

## INVESTIGASI LEVEL AIR, MINYAK, UDARA, DAN KERAK DI DALAM PIPA DENGAN TEKNIK GAMMA TOMOGRAFI

**Wibisono**

Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi- BATAN  
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Pasar Jumat, Jakarta Selatan  
Telp.021-7690709; Fax: 021-7691607

### ABSTRAK

**INVESTIGASI LEVEL AIR, MINYAK, UDARA, DAN KERAK DENGAN TEKNIK GAMMA TOMOGRAFI.** Tomografi adalah teknologi baru untuk mendapatkan gambar objek dengan cara merekonstruksi pengukuran-pengukuran yang dilakukan dari berbagai posisi ruang tiga dimensi. Teknik Gamma tomografi telah dilakukan dengan memanfaatkan sinar gamma dan mengukur intensitas radiasi menggunakan detektor sintilasi. Intensitas sinar gamma setelah menembus material memiliki korelasi dengan densitas pada koefisien atenuasi linearnya. Daya tembus sinar gamma terhadap logam sangat bermanfaat untuk aplikasi teknik ini sebagai metode investigasi dalam bidang industri. Penelitian ini telah berhasil mendeteksi level air dan minyak yang memiliki densitas sangat dekat. Hasil penelitian disajikan dalam format gambar dengan resolusi gambar 5x5mm. Teknik ini juga telah berhasil menginvestigasi kerak didalam pipa baja yang digunakan pada sumber energi panas bumi dataran Dieng, Wonosobo, Jawa Tengah. Investigasi bahkan juga dilakukan pada saat on-line sehingga dapat diidentifikasi tebal kerak yang melekat pada dinding dalam pipa aliran. Kemampuan Teknik uji tak rusak pada saat on-line dan in-situ ini bermanfaat untuk jadwal perawatan dengan memonitor pertumbuhan kerak didalam pipa secara berkala.

### ABSTRACT

**INVESTIGATION OF WATER, KEROSENE, AIR, AND SCALLING LEVEL BY USING GAMMA TOMOGRAPHY TECHNIQUE.** Tomography is new technology to get image object within reconstructed measurements across three dimensional spaces. The gamma tomography technique has been applied by using gamma emitter and scintillation detector to measure the radiation intensity. Transmitted radiation intensity correlate to linear attenuation coefficient. Gamma transmit penetration is use to apply as an investigation method in industry. This experiment had identified water and oil successfully which are of similar density. Result of the experiment presented an image 5x5mm in resolution. The techniques was also successfully used to investigate scaling inside stainless steel pipe line in geothermal power plan, Dieng, Wonosobo, Central of Java. In this place experiment it was conducted on-line to identify scaling level inside the pipe line. The technique of non destructive test in off-line and on-line system is very use full for maintenance of schedule and monitoring of scaling growing periodically.

### PENDAHULUAN

Metode investigasi pada proses industri telah menggunakan beberapa teknologi seperti gamma radiografi, X-ray radiografi, ultrasonografi, dan *gamma scanning*. Masing-masing teknologi memiliki kelebihan dan kekurangan. Radiografi, misalnya, dapat menghasilkan informasi dalam gambar visual 2 dimensi akan tetapi area pengukurannya relatif kecil sedangkan pada *gamma scanning* area pengukurannya yang relatif lebih besar tetapi informasinya disajikan hanya dalam bentuk kurva.

Tomografi merupakan teknologi baru dengan metode pengukuran dari berbagai posisi

ruang tiga dimensi menggunakan sensor seperti kapasitansi, impedansi, suara, cahaya, radiasi gamma, dan sinar-x. Teknik ini membutuhkan perangkat yang dapat melakukan pengukuran secara tepat dan melakukan perhitungan dengan cepat. Pengukuran dan perhitungan digunakan untuk menghasilkan rekonstruksi gambar baik dalam 2 dimensi maupun tiga dimensi. Hasil pengukuran dalam bentuk gambar visual memungkinkan teknik tomografi dijadikan metode investigasi pada berbagai bidang seperti kedokteran, makanan, dan industri.

