

LAPORAN TEKNIS 2015

06/AIR 2/OT 02 02/01/2016

DATA RISET UJI MATERIAL

Sigit Budi Santoso, Sugiharto, Wibisono, Kushartono, Djoli
Soembogo, Lili Arlina Bardan, Namad, dan Harun Al Rasyid



**PUSAT APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL
2016**

LAPORAN TEKNIS 2015

06/AIR 2/OT 02 02/01/2016

DATA RISET UJI MATERIAL

Sigit Budi Santoso, Sugiharto, Wibisono, Kushartono, Djoli Soembogo, Lili Arlina Bardan, Namad, dan Harun Al Rasyid

Mengetahui/Menyetujui

Kepala Bidang Industri dan Lingkungan



Dr. Sugiharto, MT
NIP. 19620705 198510 1 002

Kepala Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi



Dr. Hendig Winarno, M.Sc
NIP. 19600524 198801 1 001

DATA RISET UJI MATERIAL

Sigit Budi Santoso^{1*}, Sugiharto¹, Wibisono¹, , Kushartono¹, Djoli Soembogo¹, Lili Arlina Bardan¹, Namad¹, dan Harun Al Rasyid Ramadhany¹

¹Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi, PATIR-BATAN, Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta 12440.

*E-mail: sigit.bs99@batan.go.id.

ABSTRAK

Pada tahun 2015, kegiatan penelitian meliputi pengadaan komponen Fluoroscopi, Uji coba penggunaan Computed Radiography (CR) untuk memeriksa logam, Aplikasi radiotracer untuk pengukuran aliran fluida, dan teknik gamma tomography dengan metode parallel beam untuk mendiagnosa internal structure unit proses. Peralatan Radioscopy yang mengadopsi desain IAEA Fluoroscope 5012 sudah berhasil dibuat di PRFN Batan dan telah dicoba di Laboratorium NDT di PAIR. Hasil citra digital dari Radioscopy dapat menampilkan IKB kawat ASTM tetapi penerapan teknik dan evaluasi mutu citra digital belum mengacu kepada standar ISO17636-2 dan ISO19232. Hasil citra digital dari pemeriksaan logam dengan menggunakan Computed Radiography dengan sumber radiasi Se-75 mencapai level kelas A standar ISO19232. Pada penelitian aplikasi radiotracer untuk pengukuran aliran fluida, radiotracer ^{99m}Tc diinjeksikan kedalam pipa berdimensi 3 inci berisi aliran air yang disuplai dari tangki air bervolume 2500 liter yang selalu terisi penuh. Aliran air di dalam pipa dibawah pengaruh gravitasi dan aliran diasumsikan tunak. Dua dari empat detektor sintilasi terkolimasi yang masing-masing ditempatkan pada jarak 7 dan 10 m dari titik injeksi digunakan untuk memperoleh data RTD. Hasil perhitungan menggunakan metode waktu tinggal rata-rata menunjukkan bahwa kecepatan aliran air di dalam pipa adalah 0,128 m/detik. Simulasi hidrodinamika menggunakan model bejana berderet menunjukkan bahwa 'best fitting' tercapai manakala nilai parameter model, $N = 4$ nilai dan bilangan Reynolds untuk aliran air adalah 7476 menunjukkan tingkat pencampuran aliran air di dalam pipa cukup tinggi. Pada penelitian Gamma Tomography", Sumber gamma Cs-137 sebagai sumber radiasi dan detector sintilasi dikolimasi menggunakan timah hitam berturut-turut panjang, lebar, dan tinggi 120 mm, 100mm dan 100mm. Jendela kolimasi berbentuk slinder dengan diameter 4mm. Scan resolusi 2-100mm dikendalikan secara digital dengan program aplikasi computer berbasis labView. Hasil pengukuran terhadap objek papaya, labu, dan pipa berisi air dan miyak menunjukan gambar dua dimensi objek dalam gradasi warna relative terhadap komposisi materialnya.

Kata kunci: *Advanced NDE, Radiografi Digital, Radiografi berbasis film, Fluoroscopi, Radioscopy, Computed Radiography, Computed Tomography, aliran fluida, fasa tunggal, radiotracer, model bejana berderet, Gamma Tomography.*

1. PENDAHULUAN.

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR) mempunyai tugas salah satunya adalah melaksanakan pengembangan aplikasi teknologi isotop dan radiasi di bidang Sumber Daya Alam & Lingkungan. Salah satu teknologi yang dikembangkan di bidang Sumber Daya Alam & Lingkungan adalah Uji Tak Merusak khususnya radiografi. Kini Uji Tak Merusak sudah berkembang pesat ke arah integrasi berbagai metode, digitalisasi dan otomatisasi yang kemudian dikenal dengan nama "Advanced NDT" untuk memecahkan masalah/menguji material baik dalam proses pembuatan, konstruksi maupun perawatan di instalasi yang sedang beroperasi. Saat ini, penggunaan Advanced NDT di Indonesia dinilai masih mahal ditinjau dari sisi ekonomi padahal pemanfaatan Advanced NDT di dunia kini semakin tinggi dan sudah terstandarisasi. PATIR sebagai lembaga riset perlu membangun infrastruktur dan mengembangkan metode Uji Tak Rusak terutama Radiografi Digital & "Computed Tomography", Radiotracer dan Gamma Tomography serta metode Uji Tak Rusak lainnya diantaranya phased array, eddy current, magnetic particle, dye penetrant, thermography yang berguna untuk riset, pelatihan dan ujian sertifikasi personel Uji Tak Rusak dengan mengacu kepada ISO 17024 dan SNI ISO 9712:2008.

Pada tahun 2015, kegiatan penelitian meliputi pengadaan komponen Fluoroscopy, Uji coba penggunaan Computed Radiography (CR) untuk memeriksa logam, Aplikasi radiotracer untuk pengukuran aliran fluida, dan teknik gamma tomography dengan metode parallel beam untuk mendiagnosa internal structure unit proses.

1.1 Radioscopy dan Computed Radiography

Kegiatan penelitian Fluoroscopy (Radioscopy) terkait dengan proyek RAS untuk Non-Destructive Testing (Uji Tak Merusak) yang terdiri dari *RAS/08/110" (2009-2011) "Applying Advanced Digital Industrial Radiology and Computed Tomography in Industry and Civil Engineering", RAS/1/013" (2012-2013) "Supporting Advanced Non-Destructive Examination for Enhanced Industrial Safety, Product Quality and Productivity* dan *RAS1020 – "Building Capacity for Applications of Advanced Non-Destructive Evaluation Technologies for Enhancing Industrial Productivity"* periode (2015-2017), dan *Technical Cooperation INS1025- "Building Capacity on Advanced Non-Destructive Testing and Personnel Certification for enhancing safety, reliability & productivity" (periode 2014-2015)"*. Status penguasaan dan pengembangan DIR & CT di Indonesia sangat tertinggal dibandingkan negara di kawasan regional ASEAN seperti Malaysia sehingga percepatan pengadaan peralatan dan penguasaan DIR & CT harus diprioritaskan.

Kegiatan penelitian pada tahun 2015, peralatan radioscopy telah berhasil dibuat di PRFN dengan mengacu kepada desain IAEA Fluoroscope5012 [1]. Peralatan telah diuji di laboratorium Advanced NDE PAIR dan berhasil menampilkan IKB kawat ASTM. Selain itu, radiografi digital dengan menggunakan CR dan film serta sumber radiasi Se-75 dilakukan untuk mengetahui kelas mutu yang dapat dicapai oleh kedua teknik tersebut.

1.2 Radiotracer

Aliran fluida fasa tunggal banyak dijumpai dalam industri dan lingkungan. Aliran fluida di dalam industri umumnya diukur menggunakan alat ukur kecepatan atau tekanan aliran. Untuk menjaga akurasi, alat ukur dalam industri harus dikalibrasi secara berkala atau diganti dengan yang baru. Untuk karakterisasi parameter besaran aliran fluida di dalam system menggunakan konsep distribusi waktu tinggal (*RTD-Residence Time Distribution*) yang diperoleh dari injeksi radiotracer telah lama digunakan [2]. Radiotracer pemancar sinar gamma dapat digunakan untuk berbagai aplikasi karena radioperunut pemancar sinar gamma dapat dideteksi dengan sensitivitas tinggi, pengukuran dapat dilakukan di tempat dimana eksperimen dilakukan, banyak pilihan energi isotop yang tersedia, bahan radiotracer banyak yang kompatibel dengan material yang dirunut dan radiotracer dapat diaplikasikan dalam sistem yang kurang bersahabat seperti lingkungan panas dan tekanan tinggi [3-5].

Data RTD hasil pengukuran digunakan untuk menganalisis perilaku hidrodinamika sistem. Di dalam percobaan-percobaan skala pilot, data RTD digunakan untuk mengoptimasi parameter-parameter rancangan sistem seperti tekanan, aliran, konstruksi dan material yang terlibat dalam proses. Dalam aplikasi, data RTD dapat juga digunakan untuk mengidentifikasi penyimpangan-penyimpangan fungsi aliran dan untuk mengkualifikasi tingkat pencampuran material di dalam skala pilot maupun skala industri [6,7].

Untuk mendapatkan informasi yang lebih detil tentang perilaku suatu aliran maka diperlukan pemodelan matematika yang dikombinasikan dengan data RTD. Pemodelan matematika yang dapat digunakan untuk menginterpretasi aliran fluida adalah model bejana berderet (*tank-in-series model*) dan model dispersi aksial. Model-model ini dapat digunakan untuk menguji performa suatu sistem. Beberapa penelitian yang menggunakan model bejana berderet dan model dispersi aksial telah dikompil dan dipublikasikan [8]. Disamping itu model dispersi aksial telah digunakan untuk mempelajari perilaku aliran di dalam reaktor *trickle bed* [9], *packed column* [10] dan riser reaktor [11]. Model bejana berderet telah pula digunakan untuk mempelajari aliran di dalam sistem multifasa [12].

Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari perilaku hidrodinamika aliran air di dalam pipa baja berdiameter 3 inci. Perhitungan laju aliran dilakukan menggunakan prinsip waktu tinggal rata-rata (*MRT-Mean Residence Time*) yang umumnya memberikan hasil yang lebih akurat dibanding dengan metode *peak-to-peak*. Untuk memperoleh gambaran tentang perilaku aliran, diasumsikan bahwa radioperunut yang diinjeksikan mengalir bersama-sama dengan air di dalam pipa dan aliran mengikuti model bejana berderet atau model dispersi aksial. Hasil simulasi dengan cara *curve fitting* antara data RTD eksperimen dengan data RTD model digunakan untuk

mendeskripsikan perilaku aliran di dalam pipa. Tingkat turbulensi aliran dihitung menggunakan bilangan Reynolds.

