

RANCANG BANGUN SISTEM PENANGKAP GAMBAR RADIOGRAF DIGITAL BERBASIS KAMERA DSLR

THE DESIGN OF A DSLR CAMERA-BASED DIGITAL RADIOGRAPHY IMAGE CAPTURING SYSTEM

Susilo^{1*}, Supriyadi¹, Sutikno¹, Sunarno¹, R. Setiawan²

¹Fakultas Matematika dan IPA
Universitas Negeri Semarang (UNNES), Semarang, Indonesia

²Fakultas Sains dan Matematika
Universitas Diponegoro (UNDIP), Semarang, Indonesia

Diterima: 8 Oktober 2013. Disetujui: 1 Desember 2013. Dipublikasikan: Januari 2014

ABSTRAK

Telah dilakukan modifikasi sistem penangkap gambar ke arah cahaya yang dapat menampilkan langsung citra radiograf digital pada layar monitor PC dan menyimpan file radiograf tersebut sehingga bisa ditampilkan kembali. Penelitian ini bertujuan membangun model prototip sistem penangkap gambar berbasis kamera digital, sehingga hasilnya bisa diproses lebih lanjut menggunakan perangkat lunak pengolah citra berbasis Matlab. Hasil pemotretan dengan sinar-X pada benda uji dan volunteer digunakan untuk menguji keajegan hasil radiograf tersebut, dan diperoleh perbaikan kontras yang signifikan, ditunjukkan dengan tampilan histogram, nilai MSE dan PSNR yang sesuai. Aplikasi perangkat lunak tersebut dalam menganalisis radiograf benda uji, kaki, tangan serta *stepwedge* menunjukkan juga kenaikan ukuran file, kontras radiograf dan resolusi citra yang meningkat. Hasil ini menunjukkan bahwa model penangkap gambar yang dilengkapi dengan perangkat lunak berbasis Matlab dapat dikembangkan untuk pemeriksaan radiografi digital yang efektif, efisien dan mempunyai nilai ekonomi yang tinggi.

ABSTRACT

It has been modified a system of light-tight image capturing which can display directly digital radiograph image on the monitor screen of PC and save that radiograph digital image for re-displaying it. This research aims to build a prototype of digital camera based-image capturing, so that the result can be processed further using a matlab based-image processing software. The imaging process using X-ray on the test materials and volunteers are used to investigate its image consistency and find more contrast image, shown on the histogram, appropriate MSE and PSNR values. The application of this software for analyzing test materials, feet, hands and stepwedge showed the file size increase, radiograph contrast, and image resolution. This result shows that a model of image capturing completed by software based-matlab can be developed to check an effective, efficient and has an economic value digital radiography test result.

© 2014 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: digital radiography; X-ray; digital radiograph

PENDAHULUAN

Penelitian ini didasarkan atas modalitas radiografi yang cenderung bersifat analog dan

menggunakan film radiografi. Untuk menentukan hasil diagnosis film radiograf pada sistem radiografi konvensional berbasis film analog adalah dengan menggunakan *lightbox*. Hasil diagnostik berbasis visual ini sangat tergantung pada subyektivitas dokter dan kelemahan teknis ketika proses pencetakan film.

*Alamat Korespondensi:
Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang
E-mail: susilosumarto@gmail.com / Fax.: +62248518039

Output dari penelitian ini berupa modalitas sistem radiografi konvensional mobile yang dimodifikasi menjadi sistem radiografi digital mobile, tanpa film, yang hasilnya dapat dilihat langsung melalui layar monitor komputer. Keunggulan lainnya adalah bahwa citra digital hasil dapat diproses lebih lanjut, misalnya dengan teknik pengolahan citra (*image processing, pattern recognition* dan *image archieving*) (Susilo dkk., 2010)

Sesungguhnya upaya rancang-bangun dan instalasi ini dapat saja dilakukan dengan cara mengimpor sistem dan teknologinya dari luar negeri. Namun, analisis kelayakan teknis yang telah dilakukan PMBI menunjukkan bahwa sebuah rancang-bangun sistem radiografi digital dapat dilakukan dengan biaya kompetitif. Di pasar domestik dapat ditemukan produk diagnose medis yang cenderung dipasok pada "captive market" yang cenderung eksklusif. Kecenderungan ini membuat produk tidak standar, menyulitkan mekanisme jaminan mutu, menyulitkan proses penilaian teknologi, dan potensial bermasalah pada aspek perawatan dan perbaikan.