Daya tembus sinar gamma yang dapat menembus metal sangat bermanfaat untuk aplikasi teknik ini dalam proses industri. Teknik Gamma tomografi menggunakan sinar gamma sebagai sensor dan detektor sintilasi sebagai peralatan utama pengukuran. Teknologi ini dapat digunakan untuk mendeteksi mekanikal konstruksi kolom proses serta malfungsi yang terjadi karena penyumbatan, banjir, dan tray runtuh. Pada sistem perpipaan teknik dapat digunakan untuk berbagai hal seperti studi aliran multi phase fluida, dan pendugaan ketebalan kerak. Dengan teknik gamma tomografi informasi hasil investigasi tidak hanya dalam bentuk angka tetapi juga dalam gambar visual 2 dimensi atau 3 dimensi.

Penggunaan sumber radiasi gamma dalam teknik gamma tomografi memperhatikan dimensi dan densitas objek. Pada kolom proses industri karakteristik sumber gamma dapat dilihat seperti dalam tabel 1 dan tabel 2 berikut ini. <sup>1)</sup>

Tabel 1. Penggunaan sumber gamma untuk investigasi kolom proses

Dimensi Vesel	Diameter (mm)	Energi	Sumber Radiasi
Kecil	<150	Rendah <200 keV	241-Am
Sedang	150-600	Sedang 200-800 keV	137-Cs
Besar	600-1500	Tinggi >800 keV	60-Co

Tabel 2. Densitas, permitivitas relatif, dan konduktifitas

Bahan	Masa jenis (g/cc)	Permitivitas relative $\epsilon_r$	Konduktivitas $\sigma$ (S/m)
Gas	0	1.0	-
Crude oil	0.83	2.20	10-6
Exxsol D100	0.82	2.08	-
Tap water	1.0	80	0.0027
Process water	1.0	70	5
Polypropylene	0.91	3.4	-

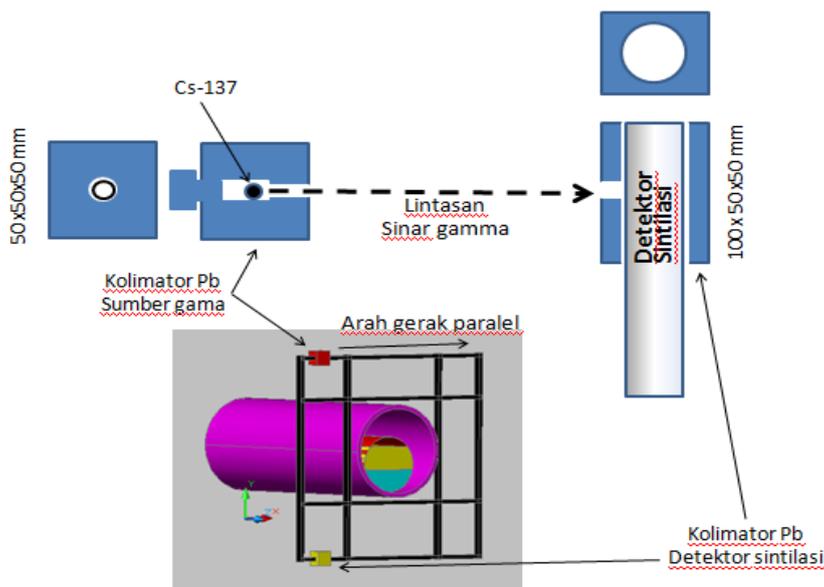
disamping dimensi dan densitas objek, aktivitas sumber yang digunakan juga harus diperhitungkan untuk mendapatkan intensitas gamma yang sesuai dan dapat terukur oleh pencacah sintilasi yaitu sekitar 10.000 cps. <sup>2)</sup>

Penelitian ini bertujuan untuk menggunakan teknik gamma tomografi untuk investigasi air,

minyak, udara, dan kerak pada pipa aliran proses industri. Penelitian dilakukan di laboratorium PATIR-BATAN, PPTN Pasar Jumat, Jakarta untuk studi identifikasi material komposit, selanjutnya dilakukan uji coba aplikasi lapangan di Lapangan Panas Bumi PT. Geo Dipa Energi, Wonosobo, Jawa Tengah.

