

Pengukuran *Scaling* pada Pipa menggunakan Tomografi Gamma *Parallel Beam*

Measurement of Pipe Scaling using Parallel Beam Gamma Tomography

Bayu Azmi¹, Wibisono¹ dan Adhi Harmoko Saputro²

¹ Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN

Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta Selatan 12440

² Departemen Fisika, Universitas Indonesia, Depok, 16424

Email : bayuazmi@batan.go.id

ABSTRAK

Pembentukan *scale* pada pipa maupun unit proses lainnya dapat terjadi di dalam proses produksi. *Scaling* pada pipa dapat mengurangi diameter pipa sehingga mengurangi laju alir dan bahkan mengakibatkan pipa tersumbat. Pengukuran diperlukan untuk mengetahui keberadaan dan persentase *scaling* pada pipa. Tomografi merupakan teknik yang digunakan untuk menginvestigasi struktur dalam suatu obyek secara *non-intrusive* dan *non-invasive*. Dalam penelitian ini sistem tomografi digunakan untuk pemindaian translasi dan rotasi secara otomatis. Sumber radiasi gamma ¹³⁷Cs yang terkollimasi mentransmisikan foton gamma menembus obyek uji yang kemudian dideteksi dengan detektor sintilasi NaI(Tl). Kumpulan data proyeksi dibangun menjadi citra menggunakan perekonstruksi citra dengan metode *filtered back projection* (FBP). Citra hasil rekonstruksi dapat membedakan material dengan nilai densitas yang berdekatan seperti air (1 g/cm³), parafin (0,9 g/cm³), dan *pertalite* (0,72-0,77 g/cm³). Citra pipa dengan *scale* dianalisis untuk menghitung persentase area aliran setelah terjadi *scaling* terhadap pipa normal (pipa tanpa *scale*). Hasil analisis citra area aliran yang tersisa pada pipa *geothermal plant* adalah 10,06% dengan 16 proyeksi, 9,86% dengan 32 proyeksi, 9,75% dengan 64 proyeksi, dan 9,76% dengan 128 proyeksi, sedangkan 26,08% pada pipa *furnace* dengan 32 proyeksi. Sistem yang telah dibangun berhasil memindai obyek, mengakuisisi dan mengumpulkan data, serta membangun dan menganalisis citra untuk menginvestigasi *scale* di dalam pipa.

Kata Kunci : industri, *pipe scaling*, *parallel beam*, rekonstruksi citra, tomografi gamma

ABSTRACT

Scaling in pipeline or other process units may occur in the production process. Scaling in pipes can reduce the diameter of the pipe, thereby reducing the flow rate and even lead to clogged pipes. Measurement is needed to determine the existence of scaling and its percentage. Tomography is a technique used to investigate the inner structure of an object in a non-intrusive and non-invasive. In this work tomography system was used to conduct translational and rotational scan automatically. Collimated gamma-ray source ¹³⁷Cs transmit photons through the object and detected using NaI(Tl) scintillation detector. The projections data was built to image using filtered back projection (FBP) image reconstruction method. The reconstructed image is able to distinguish materials with adjacent density value such as water (1 g/cm³), paraffin (0.9 g/cm³), and *pertalite* (0.72-0.77 g/cm³). The pipes within scale image were analyzed to calculate percentage of flow area after scaling compared to normal pipe (pipe without scale). The image analysis results of remaining flow area in geothermal plant pipe are 10.06% with 16 projections, 9.86% with 32 projections, 9.75% with 64 projections, and 9.76% with 128 projections, while 26.08% is in furnace pipe with 32 projections. Finally, the system successfully scans the object, acquires and collects data, builds and analyzes the image for pipe scale investigation.

Keywords : gamma tomography, image reconstruction, industry, parallel beam, pipe scaling

PENDAHULUAN

Sistem multifase adalah struktur yang terdiri dari campuran padatan, cairan, dan gas di

dalam reaktor kimia atau pipa dalam proses dinamis [1]. *Scaling* pada pipa maupun unit lainnya dapat mengganggu proses produksi. *Scale* didefinisikan sebagai senyawa-senyawa anorganik

yang terendapkan dan membentuk timbunan kristal pada permukaan suatu substansi [2].