Penelitian ini mengembangkan suatu format teknologi radiografi digital mobile untuk pencitraan medis sedemikian sehingga biaya pengadaan peralatan, biaya instalasi, operasi, perawatan dan perbaikan dapat lebih terjangkau bagi sebagian besar rumah-sakit di Indonesia, sehingga masalah pengadaan peralatan tak banyak membebani anggaran.

Sistem Radiografi Digital (RD) yang dikembangkan ini berupaya menggunakan komponen-komponen generik yang tersedia di pasar domestik atau regional (AFTA). Beberapa komponen penting seperti X-ray generator lengkap telah dapat dibuat ataupun dirakit oleh BATAN berbasis pada komponen yang diperoleh di pasar primer (*factory direct*). Ini sejalan dengan maksud pemerintah untuk mengurangi ketergantungan produk medik impor dan mendorong perkembangan industri peralatan medik dalam negeri, sehingga dikeluarkan UU No 18 Tahun 2002 tentang Sistem Nasional Iptek yang mewajibkan sinergi antara lembaga litbang pemerintah, universitas, swasta, dan pengguna.

Sistem RD mobile sebagai sistem digital yang dikembangkan ini cenderung menjadi kebutuhan, apabila sejak awal diproyeksikan memiliki fitur teleradiologi, sehingga cocok pula untuk penanganan mitigasi bencana. Teleradiologi diperlukan untuk mengatasi masalah keterbatasan ahli radiologi, masalah geografis

(negara kepulauan), distribusi demografi yang tidak seimbang dan lainnya. Unluc itu, penelitian ini juga akan mengadopsi *state of the art* teknologi informasi database dan multimedia.

METODE

Penelitian ini merupakan studi eksperimen dengan rancang-bangun model prototype system radiografi digital mobile berbasis *intensifying screen*. Studi eksperimen ini merupakan penelitian laboratorium dengan studi prospektif, penelitian terapan, dan bersifat deskriptif. Pada penelitian ini akan dilanjutkan dengan eksperimen sungguhan (*true experiment*), dengan menggunakan pasien *volunteer* yang sebelumnya sistem ini diuji dengan menggunakan penetrometer, *phantom*, dan jika sudah valid dan reliable akan digunakan untuk uji sistem.

Penelitian dipusatkan di Lab Fisika Medik UNNES Semarang, sebagai host penelitian, dimana unit-unit mobile X-ray generator, automatic processing film, bad radiography, ruang timbal sudah terpasang membentuk suatu sistem Radiografi Konvensional (RK) Mobile. Namun sistem ini masih baru sama sekali, sistem ini baru dalam taraf sekedar bisa mengeluarkan sinar-X, belum pernah dilakukan uji kebocoran tabung, uji kebocoran ruang proteksi radiasi, dan uji-uji lainnya. Oleh karena itu sebelum digunakan secara benar maka sistem RK mobile ini perlu diuji dengan uji standard sesuai persyaratan kendali mutu radiografi diagnostik di Lab Fisika Medik.

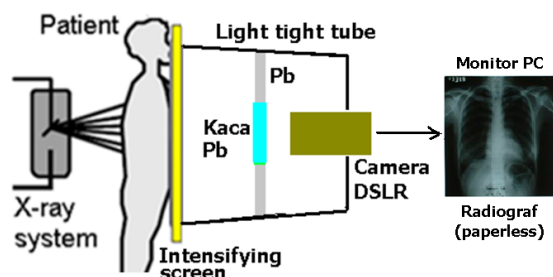
Modifikasi sistem RK mobile menjadi sistem RD mobile perlu unit-unit tambahan yaitu unit penangkap gambar VC, rangkaian interface pada komputer PC, pengolah citra beserta software aplikasi. Rekonstruksi unit tersebut dilakukan pada bengkel/workshop WLF Fisika UNNES. Pembuatan unit proteksi radiasi mobile juga dilakukan di bengkel WLF Fisika, sedang pembuatan unit teleradiologi dilakukan di Lab Instrumentasi Elektronika UNNES, karena sifat rangkaian mengandung banyak komponen elektronika.