1.3 Gamma Tomography

Peralatan gamma tomography terus dikembangkan untuk menjawab permintaan end user dalam bidang industry proses. Teknik uji tak rusak ini sangat disukai karena dapat memberikan informasi hasil diagnose dalam bentuk gambar dua dimensi. Aplikasi teknik nuklir ini dilakukan untuk menginvestigasi malfungsi unit proses pada saat online. Pada tahap ini penelitian ditargetkan untuk menginvestigasi objek berdiameter kurang dari 2000 mm seperti pipa atau pun heat exchanger.

2. BAHAN DAN EXPERIMEN.

2.1 Radioscopy dan Computed Radiography

Bahan/Komponen/Material: Film, Developer, Fixer, Imaging Plate (IP), Plat Fluorescent, Camera, Lensa, Timbal, dan Plat alumunium.

2.2 Radiotracer

Isotop yang digunakan dalam percobaan ini adalah isotop ^{99m}Tc . Isotop ^{99m}Tc diperoleh dalam bentuk larutan cair yang diproduksi dari generator ^{99}Mo . Sifat-sifat isotop ^{99m}Tc diperlihatkan dalam Tabel dibawah ini [13].

Sifat-sifat isotop ^{99m}Tc .

Radionuklida	Waktu paro (jam)	Energi sinar γ (keV)	Bentuk kimia
^{99m}Tc	6,02	141 (89,1%)	Larutan cair.

2.3 Gamma Tomography

Bahan/Komponen/Material: Sumber radiasi tertutup Cs-137, detektor sintilasi, papaya, labu, air, miyak dan pipa.

3. Percobaan

3.1 Radioscopy dan Computed Radiography

3.1.1 Radioscopy dan Computed Radiography

Peralatan Radioscopy Fluoroscope5012 diuji di laboratorium Advanced NDE PAIR pada tanggal 17 Nopember 2015 bersamaan dengan kehadiran Expert IAEA dari BAM Jerman Prof. Dr. Uwe Ewert. Sumber radiasi yang digunakan yaitu PESAWAT SINAR-X RIGAKU RF 300 EGM2.

Sampel yang diperiksa yaitu Stepwedge Carbon Steel dan IKB (IQI) yang digunakan yaitu ASTM. Pada percobaan ini, teknik dan evaluasinya belum mengacu kepada standar ISO17636-2 dan ISO19232 melainkan baru sebatas untuk melihat ada tidaknya IKB yang dipasang pada sampel stepwedge dan gradasi nilai abu-abu dari citra digital yang diperoleh.



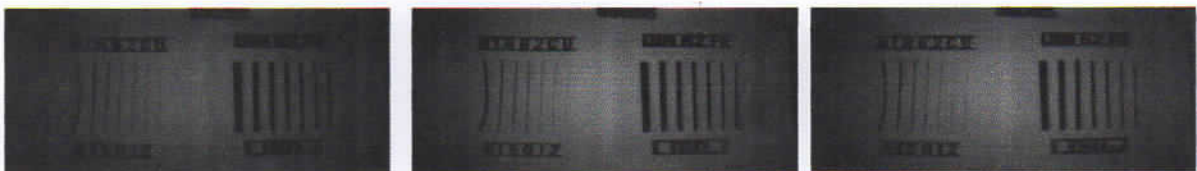
Gambar 1. Set-up percobaan Radioscopy, Sumber X-ray dan Sampel Stepwedge



Gambar 2. Sampel stepwedge yang dipasang pada posisi melekat dengan Radioscopy Fluoroscope5012.



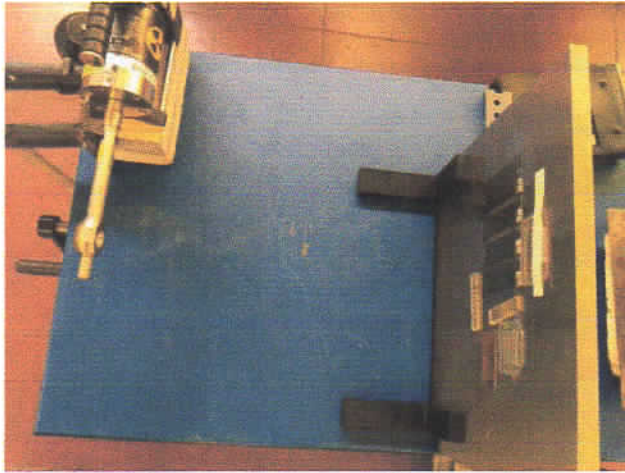
Gambar 3. Hasil Citra digital dari Radioscopy Fluoroscope5012.



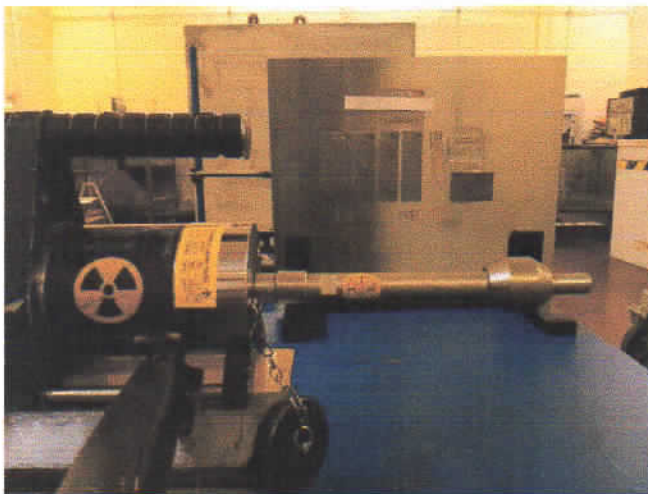
Gambar 4. Hasil Citra digital dari Radioscopy Fluoroscope5012 dan sampel IKB ASTM.

3.1.2 Computed Radiography

Radiografi digital dengan menggunakan CR (Scanner Duerr HD_CR 43 NDT), Sumber radiasi Se-75 dan sampel plat logam stainless steel tebal 19,1 mm dilakukan di BAM, Berlin, Jerman pada tahun 2015. Set-up peralatan dan sample plat termasuk IKB yang digunakan tampak di Gambar 5, 6 dan 7. Teknik dan evaluasi mutu citra digital pada percobaan ini mengacu kepada standar ISO17636-2 dan ISO19232.



Gambar 5. Set-up percobaan CR dengan sumber radiasi Se-75 dan sampel plat stainless steel dilihat dari atas. Lokasi BAM, Berlin, Jerman.



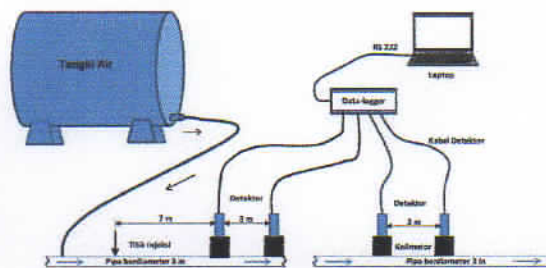
Gambar 6. Set-up percobaan CR dengan sumber radiasi Se-75 dan sampel plat stainless steel dilihat dari depan sumber dan sampel plat stainless steel. Lokasi BAM, Berlin, Jerman.



Gambar 7. Sampel plat stainless steel dan IKB ISO duplex, IKB ISO kawat dan IKB EPS. Lokasi BAM, Berlin, Jerman.

3.2 Radiotracer

Eksperimen, seperti diperlihatkan pada gambar 1, dilakukan dengan cara menginjeksikan secara cepat isotop ^{99m}Tc (waktu paro: 6 jam dan energi gamma 141 keV) ke dalam pipa berdiameter 3 inci berisi air yang disuplai oleh tangki logam bervolume 2500 liter yang selalu terisi penuh. Air mengalir dari tangki ke dalam pipa secara gravitasi. Di ujung pipa dipasang *valve* dan selang plastik untuk mengatur keluaran air sedemikian rupa sehingga debit air yang keluar dari selang plastik sama dengan debit air yang masuk ke dalam pipa. Panjang total pipa dari tangki air ke selang plastik adalah sekitar 100 m.



Gambar 8. Injeksi isotop ^{99m}Tc ke dalam pipa berisi air mengalir.

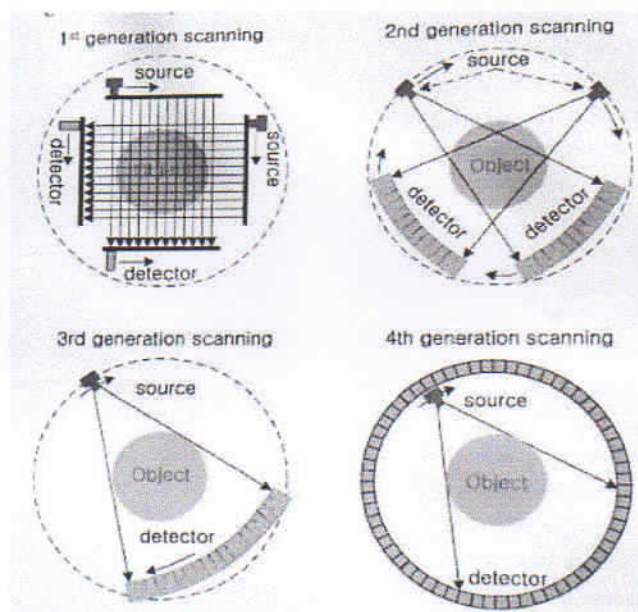
Gerakan radiotracer ^{99m}Tc bersama air di dalam pipa dimonitor oleh empat detektor sintilasi (Ludlum Measurement, USA) terkolimasi yang dipasang masing-masing pada jarak 7, 10, 12 dan 15 m dari titik injeksi. Detektor pertama sampai detektor keempat dinotasikan dengan D1, D2, D3 dan D4. Penempatan detektor pertama harus berjarak >50 kali diameter pipa agar

radiotracer memenuhi kondisi aliran penuh (*fully developed flow*) sehingga data RTD yang diperoleh dapat dianalisis menggunakan model matematika [2]. Tiap detektor terkoneksi dengan data-logger 12 kanal. Dalam eksperimen ini data logger telah diset untuk merekam sebanyak 900 data dengan interval pengukuran setiap 1 (satu) detik. Konsentrasi radioperunut dimonitor hingga intensitas radiasi yang dipancarkan mencapai kondisi latar. Data hasil pencacahan selanjutnya di transfer ke komputer untuk dianalisis. Normalisasi data RTD dilakukan di awal sebelum disimulasi [13]. Karena aliran fluida hanya dipengaruhi oleh gaya gravitasi dan dianggap konstan maka data eksperimen yang diolah cukup diwakili oleh data yang dihasilkan oleh detektor yang dipasang pada jarak 7 dan 10 m saja dari titik injeksi.

