



PERANCANGAN PERANGKAT SINAR-X DIGITAL UNTUK DIAGNOSIS MEDIS

I Putu Susila, Sukandar, Leli Yuniarsari dan Ferry Suyatno

PRPN BATAN, Kawasan PUSPIITEK, Gedung 71, Tangerang Selatan, 15310

ABSTRAK.

PERANCANGAN PESAWAT SINAR-X DIGITAL UNTUK DIAGNOSIS MEDIS. Perangkat pesawat sinar-X yang saat ini banyak digunakan di Indonesia masih menggunakan film sebagai media untuk memvisualisasikan organ tubuh pasien. Agar citra organ tubuh dapat diamati oleh dokter, film harus diproses terlebih dahulu. Pemrosesan film memerlukan tempat berupa ruang gelap, bahan kimia dan waktu pengerjaan. Untuk mengatasi kelemahan-kelemahan tersebut, para peneliti telah mengembangkan perangkat sinar-X digital yang menggunakan layar pendar atau detektor flat-panel sebagai penangkap citranya, dan teknologi ini disebut radiografi digital. Akan tetapi, di Indonesia penggunaan radiografi digital masih sedikit, disebabkan karena harganya yang mahal. Oleh karena itu, penguasaan teknologi radiografi digital bisa dibidang masih rendah dan manfaat-manfaat radiografi digital belum bisa dirasakan oleh pasien secara maksimal. Pada penelitian ini, telah dilakukan perancangan perangkat radiografi digital untuk keperluan diagnosis medis. Tujuannya adalah untuk meningkatkan penguasaan teknologi, memperbanyak kandungan lokal sehingga diharapkan bisa menekan harga perangkat itu sendiri. Perancangan dilakukan dengan mengikuti kaidah-kaidah perekayasaan yang diberlakukan di PRPN. Hasil dari kegiatan ini berupa dokumen desain yang dapat digunakan sebagai acuan untuk membuat prototip.

Kata kunci: radiografi digital, filmless, flat-panel detector

ABSTRACT.

DESIGN OF DIGITAL X-RAY EQUIPMENT FOR MEDICAL DIAGNOSIS. Medical X-ray equipment which is widely used in Indonesia is still using film as a medium to visualizing patient's organs. In order to get the image of the organs, the film had to be processed first. The processing itself needs darkroom, chemical and processing time. To overcome these shortcomings, researchers have developed a digital x-ray equipment that use phosphorescent screen or flat-panel detector to replace the film, and this technology is called digital radiography. However, in Indonesia the use of digital radiography for medical purpose is still a bit due to its price which is quite expensive. Therefore, the mastery of digital radiography technology arguably still low and the benefits of digital radiography can not be perceived by the patient. In this study, we have performed the design of digital radiography equipments for medical diagnostic purposes. The objectives of the study are to improve the mastery of technology, increasing local content that is expected to lower the price of the equipment. The design is done by following engineering design process which is adopted at PRPN - BATAN . The result of the study is document which can be used as a reference for making prototypes.

Keywords: digital radiography, filmless, flat-panel detector



1. PENDAHULUAN

Sejak ditemukan lebih dari satu dekade yang lalu, sinar-X sudah dimanfaatkan diberbagai aspek kehidupan masyarakat. Penggunaan sinar-X berawal dari penemuan Wilhelm Röntgen pada tahun 1895 yang melakukan penelitian mengenai keberadaan sinar yang tidak tampak oleh mata telanjang dan dapat menembus objek seperti buku, kertas dan lain sebagainya. Penggunaannya untuk keperluan medis diawali ketika dia mendapati gambar tangan istrinya yang dihasilkan dari sinar-x. Pada gambar tersebut terlihat jelas tulang-tulang yang ada dalam jari-jari tangan^[1,2].

Saat ini, selain untuk keperluan diagnosis medis, sinar-X juga digunakan diberbagai bidang seperti keamanan transportasi meliputi pencitraan barang bawaan penumpang maupun peti kemas, karakterisasi unsur, pengecekan cacat pada produk seperti PCB (*Printed Circuit Board*), dan lain sebagainya. Dalam dunia medis sendiri, terdapat berbagai jenis perangkat diagnosis yang berbasis sinar-X. Perangkat-perangkat itu seperti, pesawat sinar-X konvensional yang menggunakan film untuk menangkap citra organ tubuh, pesawat sinar-X fluoroscopy untuk keperluan diagnosis secara *real-time*, pesawat sinar-X digital yang menggunakan *image intensifier* maupun detektor *solid state* untuk menangkap citra, serta perangkat CT (*computed tomography*) yang dapat digunakan untuk merekonstruksi citra tiga dimensi dari organ tubuh pasien. Di Indonesia sendiri, pesawat sinar-X konvensional banyak terdapat di rumah sakit maupun klinik atau puskesmas milik pemerintah. Banyaknya pemanfaatan pesawat sinar-X untuk keperluan diagnosis medis dibandingkan dengan perangkat kedokteran nuklir lainnya disebabkan karena pengoperasian dan perawatan pesawat sinar-X relatif mudah dan aman karena hanya menghasilkan radiasi sinar-X pada saat alat dioperasikan.