Ketika proposal penelitian ini diajukan komponen utama yang akan menjadi kunci awal realisasi pengembangan teknologi RD mobile adalah unit generator sinar-X mobile dan tabung sinar-X yang terpasang dalam satu paket yang mempunyai roda sehingga mudah dipindah, sudah terpasang namun secara fungsional belum diuji dengan peralatan kendali mutu. Fasilitas tambahan lainnya yang

perlu diadakan adalah *PC* dengan sebuah penangkap gambar *VC* atau kamera digital *DSLR* komersial dengan citra resolusi tinggi, yang dapat dikembangkan menjadi citra resolusi yang lebih baik.

Peralatan penelitian itu telah terpasang dan secara teknis dapat secara aman dioperasikan, maka penelitian ini masih memerlukan bahan-bahan sebagai berikut. Obyek phantom thorax yang terbuat dari wax dan tulang sapi, *chest X-ray phantom*, *skull X-ray phantom*, obyek hayati real (kelinci) yang digunakan untuk merepresentasikan tubuh manusia.

Secara skematis, rancang bangun sistem Radiografi Digital yang disusun dilukiskan seperti dengan diagram alir Gambar 1. Diagram alir menjelaskan tentang sistem Radiografi Konvensional (RK) yang akan dimodifikasi menjadi sistem Radiografi Digital (RD) berbasis *Intensifying Screen* dengan mode Radiografi sebagai suatu unit pencitraan seperti yang ada di rumah-sakit. Upaya modifikasi yang dilakukan dalam penelitian ini. Dengan membangun tabung kedap cahaya (*light tight tube*) dibelakang intensifying screen maka bayangan obyek bisa ditangkap oleh kamera *DSLR* untuk ditampilkan pada layar monitor *PC* (radiograf), sehingga pemrosesan film radiografi konvensional tidak diperlukan lagi. Cara kerja sistem RD dapat dijelaskan berikut:



Gambar 1. Diagram alir Sistem Pencitraan Radiografi Digital modifikasi dari Sistem Radiografi Konvensional

Pertama, pembuatan tabung box kedap cahaya berbasis *intensifying screen*, berfungsi untuk mengubah sinar-X menjadi sinar tampak sehingga bayangan yang terbentuk dari obyek dapat ditangkap oleh kamera *DSLR*. Kegiatan tahap ini dilakukan di Lab Fisika Instrumentasi FMIPA UNNES Semarang.

Kedua, seting unit penangkap gambar *VC* atau kamera *DSLR*, komputer *PC* bersama *software* penangkap gambar.

Ketiga dilakukan instalasi proteksi radiasi untuk menunjang keamanan radiasi bagi

pelaksana inspeksi. Proteksi ini berupa suatu ruang timbal dengan ketebalan 1,5 mm, berukuran 4 x 3 meter persegi, dan tinggi 1,8 meter.

Seluruh proses eksperimen dilakukan di laboratorium Fisika Medik melalui pengukuran dan pengamatan visual secara langsung terhadap kinerja sistem yang dibangun. Proses akuisisi citra akan dilakukan menggunakan perangkat lunak berbasis *Matlab* bersama kamera *DSLR* penangkap gambar dan *PC*. Proses akuisisi ini secara prinsip menggunakan mode radiografi namun diakuisisi dalam waktu mode radiografi, sehingga didapatkan sebuah gambar untuk sekali paparan pada obyek yang sama pada posisi yang sama.

Berbagai obyek phantom diujikan untuk mengetahui kinerja sistem. Untuk setiap phantom akan dikaji kualitas citra yang dihasilkan sebagai fungsi tegangan *kV* dan arus waktu *mAs*.

Suatu citra *X-ray* diagnostik diperoleh ketika sinar-*X* diaktifkan dan dibiarkan memapari obyek (tubuh phantom) sedemikian sehingga sebuah citra terbentuk pada *Intensifying Screen* pada tabung kedap cahaya. Sebuah citra diagnostik tubuh phantom diperoleh melalui proses digitisasi citra radiograf yang ditangkap oleh kamera *DSLR* dalam tabung kedap cahaya melalui perangkat kamera yang terprogram. Citra hasil digitisasi ini langsung dapat tersimpan atau tervisualisasikan di layar monitor kamera. Citra digital tersebut kemudian disimpan dalam memori penyimpanan pada *PC* sebagai file citra radiograf digital. Dalam penelitian ini, setiap citra radiograf digital yang diperoleh dilengkapi dengan fitur tambahan informasi rekam medis atau database lainnya, untuk keperluan identifikasi.

