

Penerapan Metoda Proyeksi Balik untuk Rekonstruksi Citra Penampang Tubuh Manusia pada Tomografi Elektrik

Deddy Kurniadi, Very Ananta & Farida I. Muchtadi
Departemen Teknik Fisika – Institut Teknologi Bandung
Jalan Ganesha 10, Bandung 40132, Tel/Fax. : 022 – 250 4424
Email : kurniadi@tf.itb.ac.id

Abstrak

Tomografi Elektrik adalah suatu metoda pencitraan penampang lintang suatu objek berdasarkan pola distribusi besaran resistivitas atau konduktivitas listrik. Distribusi resistivitas atau konduktivitas dapat diperoleh melalui suatu proses rekonstruksi dari informasi berupa data pengukuran besaran listrik pada permukaan yang merupakan proyeksi dari objek uji. Pada makalah ini dibahas hasil suatu uji eksperimen Tomografi Elektrik untuk pencitraan penampang lintang tubuh manusia dengan algoritma proyeksi balik yang difilter berdasarkan pola distribusi resistivitas. Studi ini dilakukan untuk objek berupa bagian dari tubuh manusia yaitu dada dan paha. Pada objek uji dialirkan arus listrik ke sejumlah elektroda yang dipasang di sekeliling objek. Selanjutnya dari pengukuran tegangan listrik yang muncul pada setiap elektroda dapat ditentukan resistivitas rata-rata antara elektroda acuan (ground) dengan elektroda pengukuran. Berdasarkan besaran rata-rata resistivitas antar pasangan elektroda, dengan algoritma Proyeksi Balik dapat direkonstruksi citra penampang lintang objek. Dari hasil-hasil rekonstruksi, Tomografi Elektrik dapat digunakan untuk merekonstruksi citra penampang lintang tubuh manusia.

Kata Kunci : tomografi elektrik, proyeksi balik, resistivitas, pencitraan medik

1. Pendahuluan

Tomografi Elektrik (TE) atau dikenal dengan sebutan *Electrical Impedance Tomography* [3][5] adalah suatu metoda pencitraan penampang lintang suatu objek berdasarkan pola distribusi besaran resistivitas atau konduktivitas listrik. Distribusi resistivitas atau konduktivitas dapat diperoleh melalui suatu estimasi berdasarkan informasi berupa data pengukuran besaran listrik pada bidang batas yang merupakan proyeksi dari objek uji. Dibandingkan dengan metoda tomografi lainnya seperti *CT Scan* yang menggunakan sinar-x dan *Magnetic Resonance Imaging*, resolusi citra

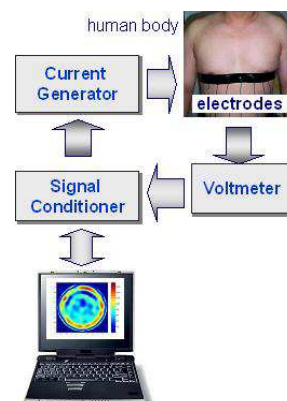
yang dihasilkan TE relatif lebih rendah, tetapi TE dapat diimplementasikan dengan perangkat yang jauh lebih sederhana, relatif murah dan aman.

Dewasa ini terdapat beberapa metoda yang telah dikembangkan untuk merekonstruksi distribusi resistivitas pada TE, yang umumnya diturunkan dari persamaan *Poisson*. Metoda-metoda tersebut dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok besar yaitu metoda iteratif dan metoda linier atau non-iteratif [3][5]. Beberapa studi tentang pencitraan tubuh manusia dengan TE telah dilakukan sebelumnya [1][4] yang umumnya menggunakan metoda iteratif dan pemodelan dengan metoda Elemen Hingga.

Pada makalah ini dibahas hasil dari suatu uji eksperimen TE untuk pencitraan penampang lintang tubuh manusia dengan metoda non-iteratif yaitu dengan algoritma proyeksi balik yang difilter. Dengan metoda ini diharapkan akan diperoleh hasil komputasi yang lebih sederhana dan cepat serta masih dapat menghasilkan citra dengan resolusi relatif cukup baik.

2. Tomografi Elektrik

Sistem TE terdiri atas sejumlah elektroda yang diletakkan di sekeliling objek, sistem koleksi data yang terdiri atas pembangkit arus, pengukur tegangan dengan perangkat akuisisi data serta komputer untuk komputasi dan peraga citra. Konfigurasi sistem TE ditunjukkan pada **Gbr. 1**. berikut.



