

‘Phantom Virtual’ Penampang Melintang Buah Manggis (*Garcinia mangostana L.*) Berbasis Konsep Rangkaian Resistor pada Tomografi Elektrik untuk Non Destructive Imaging Buah Tropik

Amanatulhay Pribadi¹⁾, A.D. Garnadi²⁾, M.N. Indro³⁾, MT Julianto²⁾

¹⁾Teknik Elektro, Institut Teknologi Bandung

²⁾Departemen Matematika, Institut Pertanian Bogor

³⁾Departemen Fisika, Institut Pertanian Bogor

Abstrak

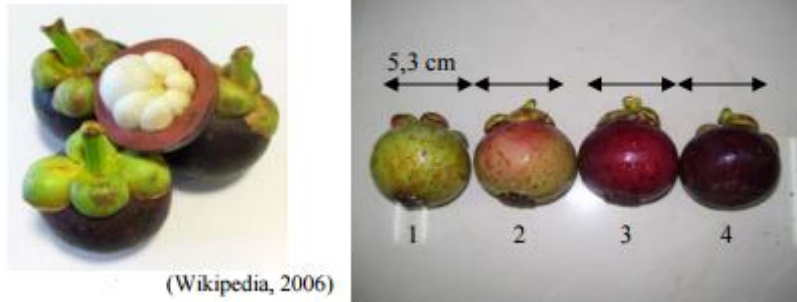
Tomografi elektrik berguna untuk mencitrakan distribusi impedansi pada suatu benda. Tomografi dapat diaplikasikan ke berbagai bidang, salah satunya untuk bidang pasca panen maupun kualitas penjaminan mutu sebagai peranti pencitraan bagian dalam buah secara utuh tanpa merusak. Buah manggis sebagai salah satu jenis buah tropis yang eksotis memiliki resistansi yang beragam bergantung pada material jaringan yang menyusunnya. Penampang buah manggis dimodelkan dalam bentuk phantom resistor model yang merepresentasikan tiga objek dengan resistansi berbeda, yaitu kulit luar, daging buah, dan biji. Dengan menggunakan boundary data simulator (BDS) berbasis rangkaian listrik dengan menggunakan pola arus tetangga, dibangkitkan data set untuk phantom yang merepresentasikan jaringan melintang buah manggis. Data set yang dibangkitkan akan menjadi input inversi untuk memperoleh citra Non Destructive Imaging dengan menggunakan software rekonstruksi semisal EIDORS (electrical impedance tomography and diffuse optical tomography reconstruction software), sebagai kalibrasi rekonstruksi.

Kata Kunci : Manggis, EIT, BDS, Non Destruktif, EIDORS

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.

Untuk mengkaji kinerja algoritma inversi EIT, dikembangkan benda uji (*phantom*) yang merepresentasikan objek yang kita inginkan yaitu pada kebutuhan kali ini adalah buah manggis. Buah manggis sebagai benda biomaterial memiliki resistansi yang beragam bergantung pada komponen penyusunnya. Dengan menggunakan *boundary data simulator* (BDS) berbasis rangkaian listrik dengan menggunakan pola arus tetangga, dapat dibangkitkan data set untuk phantom yang merepresentasikan jaringan melintang buah manggis. Rika Putri [10] mempublikasikan data resistivitas setiap komponen buah manggis.



Gambar 1. (a) Buah Manggis; (b) Buah Manggis dengan berbagai tingkat kematangan [10]

Penampang buah manggis dapat disederhanakan menjadi sebuah *phantom model* tersusun dari rangkaian resistor yang terdiri dari tiga objek dengan resistansi berbeda, yaitu:

- Kulit buah (resistansi 3076 Ω)
- Daging buah (resistansi 13333 Ω)
- Biji (resistansi 1904 Ω)

Untuk penelitian kali ini, digunakan pendekatan nilai komponen buah manggis sebagaimana ditampilkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 1. Referensi nilai resistansi spesifik komponen buah manggis dituliskan [10]

| Material | Specific conductance (μS) [10] | R (resistansi) = 1 / G (Ohm cm) |
|-------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Kulit buah | 200 – 450 | 1/450 – 1/200 |
| Daging buah | 50 – 100 | 1/100 – 1/50 |
| Biji | 475 – 625 | 1/625 – 1/475 |

Rentang nilai konduktansi buah adalah:

- Kulit dipilih 325 μS
- Daging dipilih 75 μS
- Biji dipilih 525 μS

Dari nilai konduktansi yang dipilih dapat kita peroleh resistansi masing-masing material:

- Kulit = 1 / 325 (1/μS) = 3076,923 ~ 3076 Ω
- Daging = 1 / 75 (1/μS) = 13.333,333 ~ 13333 Ω
- Biji = 1 / 525 (1/μS) = 1904,7619 ~ 1904 Ω

METODE PENELITIAN

Model continuum 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:

$$\nabla \cdot [\sigma(x, y) \nabla \phi(x, y)] = 0 \tag{1a}$$

dengan, $\sigma(x, y)$ adalah konduktivitas dua dimensi dan $\phi(x, y)$ adalah distribusi potensial elektrik.