Untuk menjaga validitas citra dan data-data yang menyertai citra proses digitisasi dirancang untuk dilakukan oleh seorang operator atau radiografer. Selanjutnya, setelah citra diperoleh dan disimpan di dalam server, citra dapat diakses untuk dianalisis. Luaran adalah berbentuk laporan citra radiograf, yang dapat ditambahkan pada file citra digital.

Citra digital yang tersimpan di server dapat diakses, dieksplorasi dan diolah menggunakan perangkat lunak pengolah citra yang dikembangkan dan diintegrasikan berbasis *Matlab*. Sebuah program aplikasi komputer akan dibuat khusus untuk para radiolog guna membantu melakukan proses pencitraan medis. Diharapkan dengan *Matlab* tersebut dilengkapi dengan fitur-fitur image processing, pencetakan dan penyimpanan.

Namun, sebelum sistem radiografi digital ini dapat digunakan untuk keperluan pencitraan medis, kepada sistem radiografi digital itu perlu dilakukan uji kinerja dan validitas sistem. Untuk itu, akan dilakukan pengujian kinerja terhadap sistem pembangkit sinar-X, paparan radiasi, uniformitas berkas radiasi, dan linearitas kV-mAs. Kinerja pencitraan digital akan dikaji berdasarkan resolusi dinamik, resolusi ruang, kontras, kecerahan dan ketajaman citra.

Uji validitas dilakukan berbasis pada ketentuan-ketentuan spesifikasi medis minimum, misalnya resolusi ruang, dosis paparan radiasi, dan hasil dengan citra phantom.

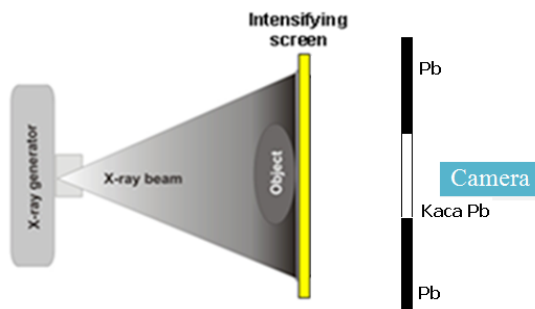
Luarannya adalah: model prototype sistem pencitraan radiografi digital, citra radiograf *stepwedge*, citra hewan uji atau *volunteer*, dan akhirnya rekomendasi untuk aplikasi medis. Sedangkan indikator luaran yang terukur adalah: kV, mAs, resolusi citra dan kontras citra.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rancang Bangun Sistem RD Berbasis Kamera Digital

Prinsip kerja sistem RD ini adalah memanfaatkan sinar-X (sinar tak tampak) yang bisa menembus obyek dan kemudian menerjang *intensifying screen* (IS) yang peka terhadap terpaan sinar-X. Pendaran pada IS karena terpaan sinar-X yang merupakan sinar tampak (*visual light*) tersebut, kemudian dipotret oleh kamera digital khusus yang bisa memotret citra pada cahaya minim dan resolusi tinggi.

Untuk merealisasikan model prototip sistem RD berbasis kamera digital yang telah dibuat memuat alat-alat yang harus terpasang, yaitu kamera DSLR D60S, kaca Pb (timbang) dengan tebal 1 cm, layar pendar berupa *Intensifying screen*, serta tabung kedap cahaya (Gambar 2). Fungsi alat atau unit tersebut adalah:



Gambar 2. Rancang bangun sistem RD berbasis kamera digital.

X-ray generator: untuk membangkitkan sinar-X (sinar tak tampak).

X-ray beam: memapari sinar-X pada obyek yang diarahkan oleh colimator, sehingga muncul gambaran pada IS karena intensitas sinar-X yang sampai ke IS tersebut tidak homogen.

IS: mengubah sinar-X menjadi sinar tampak, sehingga gambaran pada IS bisa dipotret oleh kamera digital. Sifat IS adalah peka terhadap sinar-X, pendaran IS sebanding dengan intensitas sinar-X yang menerpanya.

Kaca timbal: membendung terpaan sinar-X terhadap camera, dan meneruskan sinar tampak, sehingga gambaran yang berupa pendaran pada IS bisa dipotret dengan aman.

