

DESAIN AWAL PERANGKAT KOTAK FLUOROSKOPI PADA SISTEM PENCITRAAN BERBASIS RADIASI SINAR-X UNTUK KEAMANAN

Nur Khasan dan Gideon Rendy Natanael
Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir – BATAN
Gedung 71 Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan 15314
hasanur@batan.go.id

ABSTRAK

DESAIN AWAL PERANGKAT KOTAK FLUOROSKOPI SISTEM PENCITRAAN BERBASIS RADIASI SINAR-X UNTUK KEAMANAN. Desain awal perangkat kotak fluoroskopi pada sistem pencitraan berbasis sinar-X untuk keamanan telah dibuat. Desain awal ini dengan mempertimbangkan persyaratan desain antara lain kepresisian posisi komponen dan instrumen yang terkait. Perangkat ini menjadi bagian utama dari sistem mekanik untuk tempat penangkapan citra. Dengan sistem perangkat kotak fluoroskopi ini, sistem pencitraan berbasis radiasi sinar-X dapat diterapkan pada benda-benda yang mencurigakan yang perlu inspeksi. Komponen dan bahan utama untuk perangkat dalam desain ini antara lain adalah plastik PLA (polylactic acid) yang pejal untuk rangka utama untuk memperoleh konstruksi modul yang kokoh dengan massa modul yang tetap ringan yaitu kurang dari 30 kg. Penutup perangkat terbuat dari papan PCB yang berlapis tembaga untuk menyerap hamburan radiasi sinar-X. Selain itu perangkat ini juga memanfaatkan kertas DRZ sebagai media fluoroskopi dengan luasan 40 cm × 40 cm dan kamera digital Raspberry sebagai komponen penangkap citra. Desain awal modul mekanik ini akan dilanjutkan untuk pembuatan desain rinci perangkat pencitraan berbasis radiasi untuk inspeksi keamanan.

Kata kunci : Kotak fluoroskopi, pencitraan, keamanan.

ABSTRACT

A PRELIMINARY DESIGN OF FLUOROSCOPY BOX OF X-RAY RADIATION BASED IMAGING SYSTEM FOR SECURITY. A preliminary design of fluoroscopy box of X-ray radiation based imaging system for security has been carried out. This preliminary design fulfills the predetermined design requirements, such as precision of component and other part position. This module is the main of the mechanical system of the imaging device. By this fluoroscopy box, X-ray radiation based imaging system can be operated to any suspicious objects requiring inspection. The main material used this module is polylactic acid (PLA) solid plastic for the main frame to achieve sturdy module construction with still light, which is less than 30 kg. The cover is made of copper-coated PCB board to absorb scattered X-ray radiation. In addition, this device use DRZ paper as a fluoroscopic medium with an area of 40 cm × 40 cm and a Raspberry digital camera as an image capture component. This preliminary design will be used to develop the detail design the mechanical module of X-ray radiation based imaging for security.

Keywords: Fluoroscopy box, imaging, security.

1. PENDAHULUAN

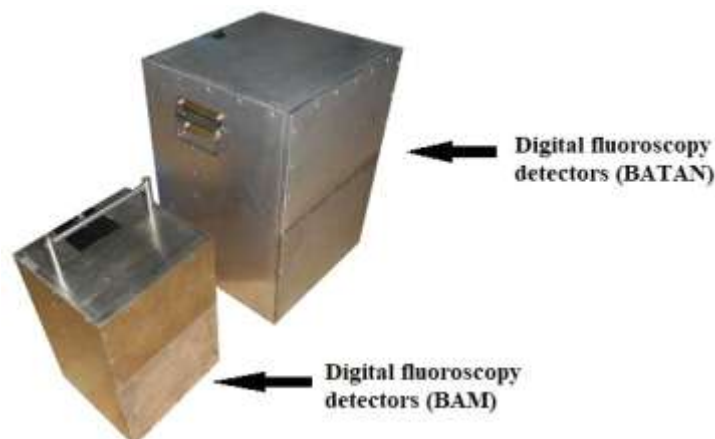
Di masa globalisasi seperti saat ini setiap negara yang salah satunya adalah negara kita Indonesia terus dihadapkan pada tantangan dan persoalan keamanan yang semakin rumit dalam hal permasalahan pokok/utama maupun dalam hal-hal lain yang terkait. Indonesia sebagai negara kepulauan dengan banyak akses pintu masuk (*entry points*) dituntut untuk dapat mengatasi beragam permasalahan yang berkaitan dengan keamanan nasional. Permasalahan keamanan tersebut antara lain berupa

gerakan kriminal bersenjata, ancaman terorisme, hingga masalah peredaran narkoba dan obat/bahan terlarang/berbahaya (narkoba) maupun tindak kejahatan lainnya. Hal tersebut dapat dikatakan sebagai kesulitan yang spesifik dalam upaya tindakan pendeteksian secara dini terhadap potensi ancaman keamanan negara.

