

# PENCITRAAN ALIRAN FLUIDA 3 MEDIUM DENGAN TOMOGRAFI ULTRASONIK

Tatang Gunar Setiadji<sup>1</sup>; Sutrisno Salomo Hutagalung<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Bina Nusantara,  
Jln. K.H. Syahdan No. 9, Kemanggis, Palmerah, Jakarta Barat 11480  
tgsetiadji@binus.ac.id

## ABSTRACT

*In the imaging process, computer technology has a big role in reconstruction. This paper describes imaging the fluid flow imaging in three medium using ultrasonic tomography for reconstructing the cross sectional image. The image based on wave velocity in each medium and the time of flight are obtained from the measurements using transducer that placed around the pipe. Data collection is constructed into parallel form, then with the use of filtered back projection algorithm an image can be reconstructed. The resolution of image is limited by the number of data of each projection in order to obtain high accuracy of resolution. To increase image resolution, data is interpolated using computer with Matlab.*

**Keywords:** image reconstruction, three medium, ultrasonic tomography, filtered back projection

## ABSTRAK

*Pada proses pencitraan, peranan teknologi komputer dalam rekonstruksi yang memegang peranan penting. Makalah ini membahas pencitraan aliran fluida 3 medium menggunakan tomografi ultrasonik untuk direkonstruksi menjadi citra penampang suatu objek. Citra ini didasarkan pada kecepatan panjang gelombang yang dilalui medium dan direkonstruksi dari waktu tempuh gelombang ultrasonik pada transduser yang ditempatkan disekitar pipa. Pengumpulan data di susun dalam bentuk paralel dan kemudian dengan menggunakan algoritma proyeksi balik terfilter, citra dapat direkonstruksi. Resolusi yang rendah didapatkan karena sedikitnya data proyeksi akibat terbatasnya jumlah transduser yang dipakai. Untuk mempertinggi resolusi citra, data yang ada diinterpolasi menggunakan fasilitas komputer dengan perangkat lunak Matlab.*

**Kata kunci:** konstruksi citra, 3 medium, tomografi ultrasonik, proyeksi balik terfilter

## PENDAHULUAN

Tomografi berkembang semakin pesat, beberapa penelitian telah dan sedang dilakukan, khususnya tentang multi fasa yang dapat dimanfaatkan untuk keperluan industri seperti Loh, W.W. (1999) mengembangkan tomografi menggunakan *Electrical Resistance Tomography*, sedangkan A.J. Peyton dan M.S. Beck (1999) mengembangkan tomografi dengan menggunakan *Electromagnetic Tomography*. Tomografi merupakan metode yang dapat merekonstruksi suatu objek berdasarkan data proyeksi-proyeksinya yang diambil dari berbagai arah. Pada proses pencitraan, peranan teknologi komputer merupakan sarana rekonstruksi yang memegang peranan penting. Dengan mengkombinasikan teori rekonstruksi dan pemrosesan sinyal, dapat ditentukan rekonstruksi citra suatu objek aliran fluida dengan 3 medium.

Kontribusi yang diharapkan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan pencitraan suatu aliran fluida dalam sebuah pipa dengan cara mengembangkan sistem tomografi ultrasonik sehingga dapat mendeteksi aliran fluida dengan 3 medium. Metode pencitraan tomografi yang dilakukan menggunakan algoritma proyeksi balik terfilter dengan jumlah transduser 16, dan menginterpolasi sehingga identik menjadi 128. Komponen aliran yang digunakan merupakan kombinasi 3 medium dari beberapa medium seperti minyak, air, pasir, dan lumpur. Data proyeksi yang digunakan untuk merekonstruksi objek adalah aliran multi komponen multi fasa yang melewati penampang pipa, dengan asumsi kecepatan ultrasonik jauh lebih besar dari kecepatan aliran. Lintasan

gelombang dari pengirim ke penerima berupa garis lurus, dengan model profil penampang suatu objek berdasarkan distribusi kecepatan.

Tomografi merupakan suatu metode rekonstruksi citra internal suatu objek berdasarkan hasil proyeksi-proyeksi dari sejumlah pengukuran. Proyeksi diperoleh dari pengukuran data transmisi atau refleksi gelombang pada suatu deretan transduser yang ditempatkan disekeliling objek. Kemudian, kumpulan hasil proyeksi direkonstruksi sehingga diperoleh profil melintang objek dalam 2 dimensi, yang merupakan manifestasi dari sifat internal objek tersebut.