Gbr. 1. Tomografi Elektrik

3. Metoda Rekonstruksi Citra

Suatu objek yang direpresentasikan sebagai fungsi 2-dimensi $f(x, y)$ dengan parameter garis yang melewati objek adalah (θ, t) , maka sebarang garis pada bidang x - y dapat dinyatakan pada persamaan berikut,

$$x \cos \theta + y \sin \theta = t \quad (1)$$

Integral garis $P_\theta(t)$ didefinisikan sebagai,

$$P_\theta(t) = \int_{(\theta, t) \text{ line}} f(x, y) ds \quad (2)$$

Dengan menggunakan fungsi delta, maka persamaan (1) dapat ditulis sebagai berikut,

$$P_\theta(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(x \cos \theta + y \sin \theta - t) dx dy \quad (3)$$

Fungsi $P_\theta(t)$ dikenal sebagai transformasi *Radon* dari fungsi $f(x, y)$. Data proyeksi dibentuk dari kombinasi suatu set integral garis, misalkan suatu kumpulan integral garis-garis paralel pada suatu sudut.

Untuk merekonstruksi f dari $P_\theta(t)$, digunakan suatu algoritma yang dikenal sebagai algoritma proyeksi balik yang difilter (*the filtered backprojection algorithm*). Algoritma ini didasarkan pada teorema Irisan Fourier yang menyatakan bahwa transformasi Fourier 1-dimensi proyeksi paralel $P_\theta(t)$ suatu objek pada sudut θ , memberikan suatu irisan 2-dimensi transformasi Fourier fungsi objek pada sudut θ terhadap sumbu- u . Definisikan, $S(\omega, \theta)$ adalah transformasi Fourier $P_\theta(t)$ sebagai berikut,

$$S_\theta(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} P_\theta(t) e^{-j2\pi\omega t} dt \quad (4)$$

Teorema Irisan Fourier diekspresikan sebagai berikut,

$$S(\omega, \theta) = F(\omega, \theta) = F(\omega \cos \theta, \omega \sin \theta) \quad (5)$$

dimana $F(\omega, \theta)$ adalah transformasi Fourier objek 2-dimensi pada koordinat polar. Untuk mendapatkan citra objek $f(x, y)$, perlu diproyeksibalik ke domain ruang. Proses proyeksi balik dinyatakan dengan persamaan berikut,

$$\hat{f}(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} Q_\theta(x \cos \theta + y \sin \theta) d\theta \quad (6)$$

dimana,

$$Q_\theta(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S_\theta(\omega) |\omega| e^{j2\pi\omega t} d\omega \quad (7)$$

Persamaan (7) menyatakan operasi pemfilteran, dimana $|\omega|$ adalah respon frekuensi filter. Selanjutnya persamaan (7) disebut sebagai

proyeksi terfilter, dan persamaan (6) menyatakan bahwa setiap proyeksi yang difilter harus diproyeksi balik. Jika K adalah jumlah proyeksi, maka persamaan (6) dituliskan sebagai berikut,

$$\hat{f}(x, y) = \frac{\pi}{K} \sum_{i=1}^K Q_{\theta_i}(x \cos \theta_i + y \sin \theta_i) \quad (8)$$

dimana, $\hat{f}(x, y)$ adalah fungsi objek yang direkonstruksi. Pada TE, fungsi objek adalah distribusi resistivitas objek.

4. Eksperimen dan Hasil Rekonstruksi

4.1. Eksperimen

Satu set elektroda dipasang pada permukaan objek dengan salah satu elektrodanya sebagai referensi yang dihubungkan dengan *ground*, sehingga tegangan pada elektroda-elektroda lainnya dapat diukur. Distribusi resistivitas objek diperoleh dari pengukuran tegangan tiap-tiap elektroda terhadap suatu referensi (*ground*). Tegangan yang terukur dari tiap elektroda diubah menjadi besaran distribusi resistivitas rata-rata dengan mengetahui besarnya arus listrik yang diinjeksikan ke elektroda (I), luas penampang elektroda (A) dan juga jarak antar elektroda (L) terhadap referensi yang memenuhi persamaan sebagai berikut:

$$\bar{R} = \rho \frac{L}{A} \quad (9)$$

$$\bar{\rho} = \frac{VA}{LI} \quad (10)$$

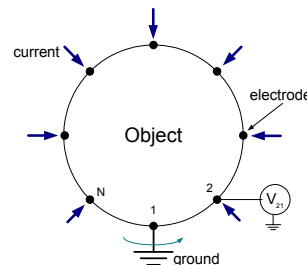
dimana,

\bar{R} = Resistansi rata-rata (Ω)

$\bar{\rho}$ = Resistivitas rata-rata ($\Omega \cdot \text{Cm}$)

V = Tegangan antar elektroda (Volt)

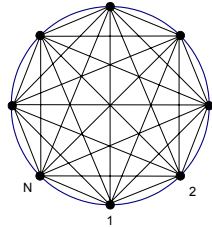
Injeksi arus dan pengukuran tegangan ke objek dilakukan seperti ditunjukkan pada **Gbr 2.** berikut.