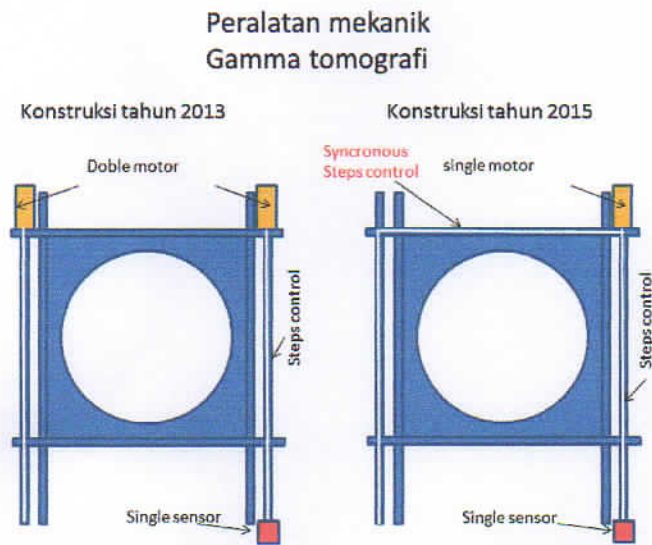
3.3 Gamma Tomography

Metode pengukuran yang dikembangkan pada penelitian ini pengukuran generasi pertama yaitu pengukuran men-scan objek secara paralel. Gambar 9. Sumber 10 mCi Cs-137 dikolimasi dengan timah hitam dengan ukuran 110mm x 100mm x 100mm serta lubang dengan diameter 4mm serta kedalaman 50mm. Sebuah detector sintilasi dikolimasi dengan dimensi yang sama tetapi diameter lubang 4mm dan kedalaman 26mm. Keduanya di control secara digital dengan resolusi minimal 2mm. Intensitas gamma diukur menggunakan Ludlum seri 2200 dengan waktu cacah 3 detik dan tegangan kerja 1000 Volt. Gambar 10.

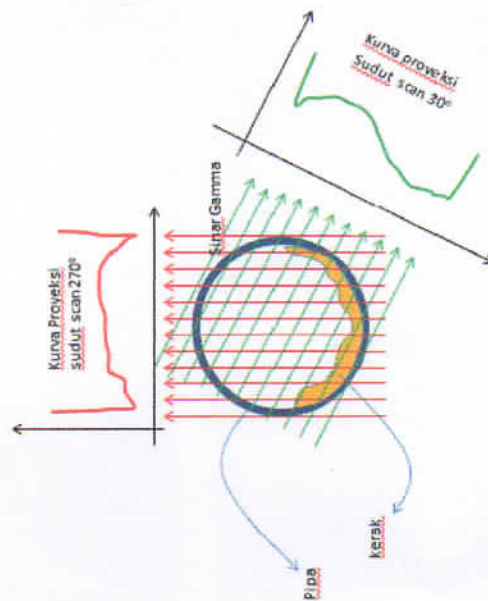
Hasil scan terdiri dari 48 scan proyeksi dengan resolusi 2mm dan waktu pengukuran 3 detik. Sumber dan detektor secara paralel men-scan objek pada arah 0° . kemudian diulangi pada arah $7,5^\circ$, $15,0^\circ$, dan seterusnya sampai $360,0^\circ$. Gambar 11.



Gambar 9. Metode scan gamma tomography



Gambar 10. Pengembangan single motor gamma tomography



Gambar 11. Scan orientasi gamma tomography

4. HASIL DAN PEMBAHASAN.

4.1 Radioscopy Fluoroscope5012 dan Computed Radiography (CR)

Hasil percobaan dengan menggunakan Radioscopy Fluoroscope5012 dengan sumber radiasi Sinar X dan sampel stepwedge dan IKB ASTM dapat menampilkan gradasi stepwedge dan IKB ASTM. Pada percobaan ini, teknik dan evaluasi mutu citra yang mengacu kepada standar ISO17636-2 dan ISO19232 belum diterapkan sehingga capaian keberterimaan mutu citra hasil dari Radioscopy ini belum dapat ditentukan. Penerapan teknik dan evaluasi mutu citra dari alat ini akan dilakukan pada tahun 2016.

Standar keberterimaan yang digunakan pada percobaan ini adalah ISO17636. Tabel 1 menunjukkan Ukuran IKB minimum dari Kawat, Lubang dan Duplex yang harus terlihat untuk memenuhi kriteria keberterimaan standar tersebut.

Tabel 1: Ukuran IKB minimum dari Kawat, Lubang dan Duplex yang harus terlihat untuk memenuhi kriteria keberterimaan standar

Table 1: IKB minimum dari Kawat, hole and duplex IQI sizes to be detected to meet code requirements

Tebal	ISO 17636-2 (Class B)				ISO 17636-2 (Class A)			
	Wire IQI	Holes IQI	Duplex IQI	SNRN	Wire IQI	Holes IQI	Duplex IQI	SNRN _N
19,1 mm	0,20 mm (W13)	0.40 mm (H6)	0,20 mm (D10)	100	0,32 mm (W11)	0,63 mm (H8)	0,32 mm (D8)	70

Parameter Set-up Percobaan divariasi mencakup jarak Sumber ke IP dan waktu sebagaimana dapat dilihat di Tabel 2.

Tabel 2: Parameter Set-up Percobaan

Test #	SFD (mm)	CI	Exposure time (menit)	CI-min
1	500	31	7,5	232,5
2	500	31	15	465
3	500	31	30	930
4	500	31	60	1860
5	500	31	120	3720

6	500	31	240	7440
7	500	31	480	14880
8	880	31	240	2401,86

Hasil evaluasi (Tabel 3) menunjukkan bahwa Set-up percobaan dengan menggunakan IP (Scanner Duerr HD CR 43 NDT) sebagai penerima tersebut tidak memenuhi persyaratan keberterimaan ISO17636-2 Class B melainkan hanya Class A dengan waktu paparan (penembakan) lebih besar dari atau sama dengan 60 menit. Pada paparan kurang dari 60 menit, plat lubang yang tampak kurang dari yang dipersyaratkan.

Keterangan:

Y: Ya memenuhi syarat (Ya diterima)

Y+1: Ya memenuhi syarat melebihi yang dipersyaratkan (misalnya IKB kawat minimum yang harus tampak W11 tetapi hasilnya tampak W12). Untuk IKB lubang justru sebaliknya (misalnya IKB lubang yang harus tampak H8 tetapi hasilnya tampak H7).

N: Tidak memenuhi syarat (Tidak diterima).

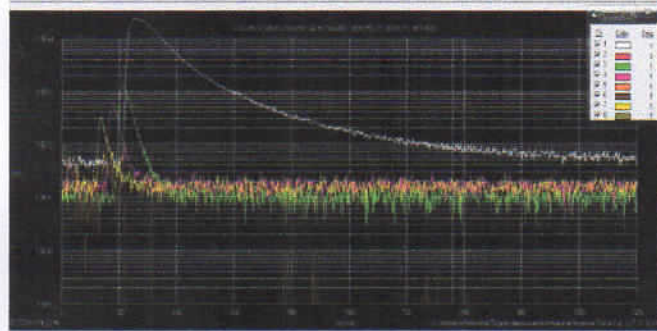
N-1: Tidak memenuhi syarat kurang dari yang dipersyaratkan (misalnya IKB minimum yang harus tampak W12 tetapi hasilnya tampak W11). Untuk IKB lubang justru sebaliknya (misalnya IKB lubang yang harus tampak H8 tetapi hasilnya tampak H9).

Table 3. Hasil evaluasi dengan Scanner Duerr HD_CR 43 NDT, Cassette 18x24 cm², 0,1mm Cu back (EPS)

Test #	Hasil Evaluasi									Kesesuaian terhadap ISO 17636-2 Class B					Kesesuaian terhadap ISO 17636-2 Class A				
	Wire IQI	Hole IQI	Wire duplex IQI 1	Plate duplex IQI 2	SR _B (mm)	SNR _w	ISR _B (mm)	iSNR _w	GV	Wire IQI	Hole IQI	Wire duplex IQI	Wire duplex x IQI2	SNR _H	Wire IQI	Hole IQI	Wire duplex IQI 1	Plate duplex IQI 2	SNR _H
										W13 (0,20 mm)	H6 (0,40 mm)	D10 (0,20 mm)	D10 (0,20 mm)	100	W11 (0,32 mm)	H8 (0,63 mm)	D8 (0,32 mm)	D8 (0,32 mm)	70
1	W11	H9	D10		0,1	63,2	0,085	74,4	1001	N-2	N-3	Y	Y+1	N	Y	N-1	Y+2	Y+3	N
			D11		0,08	76,9	0,085	72,4		N				N		N-1			N
2	W11	H9	D10		0,1	64,1	0,106	60,5	1003	N-2	N-3	Y	Y	N	Y	N-1	Y+2	Y	N
			D11		0,08	79,1	0,09	70,3	1009	N-2				N		N-1		Y	N
3	W12	H9	D10		0,1	104	0,113	91,8	4465	N-1	N-3	Y	Y	Y	Y+1	N-1	Y+2	Y+2	Y
			D10		0,1	100	0,105	95,4	4257	N-1	N-3	Y	Y	Y	Y+1	N-1	Y+2	Y+2	Y
4	W11	H8	D10		0,1	113	0,111	102	8277	N-2	N-2	Y	Y	Y	Y	Y	Y+2	Y+2	Y
			D11		0,08	139	0,089	125	8242	N-2	N-2	Y	Y	Y	Y	Y	Y+2	Y+2	Y
5	W12	H8	D10		0,1	123	0,109	113	14654	N-1	N-2	Y	Y	Y	Y+1	Y	Y+2	Y+2	Y
			D10		0,1	122	0,105	116	14465	N-1	N-2	Y	Y	Y	Y+1	Y	Y+2	Y+2	Y
6	W12	H8	D10		0,1	125	0,109	115	28684	N-1	N-2	Y	Y+1	Y	Y+1	Y	Y+2	Y+2	Y
			D11		0,08	160	0,092	139	28506	N-1	N-2	Y	Y+1	Y	Y+1	Y	Y+2	Y+2	Y
7	W12	H8	D10		0,1	127	0,108	118	50453	N-1	N-2	Y	Y	Y	Y+1	Y	Y+2	Y+2	Y
			D10		0,1	121	0,103	118	50415	N-1	N-2	Y	Y	Y	Y+1	Y	Y+2	Y+2	Y
8	W12	H8	D10		0,1	102	0,104	98,2	10041	N-1	N-2	Y	Y	Y	Y+1	Y	Y+2	Y+2	Y
			D10		0,1	113	0,103	110	10108	N-1	N-2	Y	Y	Y	Y+1	Y	Y+2	Y+2	Y