Beberapa jenis *scaling* teramati di dalam sumur dan instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP). *Scaling* yang paling umum terdapat di pipa-pipa panas bumi adalah *silica* (SiO₂) dan *calcite* (CaCO₃) [3]. *Scale* juga terjadi pada proses pendistribusian minyak mentah (*crude oil*). *Scale* yang umum dijumpai pada ladang minyak ditunjukkan pada Tabel 1. Penyebab langsung terbentuknya *scale* adalah penurunan tekanan, perubahan temperatur, dan bercampurnya dua macam mineral yang berbeda [4]. Terganggunya aliran fluida akibat *scale* pada pipa, dapat menyebabkan kenaikan tekanan dan suhu yang memungkinkan pipa akan pecah.

Kemampuan untuk melihat bagian dalam obyek merupakan hal yang sangat dibutuhkan dalam proses industri untuk mendiagnosis malfungsi ataupun dalam rangka peningkatan produksi. Untuk melihat bagian dalam obyek tanpa harus merusak maupun menghentikan proses dibutuhkan suatu teknik yang dapat menembus dan membawa informasi yang dibutuhkan dari obyek tersebut. Radiasi gamma telah banyak digunakan pada proses industri untuk

telah banyak diaplikasikan di bidang kesehatan. Aplikasi teknik tomografi di bidang industri memiliki tantangan tersendiri. Sistem tomografi tersebut harus dapat disesuaikan terhadap obyek yang akan diinvestigasi maupun kondisi sekitarnya dan juga mudah untuk dipindahkan (portabel). Pengembangan teknik seperti penggunaan banyak detektor dan menggunakan sumber yang berotasi telah dilakukan untuk diaplikasikan pada industri skala besar [7]. Sistem tomografi yang dapat dipindah (*transportable*) juga dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan industri [8].

Data hasil pemindaian direkonstruksi menjadi citra menggunakan metode *filtered back projection* (FBP). Citra hasil rekonstruksi dianalisis untuk mendapatkan area aliran fluida yang tersisa akibat *scale*. Bentuk pipa pada citra diidentifikasi dengan menggunakan fungsi pengenalan tepi (*boundary recognition*). Dengan didapatkannya batas luar dan batas dalam obyek, maka total area dalam obyek dapat dihitung. Kemudian, persentase area alir fluida yang tersisa pada pipa yang mengalami *scaling* dibanding dengan pipa normal (tanpa *scale*) dapat ditentukan.

Tabel 1. *Scale* yang umum dijumpai pada ladang minyak [4]

Nama	Formula Kimia	Variabel Primer
Calcium Carbonat (Calcite)	CaCO ₃	Suhu parsial CO ₂ , suhu total garam terlarut
Calcium Sulfat Gypsum Hemi-hydrate Anhydrate	CaSO ₄ . H ₂ O CaSO ₄ . 1/2 H ₂ O CaSO ₄	Suhu, total garam terlarut, tekanan
Barium Sulfat Strontium Sulfat	BaSO ₄ SrSO ₄	Suhu, total garam terlarut, tekanan
Iron Compound Ferrous Carbonat Ferrous Sulfite Ferrous Hydroxide Ferric Hydroxide Ferric Oxide	FeCO ₃ FeS Fe(OH) ₂ Fe(OH) ₂ Fe ₂ O ₃	Karat, gas terlarut, pH

mendiagnosis malfungsi pada unit produksi karena energinya yang tinggi dan tidak membutuhkan pembangkit radiasi [5].

Tomografi merupakan pencitraan tampang lintang sebuah obyek dari data transmisi maupun refleksi yang didapat dengan mengukur obyek dari banyak arah yang berbeda [6]. Teknik tomografi

BAHAN DAN METODE

Bahan dan peralatan

Obyek pipa dengan *scale* menggunakan potongan pipa dari pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) dan pipa *furnace* ditunjukkan pada Gambar 1. Selain itu, sampel air, parafin, dan

pertalite digunakan untuk menguji kemampuan sistem tomografi dalam hal membedakan material yang memiliki nilai densitas yang berdekatan. Nilai densitas air, parafin, dan *pertalite* berturut-turut adalah 1 g/cm^3 , $0,9 \text{ g/cm}^3$, dan $0,72\text{-}0,77 \text{ g/cm}^3$.

diakuisisi dan direkam pada personal komputer. Sistem pemindai dan akuisisi data seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Proses dimulai dari pemindaian translasi (sudut 0°), yaitu sumber dan detektor gamma bergerak secara bersamaan pada *gantry*. Intensitas radiasi yang tertangkap oleh



Gambar 1. Sampel pipa dengan *scale*, (a) pipa PLTP, (b) pipa *furnace*.