Gbr. 2. Metoda Koleksi Data

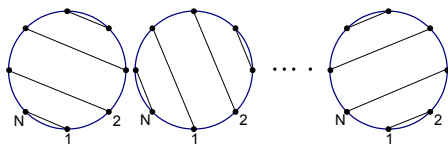
Misalkan digunakan N elektroda, elektroda no. 1 dipasangkan ke *ground* sebagai titik acuan dan arus listrik dialirkan ke seluruh elektroda lainnya serta diukur tegangan yang muncul. Kemudian titik acuan dipindahkan ke

elektroda no. 2 dan arus listrik dialirkan ke seluruh elektroda lainnya serta diukur tegangan yang muncul. Hal ini dilakukan hingga elektroda no. N. Dengan demikian akan terkumpul $N(N-1)$ data pengukuran tegangan. Lintasan pengukuran antar elektroda ditunjukkan pada **Gbr. 3**.



Gbr. 3. Lintasan Pengukuran antar Elektroda

Berdasarkan data pengukuran tegangan dan arus yang dialirkan maka dihitung nilai resistivitas rata-rata pada lintasan pasangan antar satu elektroda dengan elektroda acuan. Agar dapat diterapkan pada algoritma Proyeksi Balik, maka lintasan data tersebut harus memiliki jarak antar lintasan garis data yang sama atau *equally spaced* dan paralel. Kemudian besaran resistivitas rata-rata untuk setiap lintasan antar elektroda tersebut disusun secara paralel seperti pada **Gbr. 4** berikut.



Gbr. 4. Lintasan yang Disusun Paralel

Untuk mengatasi keterbatasan jumlah lintasan data akibat keterbatasan jumlah elektroda yang terpasang serta mendapatkan jarak antar lintasan yang sama atau *equally spaced*, maka dilakukan interpolasi data dengan menggunakan metoda *Spline*.

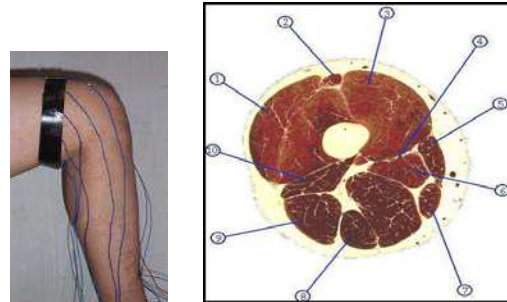
4.2. Hasil Rekonstruksi Citra

Sebagai uji coba telah dilakukan suatu eksperimen dengan melakukan pengukuran besaran listrik ke tubuh manusia. Uji coba ini dilakukan dengan menggunakan 8 (delapan) dan 16 (enam belas) elektroda dengan diameter 0.02 [m] yang terbuat dari kuningan. Arus yang dialirkan sebesar 0,2 [mA] dengan frekuensi 10 [kHz]. Hasil pengukuran tegangan pada objek uji kemudian dikonversi menjadi besaran digital dan dikirimkan ke komputer melalui RS-232.

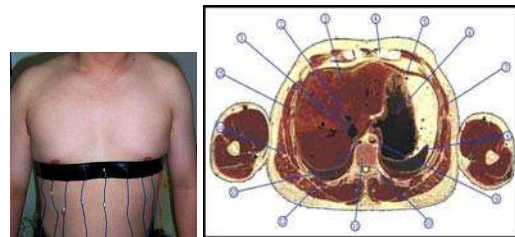
Ada dua bagian tubuh yang diujicobakan yaitu paha dan dada dari seorang naracoba. Objek ini dipilih karena kemudahan dalam pengukuran, selain itu juga karena pertimbangan bahwa paha memiliki pola distribusi resistivitas yang relatif sederhana yaitu dapat diasumsikan hanya terdiri

atas jaringan otot dan tulang. Sedangkan dada merupakan representasi objek yang memiliki pola distribusi resistivitas yang relatif kompleks karena terdiri atas banyak organ dengan nilai resistivitas yang tidak terlalu beda.

Gambar berikut menunjukkan letak posisi pengukuran pada tubuh naracoba serta gambar penampang lintangnya.