Perangkat sinar-X digital atau yang umumnya disebut sistem radiografi digital terdiri dari pesawat sinar-X (generator sinar-X dan penangkap citra seperti *image intensifier*, *flat-panel detector*) yang mampu menghasilkan citra digital, komputer pengolah data dan penampil citra serta komputer untuk menyimpan data dari seluruh pasien. Keuntungan dari radiografi digital adalah: tidak diperlukan ruang gelap dan bahan kimia dalam pemrosesannya, citra dari pasien dapat segera diobservasi, bisa diterapkan teknik pengolahan citra untuk meningkatkan kualitas gambar, dapat disimpan dengan mudah sebagai basis data untuk pembelajaran maupun acuan diagnosis serta bisa dipertukarkan dengan mudah melalui internet dengan ahli-ahli radiografi yang ada di seluruh penjuru dunia.



Penggunaan pesawat sinar-X digital khususnya di Indonesia masih sedikit, jika dibandingkan dengan pesawat sinar-X yang berbasis film. Hal ini terutama disebabkan oleh harganya yang mahal. Oleh karena masih sedikitnya perangkat radiografi digital di Indonesia, penguasaan teknologinya bisa dibilang masih rendah dan manfaat-manfaat yang disebutkan sebelumnya, belum dapat dirasakan oleh pasien secara maksimal. Berangkat dari hal inilah, kami melakukan penelitian untuk mengembangkan pesawat sinar-X digital. Pada pesawat sinar-X ini, sebagai pengganti film, akan digunakan *Image Intensifier* ataupun *flat-panel detector* yang langsung dapat menghasilkan citra digital.

Kegiatan perekayasa pesawat sinar-X digital dilakukan dalam 2 (dua) tahap yaitu perancangan dan pembuatan prototip. Pada makalah ini akan dibahas mengenai proses perancangan dan dokumen rancangan yang merupakan hasil dari kegiatan tahun ini. Sistematika penulisan makalah ini adalah sebagai berikut: Pendahuluan dilanjutkan Teori pada bagian kedua, Tatakerja Perancangan pada bagian ketiga, Hasil dan Pembahasan pada bagian selanjutnya dan diakhiri dengan Kesimpulan.

2. TEORI

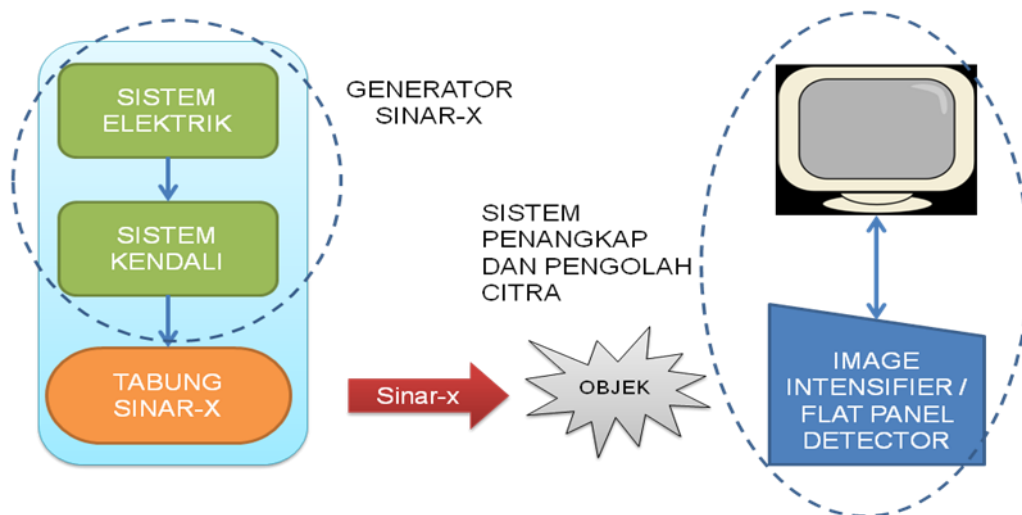
Pesawat sinar-X digital seperti pada Gambar 1 terdiri dari 3 (tiga) bagian utama yang meliputi: generator sinar-X (sistem kontrol dan tabung sinar-X), perangkat penangkap citra dan komputer pengolah citra. Bagian generator sinar-X terdiri dari sistem kendali dan tabung sebagai pembangkit sinar-X. Selanjutnya, untuk bagian penangkap citra bisa memanfaatkan layar pendar yang terbuat dari bahan posfor ditambah dengan CCD (*charge-coupled device*) kamera^[3], *image intensifier* maupun *flat-panel detector*. Kemudian komputer digunakan untuk penyimpanan data pasien, akuisisi, pengolahan, penampilan dan penyimpanan citra dari organ tubuh pasien.