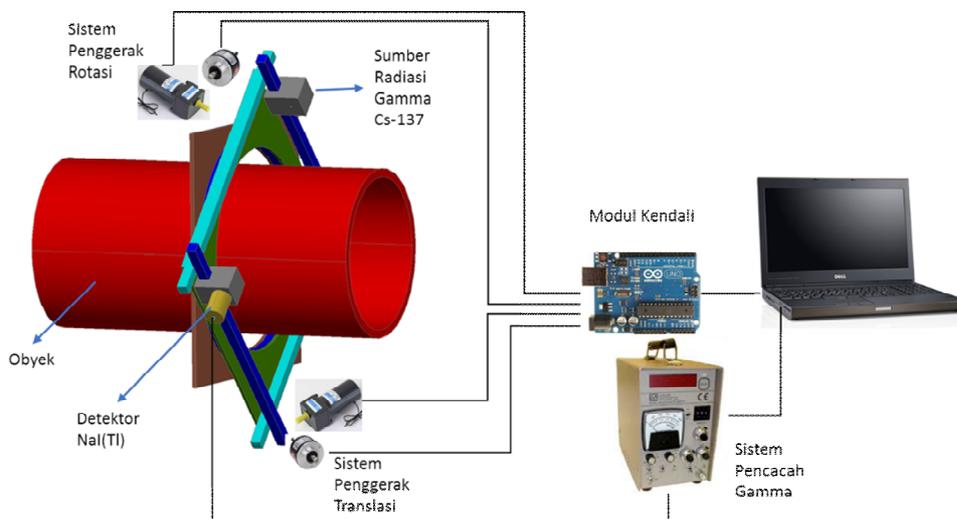
Sumber radiasi gamma yang digunakan adalah ^{137}Cs dengan aktivitas 80 mCi. Energi dari ^{137}Cs adalah sebesar 0,662 MeV, sehingga cukup baik untuk digunakan dalam membedakan densitas bahan. Detektor *Ludlum Model 44-2 Gamma Scintillator* digunakan sebagai pendeteksi foton gamma yang kemudian dicacah menggunakan pencacah radiasi *Ludlum Model 2200 Scaler Ratemeter*.

detektor adalah intensitas radiasi yang ditransmisikan oleh sumber radiasi dikurangi oleh radiasi yang telah diserap oleh udara dan atau obyek pada perjalanannya menuju detektor [9]. Gerak translasi berhenti setiap 5 mm dan sistem akan mencacah radiasi. Setelah proses pencacahan radiasi selesai dan data telah disimpan di personal komputer, maka sumber dan detektor bergerak translasi sejauh 5 mm berikutnya sampai seluruh obyek terpindai.

Pengambilan data

Sistem pemindai terdiri dari *gantry*, aktuator, dan pengendali. Data pemindaian

Data hasil pemindaian translasi sudut 0° menjadi data proyeksi pertama. Untuk membangun sebuah citra dari data pemindaian



Gambar 2. Diagram sistem pemindai dan akuisisi data

dibutuhkan beberapa proyeksi. Pada penelitian ini sistem memindai separuh dari obyek (180°). Jika ditentukan akan membangun citra dari 32 proyeksi, artinya pada proyeksi kedua dan seterusnya, *gantry* melakukan gerak rotasi dengan interval $180^\circ/32 = 5,625^\circ$. Semakin banyak jumlah proyeksi maka akan meningkatkan resolusi spasial dari citra akan tetapi akan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk pengambilan data [10].

Rekonstruksi dan analisis citra

Perangkat lunak perkonstruksi citra pada penelitian ini menggunakan algoritma *Filtered Back Projection* (FBP). Metode FBP merupakan teknik yang paling dikenal dalam hal rekonstruksi citra karena mudah dikombinasikan dengan akurasi yang baik [11]. Proyeksi dapat dinyatakan sebagai transformasi *radon* dari objek yang akan direkonstruksi. Transformasi *radon* dinyatakan sebagai berikut:

$$p(s, \theta) = R(f) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(x \cos \theta + y \sin \theta - t) dx dy \tag{1}$$