Hasil evaluasi (Tabel 4) menunjukkan bahwa Set-up percobaan dengan menggunakan film sebagai penerima dan dilihat dengan menggunakan viewer memenuhi persyaratan keberterimaan ISO17636-2 Class A dan B (hanya sebagian yang memenuhi persyaratan Class B – warna hijau penanda memenuhi persyaratan).

konsentrasi radioperunut yang melintas dibawah detektor, efisiensi detektor dan konstruksi geometri kolimator. Koreksi cacahan radiasi terhadap cacahan latar tidak dilakukan karena waktu paruh isotop ^{99m}Tc jauh lebih lama dibandingkan lamanya waktu eksperimen, yang hanya 10 menit. Sifat-sifat yang berkaitan dengan aliran fluida, seperti waktu tinggal rata-rata (MRT), kecepatan linier atau debit dan pola aliran dapat dihitung dari kurva RTD yang diperoleh.



Gambar 12. Data eksperimen hasil injeksi isotop ^{99m}Tc kedalam pipa berdiameter 3 in berisi aliran air yang disuplai dari tangki air yang selalu terisi penuh. Aliran air di dalam pipa hanya dipengaruhi oleh gravitasi sehingga aliran dianggap konstan.

4.2.1 Perhitungan laju aliran.

Perhitungan laju aliran pada dasarnya dapat dilakukan menggunakan dua metode yaitu metode *peak-to-peak* dan metode momen pertama statistik. Perhitungan menggunakan metode *peak-to-peak* dapat dilakukan secara cepat, namun metode ini hanya memberikan hasil yang akurat jika masing-masing kurva RTD menyerupai bentuk Gauss dan hanya mempunyai satu puncak (*peak*) serta tidak berfluktuatif. Mengingat kurva RTD yang dihasilkan dari eksperimen ini tidak berbentuk Gauss dan berfluktuatif, maka perhitungan laju aliran dilakukan menggunakan metode momen pertama agar memberi hasil perhitungan yang lebih akurat. Karena dalam eksperimen aliran air hanya dipengaruhi oleh gaya gravitasi sehingga dianggap konstan, maka dua dari empat data eksperimen yang diperoleh digunakan untuk menghitung laju aliran air dan simulasi aliran menggunakan model bejana berderet dan dispersi aksial, yaitu data yang dihasilkan oleh detektor D1 dan detektor D2 yang masing-masing diletakkan pada jarak 7 dan 10 m dari titik injeksi.

Dalam statistika, momen pertama menggambarkan titik berat atau centroid tiap kurva RTD yang secara matematika dirumuskan dengan [2,3,6]

$$\tau = \bar{t}_i - \bar{t}_{i-1} = \frac{\int_0^t t_i C_i(t_i) dt}{\int_0^t C_i(t_i) dt} \quad (1)$$

dimana \bar{t}_i adalah momen pertama kurva RTD. Indeks $i=1$ dan $i=2$ masing-masing menunjukkan kurva RTD yang diperoleh dari detektor D1 dan detektor D2. Perbedaan antara momen pertama dari kedua kurva RTD menunjukkan lamanya isotop bergerak dari D1 ke D2 dan disebut dengan waktu tinggal rata-rata (MRT) yang perumusannya ditulis.

$$\tau = \bar{t}_2 - \bar{t}_1 \quad (2)$$

\bar{t}_1 dan \bar{t}_2 masing-masing adalah nilai momen pertama pada kurva RTD detektor D1 dan kurva RTD detektor D2. Secara teoritis, waktu tinggal rata-rata, τ , fluida dalam kondisi *steady* adalah

$$\tau = \frac{V}{Q} \quad (3)$$

dimana $V(m^3)$ adalah volume segmen pipa yang terletak antara D1 dan D2 dan $Q(m^3/s)$ adalah debit aliran di dalam pipa. Untuk kondisi *steady* perhitungan waktu tinggal baik secara teoritis maupun eksperimen adalah sama. Dalam eksperimen ini, karena sistem aliran air di dalam pipa diasumsikan tidak bergantung waktu (*time-invariant*) maka besaran aliran seperti kecepatan atau debit aliran adalah konstan. Perhitungan kecepatan aliran menggunakan persamaan (2) atau (3) adalah sebesar 0,118 m/s. Hasil perhitungan kecepatan aliran menggunakan metode momen pertama dirangkum dalam tabel 6.

4.2.2 Distribusi waktu tinggal dan simulasi pemodelan aliran.

Distribusi waktu tinggal (RTD) adalah fungsi karakteristik suatu sistem proses yang kontinyu. RTD didefinisikan sebagai respon sistem yang ternormalisasi terhadap radioperunut yang diinjeksikan secara cepat ke dalam sistem sehingga memenuhi fungsi Dirac, δ [15]. Konsentrasi radioperunut, $E(t)dt$ pada outlet sistem menggambarkan fraksi radioperunut yang telah tinggal di dalam sistem dalam interval waktu $(t, t + dt)$ sehingga probabilitas radioperunut yang tinggal didalam sistem dalam interval waktu $(t, t + dt)$ dirumuskan dengan

$$E_i(t) = \frac{C_i(t)}{\int_0^{\infty} C_i(t) dt} \quad (4)$$

Jika persamaan diatas dinormalisasikan menghasilkan [2,3,6]

$$\int_0^{\infty} E_i(t) dt = 1 \quad (5)$$

dimana : $i = 1, 2, \dots, n$, $C_i(t)$ adalah konsentrasi radioperunut pada waktu ke i dan $E_i(t)$ fungsi distribusi waktu tinggal. Normalisasi fungsi RTD adalah syarat untuk memenuhi hukum kesetimbangan masa.

Kurva RTD yang diperoleh dari injeksi radioperunut ke dalam sistem hanya memberikan informasi yang terbatas, terutama dalam perhitungan besaran aliran seperti laju aliran. Untuk mendapatkan informasi yang lebih lengkap tentang perilaku aliran maka diperlukan suatu pemodelan matematika dengan memasukkan persamaan-persamaan matematika yang menggambarkan aliran di dalam pipa. Ada dua model yang biasa digunakan untuk mensimulasi aliran fluida menggunakan radioperunut yaitu model bejana berderet dan model dispersiaksial. Dari perhitungan – perhitungan awal diperoleh hasil bahwa simulasi aliran fluida di dalam pipa menggunakan model bejana berderet memberikan hasil *fitting* yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan model dispersi aksial. Oleh sebab itu simulasi aliran fluida di dalam pipa yang diperoleh dari eksperimen ini hanya diolah dengan menggunakan model bejana berderet. Dalam model bejana berderet diasumsikan bahwa pipa digambarkan sebagai suatu sistem yang terdiri dari bejana - bejana ideal yang disusun secara berderet. Tiap bejana mempunyai ukuran tertentu dan setiap bejana berfungsi sebagai reaktor berpengaduk ideal (CSTR- *Continuous Stirred Tank Reaktor*) dimana air mengalir dari satu bejana ke bejana disebelahnya dan seterusnya. Total volume bejana dalam model bejana berderet sama dengan volume pipa yang ujung – ujungnya dibatasi oleh D1 dan D2.

Volume tiap bejana CSTR ideal adalah V . Jika ada N buah bejana CSTR ideal maka volume keseluruhan bejana yang disusun seri tersebut adalah $NV = V_R$. Misal $C_1, C_2, \dots, C_m, \dots, C_N$ adalah konsentrasi perunut masing-masing pada bejana CSTR ideal pertama, kedua, ke m dan ke N . Dalam model ini output bejana pertama menjadi input bejana kedua, output bejana kedua menjadi input bejana ketiga, dan seterusnya. Persamaan umum untuk kesetimbangan perunut dalam kondisi *steady* pada bejana ke m adalah

$$QC_{m-1} = QC_m + V_m \frac{dC_m}{dt} \quad (6)$$

Penyelesaian persamaan (1) diatas secara lengkap telah dilakukan [16]. Jika system digambarkan sebagai sebuah bejana CSTR ideal tunggal dengan volume V_1 (*subscript 1* menunjukkan bejana pertama) dan radio perunut pada waktu $t = 0$ dengan konsentrasi C_0 diinjeksikan sangat cepat kedalam bejana tersebut maka seketika itu juga konsentrasi perunut akan merata di dalam bejana. Persamaan kesetimbangan masa perunut pada outlet bejana CSTR pertama adalah:

$$0 - QC_1 = V_1 \frac{dC_1}{dt} \quad (7)$$

Dengan teknik pemisahan variabel dan integral, persamaan diatas menjadi

$$C_1 = C_0 e^{-t/\bar{t}} \quad (8)$$

Karena masing – masing bejana CSTR ideal bersifat identik maka waktu tinggal rata-rata fluida di setiap bejana CSTR ideal adalah sama yaitu \bar{t}_i :

$$\bar{t}_i = \frac{V_1}{Q} = \frac{V_2}{Q} = \frac{V_3}{Q} = \dots = \frac{V_N}{Q} = \frac{V_N}{NQ} \quad (9)$$

dan karena $C/C_0 = E(t)\bar{t}$ maka kurva $E(t)$ untuk bejana CSTR ideal pertama adalah:

$$E_1 = \frac{e^{-t/\bar{t}_1}}{\bar{t}_1} \quad (10)$$

Menurut persamaan (1), kesetimbangan masa pada bejana kedua dimana C_1 menjadi input bejana CSTR kedua adalah:

$$QC_1 = QC_2 + V_2 \frac{dC_2}{dt} \quad (11)$$

Persamaan (8) dapat diselesaikan dengan menerapkan faktor integral berbentuk $e^{\int P(x)dx} = e^{\int (1/\bar{t})dt}$, dan dengan memasukkan $C_2/C_0 = E_2(t)\bar{t}$, maka diperoleh $E(t)$ untuk bejana CSTR ideal kedua adalah:

$$E_2(t) = \frac{t}{\bar{t}^2} C_0 e^{-t/\bar{t}} \quad (12)$$

Mengacu pada bentuk persamaan kurva $E_i(t)$ dengan $i = 1, 2, 3$ pada output bejana CSTR ideal pertama, kedua dan ketiga terlihat adanya kemiripan. Dengan demikian bentuk persamaan kurva $E_i(t)$ dapat dikembangkan lebih lanjut untuk bejana CSTR ideal ke N . Persamaan kurva $E_i(t)$ pada raktor CSTR ideal ke N adalah [3,15]

$$E_N(t) = \frac{t^{(N-1)}}{(N-1)! \bar{t}^N} e^{-t/\bar{t}} \quad (13)$$

Karena $V_R = NV$ maka $\bar{t}_i = \bar{t}/N$, dimana \bar{t} adalah total volume dibagi dengan debit aliran, Q . Dalam bentuk satuan waktu tidak berdimensi, $\theta = t/\bar{t}$, dan $\bar{t} = N\bar{t}_i$ fungsi distribusi $E(\theta)$ adalah:

$$E(\theta) = \frac{N^N \theta^{N-1} e^{-N\theta}}{(N-1)!} \quad (14)$$

N adalah jumlah bejana

t adalah waktu (detik)

τ adalah waktu tinggal rata-rata (MRT) (detik)

$\theta = t/\bar{t}$ adalah waktu tak berdimensi.

$E(\theta)$ adalah fraksi konsentrasi pada waktu θ , tidak berdimensi

Dari persamaan diatas diperoleh fakta bahwa makin besar nilai N aliran mendekati aliran *plug*. Sebaliknya bila nilai N mendekati 1 aliran mendekati aliran tercampur sempurna (CSTR ideal). N di dalam persamaan (10) atau (11) adalah parameter model yang menunjukkan jumlah bejana dalam model bejana berderet dan digunakan untuk menggambarkan pola aliran di dalam pipa. Untuk menghitung parameter model, N , kurva RTD dinormalisasi sehingga area dibawah kurva RTD sama dengan 1, atau:

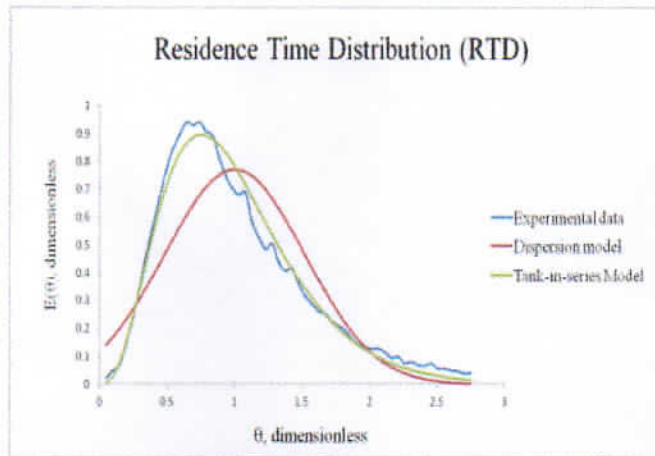
$$\int_0^{\infty} E(t) dt = 1 \quad (15)$$

$E(t)$ adalah fungsi distribusi waktu tinggal dan berharga non-negatif dalam rentang $[0, \infty]$ karena $E(t)$ adalah fungsi densitas variabel random positif.

Salah satu teknik estimasi parameter model adalah metode momen. *Variance* dalam satuan waktu tidak berdimensi, θ , untuk model bejana berderet didefinisikan [17]:

$$\sigma_{\theta}^2 = \frac{\sigma^2}{\tau^2} = \int_0^{\infty} (\theta - 1)^2 E(\theta) d\theta = \frac{1}{N} \quad (16)$$

Nilai *variance* berkurang jika jumlah bejana bertambah. Lebar kurva atau perubahan *variance* dari $\sigma_{\theta}^2 = 1$ ke $\sigma_{\theta}^2 = 0$ terjadi selama N berubah dari $N = 1$ ke $N \rightarrow \infty$. Hal ini menunjukkan bahwa model bejana berderet bergerak dari model aliran pencampuran sempurna ke model aliran *plug*.



Gambar 13. Perbandingan fitting kurva memperlihatkan model bejana berderet memberikan fitting kurva lebih baik dibandingkan dengan model dispersi aksial. Fitting kurva terbaik antara kurva RTD model bejana berderet pada kurva RTD eksperimen dihasilkan jika nilai $N = 4$, dengan kesalahan sebesar 0,068.

Selanjutnya teknik *least square curve fitting* digunakan untuk memfitkan kurva RTD model, persamaan (11) terhadap kurva RTD eksperimen. Kedekatan atau kualitas *fitting* ditentukan berdasarkan nilai parameter model, N , sedemikian rupa sehingga nilai akar kuadrat rata-rata (RMS-root mean square) adalah minimal [15]:

$$RMS = \left[\frac{1}{N_T} \int_0^{\infty} \{E_{exp}(\theta) - E_{model}(\theta, N)\}^2 d\theta \right]^{1/2} = \text{minimal} \quad (17)$$

N_T adalah jumlah data total.

$E_{eks}(\theta)$ adalah kurva RTD eksperimen dalam satuan waktu tidak berdimensi

$E_{model}(\theta, N)$ adalah kurva RTD model untuk nilai N yang telah ditentukan dalam satuan waktu tidak berdimensi.

Nilai parameter model dan *fitting* kurva antara kurva RTD model dengan kurva RTD eksperimen diperlihatkan pada Gambar 3. Dari simulasi menggunakan model bejana berderet diperoleh nilai parameter model, $N = 4$. Dengan mengacu pada pustaka [15] nilai $N = 4$ menunjukkan bahwa tingkat pencampuran di dalam aliran fluida air cukup tinggi.

Tingkat turbulensi menggunakan persamaan bilangan Reynolds

$$Re = \frac{u d_h}{\nu} \quad (18)$$

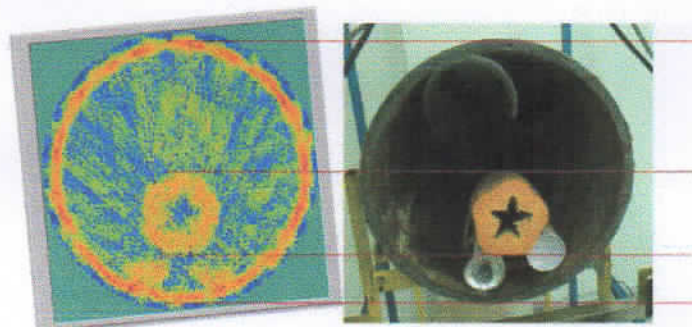
dimana Re adalah bilangan Reynolds (tidak berdimensi), u adalah kecepatan aliran = 0,128 m/detik yang dihitung diatas menggunakan metode waktu tinggal rata-rata. Besaran d_h adalah diameter hidrolis. Untuk pipa d_h adalah diameter pipa. Besaran ν adalah viskositas kinematika yang nilainya tergantung pada temperatur. Nilai viskositas kinematika untuk air pada temperatur 25°C adalah $892 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{det}$ [18]. Dengan memasukkan hasil perhitungan kecepatan aliran, diameter pipa dan viskositas dinamika ke dalam persamaan (15) diatas maka diperoleh nilai bilangan Reynolds untuk air di dalam pipa adalah 7476. Hasil ini menunjukkan bahwa aliran air di dalam pipa bersifat turbulen. Hasil perhitungan aliran kecepatan dan simulasi menggunakan model bejana berderet dirangkum dalam Tabel 6.

Tabel 6. Sifat aliran air di dalam pipa diameter 3 inci.

Fluida	Diameter pipa (inci)	Jarak antar detektor (m)	Waktu transit (detik)	Laju aliran (m/detik)	Nilai parameter model, N	Kesalahan (RMS)
air	3	3	23,47	0,1278	4	0,068

4.3 Gamma Tomography

Hasil pengukuran berupa 48 kurva proyeksi direkonstruksi sehingga didapatkan citra digital sebagai representasi material komposit objek yang diperiksa. Gambar 4. Pada experimen dengan objek papaya, dan cat minyak terdapat artefak benda yang secara nyata tidak ada begitupun pada experimen buah alpuket, minyak dan air. Hasil evaluasi diduga system kolimasi cacat karena densitas timah hitam tidak merata. Experimen perlu dilakukan kembali setelah system kolimasi diperbaiki.





Gambar 14. Citra digital hasil rekonstruksi gamma tomography

5. KESIMPULAN

5.1 Radioscopy Fruoroscope5012 dan Computed Radiography (CR)

Data riset uji material telah diperoleh dari pemeriksaan logam dengan menggunakan Radioscopy dan Computed Radiography. Mutu citra digital yang diperoleh dari Radioscopy dapat menampilkan IKB ASTM. Hasil data citra digital ini akan ditingkatkan dengan menerapkan teknik evaluasi citra digital dengan mengacu kepada standar ISO17636-2 (2013) dan ISO19232 pada tahun 2016. Mutu citra digital yang diperoleh dari Computed Radiography dengan sumber radiasi Se-75 mencapai level kelas A standar ISO19232. Perbaikan set-up dan jenis sumber radiasi serta evaluasi mutu citra radiografi akan dilakukan dengan mengacu kepada standar ISO17636-2 (2013) dan ISO19232 pada tahun 2016. Percobaan di lapangan (industri) dan pembuatan data base citra digital dari uji material akan dilakukan pada tahun 2017, 2018 dan 2019 hingga diperoleh metode advanced NDE untuk pengujian material, inspeksi dan perawatan unit proses industri.

5.2 Radiotracer

Hasil perhitungan aliran air di dalam fluida menggunakan metode waktu tinggal rata-rata menunjukkan bahwa kecepatan aliran air adalah 0,128 m/detik atau 0,058 m³/detik. Hasil simulasi menggunakan model bejana berderet diprediksi bahwa tingkat pencampuran aliran air di dalam pipa adalah relatif cukup tinggi dan aliran bersifat turbulen.