## BAHAN DAN PERALATAN

Penelitian ini menggunakan bahan sumber gamma Cs-137 dengan aktivitas 30 mCi, 7 liter Air, 10 liter minyak tanah, botol kapasitas 19 liter, dan pipa berkerak silica dengan diameter 30 cm dan panjang 150 cm. Peralatan utama penelitian terdiri dari seperangkat pendeteksi radiasi yaitu detektor sintilasi NaI/TL dan ratemeter Minekin® seri 9303. Peralatan lain adalah peralatan mekanik hasil pengembangan dari PATIR-BATAN . Peralatan mekanik ini terdiri dari kolimator sumber gamma dan kolimator detektor sintilasi yang dapat digerakan secara parallel seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Peralatan mekanik gamma tomografi PATIR-BATAN.

Gerakan paralel menggunakan motor penggerak 110 V dan dikontrol secara otomatis dengan program aplikasi komputer hasil pengembangan PATIR-BATAN. Komputer selain untuk mengontrol gerakan sumber dan detektor juga sebagai data logger dan untuk melakukan komputasi rekonstruksi gambar. Peralatan keselamatan berupa surveymeter, *thermoluminisence dose*, alat perisai diri (helem, sepatu, sarung tangan, dll), tanda bahaya radiasi serta alat tulis dan kertas.

## PERCOBAAN

Percobaan gamma tomografi menggunakan metode sken sinar gamma secara paralel dengan mengukur intensitas sinar gamma setelah mengalami atenuasi saat interaksi dengan material. Intensitas radiasi gamma setelah berinteraksi dengan material mengikuti persamaan Lambert-Beers<sup>2)</sup> sebagai berikut.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

Dimana  $I$  = Intensitas radiasi setelah melewati material (cps)

$I_0$  = Intensitas radiasi awal (cps)

$\mu$  = Koefisien atenuasi ( $\text{cm}^{-1}$ )

$x$  = tebal material (cm)

Koefisien atenuasi dalam persamaan (1) adalah asumsi material bersifat homogen. Apabila material tidak homogen maka persamaan (1) menjadi

$$I = I_0 e^{-\int^x \mu dl} \quad (2)$$

Koefisien atenuasi biasa diasumsikan pada kolom proses dengan ketebalan dinding kolom  $x_v$  dan koefisien atenuasinya  $\mu_v$ . Berkas sinar gamma menembus dinding kolom pada saat masuk dan keluar kolom dengan demikian intensitas radiasi gamma adalah sebagai berikut

$$I = I_0 e^{-\mu_v x_v} e^{-\mu x} e^{-\mu_v x_v} \quad (3)$$

disederhanakan menjadi

$$I = I_0 e^{-2\mu_v x_v} e^{-\mu x} \quad (4)$$

atau

$$I = I_E e^{-\mu x} \quad (5)$$

dimana

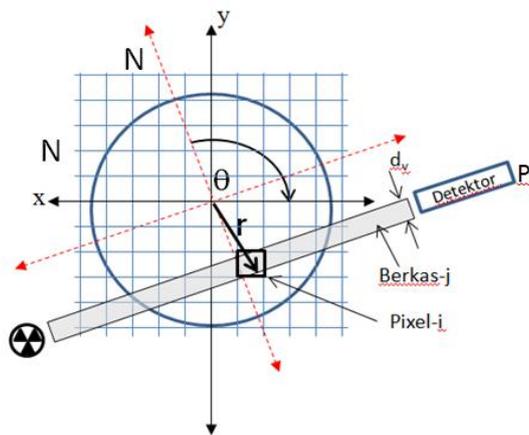
$$I_E = I_0 e^{-2\mu_v x_v} \quad (6)$$

$I_E$  adalah intensitas radiasi apabila kolom hanya berisi udara bertekanan pada saat beroperasi. Untuk pengukuran praktis sebenarnya  $I_E$  dapat dianggap  $I_o$ , sehingga persamaan (5) menjadi