Algoritma rekonstruksi untuk proyeksi paralel secara garis besar terdiri dari 2 bagian, yaitu algoritma pemfilteran dan proyeksi balik. Proses pemfilteran dapat digambarkan sebagai pembobotan masing-masing proyeksi dalam domain frekuensi, sedangkan proyeksi balik merupakan langkah untuk memperoleh elemen rekonstruksi yang berhubungan dengan masing-masing proyeksi.

Banyaknya proyeksi pada sejumlah K tersebar merata dari sudut 0° sampai dengan 180°, dan nilainya dapat didekati dengan persamaan 1.

$$f(x, y) = \frac{\pi}{K} \sum_{i=1}^K Q_{\alpha}(x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta) \quad (1)$$

Proses proyeksi balik adalah setiap titik (x,y) dalam domain citra yang terdapat pada harga  $t = (x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta)$

untuk setiap sudut sehingga proyeksi yang difilter  $Q_\theta$  akan memberikan kontribusi pada harga  $t$ .

Jika tidak terdapat *aliasing* data proyeksi dengan interval sampling dari ( $m$ ), maka dalam domain frekuensi proyeksi tidak mengandung energi di luar interval frekuensi  $(-W, W)$ , yang dinyatakan dengan persamaan 2.

$$W = \frac{1}{2\tau} \text{ cycles/m} \quad (2)$$

Bila proyeksi sampel dinyatakan  $P_\theta(k\tau)$ , dengan  $k$  adalah harga integer, maka masing-masing proyeksi sampel  $P_\theta(k\tau)$  untuk sebuah filter  $Q_\theta(k\tau)$  dapat dihasilkan dengan menggunakan konvolusi periodik. Apabila frekuensi tertinggi dari proyeksi terbatas pada harga tertentu seperti dapat dilihat pada persamaan (2), maka persamaan  $Q_\theta(t)$  dapat dinyatakan sebagai

$$Q_\theta(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S_\theta(w) H|w| e^{j2\pi wt} dw \quad (3)$$

dengan

$$H(w) = |w| b_w(w) \quad (4)$$

$$b_w(w) = \begin{cases} 1 & |w| < W \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases} \quad (5)$$

$H(w)$  menyatakan fungsi transfer filter dengan syarat proyeksi harus diproses. Respon impuls  $h(t)$  dari filter didapatkan dengan melakukan transformasi Fourier balik dari  $H(w)$ , yaitu

$$h(t) = \frac{1}{2\tau^2} \frac{\sin 2\pi t / 2\tau}{2\pi / 2\tau} - \frac{1}{4\tau^2} \left( \frac{\sin \pi t / 2\tau}{\pi / 2\tau} \right)^2 \quad (6)$$

Sepanjang data proyeksi diukur dengan interval sampling sebesar  $\tau$ , untuk pemrosesan digital respon impuls hanya dibutuhkan interval sampling yang sama. Sampel  $h(t)$  dari  $h(n\tau)$  dapat diberikan dengan

$$h(n\tau) = \begin{cases} 1/4\tau^2 & n = 0 \\ 0 & n = \text{genap} \\ \frac{1}{n^2 \pi^2 \tau^2} & n = \text{ganjil} \end{cases} \quad (7)$$

$P_\theta(\tau)$  dan  $h(t)$  adalah sebagai fungsi *bandlimits* sehingga hasil untuk proyeksi terfilter pada titik-titik sampling

$$Q_\theta(n\tau) = \tau \sum_{k=-\infty}^{\infty} h(n\tau - k\tau) P_\theta(k\tau) \quad (8)$$

Kenyataannya, masing-masing proyeksi mempunyai harga pada interval terbatas. Jika masing-masing  $P_\theta(\tau)$  adalah nol diluar  $k = 0, \dots, N-1$ , maka persamaan (3.28) dapat dituliskan dalam bentuk

$$Q_\theta(n\tau) = \tau \sum_{k=-(N-1)}^{N-1} h(k\tau) P_\theta(n\tau - k\tau) \quad (9)$$

dengan nilai  $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$

Implementasi persamaan (9) dalam domain frekuensi dapat dituliskan kembali menjadi

$$Q_\theta(n\tau) = \tau \text{IFFT} \{ \text{FFTP}_\theta(n\tau) \} \times \text{FFT} h(n\tau) \quad (10)$$

FFT dan IFFT menyatakan transformasi Fourier cepat dan transformasi Fourier cepat balik.