5.3 Gamma Tomography

- Peralatan Teknik gamma tomography telah dapat dibuat dengan single motor untuk mendiagnosa material komposit objek.
- Hasil pengukuran dapat menggambarkan komposisi material komposit pada objek papaya, alpokat, air, minyak dan pipa besi.

PUSTAKA.

1. IAEA, Design, Development and Optimization of a Low Cost System for Digital Industrial Radiology, IAEA Radiation Technology Report No. 2, Vienna, 2013, 68-89.
2. Danckwerts, P.V., (1953): Continuous flow systems, distribution of residence times, Chem. Eng. Sci. Vol 2,1-13.
3. IAEA, *Radiotracer Residence Time Distribution Method for Industrial and Environmental Applications*, TCS, 31, Vienna, IAEA, 2008, Cp.5
4. G.Reed, "Measurement of Residence Times and Residence Time Distributions", in *Radioisotope Techniques for Problem Solving in Industrial Process Plants*, edited by J.S Charlton, Glasgow, Leonard Hill, 1986, pp. 112-137
5. S. Sugiharto, Z. Stegowski, L. Furman, Z. Su'ud, R. Kurniadi, A. Waris and Z. Abidin, Dispersion determination in a turbulent pipe flow using radiotracer data and CFD analysis, *Computer and Fluids* 79 (2013) 77-81.
6. IAEA, *Guidebook on Radioisotope in Industri*, Tech.Rep.Series, 316, Vienna, IAEA, 1990, Cp.4
7. H. Kasban, O. Zahran, H. Arafa, M. El-Kordy, S.M.S. Elaraby. F.E. Abd El-Shamie, Laboratory experiments and modeling for industrial radiotracer applications, *Applied Radiation and Isotopes* 68 (2010) 1049-1056.
8. J. Thÿn, R. Žitný, J. Klusoň and T. Čechák, *Analysis and Diagnostics of Industrial Processes by Radiotracers and Radioisotope Sealed Sources*, Praha, ČVUT, 2000
9. Pant, H.J, Saroha, A.K and Nigam K.D.P., (2000): Measurement of Liquid Holdup and Axial Dispersion in Trickle Bed Reactors Using Radiotracer Technique, *Nukleonika* 45(2), 235-24.
10. Perrtin, S, Chaudourne, S, Jallut, C and Lieto, J., (2002): Transient state techniques for mass transfer characterization of a gas-liquid packed column, *Chem. Eng. Sci.*, 57, 3335-3345
11. P. Vitanen, *Measuring and Modelling of Particle Fluid Flow in a Riser Reaktor*, VTT Publication 88, 1992
12. S. Sugiharto, Z. Su'ud, R. Kurniadi, W. Wibisono and Z. Abidin, Radiotracer method for residence time distribution study in multiphase flow system, *Applied Radiation and Isotopes* 67 (2009) 1445-1448.
13. T.L. Jones, Radioactive Sources in *Radioisotope Techniques for Problem Solving in Industrial Process Plants*, edited by J.S Charlton, Glasgow, Leonard Hill, 1986, pp. 57.
14. Stegowski Z, Accuracy of the residence time distribution function parameters, *Nucl Geophys*, 1993, 7 (2), 335-341.
15. O. Levenspiel, *Chemical Reaction Engineering*, 2ndEds, New York, John Wiley & Sons, 1972, Cp.9

16. Sugiharto, Disertasi, Jurusan Fisika, F.MIPA-ITB, 2012.
17. Coker, A. K., (2001): Modeling of Chemical Kinetics and Reaktor Design, Gulf Professional Publishing, Boston, cp. 8.
18. J. Kestin, M. Sokolov and W. A. Wakeham, Viscosity of Liquid Water in the Range -8°C to 150°C , J. Phys. Chem. Ref. Data, Vol 7, No. 3, 1978

Kata kunci: Advanced NDE, Radiografi Digital, Radiografi berbasis film, Fluoroscopy, Radioscopy dan Computed Radiography.

2. Pendahuluan

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR) mempunyai tugas salah satunya adalah melaksanakan pengembangan aplikasi teknologi isotop dan radiasi di bidang Sumber Daya Alam & Lingkungan. Salah satu teknologi yang dikembangkan di bidang Sumber Daya Alam & Lingkungan adalah Uji Tak Merusak khususnya radiografi. Kini Uji Tak Merusak sudah berkembang pesat ke arah integrasi berbagai metode, digitalisasi dan otomatisasi yang kemudian dikenal dengan nama "Advanced NDT" untuk memecahkan masalah/menguji material baik dalam proses pembuatan, konstruksi maupun perawatan di instalasi yang sedang beroperasi. Saat ini, penggunaan Advanced NDT di Indonesia dinilai masih mahal ditinjau dari sisi ekonomi padahal pemanfaatan Advanced NDT di dunia kini semakin tinggi dan sudah terstandarisasi. PATIR sebagai lembaga riset perlu membangun infrastruktur dan mengembangkan metode Uji Tak Rusak terutama Radiografi Digital & "Computed Tomography" serta metode Uji Tak Rusak lainnya diantaranya phased array, eddy current, magnetic particle, dye penetrant, thermography yang berguna untuk riset, pelatihan dan ujian sertifikasi personel Uji Tak Rusak dengan mengacu kepada ISO 17024 dan SNI ISO 9712:2008. Pembangunan infrastruktur dan Pengembangan metode Uji Tak Rusak sangat bermanfaat untuk memenuhi kebutuhan personel UTR yang kompeten dan pengujian material dari berbagai sektor industri. Pemenuhan kebutuhan tersebut dapat meningkatkan keselamatan, kehandalan dan produktivitas industri sehingga meningkatkan daya saing bangsa.

Kegiatan penelitian ini terkait dengan proyek RAS untuk Non-Destructive Testing (Uji Tak Merusak) yang terdiri dari RAS/08/110" (2009-2011) "Applying Advanced Digital Industrial Radiology and Computed Tomography in Industry and Civil Engineering", RAS/1/013" (2012-2013) "Supporting Advanced Non-Destructive Examination for Enhanced Industrial Safety, Product Quality and Productivity dan RAS1020 – "Building Capacity for Applications of Advanced Non-Destructive Evaluation Technologies for Enhancing Industrial Productivity" periode (2015-2017), dan Technical Cooperation INS1025- "Building Capacity on Advanced Non-Destructive Testing and Personnel Certification for enhancing safety, reliability & productivity" (periode 2014-2015)". Status penguasaan dan pengembangan DIR & CT di Indonesia sangat tertinggal dibandingkan negara di kawasan regional ASEAN seperti Malaysia sehingga percepatan pengadaan peralatan dan penguasaan DIR & CT harus diprioritaskan.

Kegiatan penelitian pada tahun 2015, peralatan radioscopy telah berhasil dibuat di PRFN dengan mengacu kepada desain IAEA Fluoroscope5012. Peralatan telah diuji di

laboratorium Advanced NDE PAIR dan berhasil menampilkan IKB kawat ASTM. Selain itu, radiografi digital dengan menggunakan CR dan film serta sumber radiasi Se-75 dilakukan untuk mengetahui kelas mutu yang dapat dicapai oleh kedua teknik tersebut.

3. Percobaan

3.1 Radioscopy Fluoroscope5012

Peralatan Radioscopy Fluoroscope5012 diuji di laboratorium Advanced NDE PAIR pada tanggal 17 Nopember 2015 bersamaan dengan kehadiran Expert IAEA dari BAM Jerman Prof. Dr. Uwe Ewert. Sumber radiasi yang digunakan yaitu PESAWAT SINAR-X RIGAKU RF 300 EGM2.

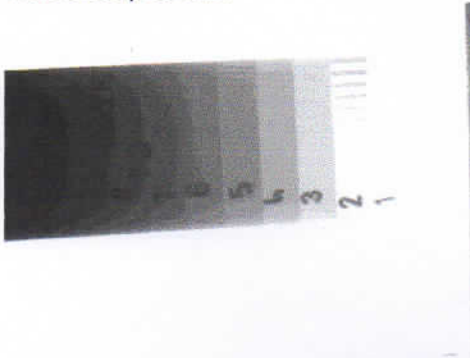
Sampel yang diperiksa yaitu Stepwedge Carbon Steel dan IKB (IQI) yang digunakan yaitu ASTM. Pada percobaan ini, teknik dan evaluasinya belum mengacu kepada standar ISO17636-2 dan ISO19232 melainkan baru sebatas untuk melihat ada tidaknya IKB yang dipasang pada sampel stepwedge dan gradasi nilai abu-abu dari citra digital yang diperoleh.



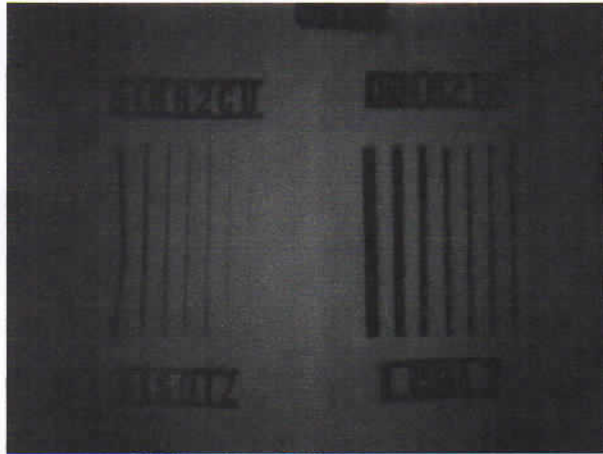
Gambar 1. Set-up percobaan Radioscopy, Sumber X-ray dan Sampel Stepwedge



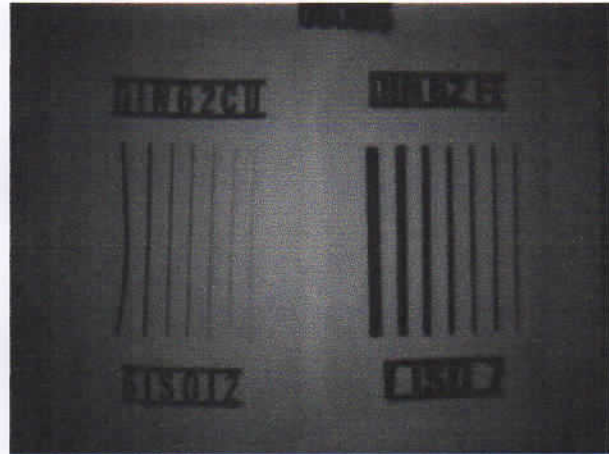
Gambar 2. Sampel stepwedge yang dipasang pada posisi melekat dengan Radioscopy Fluoroscope5012.