Kamera digital: menangkap atau memotret gambar yang terbentuk pada IS, dimana gambar tersebut bercahaya minim. Untuk itu perlu kamera khusus yang bisa memotret dalam keremangan dan resolusi tinggi. Kamera yang memenuhi persyaratan itu adalah kamera DSLR.

Radiograf Stepwedge Al

Stepwedge dengan bahan Al dengan 11 step, tebal setiap step 3 mm dijadikan obyek paparan sinar-X. Prototip model sistem RD menggunakan *intensifying screen* dan berbasis camera DSLR digunakan untuk memotret obyek tersebut, hasilnya berupa file radiograf digital yang bisa disimpan dan dipanggil kembali menggunakan PC. Adapun parameter pemotretan adalah sbb.:

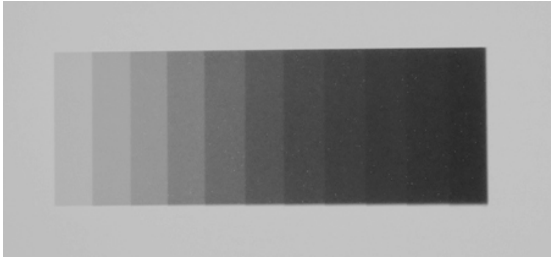
Faktor eksposi untuk sistem RK berturut-turut adalah: 70 kV, 32 mA dan 0.25 s.

Setting kamera DSLR adalah: *shutter speed* = 0.25 s, *aperture* = F/4, ISO = 15,600.

Hasil file radiograf dengan spesifikasi type, dimensions, size berturut-turut: JPEG Image, 5472x3648, 4.47 MB.

File radiograf secara visual langsung diobservasi dengan *light box*, terlihat bahwa 8/11 step bisa teramati, sedangkan dengan menggunakan angka-angka *gray scale* (software berbasis Matlab) bisa terbedakan sampai 10/11 step (lihat Gambar 3). Dari riset ini terlihat bahwa dengan menggunakan camera DSLR terjadi peningkatan yang berarti dibandingkan dengan sistem RD menggunakan camera CCTV pada riset sebelumnya (Susilo dkk., 2010). Ini sejalan dengan Jiang et al (2000), melaporkan tentang diagnosis berbantuan komputer menunjukkan potensi meningkatkan akurasi diagnosis, juga mempunyai potensi untuk mengurangi variabilitas antar radiolog

dalam menafsirkan citra.