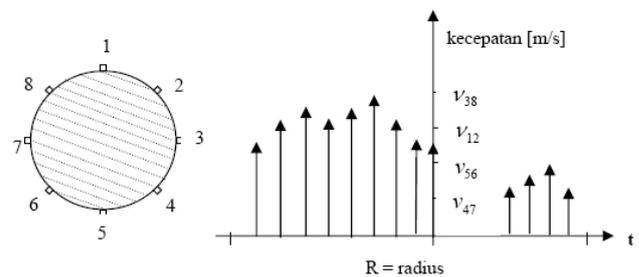
## METODE PENELITIAN

Untuk merekonstruksi citra suatu objek berdasarkan distribusi kecepatan rata-rata ultrasonik, perlu diukur waktu tempuh pulsa ultrasonik pengirim ke penerima dan menghitung kecepatan rata-ratanya. Dengan menggunakan algoritma proyeksi balik terfilter, dibutuhkan penyusunan kembali jalur propagasi untuk mendapatkan proyeksi data paralel.

Rekonstruksi citra akan menghasilkan resolusi yang tinggi jika jumlah transduser yang digunakan relatif banyak. Karena keterbatasan jumlah pemasangan transduser, maka data masing-masing proyeksi perlu diinterpolasi dengan metode interpolasi *Spline*. Jumlah data yang diinterpolasi akan mempunyai persamaan

$$\begin{aligned} V_1 &= [0 \quad \hat{v}_1 \hat{v}_2 \quad \dots \quad v_2 \hat{v}_1 \hat{v}_2 \quad \dots \quad v_8 \hat{v}_1 \hat{v}_2 \quad \dots \quad v_4 \hat{v}_1 \hat{v}_2 \quad \dots \quad v_6 \hat{v}_1 \hat{v}_2 \quad \dots \quad 0] \\ V_2 &= [0 \quad \hat{v}_1 \hat{v}_2 \quad \dots \quad v_3 \hat{v}_1 \hat{v}_2 \quad \dots \quad v_4 \hat{v}_1 \hat{v}_2 \quad \dots \quad v_8 \hat{v}_1 \hat{v}_2 \quad \dots \quad v_6 \hat{v}_1 \hat{v}_2 \quad \dots \quad 0] \\ V_3 &= [0 \quad \hat{v}_1 \hat{v}_2 \quad \dots \quad v_3 \hat{v}_1 \hat{v}_2 \quad \dots \quad v_3 \hat{v}_1 \hat{v}_2 \quad \dots \quad v_6 \hat{v}_1 \hat{v}_2 \quad \dots \quad v_8 \hat{v}_1 \hat{v}_2 \quad \dots \quad 0] \\ V_4 &= [0 \quad \hat{v}_1 \hat{v}_2 \quad \dots \quad v_8 \hat{v}_1 \hat{v}_2 \quad \dots \quad v_2 \hat{v}_1 \hat{v}_2 \quad \dots \quad v_8 \hat{v}_1 \hat{v}_2 \quad \dots \quad v_4 \hat{v}_1 \hat{v}_2 \quad \dots \quad 0] \end{aligned} \quad (11)$$

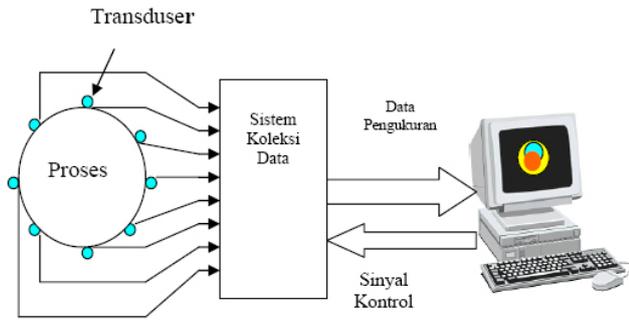
Pernyataan  $\hat{v}_1 \hat{v}_2 \dots$  adalah data kecepatan estimasi yang didapat dari interpolasi, sedangkan gambaran penampang jalur pengukuran dan ilustrasi distribusi kecepatan ultrasonik dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Interpolasi Distribusi Kecepatan Ultrasonik

Blok diagram sistem pencitraan menggunakan tomografi ultrasonik, diperlihatkan pada Gambar 2.