Integral garis sepanjang sinar tomografi pada sudut θ dari sumbu x dan pada jarak t dari asal. Dengan memutar sistem kordinat (Gambar 3):

$$t = x \cos \theta + y \sin \theta \tag{2}$$

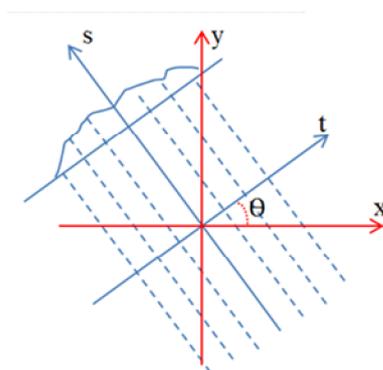
$$s = -x \sin \theta + y \cos \theta \tag{3}$$

$$x = t \cos \theta - s \sin \theta \tag{4}$$

$$y = t \sin \theta + s \cos \theta \tag{5}$$

rekonstruksi citra didapatkan dengan cara mengembalikan nilai *radon* kepada sumbu x,y dengan menggunakan *invers radon*:

$$\mu(x, y) = \int_0^\pi p_\theta(t) \int_{-\infty}^{\infty} \delta(x \cos \theta + y \sin \theta - t) dt d\theta \tag{6}$$



Gambar 3. Sumbu x dan y rekonstruksi citra

Analisis citra hasil rekonstruksi dapat untuk mengenali dan mengukur area *scale* secara otomatis, kemudian sistem menghitung persentase area aliran fluida yang tersisa di dalam pipa. Fungsi *boundary recognition* digunakan untuk mengenali tepi bagian dalam dan bagian luar pipa. Untuk melakukan analisis diperlukan informasi dimensi obyek pipa yaitu diameter luar pipa dan ketebalan dinding pipa. Jumlah piksel area pipa (termasuk *scale* dan area aliran fluida) dikurang oleh jumlah area pipa dan *scale* (tanpa area aliran fluida) akan menghasilkan area aliran fluida yang tersisa akibat *scale* dalam piksel. Kemudian dengan memperhitungkan luas aktual area pipa dan ketebalan dinding pipa, maka didapatkan persentasi area aliran fluida yang tersisa akibat *scaling* dibanding dengan area aliran fluida pada pipa normal.

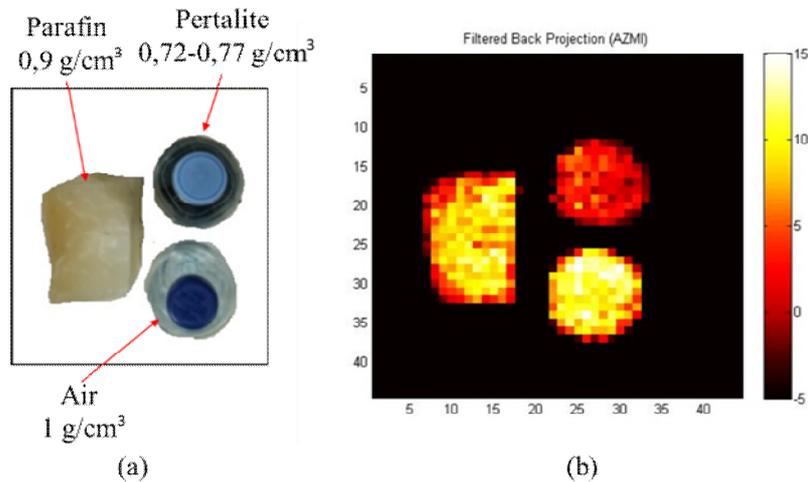
HASIL DAN PEMBAHASAN

Citra hasil rekonstruksi

Percobaan pertama adalah memindai 3 bahan yang memiliki densitas yang berdekatan dan dilakukan pemindaian sebanyak 32 proyeksi. Citra hasil rekonstruksi air, parafin, dan *pertalite* ditunjukkan pada Gambar 4. Dapat diamati citra air (densitas paling tinggi) berwarna lebih terang dibanding citra parafin (densitas sedikit di bawah air), sedangkan citra *pertalite* yang paling redup dikarenakan memiliki densitas paling rendah di

antara ketiganya. Hasil ini menunjukkan sistem dapat membedakan materi dengan perbedaan densitas yang relatif kecil (0.1 g/cm^3).