Dalam rangka upaya mengatasi berbagai masalah keamanan tersebut pemerintah Indonesia didorong untuk memaksimalkan semua instrumen yang ada secara sinergis dan terpadu. Salah satu upaya tindakan penanganan keamanan yang dapat dilaksanakan semenjak dini adalah melalui tindakan pencegahan berupa pendeteksian segala kemungkinan potensi bahaya dan ancaman yang potensial. Dengan demikian suatu perangkat beserta sistemnya sangat dibutuhkan untuk deteksi dini keberadaan senjata api, bahan peledak yang *low explosive*, maupun berbagai jenis narkoba dan bahan berbahaya lainnya.

Salah satu deteksi dini dapat diupayakan dengan memanfaatkan teknik radiasi berbasis radiasi atau penyinaran sinar-X. Oleh karena itu diperlukan pembuatan prototipe sistem pencitraan yang berbasis radiasi untuk mendukung aspek tindakan keperluan keamanan^[1] yang perangkat utamanya berupa alat detektor dengan aspek mobilitas berupa kotak fluoroskopi yang portabel.

Detektor fluoroskopi digital atau bisa disebut kotak radioskopi pernah dibuat PRFN BATAN dengan modifikasi dari desain yang dikembangkan oleh BAM Jerman^[2]. Modifikasi dalam hal penggunaan layar fluorescent DRZ-High (*phosphor Gd2O2S*) untuk membuat citra sinar-X terlihat dan kemudian didigitasi dengan kamera CMOS *Blackfly* BFS-U3-200S6. Dimensi keseluruhan dari detektor fluoroskopi digital yang dirancang oleh BAM adalah 285 mm x 195 mm x 182 mm, dan perkiraan beratnya adalah 30 kg. Dimensi layar fluoresensi pada desain BAM hanya 115 mm x 155 mm, sehingga tidak efektif saat digunakan untuk pengujian spesimen yang berukuran lebih besar. Karena keterbatasan tersebut, PRFN BATAN mendesain ulang detektor fluoroskopi digital ini. Modifikasi detektor fluoroskopi oleh BATAN dapat meningkatkan dimensi layar fluoresensi menjadi 197 mm x 294 mm. Dimensi keseluruhan dari detektor fluoroskopi digital yang dirancang oleh BATAN adalah 432 mm x 314 mm x 304 mm, dan perkiraan beratnya adalah lebih dari 40 kg. Detektor fluoroskopi digital dirancang oleh BAM dan PRFN BATAN seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



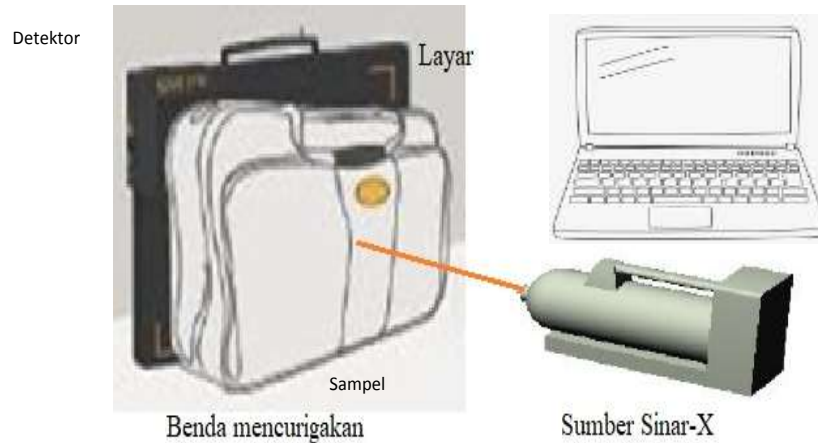
Gambar 1. Hasil Desain Kotak Radioskopi BAM dan PRFN BATAN^[3].