Dalam tabung sinar-X terdapat katoda (*filament*) dan anoda. Jika arus dialirkan ke katoda, akan mengakibatkan suhu katoda meningkat dan elektron yang ada menjadi labil (mudah melepaskan diri). Selanjutnya, antara katoda dan anoda diberikan tegangan tinggi. Dengan adanya beda potensial antara kedua elektroda tersebut, menyebabkan elektron pada katoda akan tertarik dan menumbuk anoda. Akibat dari tumbukan ini akan timbul panas dan sinar-X (sebagian kecil).

Sinar-X yang dihasilkan oleh tabung sinar-X mengenai dan menembus objek yang dalam hal ini berupa organ tubuh manusia, kemudian mengenai penangkap citra (detektor). Dari segi fisis, jaringan pada organ tubuh manusia mempunyai kerapatan yang berbeda-beda, sehingga ketika sinar-X melewati suatu organ, akan mengalami atenuasi

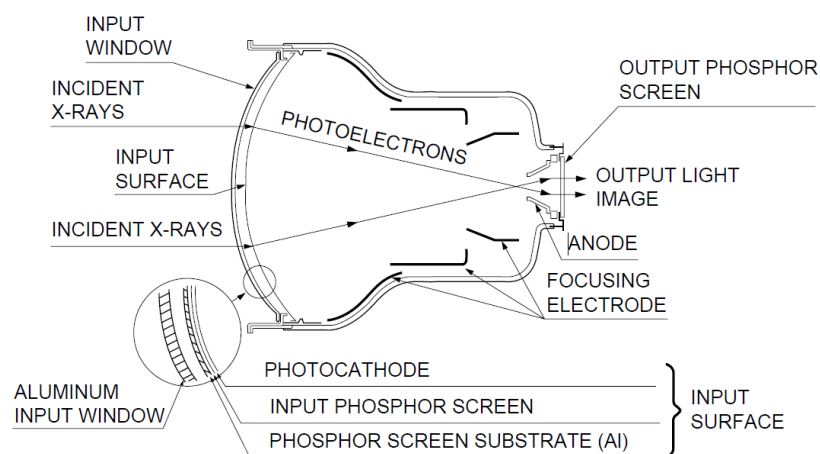


yang berbeda-beda tergantung dari bagian yang dilewatinya. Perbedaan atenuasi ini mengakibatkan perbedaan nilai intensitas yang ditangkap oleh detektor, dan perbedaan intensitas inilah yang divisualisasikan sebagai citra dari organ tersebut. Detektor disini dapat menggunakan film, *image intensifier* ataupun *flat-panel detector*.



Gambar 1. Skema perangkat sinar-X digital

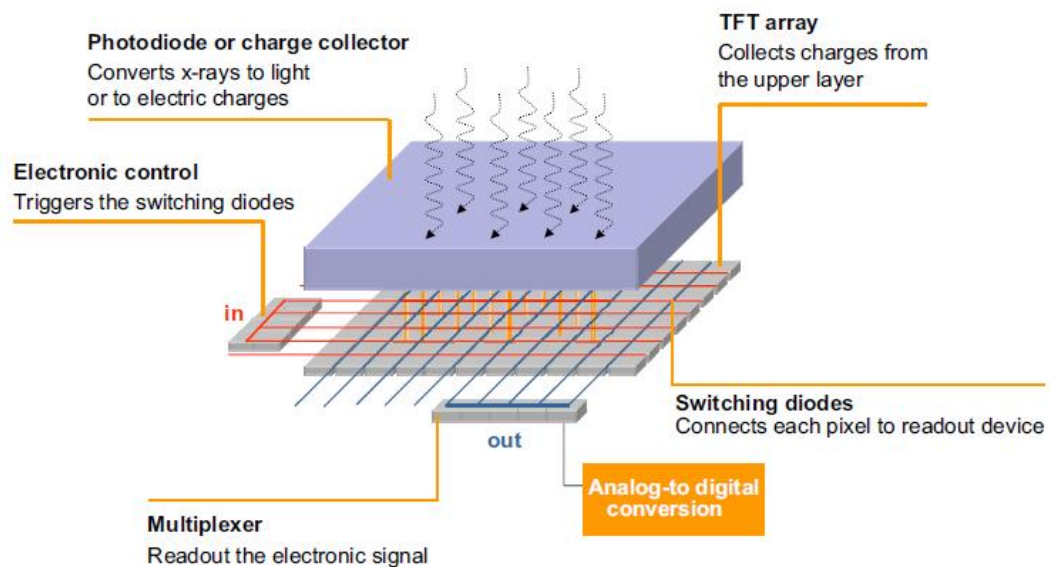
Sistem penangkap citra dengan menggunakan *image intensifier* dapat dilihat pada Gambar 2. Sebuah *image intensifier* terdiri dari *window*, lapisan layar pendar yang berfungsi mengubah sinar-X menjadi cahaya tampak, bagian untuk memfokuskan cahaya (*focusing electrode*) kemudian CCD kamera untuk menangkap citra yang dihasilkan oleh layar pendar. Citra yang ditangkap oleh CCD kamera dapat ditampilkan pada layar monitor atau ditransfer ke komputer untuk pemrosesan lebih lanjut.



