

EIT 2D dengan Daerah Rujukan (*EIT with Material Reference*)

¹Amanatulhay Pribadi*) & ²Agah D. Garnadi

¹Department of Electrical Engineering, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

²Department of Mathematics, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

(*coresponding author*) amanatulhay.pribadi@gmail.com*

Abstrak

Diusulkan satu sistem pengukuran EIT berupa cincin pelat konduktif; Dengan objek berupa inklusi di dalam cincin pelat konduktif. Dengan menggunakan data phantom virtual, direkonstruksi objek yang dikaji dengan keping cincin konduktif sebagai daerah berbahan rujukan, karena konduktifitasnya diketahui. Dengan menggunakan EIDORS, diperoleh hasil rekonstruksi dari konduktifitas dan bangun phantom.

Kata Kunci: Instrumen EIT, Daerah konduktifitas rujukan, Phantom Virtual, EIDORS

1 Pendahuluan

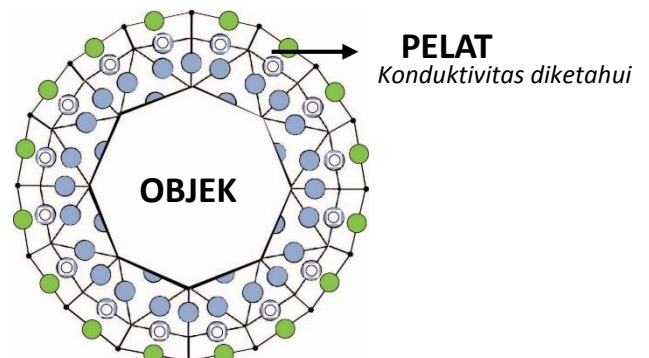
Pencitraan jaringan dalam buah yang tidak invasive dibutuhkan untuk menghindari resiko pembelahan/pengupasan buah. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah *electrical impedance tomography* (EIT) yang mencitrakan distribusi impedansi sebuah benda. EIT bekerja dengan mengukur tegangan pada boundary lalu menggunakannya untuk merekonstruksi citra impedansi. Salah satu persoalan dalam rekonstruksi citra adalah tidak adanya referensi material untuk dibandingkan, atau mencari nilai awal yang tepat sehingga diperoleh citra rekonstruksi yang memadai.

Untuk mengkaji kinerja algoritma inversi EIT, salah satu aspek yang dikembangkan adalah benda uji (phantom) yang merepresentasikan objek yang diinginkan. Salah satu phantom yang diusulkan adalah phantom pelat yang disusun dari rangkaian resistive sehingga mirip dengan object yang dikaji. Dipihak lain, algoritma rekonstruksi yang secara *a priori* diketahui bagian-bagian tertentu memiliki sifat material tertentu dapat digunakan untuk nilai awal, sehingga diperoleh citra rekonstruksi yang dihasilkan cukup dipercaya. Karena itu, diusulkan rangkaian *resistive* yang dimodelkan sebagai lapisan rujukan dengan memiliki nilai konduktifitas tertentu.

2 Diskusi

2.1 Usulan Instrumen Tomograf dengan Prior Information

Berikut adalah gambar usulan instrument EIT di mana pelat diasumsikan dapat melekat sempurna dengan objek inklusi yang diukur serta konduktifitas pelat diketahui. Pada Figure 1 diberikan skematik rangkaian resistor dari pelat cincin. Pelat cincin diasumsikan dapat melekat sempurna dengan objek inklusi. Rangkaian resistor yang digunakan diperoleh dari analogi akibat diskretisasi FEM sebagaimana diberikan oleh Gagnon dkk [2].



Gambar 1 Rangkaian resistor dari keping cincin yang diketahui konduktifitasnya sebagai prior information.

2.2 Model Kontinum dan Diskretisasi Metode Finite Element

Jun Gu dalam papernya [6] memodelkan *Electrical Resistance Tomography* (ERT) sebagai model resistor diskrit dengan menggunakan metode FE (*finite element*). Persamaan yang mengatur medan arus pada sensor ERT secara umum adalah persamaan Poisson:

$$\nabla \cdot [\sigma(x, y) \nabla \phi(x, y)] = 0 \quad (1)$$

di mana $\sigma(x, y)$ adalah konduktifitas dua dimensi dan $\phi(x, y)$ adalah distribusi potensial elektrik.

Tiga kondisi batas diberikan sebagai berikut (2-4):

$$\int_{\Gamma_i} \sigma \frac{\partial \phi}{\partial n} ds = I, \quad \int_{\Gamma_{i+1}} \sigma \frac{\partial \phi}{\partial n} ds = -I, \quad (2)$$

$$\left(\phi + z\sigma \frac{\partial \phi}{\partial n} \right) \Big|_{\Gamma_l} = V_l \quad (l = 1, 2, \dots, N), \quad (3)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} \Big|_{\Pi} = 0 \quad (4)$$

dengan, Γ_i dan Γ_{i+1} , adalah domain-domain elektroda untuk injeksi arus yang bersisian, $i=1, \dots, N$, kemudian Γ_i adalah domain-domain elektroda untuk pengukuran tegangan, Π merepresentasikan domain-domain lain pada batas eksternal sensor, dan z menyatakan impedansi pada elektroda.