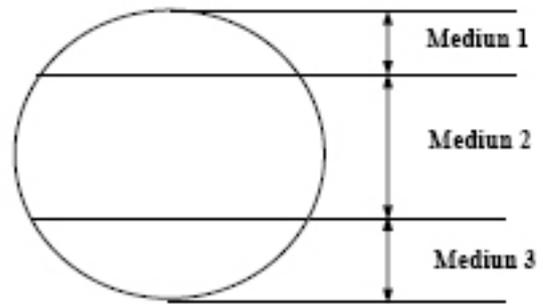
Diagram alir algoritma proyeksi diperlukan untuk mempermudah dalam pembuatan program proses rekonstruksi citra secara keseluruhan seperti dapat dilihat pada Gambar 3. Pengembangan metode rekonstruksi diimplementasikan pada program komputer dengan menggunakan perangkat lunak *Matlab*.



Gambar 2 Ilustrasi Pencitraan Sistem Aliran

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Model Objek



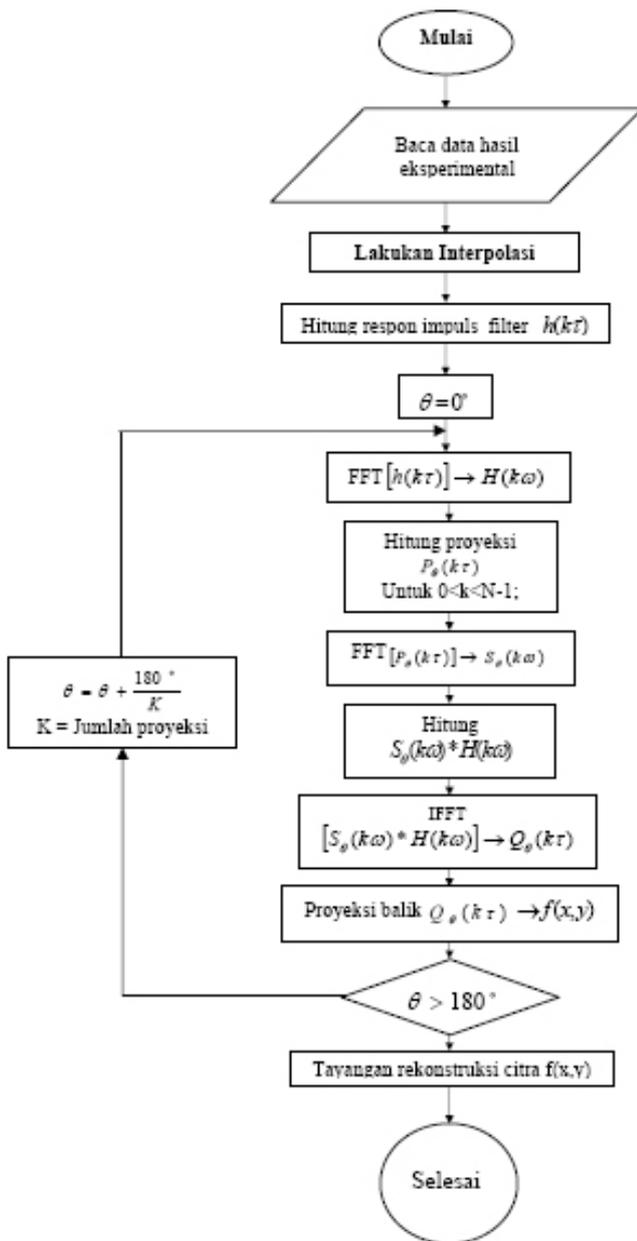
Gambar 4 Model Objek Kombinasi 3 Medium

### Rekonstruksi Citra

Penentuan parameter-parameter rekonstruksi dilakukan dengan simulasi dan eksperimental proses rekonstruksi. Parameter rekonstruksi simulasi adalah panjang lintasan dan kecepatan perambatan gelombang. Sebagai acuan untuk komponen objek digunakan hubungan antara komponen aliran terhadap kecepatan gelombang ultrasonik, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Hubungan Komponen Aliran terhadap Kecepatan Gelombang Ultrasonik