Gambar 2. Skema sebuah *image intensifier*^[4]



Untuk detektor yang menggunakan *flat-panel detector*, skemanya dapat dilihat pada Gambar 3. Lapisan pertama dari detektor ini berfungsi untuk mengubah sinar-X menjadi muatan listrik, dan lapisan ini umumnya terbuat dari kristal sintilasi yang *dicouple* dengan *photodiode*. Lapisan kedua berfungsi untuk mengumpulkan muatan listrik (disusun oleh TFT: *thin film transistor*) dan mengubahnya menjadi tegangan atau arus. Pada lapisan ini terdapat jutaan atau lebih komponen yang tersusun secara matrix, dimana matrix ini terkait dengan piksel pada citra yang dihasilkan. Lapisan selanjutnya adalah bagian *readout* (pembaca piksel) yang berfungsi untuk mengubah tegangan atau arus listrik pada lapisan sebelumnya menjadi data citra digital yang terdiri dari piksel ^[5].



Gambar 3. Skema sebuah *flat-panel detector* ^[5]

3. TATAKERJA

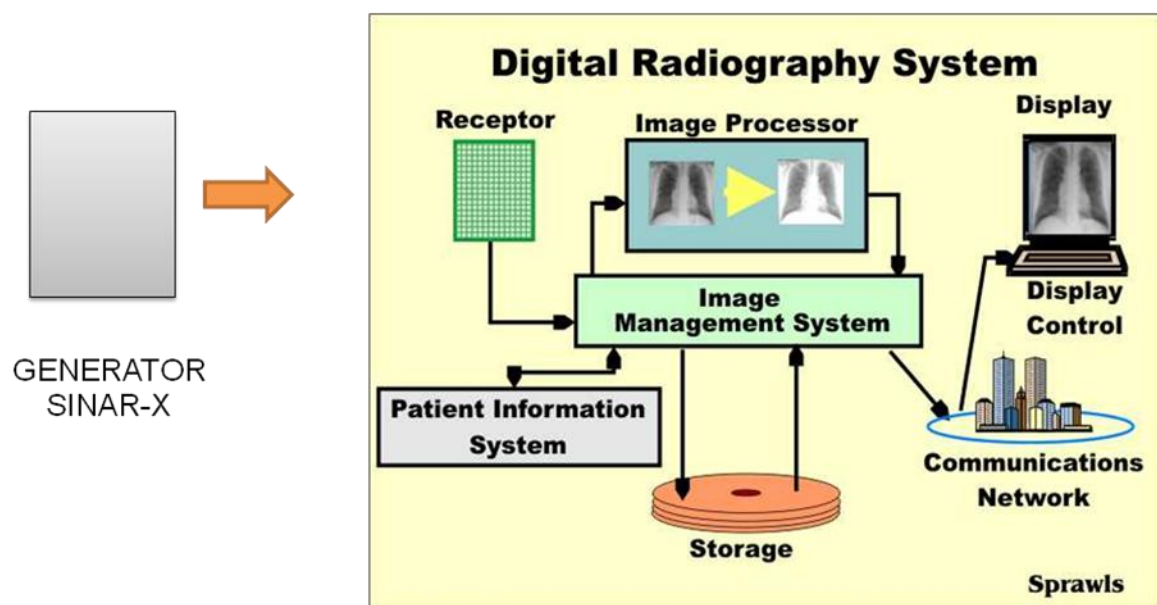
Pesawat sinar-X selain untuk keperluan diagnosis medis, juga dapat digunakan diberbagai bidang seperti keamanan transportasi meliputi pencitraan barang bawaan penumpang maupun peti kemas, karakterisasi unsur, pengecekan cacat pada produk seperti PCB (*Printed Circuit Board*), dan lain sebagainya. Pada penelitian ini akan dirancang pesawat sinar-X digital yang dapat digunakan untuk diagnosis medis. Pesawat sinar-X yang dibuat akan menangkap citra sinar-X dengan *image intensifier* atau *flat-panel detector*, kemudian ditransfer menjadi data digital ke komputer untuk disimpan, diolah dan ditampilkan. Pengoperasiannya (*expose*, setting tegangan tinggi, arus, dan waktu *expose*) juga dapat dilakukan melalui komputer. Selain itu, penempatan komponen-

komponen elektrik dan elektronik harus diatur sedemikian rupa untuk memudahkan pemeliharaan maupun perbaikan.