Finite element model (FEM) yang sesuai dengan persamaan tersebut adalah:

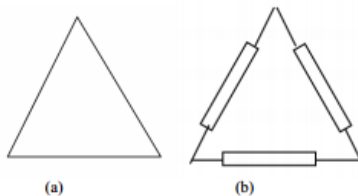
$$K^0 \phi = B \quad (5)$$

di mana K^0 adalah matriks koefisien, ϕ adalah potensial elektrik pada seluruh node dan B meliputi kondisi batas.

Entri untuk K^0 dapat dinyatakan sebagai

$$K_{i,j}^0 = \sum_{e \in E^0} K_{i,j}^e \quad (6)$$

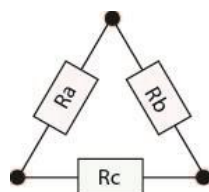
di mana $K_{i,j}^0$ adalah konduktansi antara node i dan node j untuk elemen e , yang mana merupakan fungsi dari konduktivitas elemen dan geometri elemen dan E^0 adalah set elemen.



Gambar 2 a) elemen triangular pada FEM; (b) equivalent resistor network untuk elemen pada (a)

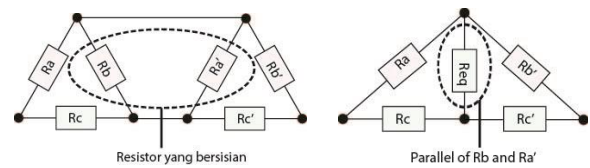
Untuk elemen-elemen triangular, dengan menganalisis entri pada (6), dapat disimpulkan bahwa resistor network yang ekuivalen untuk elemen adalah dengan tiga resistor seperti yang ditunjukkan gambar di bawah ini. Nilai resistor dapat diturunkan dari persamaan (6).

2.3 Virtual Discrete Phantom



Gambar 3 segitiga resistive building block

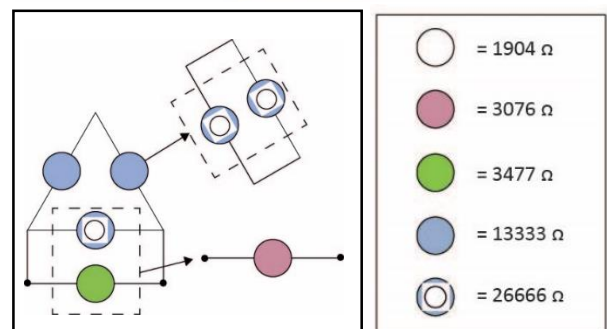
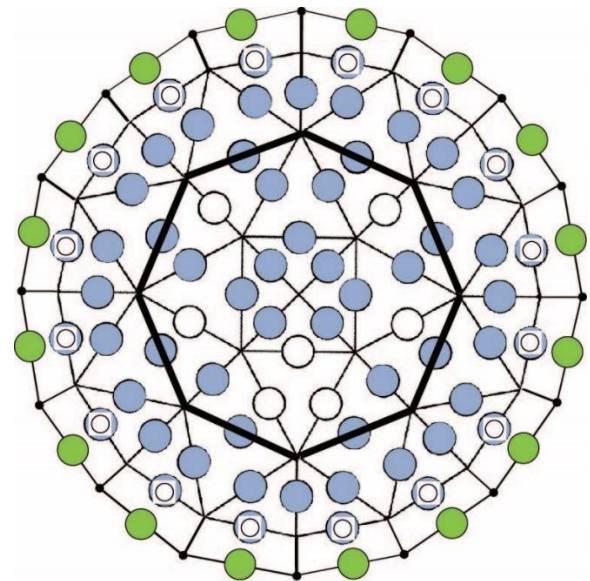
Proses assembly dua building block memanfaatkan aturan penjumlahan dua resistor parallel.



Gambar 4 proses assembly

2.4 Skematik rangkaian resistor sebagai Phantom yang diusulkan

Gambar 5 mengilustrasikan rangkaian penampang melintang yang digunakan pada percobaan. Rangkaian terdiri dari 68 resistor dan 16 elektroda. Pola injeksi arus yang digunakan adalah adjacent / neighbouring. Elektroda diposisikan pada node tepi, sebagai tempat injeksi arus (1 mA AC, 50 kHz) sekaligus pengukuran tegangan. Keluaran yang diukur dari rangkaian adalah data beda potensial masing-masing pasang elektroda.