2. DASAR TEORI

2.1. Teknik Pencitraan Untuk Inspeksi Berbasis Radiasi Sinar-X

Sinar X yang dipancarkan oleh pesawat sinar X menembus objek inspeksi pada posisinya dengan sudut dan pada jarak yang diinginkan kemudian ditangkap oleh

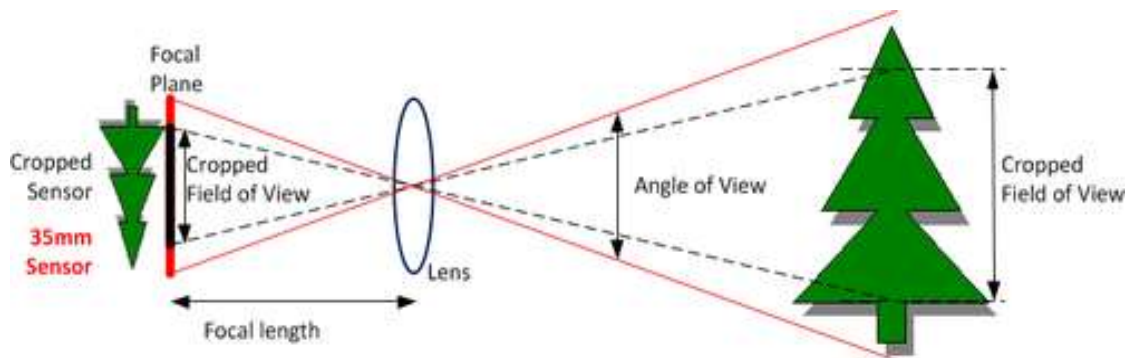
detektor berbasis *fluorescence screen*, selanjutnya citra direkam oleh kamera digital sehingga citra disimpan di komputer. Dengan demikian dapat digambarkan adanya kebutuhan perangkat utama berupa detektor penangkap citra yang bisa disebut dengan istilah detektor fluoroskopi seperti tergambar pada skema konseptual sistem seperti ditunjukkan pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Skema Referensi Pencitraan Untuk Inspeksi Berbasis Sinar-X^[4]

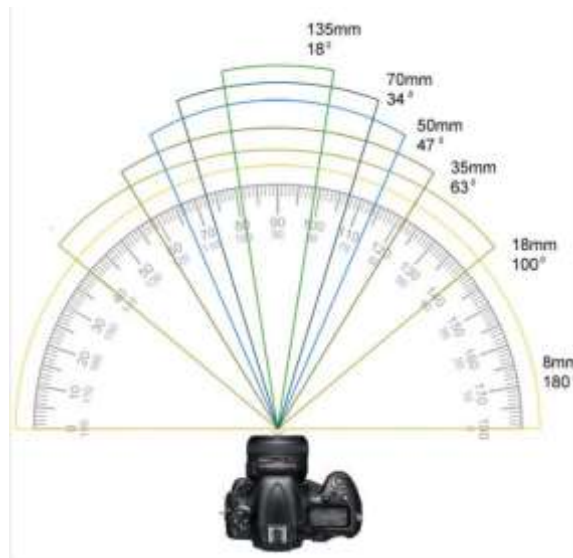
Untuk merealisasikan sebuah sistem perangkat pencitraan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, dibutuhkan adanya perangkat mekanik utama yang tentunya akan menjadi bagian yang akan terintegrasi langsung dengan keseluruhan sistem untuk keperluan inspeksi yaitu berupa detektor fluoroskopi.

2.2. Sudut Gambar Kamera



Gambar 3. Kaitan Jarak Fokus Dan Sudut Gambar Kamera^[5].

Keterkaitan *focal length* atau jarak fokus lensa kamera dengan sudut gambar kamera (*angle of view*) diilustrasikan pada Gambar 3. Diketahui bahwa *focal length* (fokal lensa) adalah jarak dari sensor ke titik api lensa yang dinyatakan dalam satuan milimeter (mm). Semakin panjang fokal lensanya juga akan semakin panjang sehingga disebut dengan lensa tele. Fokal lensa juga berkaitan dengan *angle of view* (sudut gambar) dimana semakin pendek fokal lensanya semakin luas bidang gambar yang bisa diambil (biasa disebut *wideangle*) dengan satuan derajat. Fokal lensa itu dirancang mengikuti standar sudut gambar dengan pedoman mengikuti ilustrasi di bawah ini.