Perangkat sinar-X digital yang dirancang secara garis besar dapat dilihat pada Gambar 4. Bagian utamanya meliputi: generator sinar-X, detektor (*receptor*), dan komputer beserta perangkat lunak yang berfungsi untuk akuisisi, pengolahan, penampilan dan pengarsipan citra dari organ tubuh pasien.

Kegiatan ini akan dilakukan di Laboratorim Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir - BATAN. Perancangan dilakukang dengan mengikuti kaidah-kaidah perekayasaan yang baku dan memenuhi sistem jaminan mutu, khususnya yang diterapkan di Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir. Secara garis besar langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Studi mengenai pesawat sinar-x digital yang sudah beredar dipasaran.
2. Penentuan spesifikasi dan persyaratan desain
3. Pembuatan desain dasar
4. Pembuatan desain rinci.



Gambar 4. Skema perangkat sinar-X yang akan dirancang^a

^a Sumber gambar <http://www.sprawls.org>



4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Persyaratan Desain

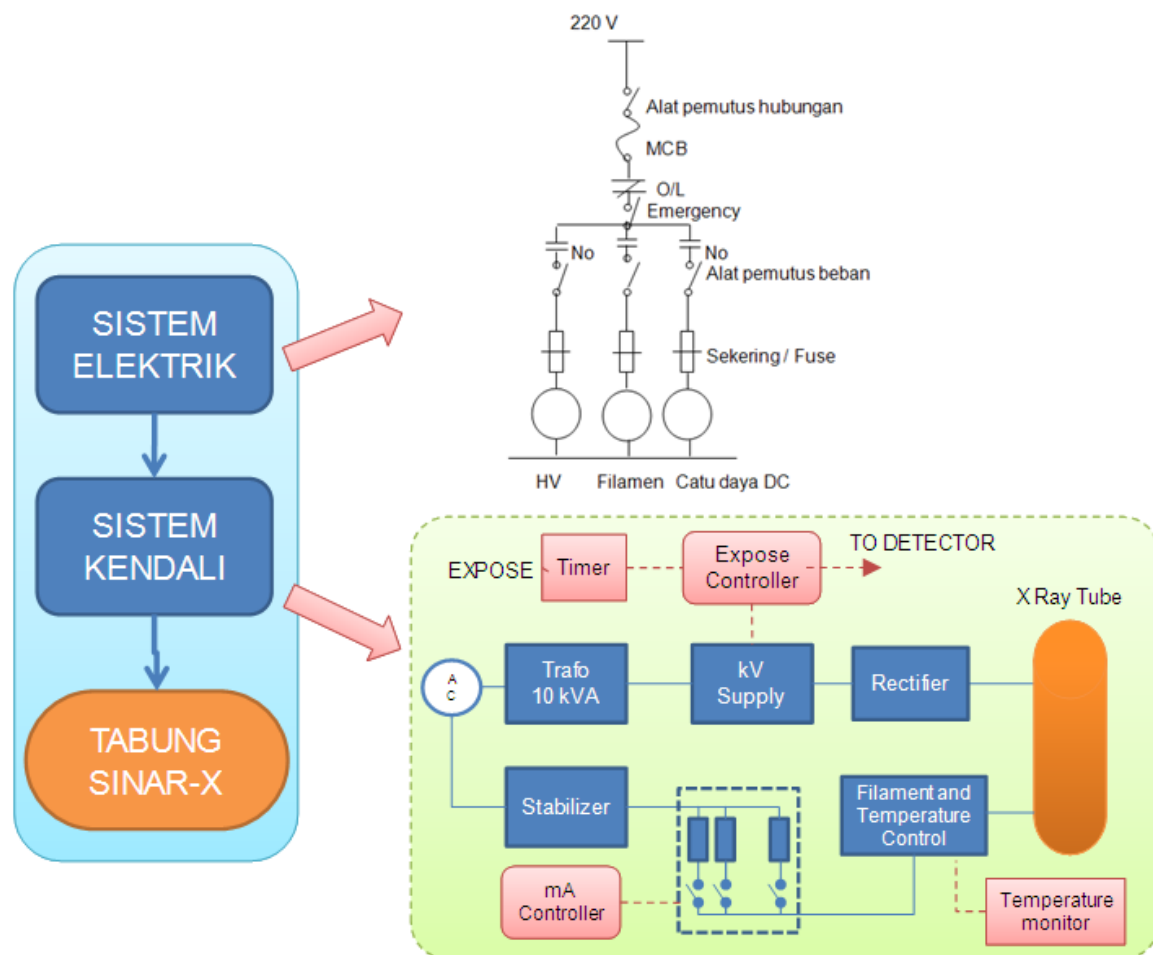
Setelah dilakukan studi mengenai prinsip kerja perangkat sinar-X digital, *image intensifier*, *flat-panel detector* yang ada dipasaran beserta acuan dari penelitian sebelumnya^[6-10], disusunlah spesifikasi teknis dari perangkat sinar-X yang akan dikembangkan (Tabel 1).