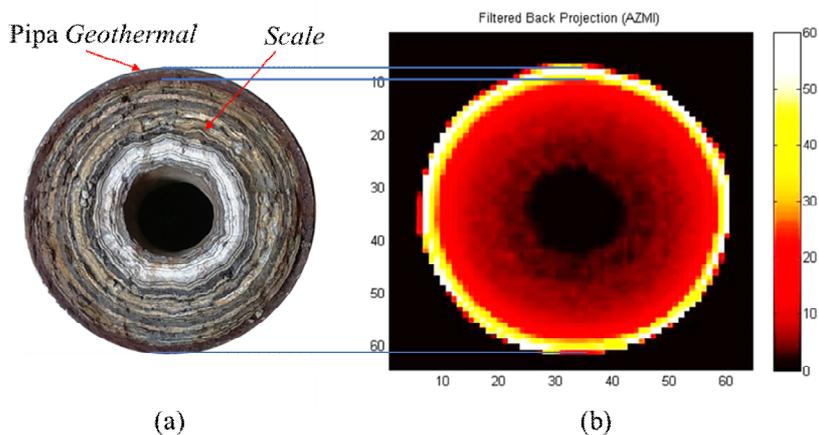
Data hasil pemindaian 128 proyeksi pada pipa *geothermal*, dikurangi menjadi 64, 32, dan 16 proyeksi kemudian dibangun menjadi citra.



Gambar 4. (a) Air, parafin, dan *pertalite*, (b) citra hasil rekonstruksi 32 proyeksi

Percobaan kedua adalah pemindaian sample pipa *geothermal plant* (PLTP). Diameter pipa adalah 275 mm dengan ketebalan dinding 10 mm. Pada percobaan ini dilakukan pemindaian sebanyak 128 proyeksi. Citra hasil rekonstruksi mengidentifikasi dinding pipa, *scale*, dan area aliran fluida (void) seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Ketebalan dinding maupun profil *scale* pada pipa fit dengan citra hasil rekonstruksi.

Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui efek dari jumlah proyeksi terhadap citra hasil rekonstruksi. Gambar 6 menunjukkan perbedaan citra hasil rekonstruksi. Pada 16 proyeksi terlihat bintang di luar pipa maupun di dalam void pipa. Pada citra 32 proyeksi masih terdapat sedikit bintang di luar dan di dalam pipa. Pada citra 64 dan 128 proyeksi tidak terdapat bintang di luar dan di dalam pipa, akan tetapi citra hasil rekonstruksi



Gambar 5. (a) Pipa *geothermal*, (b) citra hasil rekonstruksi 128 proyeksi

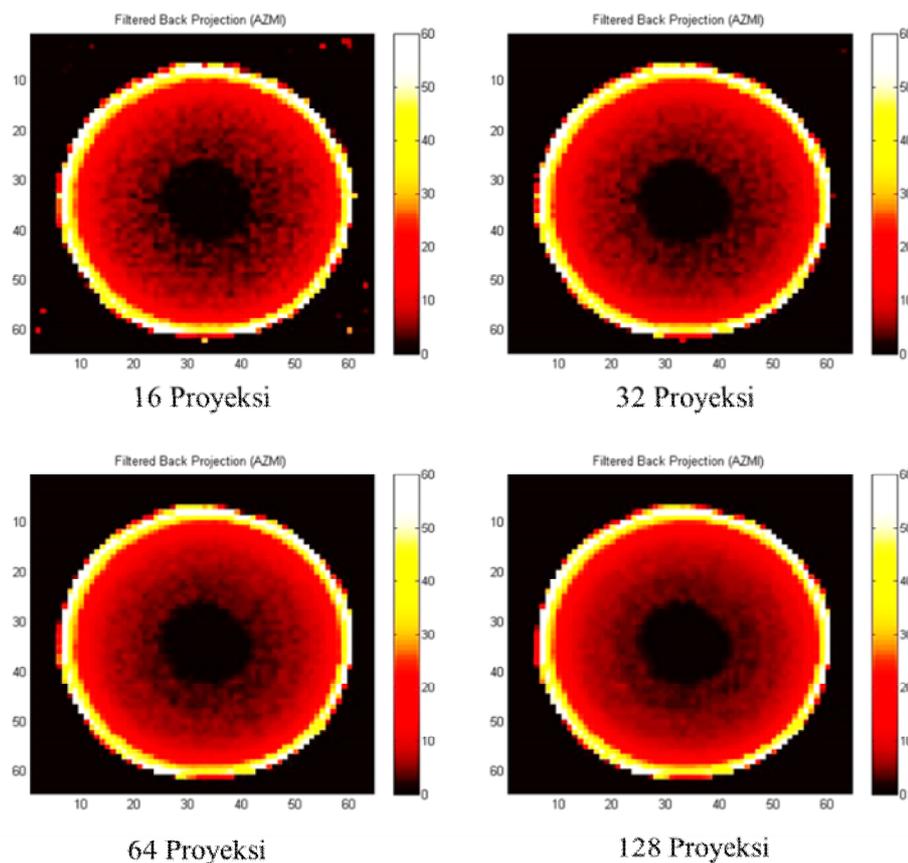
dari 128 proyeksi terlihat lebih halus dan lebih kontras dibandingkan dengan citra hasil rekonstruksi lainnya.