Gambar 4. Sudut Lensa Kamera^[5].

2.3. Bahan Filamen Plastik

ABS atau *Acrylonitrile Butadiene Styrene* adalah bahan termoplastik yang umum. ABS adalah plastik populer untuk cetakan injeksi dan digunakan untuk membuat lego, instrumen, peralatan olahraga, dan lainnya. ABS juga banyak digunakan dalam bidang teknik, seperti misalnya untuk kebutuhan elektronik, otomotif, dan lain-lain. Hal ini dikarenakan ABS mempunyai kekuatan kejut dan kekenyalan yang tinggi dibanding polistiren, sehingga sangat cocok untuk aplikasi pada komponen-komponen yang bergerak^[6]. ABS adalah salah satu bahan yang banyak digunakan untuk filamen mesin printer 3D. Pemilihan bahan ini bukan tanpa alasan, pertama karena stabil terhadap suhu dan paparan kimia. Selanjutnya ia juga sangat kuat dan mudah dirapikan dengan penguapan aseton. Kekurangan dari bahan ABS ini adalah tidak bisa diuraikan secara alami karena merupakan plastik sintetis. Selanjutnya saat printing dilakukan, akan ada asap berbahaya yang dihasilkan. ABS membutuhkan suhu tinggi sehingga daya yang dipakai juga besar^[7].

Terdapat satu lagi bahan filamen plastik yaitu PLA atau *Polylactic Acid* dengan bahan baku alami mudah terurai jika dibuang ke tanah. Harga produk filamen dengan bahan ini cenderung murah dan membutuhkan daya rendah untuk pencairan dalam penggunaannya, tidak membutuhkan suhu tinggi. Kekurangan dari bahan PLA adalah mudah meleleh, apalagi di suhu yang sangat tinggi. Bahan PLA ini harus dihindarkan dari sinar matahari untuk mencegah bentuk modelnya agar tidak berantakan. Bahan PLA termasuk yang banyak digunakan pada pencetakan 3D.

3. TATA KERJA

Pekerjaan desain dilakukan dengan beberapa tahapan kerja antara lain dimulai dari persyaratan desain, kemudian didapatkan data view kamera, konfigurasi konstruksi dan pemilihan bahan hingga perkiraan *bill of quantity* (BQ) untuk keperluan tahap fabrikasi.

3.1. Persyaratan Desain

Persyaratan desain dari sistem kotak fluoroskopi *radiation-based inspection* (RBI) sinar X adalah kotak ini harus

1. kuat/kokoh tapi ringan dengan massa konstruksi 30 kg dan kedap cahaya luar,
2. dapat mengakomodir untuk integrasi seluruh komponen sistem terkait,

3. mudah dalam pemindahan/penempatan di lokasi penggunaan,
4. presisi sedemikian sehingga mampu mengambil citra benda inspeksi dengan luasan tangkapan layar pendar 40 cm × 40 cm,
5. dibuat dengan bahan yang dapat terjaga dari pemuaiannya akibat pengaruh suhu tinggi, dan meminimalkan bahan logam, serta mudah difabrikasi

3.2. Desain Kotak Fluoroskopi Dengan Data View Kamera

Langkah awal dari pelaksanaan desain adalah akan pembuatan gambar sketsa sebagai bentuk dasar desain setelah diketahui data besaran *view* kamera yaitu jarak optimum kamera terhadap luasan tangkapan layar. Oleh karena itu harus dilakukan percobaan kamera yang digunakan dalam hal terkait dengan luasan tangkapan layar pendar fluoroskopi (*screen*) dengan luas 40 cm × 40 cm. Hal tersebut dilakukan sekaligus dalam rangka pengujian fungsi kamera yaitu Raspberry Pi V2, seperti ditunjukkan pada foto Gambar 5. Pada proses ini dibuat bentuk nyata dari model yang telah diperkirakan dengan perangkat lunak *optical X-ray* ataupun dengan menggunakan simulasi. Pada pengujian ini dibuat dudukan untuk diletakkan kamera dan *screen* dengan acuan konfigurasi posisi yang diperkirakan. Selanjutnya kamera digeser terhadap *screen* untuk mengetahui posisi kamera yang paling optimum dan hasilnya dipantau pada tampilan komputer. Posisi jarak optimum kamera terhadap *screen* adalah dimana seluruh area *screen* dapat dibaca oleh kamera.