$$I = I_o e^{-\mu x} \tag{7}$$

**Diskritisasi Area Objek**

Teknik gamma tomografi melakukan pengukuran dari berbagai arah untuk rekonstruksi objek menjadi gambar dengan melakukan diskritisasi objek seperti ditunjukkan pada gambar (2) <sup>3</sup>). Persamaan proyeksi atenuasi sinar gamma (P) pada posisi (r) arah ( $\theta$ ) seperti pada persamaan (8) berikut ini.



Gambar 2. Prinsip gamma tomografi

$$P(r, \theta) = \int_{r, \theta} \mu(x, y) ds \tag{8}$$

$P_j$  adalah persamaan proyeksi hasil pengukuran intensitas sinar gamma pada  $P(r, \theta)$ .

Persamaan (7) dalam  $\mu$  adalah sebagai berikut

$$\ln I = \ln I_o - \mu x \tag{9}$$

$$\mu x = \ln I_o - \ln I \tag{10}$$

$$\mu = \frac{1}{x} (\ln I_o - \ln I) \tag{11}$$

$$\mu = \frac{1}{x} \ln\left(\frac{I_o}{I}\right) \tag{12}$$

$\mu$  tidak lain adalah koefisien atenuasi elemen objek sehingga

$$P_j = \bar{\mu} = \int_r \mu(r) dr = \frac{1}{x} \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) \quad (13)$$

### Diskritisasi Persamaan Proyeksi

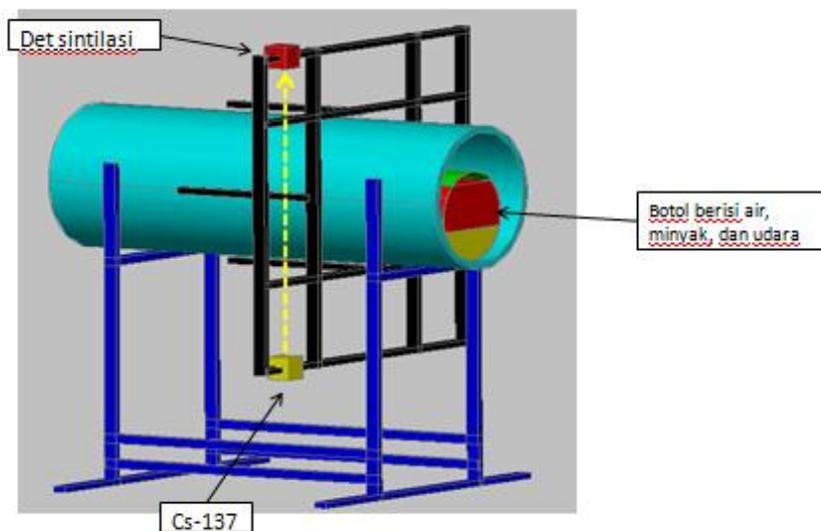
Persamaan (8) dapat dituliskan dalam bentuk persamaan (14) dibawah ini

$$P_j = \sum_{i=1}^N w_{ji} \mu_i \quad (14)$$

Dimana  $w$  adalah bobot pixel dalam matrik  $N \times N$ . Matrik  $N \times N$  tidak lain adalah elemen gambar objek untuk merekonstruksi gambar.  $w$  bernilai 1 apabila dilalui sinar gamma dan bernilai 0 bila tidak dilalui sinar gamma.