Tabel 1. Spesifikasi teknis pesawat sinar-X digital yang dirancang

Konsumsi Daya	220 VAC 1 phase, 50Hz / 10 kVA
Sistem Catu Daya DC	5 VDC @ 3A, 12 VDC @ 5A
Tabung Sinar-X	Tegangan 40 ~ 150 kV, arus filamen ~ 100 mA
Sistem Kendali	Berbasis mikrokontroler
Pewaktu	Variabel antara 0,1 s/d 60 detik
Interface Dengan Komputer	Generator: RS232 (bisa dikonversi ke USB), Detektor: <i>Ethernet</i> atau <i>USB</i>
Detektor Sinar-X	(Salah satu)
<i>Image Intensifier</i>	Diameter: 20 cm, video output, Resolusi: 20 Lp/cm
<i>Flat Panel Detector</i>	Area: 26x30cm, Koneksi: <i>Ethernet</i> atau <i>USB</i> , Resolusi: 120 μ m
Perangkat Lunak	Sistem operasi Windows XP keatas Framework .Net 3.5 keatas Memory 2GB atau lebih HDD 100GB atau lebih

4.3. Generator Sinar-X

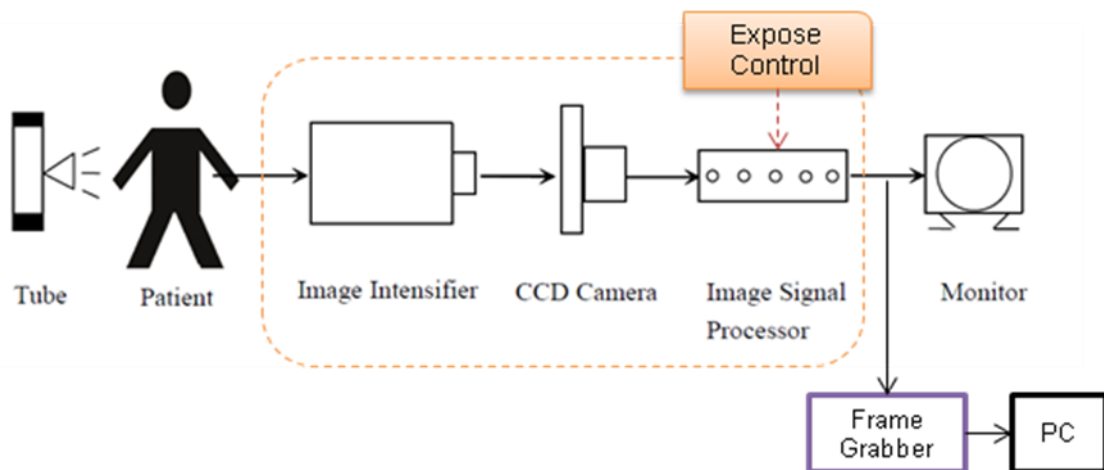
Generator sinar-X berfungsi untuk mengatur tegangan tinggi, arus serta waktu *expose*. Rancangan generator sinar-X ditunjukkan pada Gambar 5. Komponen utama terdiri dari sistem elektrik, pengendali dan tabung sinar-X. Sistem elektrik merupakan bagian catu daya PLN dan pengaman arus lebih. Selanjutnya untuk pengendali terdiri dari bagian untuk mengendalikan tegangan tinggi (kV), pemilihan arus filamen (mA) dan pengendali waktu *expose*. Selain itu juga ditambahkan bagian untuk mengukur suhu tabung. Bagian pengendali dihubungkan dengan komputer melalui komunikasi RS232 (serial), agar pengaturan kV, mA, waktu serta *expose* dapat dikendalikan melalui perangkat lunak dalam komputer dan dapat disinkronisasikan dengan detektor terkait pengambilan citra. Jika pada komputer tidak tersedia RS232, maka dapat memanfaatkan konverter RS232 \leftrightarrow USB.