Untuk mendapatkan data 128 proyeksi dari pipa *geothermal* dibutuhkan waktu yang cukup lama (9 jam). Waktu yang dibutuhkan tergantung pada dimensi obyek yang akan dipindai, jumlah proyeksi, dan interval pemindaian translasi. Hal ini disebabkan karena sistem masih menggunakan metode pemindaian *parallel beam* (menggunakan 1 sumber radiasi dan 1 detektor). Metode pemindaian *fan beam* (1 sumber radiasi dan multi detektor) bisa menjadi solusi untuk mengatasi masalah waktu pemindaian obyek. Jika sistem menggunakan 10 detektor, maka waktu yang

diameter 170 mm dengan ketebalan dinding 10 mm. Pada percobaan ini dilakukan pemindaian sebanyak 32 proyeksi. Citra hasil rekonstruksi ditunjukkan pada Gambar 7. Teramati citra hasil rekonstruksi fit dengan obyek pipa yang dipindai.

Analisis citra

Citra hasil rekonstruksi dianalisis untuk menghitung area aliran fluida yang tersisa setelah terjadi *scale* pada pipa. Dengan menggunakan fungsi *boundary recognition*, maka didapatkan tepi luar dinding pipa dan tepi dalam *scale* pada pipa (Gambar 8 (a)). Luas area *scale* didapatkan dengan cara menghitung area seluruh pipa (Gambar 8 (b)) dikurangi dengan luas area pipa

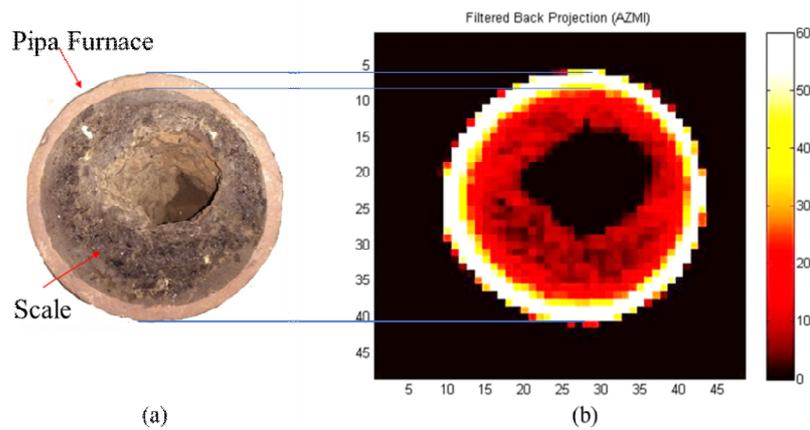


Gambar 6. Citra hasil rekonstruksi pipa *geothermal* dari 16, 32, 64, dan 128 proyeksi

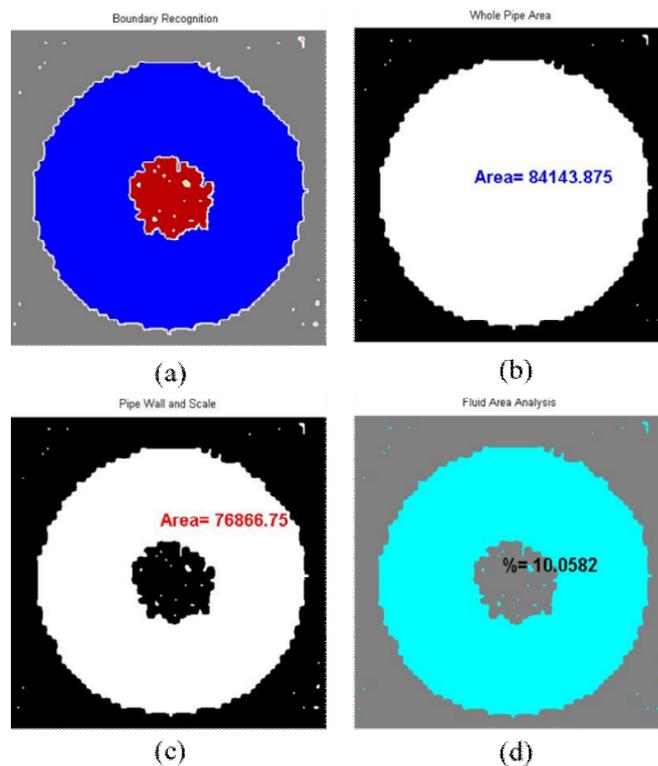
dibutuhkan untuk memindai obyek akan menjadi sepersepuluh dari waktu yang dibutuhkan dengan menggunakan 1 detektor.