Gambar 3. Hasil Citra digital dari Radioscopy Fluoroscope5012.



IQI wire 5 frame

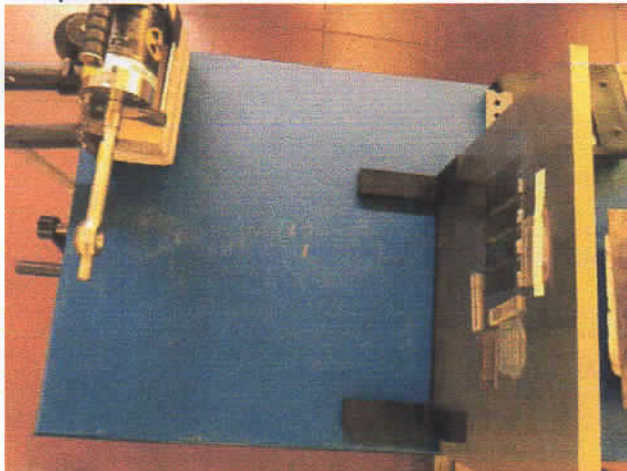


IQI wire 10 frame

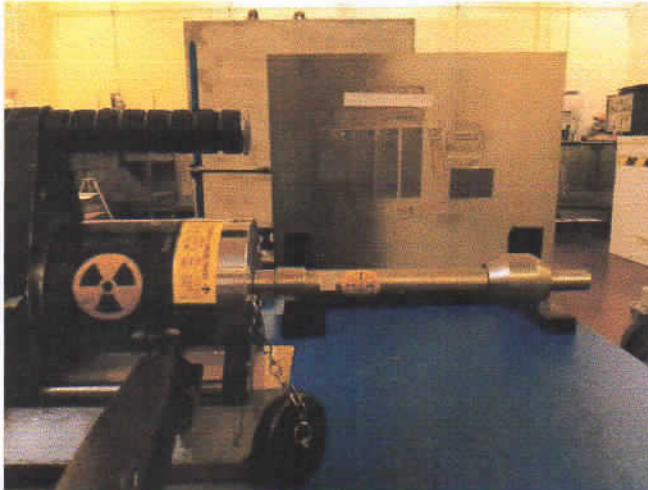
Gambar 4. Hasil Citra digital dari Radioscopy Fluroscope5012 dan sampel IKB ASTM.

3.2 Computed Radiography (CR)

Radiografi digital dengan menggunakan CR (Scanner Duerr HD_CR 43 NDT), Sumber radiasi Se-75 dan sampel plat logam stainless steel tebal 19,1 mm dilakukan di BAM, Berlin, Jerman pada tahun 2015. Set-up peralatan dan sample plat termasuk IKB yang digunakan tampak di Gambar 5, 6 dan 7. Teknik dan evaluasi mutu citra digital pada percobaan ini mengacu kepada standar ISO17636-2 dan ISO19232. Hasil percobaan di Lampiran 1.



Gambar 5. Set-up percobaan CR dengan sumber radiasi Se-75 dan sampel plat stainless steel dilihat dari atas. Lokasi BAM, Berlin, Jerman.



Gambar 6. Set-up percobaan CR dengan sumber radiasi Se-75 dan sampel plat stainless steel dilihat dari depan sumber dan sampel plat stainless steel. Lokasi BAM, Berlin, Jerman.



Gambar 7. Sampel plat stainless steel dan IKB ISO duplex, IKB ISO kawat dan IKB EPS. Lokasi BAM, Berlin, Jerman.

4. Pembahasan

4.1 Radioscopy Fluoroscope5012

Hasil percobaan dengan menggunakan Radioscopy Fluoroscope5012 dengan sumber radiasi Sinar X dan sampel stepwedge dan IKB ASTM dapat menampilkan gradasi stepwedge dan IKB ASTM. Pada percobaan ini, teknik dan evaluasi mutu citra yang mengacu kepada standar ISO17636-2 dan ISO19232 belum diterapkan sehingga capaian keberterimaan mutu citra hasil dari Radioscopy ini belum dapat ditentukan. Penerapan teknik dan evaluasi mutu citra dari alat ini akan dilakukan pada tahun 2016.

4.2 Computed Radiography (CR)

Standar keberterimaan yang digunakan pada percobaan ini adalah ISO17636. Tabel 1 menunjukkan Ukuran IKB minimum dari Kawat, Lubang dan Duplex yang harus terlihat untuk memenuhi kriteria keberterimaan standar tersebut.

Tabel 1: Ukuran IKB minimum dari Kawat, Lubang dan Duplex yang harus terlihat untuk memenuhi kriteria keberterimaan standar

Table 1: IKB minimum dari Kawat, hole and duplex IQI sizes to be detected to meet code

requirements

Tebal	ISO 17636-2 (Class B)				ISO 17636-2 (Class A)			
	Wire IQI	Holes IQI	Duplex IQI	SNRN	Wire IQI	Holes IQI	Duplex IQI	SNR _N
19,1 mm	0,20 mm (W13)	0.40 mm (H6)	0,20 mm (D10)	100	0,32 mm (W11)	0,63 mm (H8)	0,32 mm (D8)	70

Parameter Set-up Percobaan divariasasi mencakup jarak Sumber ke IP dan waktu sebagaimana dapat dilihat di Tabel 2.

Tabel 2: Parameter Set-up Percobaan

Test #	SFD (mm)	CI	Exposure time (menit)	CI-min
1	500	31	7,5	232,5
2	500	31	15	465
3	500	31	30	930
4	500	31	60	1860
5	500	31	120	3720
6	500	31	240	7440
7	500	31	480	14880
8	880	31	240	2401,86

Hasil evaluasi (Tabel 3) menunjukkan bahwa Set-up percobaan dengan menggunakan IP (Scanner Duerr HD CR 43 NDT) sebagai penerima tersebut tidak memenuhi persyaratan keberterimaan ISO17636-2 Class B melainkan hanya Class A dengan waktu paparan (penembakan) lebih besar dari atau sama dengan 60 menit. Pada paparan kurang dari 60 menit, plat lubang yang tampak kurang dari yang dipersyaratkan.

Keterangan:

Y: Ya memenuhi syarat (Ya diterima)

Y+1: Ya memenuhi syarat melebihi yang dipersyaratkan (misalnya IKB kawat minimum yang harus tampak W11 tetapi hasilnya tampak W12). Untuk IKB lubang justru sebaliknya (misalnya IKB lubang yang harus tampak H8 tetapi hasilnya tampak H7).

N: Tidak memenuhi syarat (Tidak diterima).

N-1: Tidak memenuhi syarat kurang dari yang dipersyaratkan (misalnya IKB minimum yang harus tampak W12 tetapi hasilnya tampak W11). Untuk IKB lubang justru sebaliknya (misalnya IKB lubang yang harus tampak H8 tetapi hasilnya tampak H9).

Table 3. Hasil evaluasi dengan Scanner Duerr HD_CR 43 NDT, Cassette 18x24 cm², 0,1mm Cu back (EPS)

Test #	Hasil Evaluasi									Kesesuaian terhadap ISO 17636-2 Class B					Kesesuaian terhadap ISO 17636-2 Class A				
	Wire IQI	Hole IQI	Wire duplex IQI 1	Plate duplex IQI 2	SR _e (mm)	SNR _w	ISR _e (mm)	ISNR _w	GV	Wire IQI	Hole IQI	Wire duplex IQI	Wire duplex IQI2	SNR _w	Wire IQI	Hole IQI	Wire duplex IQI 1	Plate duplex IQI 2	SNR _w
										W13 (0,20 mm)	H6 (0,40 mm)	D10 (0,20 mm)	D10 (0,20 mm)	100	W11 (0,32 mm)	H8 (0,63 mm)	D8 (0,32 mm)	D8 (0,32 mm)	70
1	W11	H9	D10		0,1	63,2	0,085	74,4	1001	N-2	N-3	Y	Y+	N	Y	N-1	Y+2	Y+3	N
				D11	0,08	76,9	0,085	72,4						N		N-1			N
2	W11	H9	D10		0,1	64,1	0,106	60,5	1003	N-2	N-3	Y	Y	N	Y	N-1	Y+2	Y	N
				D11	0,08	79,1	0,09	70,3	1009	N-2				N		N-1		Y	N
3	W12	H9	D10		0,1	104	0,113	91,8	4465	N-1	N-3	Y	Y	Y	Y+	N-1	Y+2	Y+2	Y
				D10	0,1	100	0,105	95,4	4257	N-1	N-3	Y	Y	Y	Y+	N-1	Y+2	Y+2	Y
4	W11	H8	D10		0,1	113	0,111	102	8277	N-2	N-2	Y	Y	Y	Y	Y	Y+2	Y+2	Y
				D11	0,08	139	0,089	125	8242	N-2	N-2	Y	Y	Y	Y	Y	Y+2	Y+2	Y
5	W12	H8	D10		0,1	123	0,109	113	14654	N-1	N-2	Y	Y	Y	Y+	Y	Y+2	Y+2	Y
				D10	0,1	122	0,105	116	14465	N-1	N-2	Y	Y	Y	Y+	Y	Y+2	Y+2	Y
6	W12	H8	D10		0,1	125	0,109	115	28684	N-1	N-2	Y	Y+	Y	Y+	Y	Y+2	Y+2	Y
				D11	0,08	160	0,092	139	28506	N-1	N-2	Y	Y+	Y	Y+	Y	Y+2	Y+2	Y
7	W12	H8	D10		0,1	127	0,108	118	50453	N-1	N-2	Y	Y	Y	Y+	Y	Y+2	Y+2	Y
				D10	0,1	121	0,103	118	50415	N-1	N-2	Y	Y	Y	Y+	Y	Y+2	Y+2	Y
8	W12	H8	D10		0,1	102	0,104	98,2	10041	N-1	N-2	Y	Y	Y	Y+	Y	Y+2	Y+2	Y
				D10	0,1	113	0,103	110	10108	N-1	N-2	Y	Y	Y	Y+	Y	Y+2	Y+2	Y

Hasil evaluasi (Tabel 4) menunjukkan bahwa Set-up percobaan dengan menggunakan film sebagai penerima dan dilihat dengan menggunakan viewer memenuhi persyaratan keberterimaan ISO17636-2 Class A dan B (hanya sebagian yang memenuhi persyaratan Class B – warna hijau penanda memenuhi persyaratan).