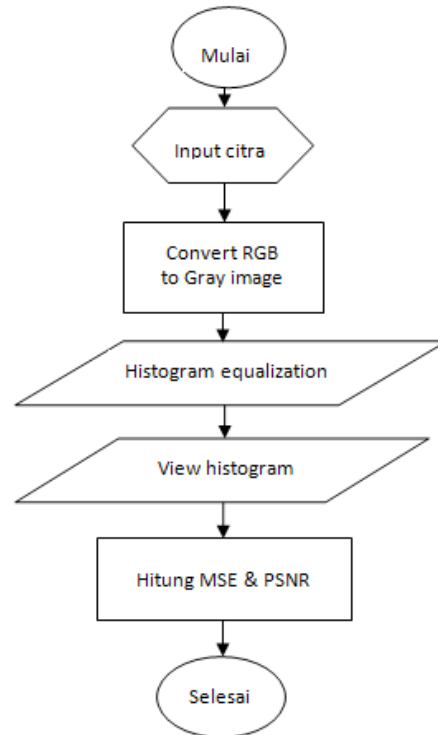


Gambar 3. Radiograf stepwedge hasil pemotretan menggunakan sistem RD

Program pengolah citra berbasis Matlab

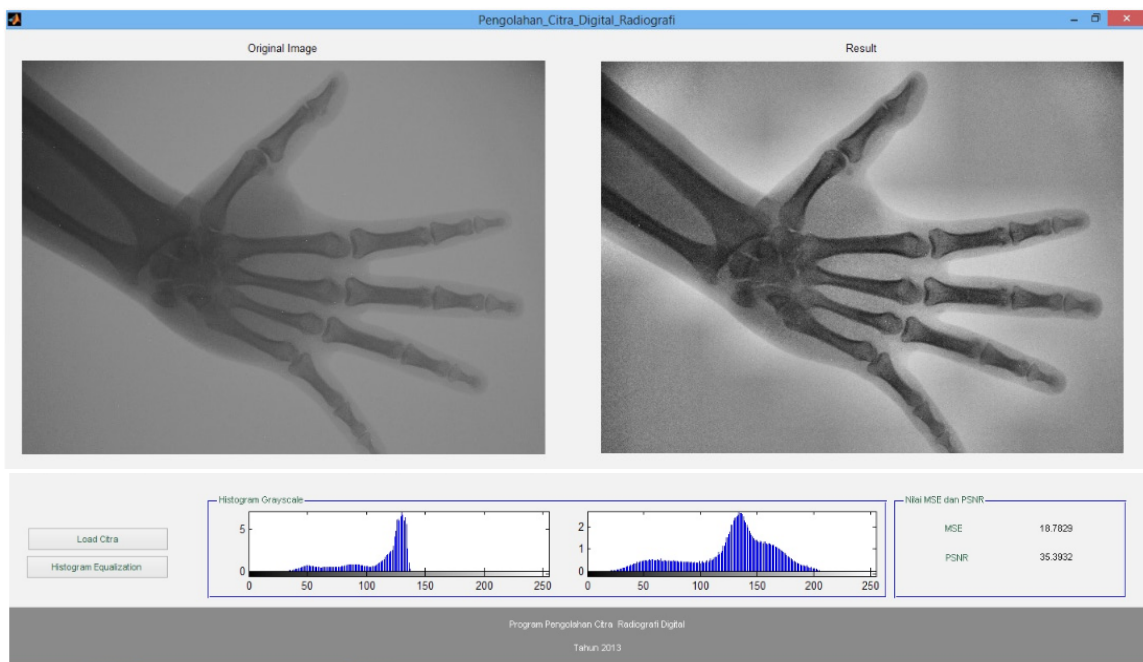
Matlab (*Matrix Laboratory*) merupakan salah satu bahasa pemrograman yang sekaligus bisa sebagai alat visualisasi, sehingga bisa digunakan oleh programmer yang menghendaki kepraktisan dalam membuat program. Untuk komputasi dan visualisasi program Matlab mempunyai fasilitas yang dikenal dengan nama GUI (*Graphics User Interface*), sehingga user mudah menjalankan suatu aplikasi program radiografi digital.

Untuk mengetahui program pengolahan citra menggunakan Matlab dapat digambarkan melalui diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 4, sedang listing program pengolahan citra radiograf digital dibuat dengan pemrograman GUI dari Matlab.



Gambar 4. Diagram alir pengolahan citra radiograf digital

Dengan pemrograman GUI dari Matlab ini dapat digunakan untuk perbaikan kontras citra radiograf digital serta sekaligus menghitung dan menampilkan histogram, MSE (*Mean square error*) dan PSNR (*Peak signal to noise ratio*). Tampilan citra asli dari paparan obyek,



Gambar 5. Tampilan citra asli dan hasil, histogram, MSE dan PSNR.



Gambar 6. Citra radiograf kaki volunteer



Gambar 7. Citra radiograf kaki volunteer yang dicrop dan di besarkan.

citra yang mengalami perbaikan kontras, histogram dan nilai parameternya ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5 terlihat secara visual terjadi perbaikan kontras, dengan membandingkan antara citra asli (*original image*) dan citra hasil perbaikan kontras (*result*). Juga bisa dilihat pada kedua histogram dibawahnya, serta secara kuantitatif tertera nilai $MSE = 18,7829$ dan $PSNR = 35,3932$ yang menunjukkan perbaikan yang berarti.

Detail radiograf dapat juga ditunjukkan dengan serat-serat yang tampak pada citra yang diamati (*region of interest – ROI*), sedang resolusi citra dapat ditunjukkan dengan menentukan ROI tertentu (*crop*) kemudian di

perbesar (*zoom*) sampai luasan tertentu, tetapi citra tetap tidak pecah (Gambar 6 dan Gambar 7). Ini menunjukkan bahwa file citra radiograf resolusi yang cukup tinggi, dibandingkan dengan hasil radiograf sebelumnya (Susilo dkk, 2007)

Uji coba sistem sebagai metal detector.

Model sistem RD ini juga dapat dicobakan untuk keperluan lain, pada kasus ini dicoba sebagai *metal detector* (deteksi logam/bom) dalam tas yang tertutup berisi tool set elektronik. Adapun faktor ekspose pada sistem RK saat itu adalah: 60 kV, 32 mA 0.25 s, sedang setting kamera DSLR yang sesuai adalah: shutter speed = 0.25 s, F = 4.0 dan ISO = 15,600. Hasil



Gambar 8. Model sistem RD sebagai *metal detector* untuk mendeteksi logam di dalam koper tertutup.