Percobaan ketiga adalah pemindaian sampel pipa *furnace* berbentuk elbow. Pipa ini memiliki

dan *scale* (Gambar 8 (c)). Kemudian didapatkan persentase area aliran fluida terkini (dengan *scale*) dibanding dengan area aliran fluida normal (tanpa *scale*) seperti ditunjukkan pada Gambar 8 (d).



Gambar 7. (a) Pipa *furnace*, (b) citra hasil rekonstruksi 32 proyeksi

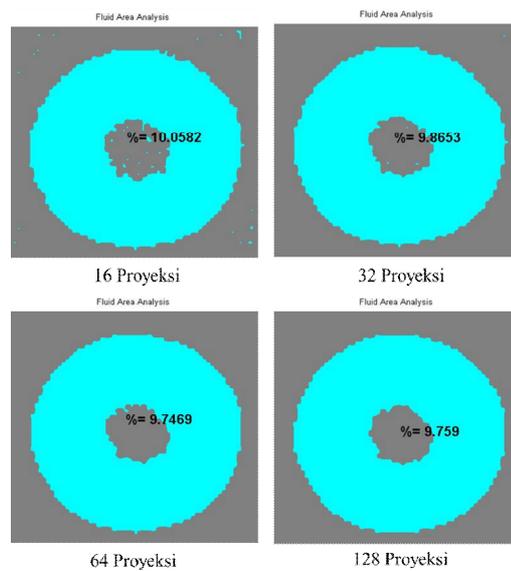


Gambar 8. Analisis citra pipa *geothermal* 16 proyeksi (a) *boundary recognition*, (b) *whole pipe*

Analisis citra pipa *geothermal* dilakukan terhadap citra hasil rekonstruksi 16, 32, 64, dan 128 proyeksi. Hasil analisis citra seperti ditunjukkan pada Gambar 9 dan Tabel 2. Terdapat perbedaan hasil analisis citra dikarenakan kualitas citra yang dianalisis. Pada citra 16 proyeksi area aliran fluida yang tersisa adalah 10,06 %. Hasil ini relatif jauh berbeda dibanding citra 32, 64, dan 128 berturut-turut yaitu 9,86 %, 9,75%, dan

9,76%. Hal ini disebabkan oleh citra hasil rekonstruksi 16 proyeksi memiliki resolusi spasial yang kurang baik dibanding dengan citra dari proyeksi yang lebih banyak.

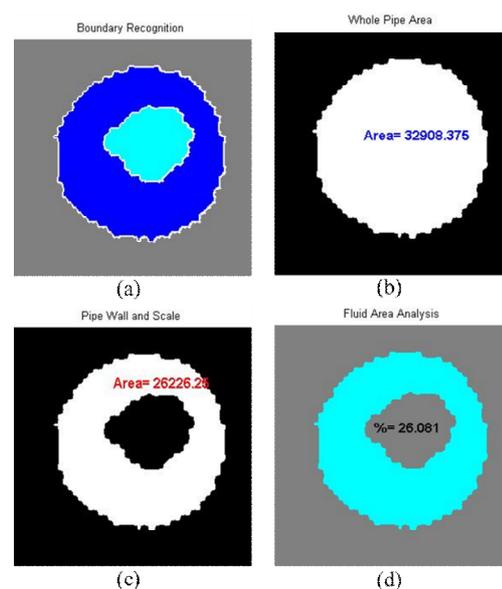
Analisis kedua dilakukan terhadap citra pipa *furnace*. Hasil analisis ditunjukkan pada Gambar 10. Didapatkan 26,08 persen area aliran fluida yang tersisa yang disebabkan oleh *scaling*.