Gambar 5. Rancangan Generator Sinar-X

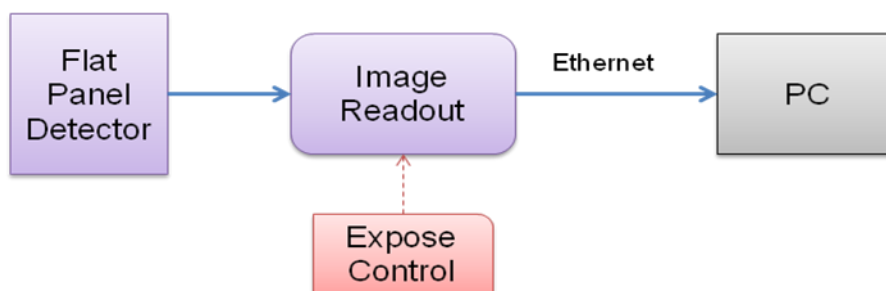
4.4. Penangkap Citra

Selanjutnya untuk sistem penangkap citra, dapat menggunakan *image intensifier* dan *flat-panel detector*. Skema perangkat sinar-X digital yang berbasis *image intensifier* dapat dilihat pada Gambar 6. Citra sinar-X yang dihasilkan oleh *image intensifier* akan ditangkap oleh CCD kamera, kemudian masuk ke bagian *image signal processor* untuk dilakukan penyesuaian *timing* pengambilan citra, penyimpanan dalam *buffer* sehingga bisa ditampilkan ataupun diolah walaupun pengambilan citra (*expose*) sudah selesai. Bagian *Image signal processor* akan mengeluarkan signal dalam format video analog sehingga bisa ditampilkan di monitor. Agar citra bisa ditampilkan dan diolah di komputer, signal video tersebut perlu dihubungkan dengan modul *frame grabber* yang berfungsi mengubah signal video analog tersebut menjadi citra digital.



Gambar 6. Rancangan pesawat sinar-X berbasis *Image Intensifier*

Blok diagram sistem penangkap citra yang menggunakan *flat-panel detector* dapat dilihat pada Gambar 7. Berbeda dengan *image intensifier*, citra yang dihasilkan oleh *flat-panel detector* sudah berupa data digital, sehingga bisa langsung ditransfer ke komputer tanpa melalui *frame grabber*. Oleh karena pengembangan *flat-panel detector* saat ini belum memungkinkan untuk dilakukan sendiri, maka pada penelitian ini digunakan modul yang sudah ada di pasaran. Gambar 8 menunjukkan modul *flat-panel detector* beserta modul *readout* yang telah dibeli dan akan digunakan pada perangkat sinar-X digital yang saat ini dirancang.



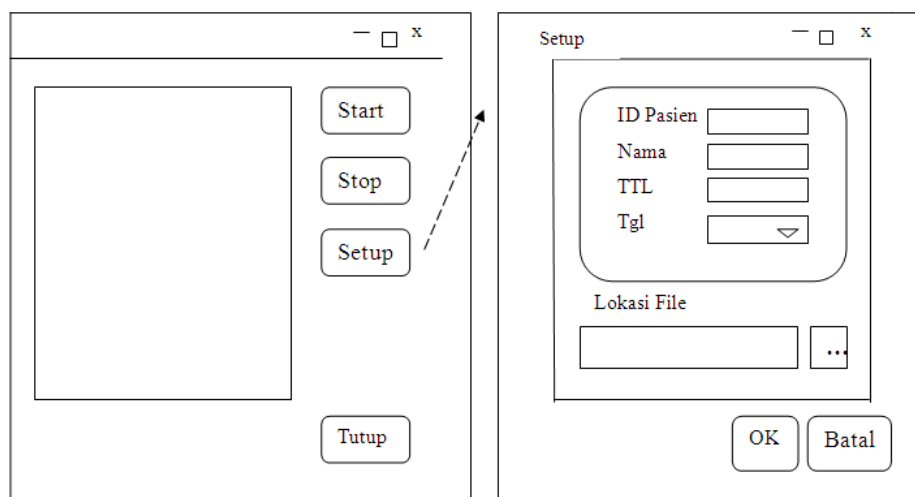
Gambar 7. Skema pesawat sinar-X digital berbasis *flat-panel detector*

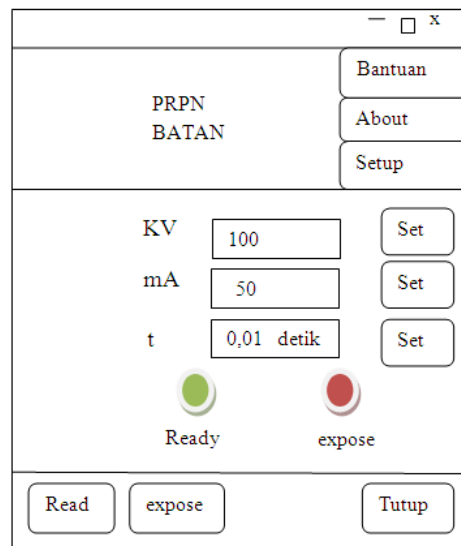


Gambar 8. Foto *flat-panel detector* yang akan digunakan

4.5. Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang dirancang pada penelitian ini terdiri dari perangkat lunak untuk generator sinar-X, perangkat lunak untuk akuisisi dan penyimpanan data. Perangkat lunak untuk generator sinar-X berfungsi untuk mengeset tegangan tinggi (kV), arus filamen (mA), waktu expose (t), serta untuk melakukan expose sehingga sinar-X keluar dari tabung. Selanjutnya, perangkat lunak untuk akuisisi data berfungsi untuk mengambil citra sinar-X dan menyimpannya dalam bentuk citra digital. Dalam dunia medis, citra medis disimpan dalam format yang disebut DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*). Oleh karena itu, dalam perancangan ini, citra digital yang didapatkan juga akan disimpan dalam format DICOM. Rancangan tampilan perangkat lunak ditunjukkan pada Gambar 9.