Komponen aliran	Kecepatan gelombang ultrasonik [m/s]
minyak	1200
air	1500
lumpur	2000
pasir	2500



Gambar 3 Diagram Alir Algoritma Proyeksi Balik Terfilter

Sedangkan panjang lintasan perambatan gelombang untuk 16 transduser diperoleh dari perhitungan secara manual (Tabel 2). Perhitungan panjang lintasan perambatan gelombang diperlukan untuk mendapatkan kecepatan gelombang rata-rata dari setiap fraksi komponen dengan berbagai kombinasi multi fasa-multi komponen yang selanjutnya dari data hasil perhitungan tersebut disusun dalam bentuk paralel dengan mengacu pada algoritma rekonstruksi citra. Untuk mendapatkan data proyeksi banyak sudut, perlu diatur transduser 1 berfungsi sebagai pengirim sedangkan transduser 2, 3, ... 16 sebagai penerima. Langkah berikutnya diatur transduser 2 berfungsi sebagai pengirim sedangkan transduser 3, 4...16 dan 1 sebagai penerima. Langkah ini diulang hingga transduser yang ke 16 menjadi pengirim. Data hasil pengukuran disusun dalam bentuk matrik, dapat dilihat pada Tabel 2.

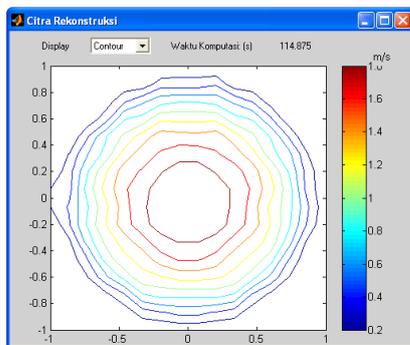
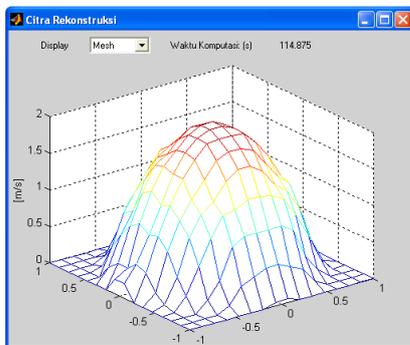
Selanjutnya, data waktu tempuh diubah menjadi bentuk kecepatan gelombang, dan untuk mendapatkan hasil rekonstruksi maka kecepatan gelombang harus disusun dalam bentuk paralel. Contoh rekonstruksi citra dengan jumlah sensor 8 transduser dan sudut 8 dan interpolasi 16 diperlihatkan dalam bentuk *mesh*, *contour* gambar 5, sedangkan bentuk surf dan *pcolor* gambar 6. Sebagaimana yang dilakukan pada simulasi, maka untuk mendapatkan citra dengan resolusi yang tinggi diperlukan jumlah 128 transduser. Dalam implementasi eksperimental untuk melakukan hal tersebut sulit dilaksanakan, karena faktor ruang dan fasilitas peralatan yang cukup banyak yang mempengaruhi biaya yang sangat tinggi. Untuk itu dilakukan eksperimental dengan -

Tabel 2 Hasil Data Percobaan Waktu Tempuh yang Dihitung terhadap Kecepatan Gelombang dalam Bentuk Paralel Model Objek dengan Contoh Kombinasi Medium Minyak, Air dan Pasir