Tabel 1. Perbandingan studi file radiograf untuk RD 2010, CR Kodak di RSDK dan RD 2013

Study	RD 2010	CR di RSDK	RD 2013
Dimension	720x480	2048x2500	5184x3456
Size	0,98x MB	9,76 MB	5,30 MB
Type	Bitmap image	Dicom	JPEG image
Sensor radiograf	CCD Camera	Image plate	DSLR Camera
Biaya	Terjangkau	Sangat mahal	Terjangkau

Catatan:

CR di RSDK: sistem Computed Radiography di Rumah Sakit Dr.Kariadi Semarang.

Size (memory): untuk RD 2013 jauh lebih besar dibanding RD 2010, tetapi masih dibawah CR, karena type file untuk CR adalah DICOM dan file DR adalah JPEG dimana metode kompresi citra tersebut berbeda.

ekspose dengan sinar-X ditunjukkan sebagai file radiograf yang bisa disimpan dan ditampilkan kembali seperti pada Gambar 8.

Uji banding dengan studi lain.

Berdasarkan studi file radiograf terhadap riset sebelumnya didapat rangkuman perbandingan seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Dari ketiga studi tersebut, sistem RD 2013 berbasis kamera DSLR paling efisien dan ekonomis, sehingga mempunyai potensi untuk dikembangkan. Ini sejalan dengan maksud pemerintah untuk mengurangi ketergantungan produk medik impor dan mendorong perkembangan industri peralatan medik dalam negeri (UU No 18 Tahun 2002).

PENUTUP

Melalui studi ini dapat ditunjukkan bahwa proses digitalisasi citra radiografi menggunakan *intensifying screen* berbasis kamera digital dapat menentukan karakteristik sistem RD, dan dapat menghasilkan citra tulang tangan dengan kontras, detail yang meningkat serta resolusi tinggi.

Berdasarkan riset ini pula diperoleh pemahaman bahwa proses digitisasi dapat dilakukan dengan komponen yang tersedia dan mudah diperoleh di pasar domestik. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai landasan rekomendasi untuk meningkatkan kinerja fasilitas radiografi menggunakan *intensifying screen* berbasis kamera digital DSLR

yang mampu diadakan oleh RS Daerah atau Puskesmas di Indonesia sebelum mempertimbangkan untuk melakukan investasi berupa pengadaan sistem radiografi digital lain yang mahal. Berdasar kajian ini pula maka model sistem RD ini bisa dikembangkan untuk penanganan mitigasi bencana, handal dan bisa ditangani sendiri oleh sumber daya manusia Indonesia serta bebas polusi zat kimia (tanpa film), sesuai pesan konservasi Unnes..