Gambar 9. Desain tampilan dari perangkat lunak akusisi citra dan generator sinar-X

5. KESIMPULAN.

Telah dilakukan perancangan perangkat sinar-X digital yang terdiri dari generator sinar-X, perangkat penangkap citra dan komputer beserta perangkat lunak pengolah citra. Generator sinar-X dirancang dengan memodifikasi rancangan generator sinar-X pada pesawat sinar-X fluoroscopy yang telah dilakukan pada kegiatan tahun sebelumnya. Selanjutnya untuk detektor sebagai penangkap citra dapat digunakan *image intensifier* dan *flat-panel detector*. Bagian pengolah citra pada komputer terdiri dari akusisi citra, pengolahan citra dan pengarsipan. Rancangan yang dibuat pada kegiatan ini akan digunakan sebagai acuan untuk membuat prototip yang akan dilakukan pada tahun selanjutnya.

6. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan di PRPN (Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir), khususnya Bidang Instrumentasi Kesehatan dan Keselamatan atas diskusi, masukan dan sarannya demi penyempurnaan rancangan ini.



7. DAFTAR PUSTAKA

1. Peters, Peter, W. C. Roentgen and the discovery of x-rays, Chapter 1 Textbook of Radiology, Medcyclopaedia.com, General Electric Healthcare 1995. Available: <http://www.medcyclopaedia.com/library/radiology/chapter01.aspx>. Diakses 1 November 2010.
2. Spiegel, Peter K., The first clinical X-ray made in America—100 years, American Journal of Roentgenology, 164 (1) (1994), 241-243
3. Istofa, I Putu Susila, Sukandar dan Leli Yuniarsari, Uji fungsi Penangkap Citra Sinar-X, Prosiding Pertemuan Ilmiah Rekayasa Perangkat Nuklir PRPN – BATAN, 2011
4. ANONYMOUS, X-ray Image Intensifiers, HAMAMATSU PHOTONICS. Available online: http://sales.hamamatsu.com/assets/pdf/catsandguides/x-ray_image_intensifiers.pdf. Diakses 29 Oktober 2012
5. Luis Lanca, Augusto Silva, Digital radiography detectors - A technical overview: Part 1, Radiography (2009) 15, 58-62
6. Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir, Dokumen Jaminan Mutu: Perancangan Pesawat Sinar-X(IX-7), 2007
7. Ferry Sujatno, Istofa dan Sukandar, Rancangan Sistem Instrumentasi Pembangkit Sinar-X Pada Pesawat Roentgen, Prosiding Pertemuan Ilmiah Rekayasa Perangkat Nuklir PRPN – BATAN, 11 November 2009, 28-32
8. I Putu Susila, Ferry Suyatno, Istofa dan Sukandar, Perekayasaan Pesawat Sinar-X Fluoroscopy: Rancangan, Prosiding Pertemuan Ilmiah Rekayasa Perangkat Nuklir PRPN – BATAN, 30 November 2010, 197-203
9. I Putu Susila, Ferry Suyatno, Istofa dan Sukandar, Perekayasaan Pesawat Sinar-X Fluoroscopy: Pembuatan Prototip, Prosiding Pertemuan Ilmiah Rekayasa Perangkat Nuklir PRPN – BATAN, 30 November 2011, 105-112
10. Ferry Sujatno, Abdul Jalil, Budi Santoso, Ahmad, Sistem Elektromekanik Perangkat Sinar-X Fluoroscopy, Prosiding Pertemuan Ilmiah Rekayasa Perangkat Nuklir PRPN – BATAN, 2011



TANYA JAWAB

Pertanyaan

1. Berkas sinar X adalah tidak sejajar apakah objek dengan besaran citra sudah diperhitungkan dengan perbandingan jarak tersebut? (TRIHARJANTO)
2. Agar dalam tahap pertama perancangan dan telah membeli komponen untuk percobaan. Pada tahap kedua mengadaan komponen yang besar lagi untuk dapat dirakit sebagai prototipe sedangkan komponen yang telah dibeli sekarang tetap sebagai komponen percobaan? (SIGIT)

Jawaban

1. Untuk pesawat sinar-X digital yang dirancag tidak memperhitungkan , karena yang dilihat adalah struktur daru organ. Tapi jika merancang alat seperti T, perlu diperhitungkan apabila jika digunakan untuk menentukn volumme organ
2. Terima kasih sarannya