Table 4. Hasil evaluasi dari mutu citra dengan menggunakan film

Test #	SFD (mm)	Ci	Exposure time (min.)	Ci-min	Evaluation Results						Conformity to ISO 17636-2 Class B				Conformity to ISO 17636-2 Class A			
					Density	Density	Wire IQI	Hole IQI	Wire duplex IQI 1	Wire duplex IQI2	Wire IQI	Hole IQI	Wire du- IQI	Wire du- IQI	Wire IQI	Hole IQI	Wire du- IQI	Plate duplex IQI
1ED2	500	27	19	513	1.99-2.06	2,025	W12	H8	D10	D10	N-1	N2	Y	Y	Y+1	Y	Y+2	Y+2
2ED3	500	27	30	810	2.95-3.02	2,985	W13	H7	D9	D9	Y	N-1	N-1	N-1	Y+2	Y+1	Y+1	Y+1
3ED4	500	27	42	1134	3.80-3.90	3,85	W13	H7	D10	D10	Y	N-1	Y	Y	Y+2	Y+1	Y+2	Y+2
4ED3	800	27	76	801,563	3.01-3.09	3,05	W14	H7	D10	D11	Y+1	N-1	Y	Y+1	Y+3	Y+1	Y+2	Y+3
5EM2	500	27	35	945	2.06-2.18	2,12	W12	H7	D10	D10	N-1	N-1	Y	Y	Y+1	Y+1	Y+2	Y+2
6EM3	500	27	56	1512	3.05-3.13	3,09	W13	H6	D11	D11	Y	Y	Y+1	Y+1	Y+2	Y+2	Y+3	Y+3
7EM4	500	27	75	2025	3.90-4.08	3,99	W13	H6	D11	D11	Y	Y	Y+1	Y+1	Y+2	Y+2	Y+3	Y+3
8EM3	800	27	143	1508,2	2.96-3.14	3,05	W15	H6	D11	D11	Y+2	Y	Y+1	Y+1	Y+4	Y+2	Y+3	Y+3

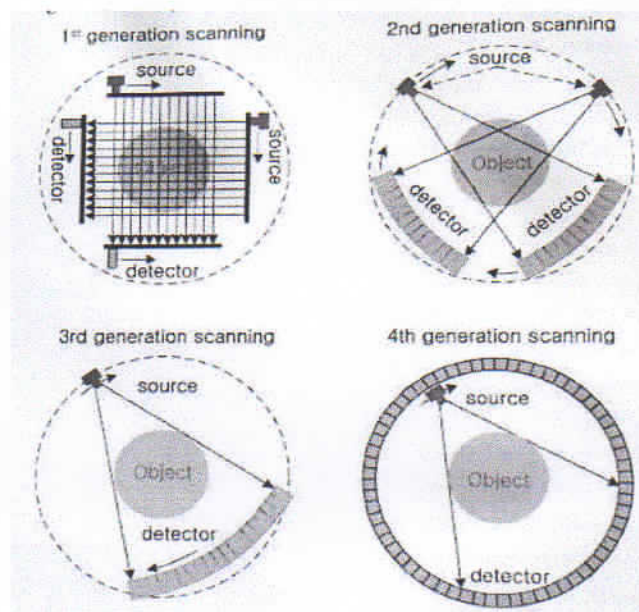
Hasil evaluasi (Tabel 5) menunjukkan bahwa Set-up percobaan dengan menggunakan film sebagai penerima dan digitlisasi dengan scanner memenuhi

memberikan informasi hasil diagnose dalam bentuk gambar dua dimensi. Aplikasi teknik nuklir ini dilakukan untuk menginvestigasi malfungsi unit proses pada saat online. Pada tahap ini penelitian ditargetkan untuk menginvestigasi objek berdiameter kurang dari 2000 mm seperti pipa atau pun heat exchanger.

METHODE

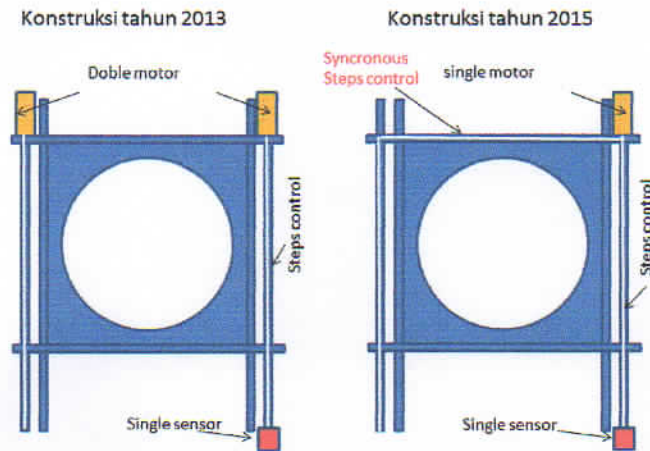
Metode pengukuran yang dikembangkan pada penelitian ini pengukuran generasi pertama yaitu pengukuran men-scan objek secara parallel. Gambar 1. Sumber 10 mCi Cs-137 dikolimasi dengan timah hitam dengan ukuran 110mm x 100mm x 100mm serta lubang dengan diameter 4mm serta kedalaman 50mm. Sebuah detector sintilasi dikolimasi dengan dimensi yang sama tetapi diameter lubang 4mm dan kedalaman 26mm. Keduanya di control secara digital dengan resolusi minimal 2mm. Intensitas gamma diukur menggunakan Ludlum seri 2200 dengan waktu cacah 3 detik dan tegangan kerja 1000 Volt. Gambar 2.

Hasil scan terdiri dari 48 scan proyeksi dengan resolusi 2mm dan waktu pengukuran 3 detik. Sumber dan detektor secara parallel men-scan objek pada arah 0° . kemudian diulangi pada arah $7,5^{\circ}$, $15,0^{\circ}$, dan seterusnya sampai $360,0^{\circ}$. Gambar 3.

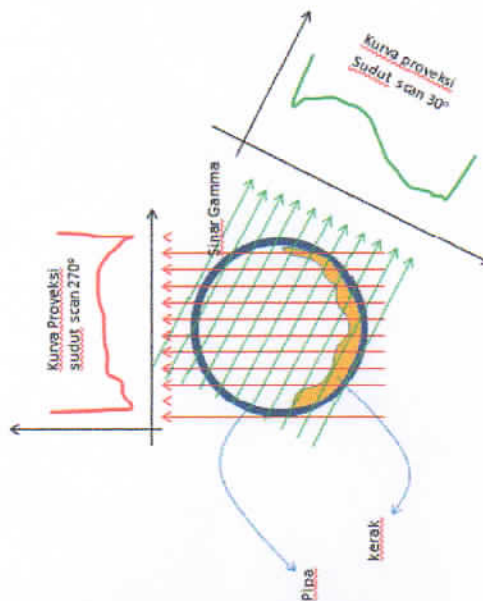


Gambar 1. Metode scan gamma tomography

Peralatan mekanik Gamma tomografi



Gambar 2. Pengembangan single motor gamma tomography

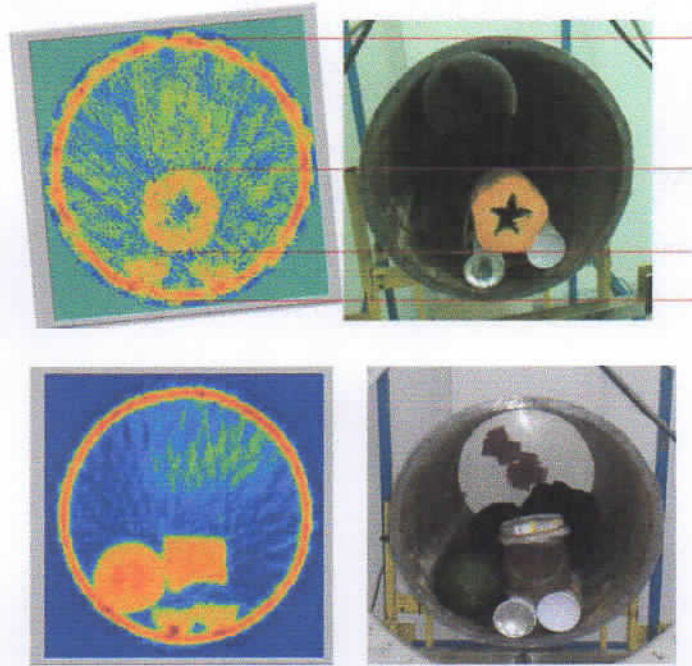


Gambar 3. Scan orientasi gamma tomography

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran berupa 48 kurva proyeksi direkonstruksi sehingga didapatkan citra digital sebagai representasi material komposit objek yang diperiksa. Gambar 4.

Pada experiment dengan objek papaya, dan cat minyak terdapat artefak benda yang secara nyata tidak ada begitupun pada experiment buah alpuket, minyak dan air. Hasil evaluasi diduga system kolimasi cacat karena densitas timah hitam tidak merata. Experiment perlu dilakukan kembali setelah system kolimasi diperbaiki.



Gambar 4. Citra digital hasil rekonstruksi gamma tomography

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami menyampaikan ucapan terima kasih kepada Managemen PAIR-BATAN yang telah mendukung terlaksananya kegiatan ini sejak persiapan sampai laporan dan evaluasi. Tentu saja kami mengucapkan terima kasih dan mohon maaf kepada anggota tim serta pihak-pihak yang tidak dapat saya sampaikan disini secara rinci.

KESIMPULAN

- Peralatan Teknik gamma tomography telah dapat dibuat dengan single motor untuk mendiagnosa material komposit objek.
- Hasil pengukuran dapat menggambarkan komposisi material komposit pada objek papaya, alpokat, air, minyak dan pipa besi.

DAFTAR PUSTAKA

- Kim, Jong Bum. 2011, Development of gamm ray tomographic system for industrial plant inspecton, Departement of Nuclear and Quantum Engineering,KAIST.
- IAEA TECDOC1589, 2008, Final report of coordinated research project 2003-2007. IAEA, Viena.
- Wibisono, 2013, Identifikasi kerak di dalam pipa menggunakan teknik gamma tomography, proseding semnar nasional pengembangan energi nuklir VI, 2013.