Gambar 5. Pengujian jarak kamera terhadap *screen*^[8].

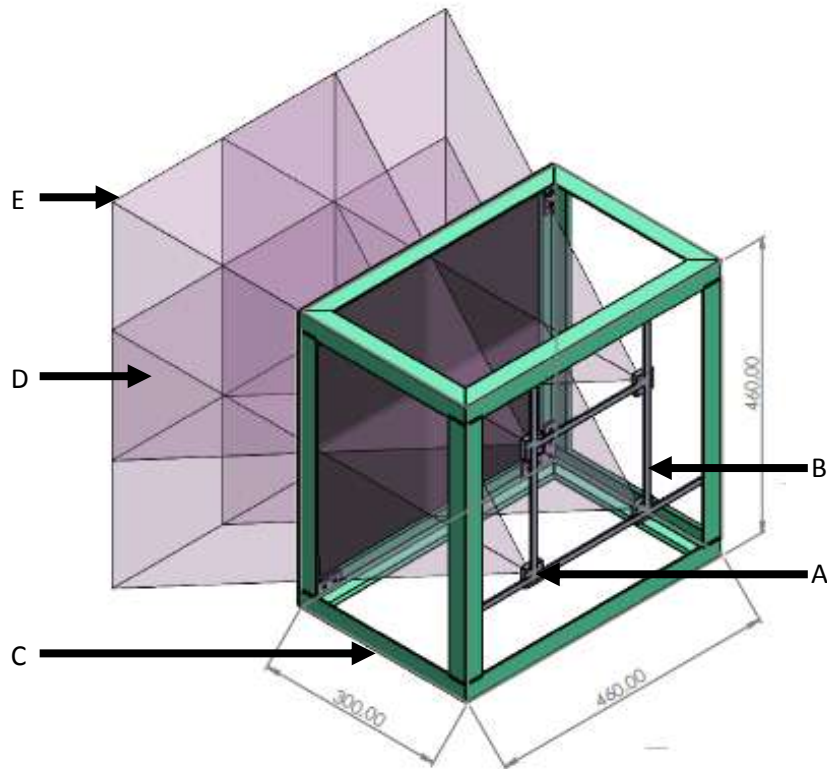
Dari hasil pengujian/percobaan dengan kamera Raspberry Pi V2 diperoleh besaran jarak optimum kamera terhadap *screen* sebesar 200 mm atau 20 cm yang kemudian menjadi data/acuan penting dalam pembuatan sketsa awal desain konstruksi kotak fluoroskopi RBI (*radiation-based inspection*) sinar X.

3.3. Pembuatan Konfigurasi Konstruksi

Pembuatan konfigurasi konstruksi diawali dengan sketsa desain setelah data jarak optimum antara kamera terhadap *screen* diperoleh. Konfigurasi yang dihasilkan berupa gambar sketsa seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Pada gambar terlihat lengkap bagian-bagian perangkat yang akan terintegrasi sehingga menjadi desain dari sistem mekanik kotak fluoroskopi RBI sinar X. Keterangan gambar sketsa kotak fluoroskopi yang tergambarkan dalam satu modul mekanik yaitu:

- A. Kamera Raspberry,
- B. Sistem dudukan kamera,
- C. Sistem rangka utama dengan dimensi 300 cm x 460 cm x 460 cm,
- D. Simulasi sudut pandang kamera,
- E. Proyeksi luasan sudut tangkapan area fluoroskopi.

Konfigurasi ini akan digunakan dalam pemilihan bahan serta komponen terkait yang dibutuhkan untuk memenuhi persyaratan desain.



Gambar 6. Sketsa Konfigurasi Kotak Fluoroskopi RBI Sinar X.