Untuk kepentingan keilmuan dan berdasar studi awal, system pencitraan radiografi digital mobile disarankan untuk dilanjutkan dan dipertimbangkan sebagai salah satu sistem radiografi digital yang murah, handal dan bisa ditangani.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada Dirjen Dikti melalui Program Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi tahun 2013 sebagai penyandang dana sehingga terlaksanakannya riset tersebut, ini sesuai dengan surat perjanjian pelaksanaan Penelitian Desentralisasi Nomor: 1.14.5/PPK.3.1/2013, Tanggal 14 Mei 2013.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous, 2012. Daftar Barang/Peralatan Pengadaan Peralatan Laboratorium MIPA, FBS, PTIK Universitas Negeri Semarang. PT Caturindo Karsa Manunggal Utama.
- Anonymous. 2009. The mobile diagnostic X-ray machine – The user manual, Type SF100 BY, Shanghai Guang Zheng medical instrument limited company.
- Hennigs, S.P., Jonas Swanpalmer, Ragnar Kullenberg, Thomas Hansson, 2001, "Digital chest radiography with a large-area flat-panel silicon x-ray detector: clinical comparison with conventional radiography", *European Radiology* 2001;11(9):1688-96.
- Jiang Sunshine, Margulls Alexander, Jonathan P.D., 2001, "Potential of computer-aided diagnosis to reduce variability in radiologists interpretation of mammograms depicting microcalcifications". *Radiology* 2001, 220:787-794.
- Kusminarto, G.B. Suparta, B. Supardiyono dan Bagaswoto, 1995, "Sistem Radiografi Fluoresens Digital", Laporan penelitian, Riset Unggulan Terpadu II.
- Kusminarto, G.B. Suparta, B. Supardiyono dan Bagaswoto, 1996, "A Noise reduction and image correction for inhomogeneity of the x-ray beam in a digital fluorescence x-ray radiography system", *Proceeding, The international conf. On Microelectronics*, Bandung.
- Linua Margulls, Jonathan Sunshine, Klaus Mathias, 2000. Diagnosis of gastric cancers: comparison of conventional radiography and digital radiography with a 4 millions-pixel charge-coupled device. *Radiology* 2000, 214:497-502.
- Ludwig Karl, Horst Lenzen, Friedrich Kamm, thomas M. Link, stefan Diederich, Dag Wormanns, and Halter Heindel, 2002. Performance of a flat-panel detector in detecting artificial bone lesions: Comparison with Conventional Screen-film and storage –phosphore radiography. *RSNA 2002*; 222:453-459.
- Marietta Garmer, Svenja Hennigs, Horst Jager, Felicitas Schrick, Thomas van de Loo, Andreas Jacobs, 2000. Digital radiography versus conventional radiography in chest imaging. *AJR* 2000; 174:75-80.
- Moenir, A.A., 2000, "Perekayasaan dan pengembangan teknologi pesawat sinar-x untuk diagnose", *Laporan Penelitian*, Program Terpilih Proyek Pembinaan Kelembagaan dan Program Nuklir, BATAN.
- Peer, S, R. Peer, S.M. Giacomuzzi, W. Jaschke, 2001. Comparative Rejest Analysis in Conventional Film-screen and Digital Storage Phosphor Radiography. *RPD* 2001; 94:69-71.
- Pongtuluran, M.P., G.B. Suparta, A. A. Moenir, B.T. Wahjuadi, R. Mamentu, D. Keliat, M. Gandatua, 2000, "Perbaikan/Modifikasi Peralatan x-ray untuk produksi "aluminium wheel", Laporan Proyek, PMBI BATAN-PT Pakoakuina.
- Suparta, G.B., Isaris, R., Moenir, A.A. and Pongtuluran, M.M., 2000, "Restoration of Real-time Radiographic System for Industry in Indonesia", *Proceeding, The 15th WCNDT, Roma, Italy*, 15-21 October.
- Suparta, G.B., A.A. Moenir, dan I K Swakarma, 2005, "Sistem Radiografi Digital untuk Medis", *Proceeding, The Kentingan Physics Forum 2005, UNS Solo*, 24 September 2005.
- Suparta, G.B., Wahyu Setia Budi, Kusminarto, Susilo, 2007. Diagnose osteoporosis tulang dengan pencitraan radiografi digital sebagai pengganti bone densitometer, Laporan penelitian Insentif Riset Terapan, tahun ke-1 – KMNRT.
- Susilo, Isa Akhlis, Kusminarto, Gede Bayu Suparta, 2007. Pengembangan sistem radiografi digital untuk pemeriksaan medis. Laporan penelitian Hibah Bersaing. DIKTI.
- Suparta, G.B., Wahyu Setia Budi, Kusminarto, Susilo, 2008. Diagnose osteoporosis tulang dengan pencitraan radiografi digital sebagai pengganti bone densitometer, Laporan penelitian Insentif Riset Terapan, tahaun ke-2– KMNRT.
- Susilo, Sunarno, Mohamad Azam, Khoirul Anam. 2009. Rancang bangun sistem pencitraan Radiografi Digital untuk pengembangan layanan RS Daerah dalam pelaksanaan otonomi daerah dan desentralisasi. Laporan

- penelitian Hibah Unggulan Strategis Nasional – tahun ke-1. DP2M – DIKTI.
- Susilo, Sunarno, Evi Setiowati, Lilik Lestari. 2010. Rancang bangun sistem pencitraan Radiografi Digital untuk pengembangan layanan RS Daerah dalam pelaksanaan otonomi daerah dan desentralisasi. Laporan penelitian Hibah Unggulan Strategis Nasional – tahun ke-2. DP2M – DIKTI.
- Tony P. Smith, Mark Ryan, Brian Brodwater, 2002. Comparison of the diagnostic capabilities of conventional film-screen and digital angiography. *Chest* 2002;122: 968-972.