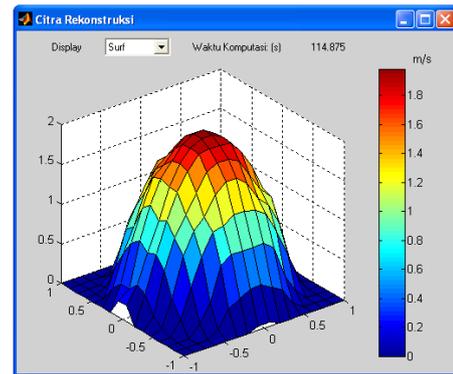
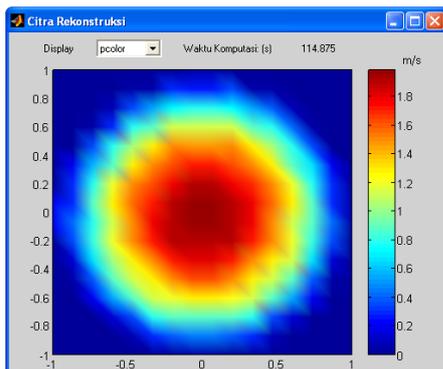
POSISI	Waktu tempuh [mikro/detik]							
	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>5</sub>	V <sub>6</sub>	V <sub>7</sub>	V <sub>8</sub>
1	1794,6	1850,7	1800,7	1729,9	1682,5	1649,3	1571,4	1504,7
2	2415,0	2155,0	1959,4	1809,5	1636,3	1487,5	1413,9	1438,4
3	2524,1	2543,7	2140,5	1836,5	1587,5	1390,7	1327,9	1226,4
4	2540,5	2537,9	2485,0	1801,2	1533,0	1443,7	1235,2	1230,3
5	2524,1	2543,7	2455,7	1809,5	1525,9	1438,7	1240,7	1226,4
6	2491,9	2537,9	2146,0	1845,1	1576,0	1405,9	1332,7	1234,2
7	2415,0	2146,7	1964,0	1801,2	1643,2	1467,8	1401,4	1422,7
8	1786,4	1823,5	1796,8	1711,8	1671,1	1633,1	1545,3	1487,6

jumlah 16 transduser yang diinterpolasi menggunakan metode interpolasi *spline* sehingga identik untuk jumlah 128 transduser. Hasil rekonstruksi citra untuk kombinasi 3 medium dalam bentuk *mesh* dan *colour* dapat dilihat pada Gambar 7, sampai gambar 11.

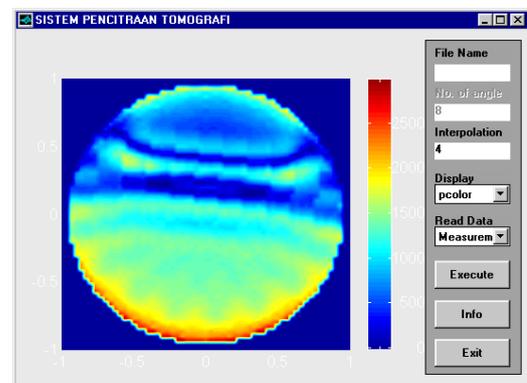
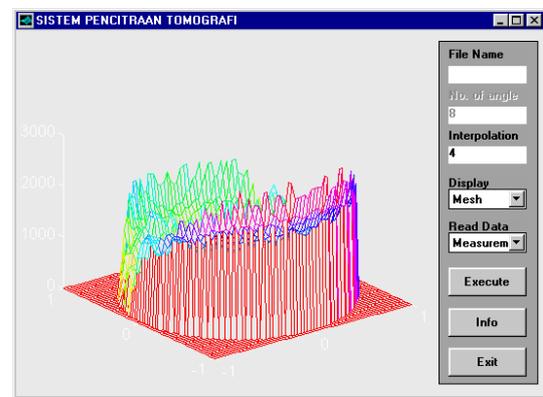
### Hasil Rekonstruksi Citra