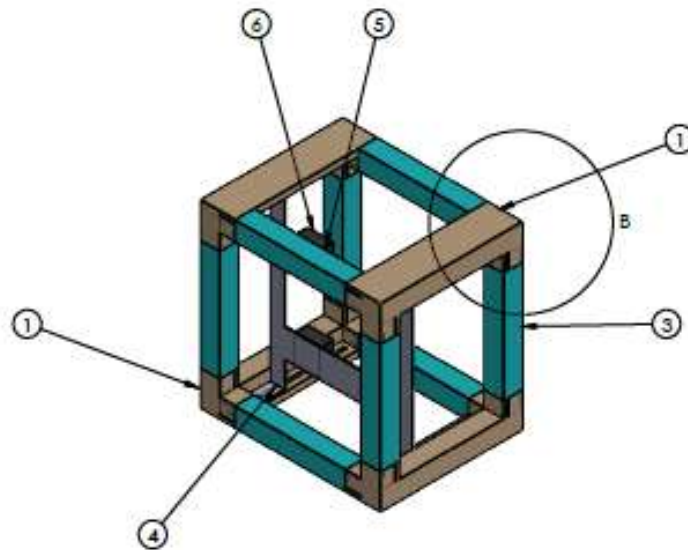
3.4. Pemilihan Bahan Konstruksi Untuk Rencana Fabrikasi

Berdasarkan gambar sketsa konfigurasi yang telah dibuat, selanjutnya dilakukan pemilihan bahan dan komponen standar pabrikan untuk integrasi konstruksi mekanik sesuai persyaratan desain yaitu :

- kamera digital kamera Raspberry Pi V2 digunakan sebagai komponen utama penangkap citra.
- sistemudukan kamera dibuat dari bahan logam aluminium atau filamen plastik PLA.
- rangka utama dipilih dari filamen plastik PLA dengan proses pada printer 3 dimensi.
- layar pendar fluoroskopi seluas 40 cm × 40 cm digunakan untuk layar pendar terhadap sinar X pada objek inspeksi.

3.5. Desain Rangka Utama

Desain rangka utama menjadi fokus utama perhatian pada desain awal. Rangka utama akan dibuat dengan proses printer 3 dimensi dengan bahan filamen PLA. Dari desain ini akan didapatkan dimensi setiap *part* atau bagian penyusun rangka yang selanjutnya volume padatan dapat dihitung untuk keperluan perhitungan biaya. Volume padatan dengan bahan plastik filamen PLA dapat dihitung dengan besaran massa jenis plastik sehingga akan diperoleh setiap *part*-nya yang akhirnya akan didapatkan harga total perkiraan biaya fabrikasinya sebagai *bill of quantity* dari rangka utama. Desain rangka utama diperlihatkan pada Gambar 7 di bawah ini



Keterangan:

1. Rangka *part 1*, bahan plastik padat, jumlah 4 buah
2. *Snap part*, bahan standar, jumlah 4 buah
3. Rangka *part 2*, bahan plastik padat, jumlah 8 buah
4. Dudukan kamera *part 3*, bahan plastik padat, jumlah 1 buah
5. Dudukan *cover Pb*, bahan aluminium, jumlah 4 buah
6. *Cover Pb*, bahan plat Pb, jumlah 4 buah

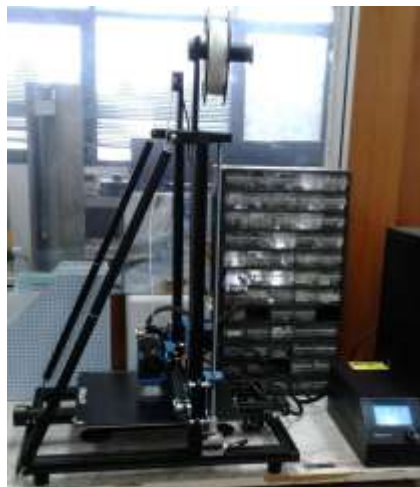
Gambar 7. Konfigurasi Rangka Utama Kotak Fluoroskopi RBI Sinar X^[9].

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pekerjaan desain awal perangkat mekanik kotak fluoroskopi pada sistem pencitraan berbasis radiasi sinar X untuk inspeksi telah dilakukan dengan beberapa tahapan tata kerja. Tahapan pertama adalah penentuan persyaratan desain. Secara umum dalam persyaratan desain adalah terkait dengan kekokohan konstruksi, dibuat dengan meminimasi bahan logam, kemudahan penempatan secara portabel di lapangan dan dapat terintegrasi semua komponen terkait dengan tetap memenuhi persyaratan massa konstruksi maksimal 30 Kg.