### Investigasi level air, minyak, dan udara

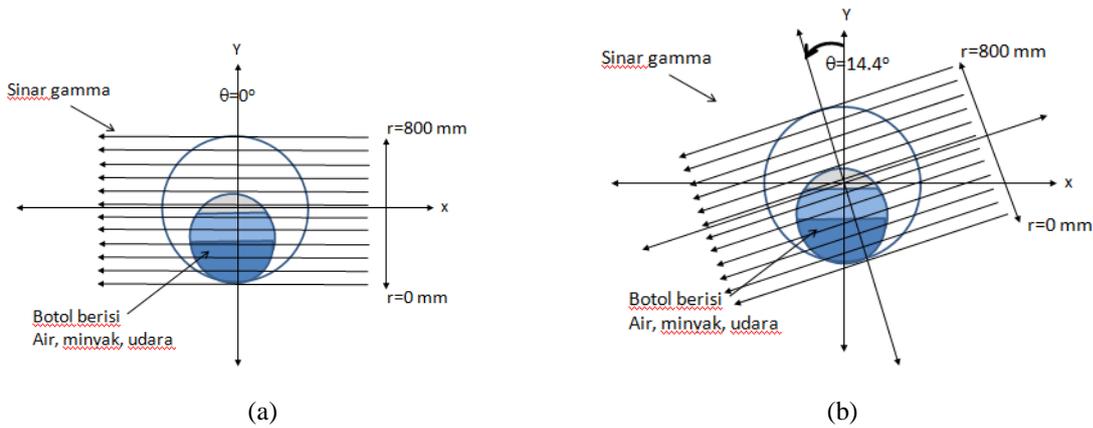
Studi pertama dilakukan di laboratorium PATIR-BATAN untuk menyelidiki level air, minyak, dan udara di dalam pipa. Penelitian ini bertujuan menyelidiki material komposit dengan masa jenis yang sangat berdekatan yaitu air (1 g/cc) dan minyak tanah (0.8 g/cc). Koefisien atenuasi linear air dan minyak adalah berturut-turut  $0.0815 \text{ cm}^{-1}$  dan  $0.0702 \text{ cm}^{-1}$  <sup>5</sup>). Metode kerja penelitian ini adalah memasukan 7 liter air dan 10 liter minyak tanah kedalam botol kapasitas 19 liter kemudian ditutup rapat sehingga isi botol terdiri dari air, minyak dan udara. Botol kemudian dimasukan ke dalam perangkat gamma tomografi seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema penelitian level air, minyak, dan udara.

Percobaan dimulai dengan mengukur intensitas radiasi gamma dari posisi terluar pipa yaitu

titik  $r=0$  mm. Arah sinar gamma pada pengukuran ini adalah  $\theta=0^\circ$ . Pergerakan sumber dan detektor secara paralel di kontrol dengan computer, sejauh 5 mm. Pengukuran intensitas kembali dilakukan pada posisi 5 mm seperti tampak pada Gambar 3a. Pengukuran intensitas pada arah sinar  $\theta=0^\circ$  berakhir pada  $r=800$ mm yaitu disisi luar lain pipa. Posisi pengukuran dilanjutkan pada arah sinar  $\theta=14.4^\circ$  dimulai pada posisi  $r=0$  mm sampai  $r=800$ mm, Gambar 3b.