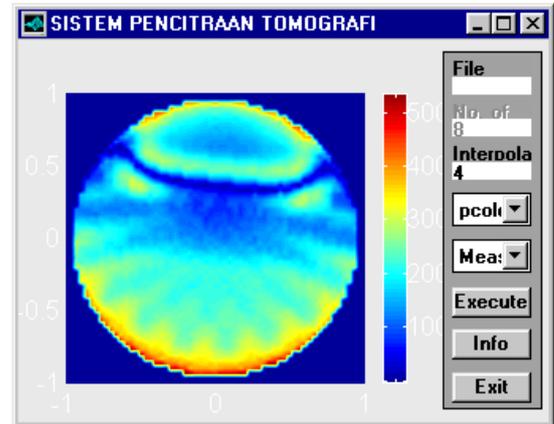
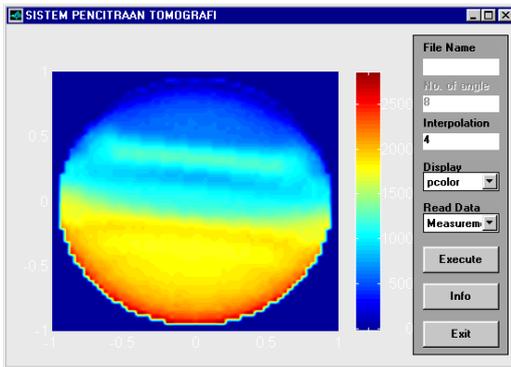
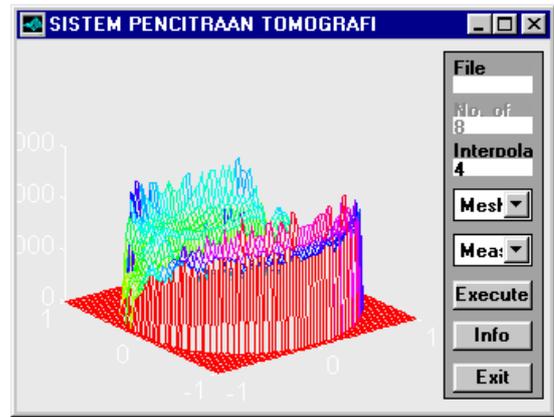
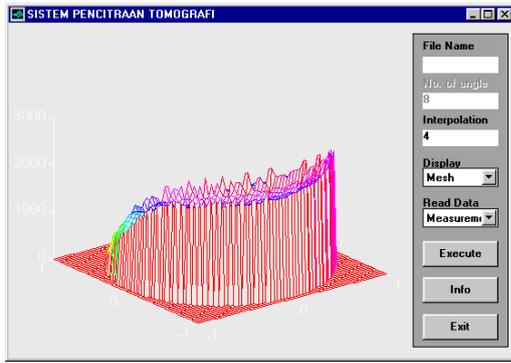
Gambar 5 Contoh Rekonstruksi Citra dengan Jumlah Sensor 8 Transduser dan Sudut 8 dan Interpolasi 16 dalam Bentuk Kiri *Mesh* dan Kanan *Contour*



Gambar 6 Contoh Rekonstruksi Citra dengan Jumlah Sensor 8 Transduser dan Sudut 8 dan Interpolasi 16 dalam Bentuk Kiri *Colour* dan Kanan *Surf*

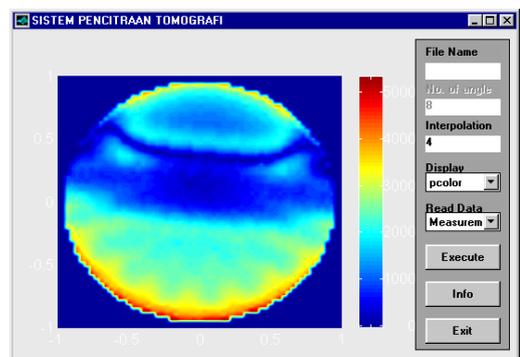
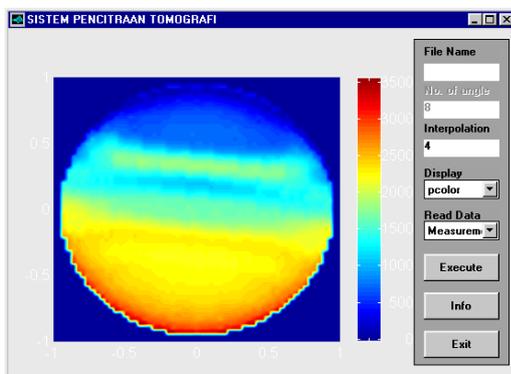
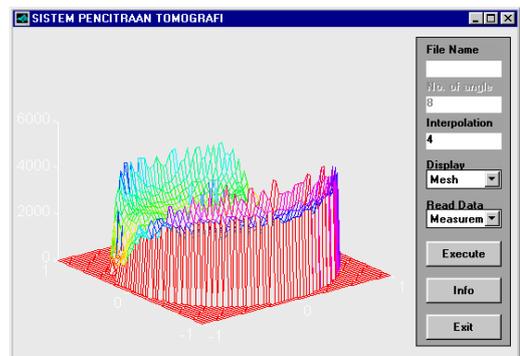
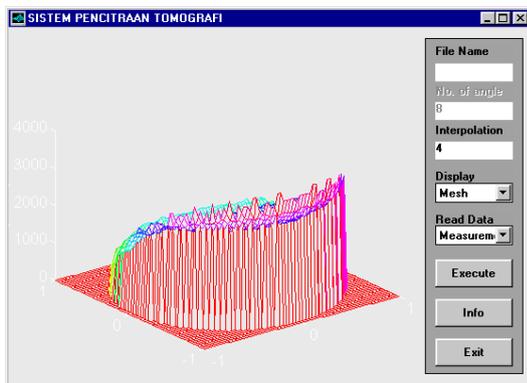