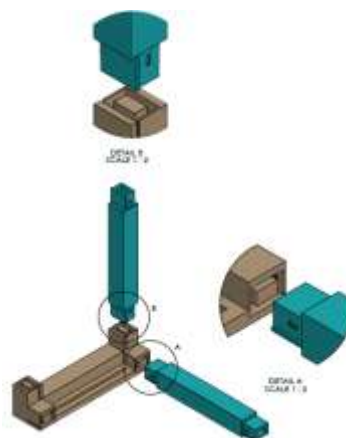
Tahap berikutnya adalah pembuatan gambar sketsa dasar konstruksi yang mengacu pada data *view* kamera dan jarak terhadap *screen* yang didapatkan melalui percobaan fungsi kamera. *Screen* adalah berupa layar pendar fluoroskopi standar pabrikan dengan luasan 40 cm × 40 cm. Kamera yang digunakan adalah kamera digital jenis Raspberry Pi V2. Melalui percobaan fungsi kamera sekaligus didapatkan data penting untuk desain konstruksi kotak fluoroskopi yaitu jarak optimum antara kamera terhadap *screen* 200 mm (20 cm). Selanjutnya sketsa simulasi konstruksi dibuat seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Konfigurasi desain tangkapan citra oleh kamera seperti ditunjukkan pada Gambar 6 merupakan gambaran awal bahwa kotak fluoroskopi dengan integrasinya menjadi kebutuhan utama dalam lingkup perangkat mekanik sebagai detektor inspeksi. Modul mekanik kotak fluoroskopi ini terdiri dari kamera (A), sistem dudukan kamera (B), sistem rangka utama (C) dengan dimensi 300 cm × 460 cm × 460 cm, simulasi sudut pandang kamera (D) dan proyeksi luasan sudut tangkapan fluoroskopi (E). Ini merupakan desain awal dari kotak fluoroskopi yang memenuhi persyaratan desain.

Tahap selanjutnya adalah pemilihan bahan atau komponen. Komponen utama untuk penangkap citra adalah kamera digital jenis Raspberry Pi V2. Kamera ini mempunyai *view* sebesar 60° dan *focal length* 3,04 mm yang didapatkan dari *data sheet* produk. Kemudian sebagai pembentuk citra digunakan *screen*/layar pendar standar pabrikan dengan luasan 40 cm × 40 cm yang telah disesuaikan terhadap perkiraan dimensi bentuk dan dimensi objek inspeksi di lapangan. Tahap berikutnya adalah pemilihan bahan untuk konstruksi pendukung yang terdiri dari rangka dudukan penempatan kamera dan rangka utama untuk *casing* atau penutup kotak fluoroskopi. Bahan batangan aluminium standar digunakan sebagai bahan rangka dudukan kamera berdasarkan pertimbangan kemudahan pengerjaan. Rangka utama dibuat dengan bahan filamen PLA melalui proses pengerjaan printer 3 dimensi. Perangkat printer 3D yang dimiliki oleh PRFN ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Foto Printer 3D Milik PRFN.

Pekerjaan selanjutnya difokuskan pada desain rangka utama (Gambar 7) dengan dimensi yang diperoleh berdasarkan data jarak maksimum optimum antara *screen* dengan kamera digital jenis Raspberry Pi V. Dimensi rangka utama kotak fluoroskopi adalah lebar 570 mm, tinggi 450 mm dan panjang 450 mm. Integrasi konstruksi bagian rangka atau *part* menggunakan sistem *knock-down* seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 9. Sistem Penyambungan (*Part*) Rangka Untuk Konstruksi Kotak Fluoroskopi Sinar X

Seperti ditunjukkan pada Gambar 9 rangka utama untuk detektor fluoroskopi terdiri dari *part/bagian knock down* dengan dua *set* macam *part*. Dua *set* macam *part* tersebut yaitu 4 *set* untuk dudukan utama (b) tiang dan 8 *set* untuk tiang rangka (a). Setiap *part* akan difabrikasi menggunakan printer 3D dengan pilihan bahan plastik filamen jenis PLA. Oleh karena itu setiap massa *part* dapat diperhitungkan berdasarkan massa jenis plastik PLA yaitu 1,24 g/cc atau 0,00124 g/mm³.