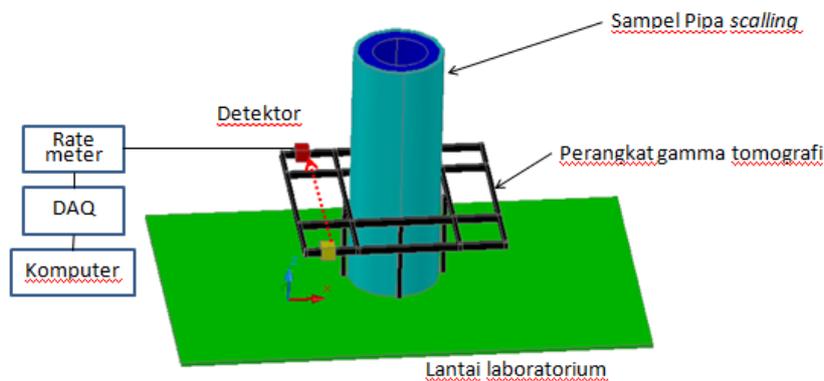
Gambar 3. metode pengukuran gamma tomografi

Data pengukuran percobaan ini seperti tampak pada tabel 3. di bawah ini

Tabel 3. Data pengukuran

$\theta^\circ$	$R_1=0$ mm	$R_2=5$ mm	$R_3=10$ mm	$R_4=15$ mm	$R_5=20$ mm	dst... $R_{80}=400$ mm
0	12191	12219	12188	12165	12174	12193
14,4	12180	12194	12167	12180	12183	12178
28.8	12173	12211	12177	12192	12183	12189
dst.360	12210	12189	12198	12203	12201	12176

**Pengukuran Kerak Silica Pada Sampel Pipa di Laboratorium**



Gambar 4. Investigasi kerak pada sampel pipa

Gambar 4 memperlihatkan pengukuran tebal kerak pada pipa bekas aliran uap panas lapangan

panas bumi PT. Geo Dipa Energi, di Dieng, Wonosobo. Pipa yang telah dipotong sepanjang 150 cm diposisikan berdiri di atas lantai. Peralatan gamma tomografi dipasang seperti terlihat pada gambar 4. Pengukuran intensitas radiasi dimulai pada  $r=0$  mm dengan arah sinar  $\theta=0^\circ$ . Langkah pengukuran seperti pada investigasi air, minyak dan udara data intensitas dicatat sesuai tabel 3.

### **Pengukuran Kerak Silica Pada Pipa Aliran Uap Pada Saat On-line**

Investigasi kerak pada pipa secara on-line adalah sangat penting dalam aplikasi di bidang industri. Dengan mengacu pada data pengukuran kerak di laboratorium diharapkan teknik ini dapat diaplikasikan pada sistem pipa secara on-line. Titik pengamatan telah dipilih berdasarkan informasi dari pihak pengelola PT. Geo Dipa Energi yaitu titik yang diduga telah mengalami pengerakan. Perangkat gamma tomografi dipasang seperti pada Gambar 5.



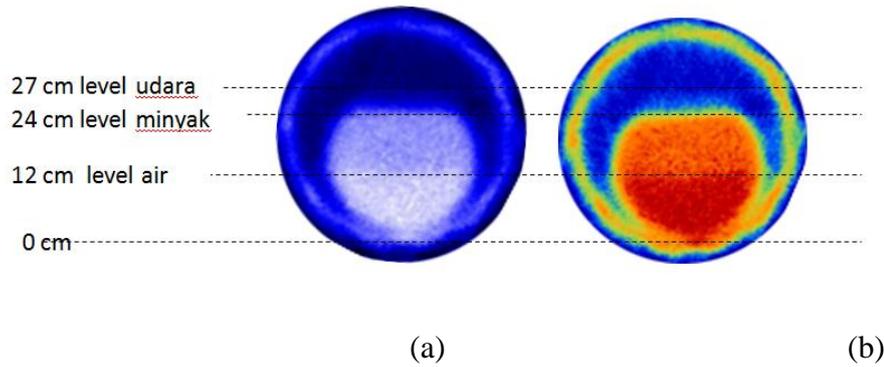
Gambar 5. Investigasi kerak pada pipa aliran steam secara online di lapangan pasa bumi PT. Geo Dipa Energi, Wonosobo, Jawa Tengah

Proses pengukuran intensitas radiasi sama seperti dilakukan pada percobaan investigasi air, minyak, dan udara data intensitas dicatat sesuai tabel 3.