Gambar 5 Skematik phantom resistive, penggabungan pelat dan objek

2.5 A Resistive-Based Boundary Data Simulator

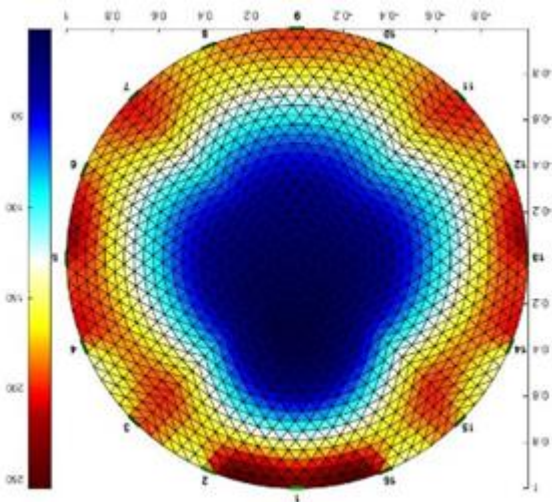
WinSpice1.05.07 merupakan sebuah perangkat lunak untuk mendesain rangkaian listrik dan melakukan simulasi rangkaian tersebut. Elemen rangkaian disusun dengan *script*. Winspice-based BDS ini terdiri dari 3 elemen utama: rangkaian resistor sebagai *virtual phantom*, sumber arus (AC 1 mA 50 kHz) dengan sepasang node sebagai posisi injeksi arus, dan pengukuran tegangan pada elektroda tepi.

2.6 Image Reconstruction

Data tegangan pada *boundary* yang diperoleh pada simulasi Winspice dikumpulkan untuk rekonstruksi. Rekonstruksi citra dilakukan menggunakan *Electrical Impedance Tomography and Diffuse Optical Tomography Reconstruction Software* (EIDORS) berlandaskan Metode Newton, yaitu

$$\text{Linearisasi: } s(k+1) = s(k) + F'[s(k)] ds$$

$$\text{NOSER [Newton One Step Reconstruction] : } s = s(0) + F'[s(0)] ds.$$



Gambar 6 hasil rekonstruksi

Hasil rekonstruksi pada Gambar 6 menunjukkan sebaran nilai impedansi dalam gradasi warna. Walaupun besar impedansi ini belum akurat namun tampak adanya lekukan pada area di mana phantom bernilai sangat rendah yaitu 1904 Ω .

3 Kesimpulan

Untuk meningkatkan akurasi pengukuran EIT, dibutuhkan *prior information* berupa nilai konduktivitas referensi sehingga metode Newton dapat konvergen. Simulasi pengukuran rangkaian

listrik serta rekonstruksi dilakukan menggunakan phantom resistif dengan konduktivitas referensi tertentu diketahui. Hasil rekonstruksi menunjukkan kemampuan mereproduksi nilai konduktivitas dan bangun dari phantom. Hasil ini memotivasi untuk diusulkannya sebuah sistem pengukuran EIT yang menggunakan pelat konduktif yang dapat direpresentasikan sebagai sebuah rangkaian resistif dengan benda yang akan diukur menjadi inklusi di dalam pelat konduktif annular tersebut.

4 Daftar Pustaka

- [1] A. R. Daniels, R. G. Green, dan I. Basarab-Horwath, Modelling of three-dimensional resistive discontinuities using HSPICE, Measurement Science and Technology 7.3 338 (1996)
- [2] H. Gagnon, M. Cousineau, A. Adler, dan A. E. Hartinger, A resistive mesh phantom for assessing the performance of EIT systems, Biomedical Engineering, IEEE Transactions on, 57(9), 2257-2266 (2010)
- [3] G. Hahn, A. Just, J. Dittmar, dan G. Hellige, Systematic errors of EIT systems determined by easily-scalable resistive phantoms, Physiological measurement 29, no. 6: S163 (2008)
- [4] M.A. Hussain, B. Noble, dan B. Becker, Computer Simulation of an Inverse Problem for Electric Current Computed Tomography using a Uniform Triangular Discretization, Engineering in Medicine and Biology Society, Images of the Twenty-First Century, Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in IEEE (1989)
- [5] Péter Krammer, Andreas D. Waldmann, Michel Zogg, Péter L. Róka¹, Josef X. Brunner, dan Stephan H. Bohm, Electrical impedance tomography simulator, Proceedings EIT2015, p40 (2015)
- [6] Jun Gu, W Yin, YannianRui, Chao Wang, danHuaxiang Wang, A New Resistor Network Based Forward Model for Electrical Impedance Tomography Sensors, International Instrumentation and Measurement Technology Conference, Singapore, 5-7 May 2009 (2009)
- [7] M. H. Padmanaba, F. Ardhy, I. Hariadi, H. Zakaria. Development of Laboratory-Scale Electrical Impedance Tomography Imaging System, 2015 4th International Conference on Instrumentation, Communications, Information Technology, and Biomedical Engineering (ICICI-BME) (2015)
- [8] B.W. Watson (Ed.), IEE Medical Electronics Monographs 1-6