Dengan fasilitas *mass properties* pada program aplikasi gambar 3D *Solidwork* maka didapatkan volume satu *part* a = 1.404.280,31 mm³, satu *part* b = 2.338.000 mm³. Dengan data dimensi tersebut dapat dihitung massa sebagai berikut :

- massa *part* a :

$$m_a = V_a \times \rho = 1.404.280,31 \text{ mm}^3 \times 0,00124 \text{ g/mm}^3 = 1741,31 \text{ g}$$

- massa *part* b :

$$m_b = V_b \times \rho = 2.338.000 \text{ mm}^3 \times 0,00124 \text{ g/mm}^3 = 2899,12 \text{ g}$$

sehingga total massa *part* dari desain awal ini adalah :

$$m = (8 \times m_a) + (4 \times m_b) = (8 \times 1.741,31 \text{ g}) + (4 \times 2.899,12 \text{ g}) = 25.526,96 \text{ g}$$

Dari perhitungan diperoleh massa total rangka utama desain kotak fluoroskopi 25.526,96 gram. Total massa ini akan dikalikan dengan harga per gram untuk keperluan fabrikasi dengan printer 3D, sehingga didapatkan kelengkapan *bill of quantity* (BQ) dari desain rangka kotak fluoroskopi ini. Harga atau biaya pengerjaan fabrikasi printer 3D dengan filamen jenis PLA adalah Rp. 1.300,- per gram sehingga untuk seluruh *part* rangka utama tersebut diperlukan biaya Rp. 33.185.048,-. Bahan penutup atau *casing* dipilih dari bahan PCB dengan pertimbangan kemampuannya untuk meredam hamburan dari sinar X. Hasil akhir pekerjaan ini mengarah pada konstruksi mekanik berupa rangka utama dari perangkat berbasis radiasi sinar X dengan sistem integrasi *knock down* per *part*.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Desain awal modul mekanik untuk inspeksi berbasis radiasi sinar X telah dibuat melalui beberapa tahap. Hasil desain ini berupa rangka utama yang tersusun atas *part/bagian* konstruksi yang telah dapat ditetapkan bahan dan diperkirakan harga untuk keperluan fabrikasi. Selanjutnya desain awal ini akan digunakan untuk pembuatan desain rinci modul tersebut konfigurasi yang lebih detail. Tinjauan teknis perhitungan desain lebih lanjut perlu dilakukan untuk menyempurnakan modul mekanik dengan konfigurasi yang lebih detail.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis sangat berterima kasih kepada seluruh personil tim kegiatan pengembangan teknik pencitraan berbasis radiasi sinar X tahun pertama di PRFN BATAN, yang telah memberikan ide, saran dan kerja samanya dalam kegiatan ini..

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] HANDOYO DEMON, *Program Manual Pengembangan Teknik Pencitraan Berbasis Radiasi Untuk Keamanan*, PM01-WBS0-RFN2020-24, PRFN-BATAN, 2020.
- [2] IAEA, *Design, Development And Optimization Of A Low Cost System For Digital Industrial Radiology*, RADIATION TECHNOLOGY REPORTS No.2, IAEA, Vienna, 2013.
- [3] A T SUSANTO, dkk, *Development Of Low-Cost Industrial X-Ray Computed Tomography System Based On Digital Fluoroscopy*, 10th International Conference on Physics and Its Application (ICOPIA), 2020.

- [4] HARJONO BUDI, *Technical Note Pengembangan Teknik Pencitraan Berbasis Radiasi Untuk Kemananan : Menetapkan Kebutuhan Desain*, TN01-WP.1.2-WBS2-RFN20-24, PRFN-BATAN, 2020;
- [5] <http://www.infofotografi.com/blog/2016/06/tentang-focal-length-lensa-dan-tips-memilih-lensa/>, dibuka tanggal 01 Oktober 2020..
- [6] <https://www.centralab-jogja.com/definisi-abs/>, dibuka tanggal 27 Oktober 2020.
- [7] <https://fomustudio.com/jenis-filamen-3d-printing/>, dibuka tanggal 27 Oktober 2020.
- [8] TRIS SUSANTO ANDEKA dkk, *Modifikasi Kotak Penangkap Citra Radioskopi Digital Desain BAM-Jerman*, Proseding Seminar Nasional Pendayagunaan Teknologi Nuklir Vol. 1, 2016.
- [9] KHASAN NUR, *Pengembangan Teknik Pencitraan Berbasis Radiasi Untuk Kemanana: Desain Mekanik*, Technical Report, TR02-WP.1-WBS2-RFN20-24, PRFN-BATAN, 2020.