniarsari. 2007. *Rekayasa Sistem Pengatur Parameter Pesawat Sinar-X Diagnostik Berbasis Mikrokontroler Keluarga MCS 51*. Yogyakarta: Seminar Nasional III SDM Teknologi Nuklir.
- Ferry Suyatno, Istofa, Sukandar. 2009. *Rancangan Sistem Instrumentasi Pembangkit Sinar-X pada Pesawat Rontgen*. Serpong: Proseding Pertemuan Ilmiah Rekayasa Perangkat Nuklir.
- Ferry Suyatno, Istofa, Lely Yuniarsari. 2008. *Perekayasaan Modul Pewaktu Pencitraan Pada Pesawat Sinar-X Diagnostik*. Serpong: Proseding Pertemuan Ilmiah Rekayasa Perangkat Nuklir.
- <http://elib.unikom.ac.id/download.php?id=862> diunduh pada tgl 22 Mei 2011 pukul 13.20
- <http://www.elektronikaku.co.cc/2010/09/gerbang-not.html> diunduh pada tanggal 24 Mei 2011 pukul 09.15
- http://kimtek.brinkster.net/kimia_teknik/bab%202.htm diunduh pada tanggal 18 Juli pukul 23.00 WIB
- Inkubatek. *Pemrograman Mikrokontroler AVR Atmega8535 dengan Bascom AVR*. Yogyakarta : CV. Kreasi Cipta Teknika.
- Isaris, Riil. 2008. *Instrumentasi Medik*. Yogyakarta: STTN-BATAN.
- Loveday George. 1992. *Intisari Elektronika : Penjelasan Alfabetik dari A sampai Z / George Loveday ; alih bahasa, Suryawan*. Jakarta : Elex Media Komputindo.
- Malvino, Albert Paul. 1981. *Prinsip-Prinsip Elektronik*. Jakarta : Erlangga.
- Maxalmina, Eiril. 2010. *Rancang Bangun Pengatur Tegangan Pesawat Sinar-X Berbasis Mikrokontroler*. Tugas Akhir STTN BATAN 2010.
- Wahyudin, Didin. 2007. *Belajar Mudah Mikrokontroler AT89S52 dengan Bahasa BASIC Menggunakan BASCOM-8051*. Yogyakarta : ANDI.
- Wiryosimin, Suwarno. 1995. *Mengenal Asas Proteksi Radiasi*. Bandung: ITB.
- www.kelas-mikrokontrol.com diunduh pada tanggal 22 Juli 2010 pukul 10.25
- Zuhal. 1988. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.