## **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

### **Investigasi level air, minyak, dan udara**

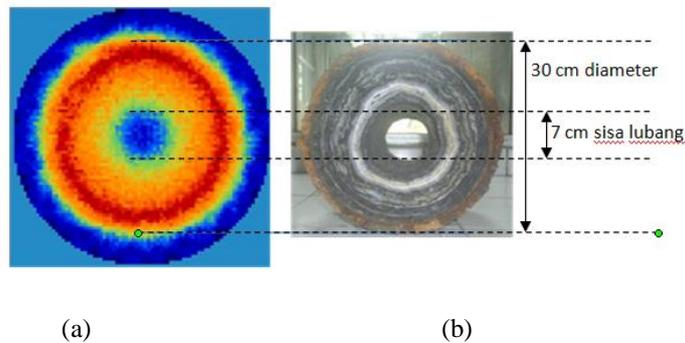
Hasil rekonstruksi teknik gamma tomografi untuk investigasi level air minyak, dan udara seperti tampak pada gambar 6. Level air berada di bawah karena masa jenis air lebih besar dari pada minyak tanah. Dengan ketinggian 12 cm. sedangkan level minyak berada pada level 12 sampai 24 cm diatas air. Perbedaan densitas air dan minyak dapat diamati secara visual baik pada ketajaman putih dan abu-abu Gambar 6.(a) maupun kontras Gambar 6.(b). Level udara yang berada di dalam botol terdapat di atas minyak tanah pada level antara 24 sampai 27 cm. Akan tetapi, udara di dalam botol dan di luar botor tidak teramati adanya dinding botol. Dinding botol tidak dapat direkonstruksi karena tebal dinding botol yang jauh lebih tipis dari resolusi pengukuran sebesar 5mm.



Gambar 6 Perbandingan gambar hasil rekonstruksi gamma tomografi (a) tajam (b) kontras

### Pengukuran Kerak Silica Pada Sampel Pipa di Laboratorium

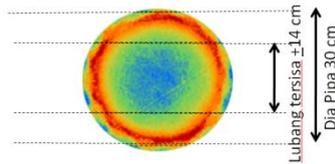
Pengukuran level atau ketebalan kerak pada sampel pipa yang mengandung kerak seperti tampak pada Gambar 7 berikut ini. Pipa baja dengan diameter dalam 30 cm telah mengalami pengerakan pada seluruh dinding pipa hingga ketebalan 11-12 cm. Kondisi ini mengurangi laju aliran uap panas yang mengalir karena diameter dalam pipa hanya tersisa  $\pm 7$  cm. Gambar penampang lintang pipa hasil rekonstruksi gamma tomografi (Gambar 7.(a)) identik dengan foto potongan pipa (Gambar 7.(b)). Eksistensi kerak silika lebih jelas pada area antara dinding pipa baja dengan udara di dalam pipa.



Gambar 7. Hasil rekonstruksi gambar pipa mengandung kerak silika

### Pengukuran Kerak Silica Pada Pipa Aliran Steam secara On-line

Tantangan teknologi gamma tomografi dalam aplikasi dalam proses industri adalah melakukan pengukuran dengan tidak mengganggu sistem yang sedang berjalan. Gambar hasil rekonstruksi gamma tomografi pada pipa aliran panas bumi dalam keadaan on-line di lapangan panas bumi Dieng, Wonosobo, seperti pada Gambar 8. Pada Gambar tampak pembentukan awal kerak telah mencapai 8 cm pada seluruh dinding pipa sehingga lubang diameter yang tersisa  $\pm 14$  cm. Proses terbentuknya kerak ini hampir mencapai 70% dari data kerak pipa sebelumnya yaitu  $\pm 12$  cm.