Gambar 9. Persentase area aliran fluida yang tersisa dari pipa *geothermal* dari citra 16, 32, 64, dan 128 proyeksi.

Tabel 2. Hasil Analisis Citra Pipa *Geothermal Plant*.

Proyeksi	Area Pipa (Piksel)	Area Dinding Pipa dan <i>Scale</i>	Area Fluida (%)
16	84143,88	76866,75	10,06
32	83672,38	76574,88	9,86
64	83677,50	76664,75	9,75
128	83548,00	76537,36	9,76



Gambar 10. Analisis citra pipa *furnace* 32 proyeksi (a) *boundary recognition*, (b) *whole pipe area*, (c) *pipe wall and scale*, dan (d) *fluid area percentage*

KESIMPULAN

Sistem yang telah dibangun berhasil memindai obyek, mengakuisisi dan mengumpulkan data, serta membangun dan menganalisis citra untuk menginvestigasi *scale* di dalam pipa. Pemindaian menggunakan sumber radiasi gamma ^{137}Cs mampu membedakan material dengan nilai densitas yang berdekatan seperti air (1 g/cm^3), parafin ($0,9 \text{ g/cm}^3$) maupun *pertalite* ($0,72\text{-}0,77 \text{ g/cm}^3$). Algoritma analisis citra berhasil mengenali obyek pipa dan *scale* di dalamnya. Hasil analisis citra area fluida yang tersisa pada pipa *geothermal plant* adalah 10,06% dengan 16 proyeksi, 9,86% dengan 32 proyeksi, 9,75% dengan 64 proyeksi, dan 9,76% dengan 128 proyeksi, sedangkan 26,08% pada pipa *furnace* dengan 32 proyeksi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Indonesia untuk dana penelitiannya dan Badan Tenaga Nuklir Nasional untuk dukungannya terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. C.H. de Mesquita, A.F. Velo, D.V.S. Carvalho, J.F.T. Martins, and M.M. Hamada, "Industrial tomography using three different gamma ray," *Flow Meas. Instrum.*, vol. 47, pp. 1–9, 2016.
2. F.N. Kemmer, *The Nalco Water Hand Book. The Nalco Chemical Co. Mc Graw Hill Book Co*, 2nd ed. New York, 1979.
3. E. Gunnlaugsson, H. Armansson, S. Thorhallsson, and B. Steingrimsen, "Problems in Geothermal Operation – Scaling and Corrosion," *Short Course VI Util. Low- Mediu. Geotherm. Resour. Financ. Asp. Util.*, pp. 1–18, 2014.
4. M. Syahri and B. Sugiarto, "Scale Treatment Pada Pipa Distribusi Crude Oil Secara Kimiawi," vol. 104, no. 274, pp. 33–37.
5. J.S. Charlton, *Radioisotope Techniques for Problem-solving in Industrial Process Plants*. Leonard Hill, 1986.
6. A.C. Kak and M. Slaney, *Principles of Computerized Tomographic Imaging*. 1987.
7. J. Kim, S. Jung, J. Moon, and G. Cho, "Industrial gamma-ray tomographic scan method for large scale industrial plants," *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. A Accel. Spectrometers, Detect. Assoc. Equip.*, vol. 640, no. 1, pp. 139–150, 2011.
8. J. Kim, S. H. Jung, J. Moon, J. G. Park, J. Jin, and G. Cho, "Development of transportable gamma-ray tomographic system for industrial application," *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. A Accel. Spectrometers, Detect. Assoc. Equip.*, vol. 693, pp. 203–208, 2012.
9. Glenn F. Knoll, *Radiation Detection and Measurement*, 2nd ed. John Wiley & Sons, Ltd, 2010.
10. J. Abdullah, M. C. F. Cassanello, M. P. Dudukovic, T. Dyakowski, M. M. Hamada, J. H. Jin, G. a. Johansen, J. B. Kim, S. a. Legoupil, R. Maad, C. . Mesquita, J. Nowakowski, F. P. Ramirez-Garcia, D. Sankowski, S. M. Sipaun, and J. Thyn, "Industrial Process Gamma Tomography," *IAEA-Tecdod-1589*, 2008.
11. G.T. Herman, *Advances in Pattern Recognition - Fundamentals of Computerized Tomography*, Second ed. Springer, 2009.