Gambar 7 Hasil Rekonstruksi Interpolasi dengan Jumlah Sensor Identik 128 Transduser dengan 3 Medium Gas, Minyak, dan Air



Gambar 8 Hasil Rekonstruksi Interpolasi dengan Jumlah Sensor Identik 128 Transduser dengan 3 Medium Minyak, Air, dan Lumpur

Gambar 10 Hasil Rekonstruksi Interpolasi dengan Jumlah Sensor Identik 128 Transduser dengan 3 Medium Gas, Lumpur, dan Pasir



Gambar 9 Hasil Rekonstruksi Interpolasi dengan Jumlah Sensor Identik 128 Transduser dengan 3 Medium Air, Lumpur, dan Pasir

Gambar 11 Hasil Rekonstruksi Interpolasi dengan Jumlah Sensor Identik 128 Transduser dengan 3 Medium Gas, Air, dan Pasir

## ANALISA

Citra yang terbentuk merupakan representasi dari aliran dengan 3 medium dari kombinasi minyak, air, lumpur, dan pasir. Citra resolusi tinggi bisa diperoleh dengan menggunakan jumlah transduser yang banyak. Karena jumlah transduser yang digunakan relatif sedikit hanya 16, sedangkan dikehendaki resolusi citra yang tinggi, maka dilakukan interpolasi dari 16 transduser sehingga identik dengan 128 transduser dengan menggunakan perangkat lunak metode interpolasi *Spline*. Proses interpolasi ini memerlukan waktu yang cukup lama, sebagai contoh terlihat pada Gambar 5 dan 6, untuk interpolasi 8 x 8 dibutuhkan waktu selama 114 detik.

Terbentuknya citra pada simulasi dilakukan dengan menghitung panjang lintasan dan kecepatan rata-rata perambatan gelombang untuk setiap model objek, kemudian menyusun kecepatan rata-rata dalam bentuk paralel. Sedangkan bentuk citra pada eksperimental dilakukan dengan data pengukuran waktu tempuh, kemudian menghitung kecepatan gelombang rata-rata dan selanjutnya menyusun dalam bentuk paralel. Perbedaan kecepatan gelombang yang melintasi setiap lapisan komponen pada model objek dapat dilihat dari gradasi warna yang ditampilkan dalam bentuk *mesh*, *contour colour* dan *pcolor*.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan analisa simulasi dan eksperimental untuk pencitraan aliran 3 medium dengan kombinasi dari medium minyak, air, lumpur dan pasir dapat disimpulkan bahwa Algoritma proyeksi balik terfilter dapat digunakan dengan baik pada penyusunan kembali jalur propagasi untuk mendapatkan proyeksi data paralel sehingga didapatkan hasil rekonstruksi citra. Metode interpolasi dapat meningkatkan resolusi citra yang rendah karena sedikitnya data proyeksi menjadi citra yang punya resolusi tinggi sehingga dihasilkan citra lebih baik. Kecepatan pemrosesan data interpolasi dapat ditingkatkan dengan menggunakan komputer dengan MIPS dan clock yang lebih tinggi. Dalam percobaan masih menggunakan komputer dengan clock 1.8 G Hertz.

## DAFTAR PUSTAKA

- Avinash, C.K., and Slaney, M. (1988). *Principles of computerized tomographic imaging*. New York: IEEE Press.
- Kak, A.C., and Malcolm, S. (1988). *Computerized tomographic imaging*. New York, USA: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- Loh, W.W., Waterfall R.C., and Cory, J. (1999). *Using ERT for multi-phase flow monitoring*, Greater Manchester: Buston.
- Peyton, A.J., and Beck, M.S. (1999). *Development of electromagnetic Tomography (EMT)*, Greater Manchester: Buston.
- Raman, R., Ronald D.K., et al. (1995). *Parallel implementation of the filtered back projection algorithm for tomographic imaging*.
- Salomo, S. (2007). Rekonstruksi pencitraan tomografi pengukuran aliran 3 fase dengan metode teknik rekonstruksi aljabar. *Jurnal HIMH*.
- The Matwork Inc. (1993). *MATLAB, high-performance numeric computation and visualization software*, USA.