Gambar 8. Hasil rekonstruksi teknik gamma tomografi pada pipa aliran panas bumi secara On-line

## KESIMPULAN

1. Peralatan teknologi gamma tomografi hasil pengembangan PATIR-Batan telah dapat digunakan untuk investigasi level air, minyak, udara didalam pipa dengan resolusi 5X5 mm.
2. Peralatan ini dapat digunakan sebagai metode investigasi secara on-line sehingga tidak mengganggu proses produksi.
3. Menggunakan teknik gamma tomografi untuk investigasi kerak didalam pipa aliran uap panas bumi dapat memonitor pertumbuhan kerak sehingga dapat diprediksi dan direncanakan jadwal preawatannya.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih disampaikan kepada Badan Tenaga Atom Internasional (IAEA) dan Badan Tenaga Nuklir Nasional (Batan) yang telah member kesempatan untuk melakukan pelatihan dan penelitian teknologi gamma tomografi. Kepada Dr. Geir Johansen, Universitas Bergen, Norway, Dr. Samuel Leagoupil, CEA, Perancis, Prof. DR. Al-Dahhan, Muthanna H, Washington University, USA. yang telah memberikan pengenalan dan bimbingan tentang teknologi ini. Juga Dr. Paston Sidauruk, Drs. Barokah A. M.Sc., Drs. Sugiharto, MT., rekan-rekan dan berbagai pihak yang tidak dapat saya sebutkan disini yang telah memberikan dorongan untuk penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. INDUSTRIAL PROCESS GAMMA TOMOGRAPHY, "IAEA report of the Consultant's Meeting", North Carolina, USA, 2002
2. JOHANSEN GA. JACKSON P., "Radioisotope gauges for industrial Process Measurement", John Willey & Sons, Ltd. England, 2004

3. "INTRODUCTION TO INDUSTRIAL PROCESS TOMOGRAPHY (IPT)/IPT THEORY". IAEA/RCA Training Course on "Industrial Process gamma tomography", KAERI, Daejon, 11-15 October 2004. presented by Johansen GA. Dept. of Physics and Technology, University of Bergen, Norway
4. "INTRODUCTION TO COMPUTED GAMMA TOMOGRAPHY", IAEA/RCA Training Course on "Industrial Process Gamma Tomography for Multiphase Investigation of Petrochemical Plants", Malaysia 19<sup>th</sup> -23<sup>rd</sup> July 2010. Presented by Professor Adahan Muthana.
5. "INDUSTRIAL PROCESS GAMMA TOMOGRAPHY", Final Report of a Coordinated Research Project 2003-2007, IAEA VIENNA, 2008.

## DISKUSI

### BAGIYONO

- Berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk melakukan scanning 360<sup>0</sup>?
- Berapa luas area per scanning?
- Kecepatan pemeriksaan berapa m/jam?
- Berapa % akurasi hasilnya ( $\times \pm Y$  % mm)?

### WIBISONO

- 3 jam untuk mendapat gambar 2D pada teknik tomografi yang dimiliki BATAN
- 70 cm, min 20 cm
- 1 cross sedium 3 jam → 1,5 jam
- Resolusi 575mm

### INDRAYANA

1. Apakah metode investigasi tersebut juga diaplikasikan pada pipa yang berisi (air, minyak dan lain-lain) yang dalam kondisi mengalir secara tidak homogen?
2. Berdasarkan keterangan gambar alat gamma topografi ternyata butuh ruang bebas selebih radius alat tersebut. Pertanyaannya adalah bisakah alat tersebut dipakai pada pipa-pipa diindustri yang posisinya jarak pipa satu dengan yang lainnya kurang dari radius rentas alat tersebut?

### WIBISONO

1. Untuk pipa dengan feuida bergerak (tidak bergerak) pengukuran masih dapat dilakukan akan tetapi hasil imoye tidak
2. Memang dibutuhkan area bebas untuk melakukan penukuran BATAN telah mendesoir peralatan sehingga memiliki tenaga yang dapat digunakan pada berbagai diameter pijar sehingga tidak memerlukan area bebas terlalu besar.