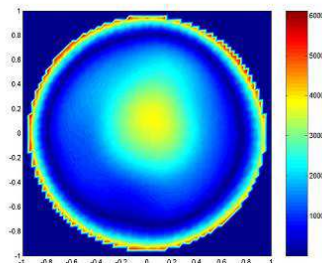


Gbr 5. Pengukuran pada Bagian Paha

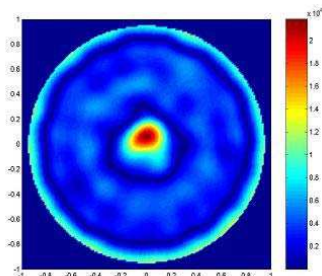


Gbr 6. Pengukuran pada Bagian Dada

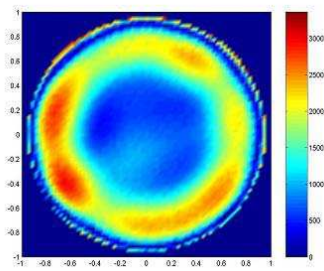
Hasil rekonstruksi citra dari objek uji tersebut ditunjukkan pada gambar-gambar berikut



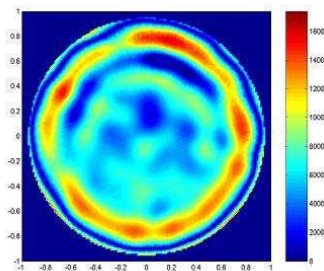
Gbr 7. Citra Penampang Paha yang Diperoleh dengan Pengukuran pada 8 Elektroda



Gbr 8. Citra Penampang Paha yang Diperoleh dengan Pengukuran pada 16 Elektroda



Gbr 9. Citra Penampang Dada yang Diperoleh dengan Pengukuran pada 8 elektroda



Gbr 10. Citra Penampang Dada yang Diperoleh dengan Pengukuran pada 16 elektroda

Dari hasil rekonstruksi terlihat bahwa bagian pada objek dengan nilai resistivitas yang relatif tinggi merupakan representasi dari organ tulang baik pada tulang paha maupun tulang pada rongga dada. Citra yang diperoleh dari objek pertama yaitu paha terlihat cukup jelas perbedaan antara jaringan otot dan tulang. Sedangkan pada objek kedua yaitu penampang rongga dada, citra yang dihasilkan tidak terlalu kontras untuk membedakan antar organ yang ada. Hal ini karena organ tubuh yang ada pada rongga dada seperti jantung, paru-paru dan lain sebagainya memiliki nilai resistivitas yang tidak terlalu berbeda. Pada sekeliling objek terdapat nilai resistivitas yang relatif tinggi. Hal ini merupakan adanya impedansi kontak antara permukaan kulit dan elektroda.

Dari citra yang dihasilkan juga dapat dilihat bahwa pengujian dengan menggunakan 16 elektroda memberikan citra yang relatif lebih baik dibandingkan pengujian dengan menggunakan 8 elektroda. Secara umum, citra yang dihasilkan, dapat dikatakan, merepresentasikan objek yang ditunjukkan pada gambar referensi pada **Gbr 5** dan **Gbr 6**.

5. Kesimpulan

TE dengan metoda rekonstruksi Proyeksi Balik dapat digunakan untuk merekonstruksi citra organ tubuh bagian paha dan dada. Jumlah elektroda yang digunakan menentukan resolusi citra yang dihasilkan, semakin banyak elektroda

yang digunakan citra yang diperoleh semakin baik.

Hasil rekonstruksi objek uji paha dapat mencitrakan struktur paha dengan tulang paha pada posisi tengah dengan cukup jelas. Sedangkan hasil rekonstruksi objek uji dada kurang mampu mencitrakan kondisi dalam rongga dada karena nilai resistivitas organ-organ dalam rongga dada relatif hampir tidak berbeda.

Secara umum dari citra yang dihasilkan, menunjukkan bahwa TE dengan metoda Proyeksi Balik dapat diimplementasikan untuk keperluan pencitraan medik.

6. Pustaka

- [1]. I.Frerichs, *Electrical Impedance Tomography in Applications related to Lung Ventilation : A Review of Experimental and Clinical Activities*, *Physiol. Meas* 21, R1/R21 (2000)
- [2]. Kak, Avinash C., dan Slaney, Malcolm, *Principles of Computerized Tomographic Imaging*. New York: IEEE Press (1987).
- [3]. M.Cheney, D. Isaacson & JC. Newell, *Electrical Impedance Tomography*, *SIAM Review*-41-1, 85/101 (1999)
- [4]. MT Clay & TC Ferree, *Weighted Regularization in Electrical Impedance Tomography with Application to Acute Cerebral Stroke*, *IEEE Trans. On Medical Imaging* 21-6, 629/637 (2002)
- [5]. Webster, J.G., *Electrical Impedance Tomography*. New York: IOP Publishing Ltd. (1990)