Kondisi batas diberikan sebagai berikut (1b-1d):

$$\int_{\Gamma_1} \sigma \frac{\partial \phi}{\partial n} ds = I, \int_{\Gamma_2} \sigma \frac{\partial \phi}{\partial n} ds = -I, \tag{1b}$$

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

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} \Big|_{\Pi} = 0 \tag{1d}$$

dengan, Γ_1 dan Γ_2 adalah domain-domain elektroda untuk injeksi arus, Γ_l adalah domain-domain elektroda untuk pengukuran tegangan, Π merepresentasikan domain-domain lain padabatas eksternal sensor, dan z menyatakan impedansi pada elektroda. Persamaan (1c) menyatakan adanya efek impedansi kontak elektroda sebagaimana ditunjukkan oleh Hua dkk [7]

Finite element model yang sesuai dengan persamaan (1) adalah:

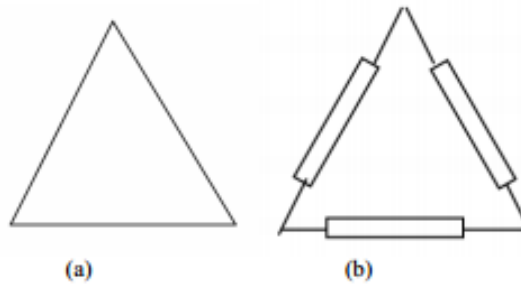
$$K^0 \phi = B \tag{2}$$

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

Entri untuk K^0 dapat dinyatakan sebagai:

$$K_{i,j}^0 = \sum_{e \in E^0} K_{i,j}^e \tag{3}$$

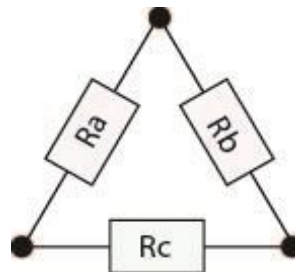
dengan $K_{i,j}^0$ adalah konduktansi antara node I dan node j untuk element e , yang mana merupakan fungsi dari konduktivitas elemen dan geometri elemen dan E^0 adalah set elemen.



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

Untuk elemen-elemen triangular, dengan menganalisis entri pada (3), dapat disimpulkan bahwa resistor network yang ekuivalen untuk elemen adalah dengan tiga resistor seperti yang ditunjukkan Gambar 2. Nilai resistor dapat diturunkan dari persamaan (3).

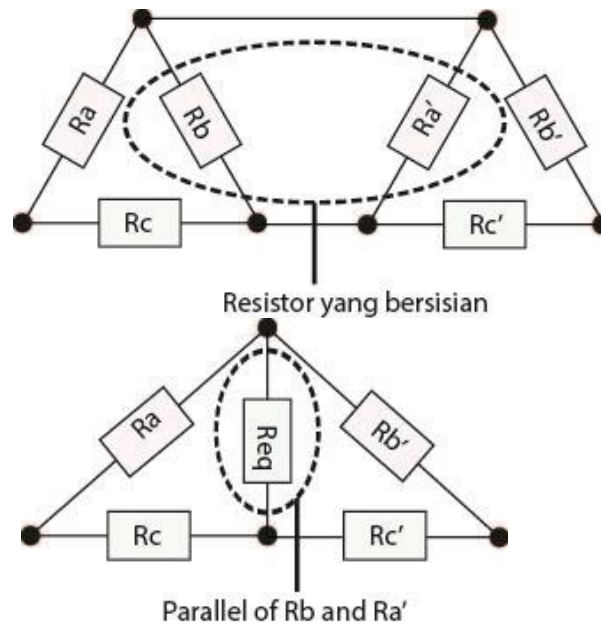
Virtual discrete phantom



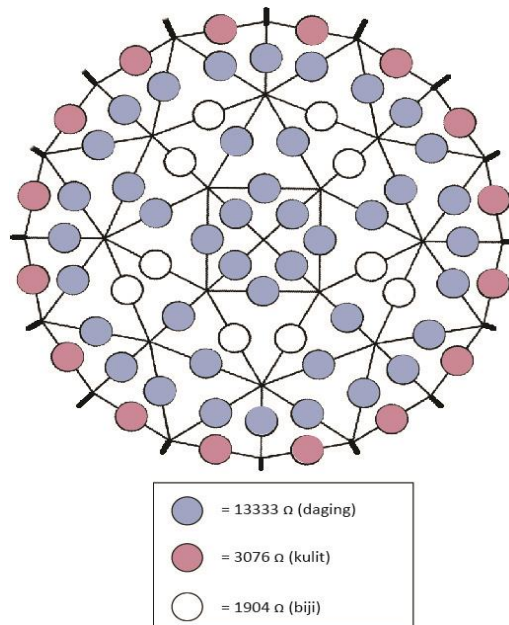
Gambar 3. Segitiga resistive building block

Gambar 3 mengilustrasikan segitiga building block sebagai elemen dasar pembangun poligon resistor. Building block resistor disusun oleh tiga resistor yaitu Ra, Rb dan Rc. Untuk mendapatkan rangkaian polygon diperlukan proses assembly beberapa building block. Dirangkai resistor elemen segitiga yang bersisian secara parallel untuk membentuk resistor polygon seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4 di bawah ini. Gambar kiri memperlihatkan dua segitiga building block dengan terdapat dua resistor yang bersisian. Keduanya dapat diparalelkan menjadi satu resistor ekuivalen seperti gambar kanan.

Proses assembly building block satu demi satu melalui proses di atas dilakukan sehingga akan diperoleh bangun resistor sebagai phantom, seperti ditunjukkan gambar di bawah ini. Perhatikan bahwa proses penjumlahan parallel hanya berlaku untuk dua building block yang bersisian, sementara resistor tepi bukan merupakan resistor ekuivalen yang dihasilkan dari penjumlahan parallel dua resistor yang berasal dari building block pembangun.



Gambar 4. Proses *assembly* dua *building blok* memanfaatkan aturan penjumlahan dua resistor paralel



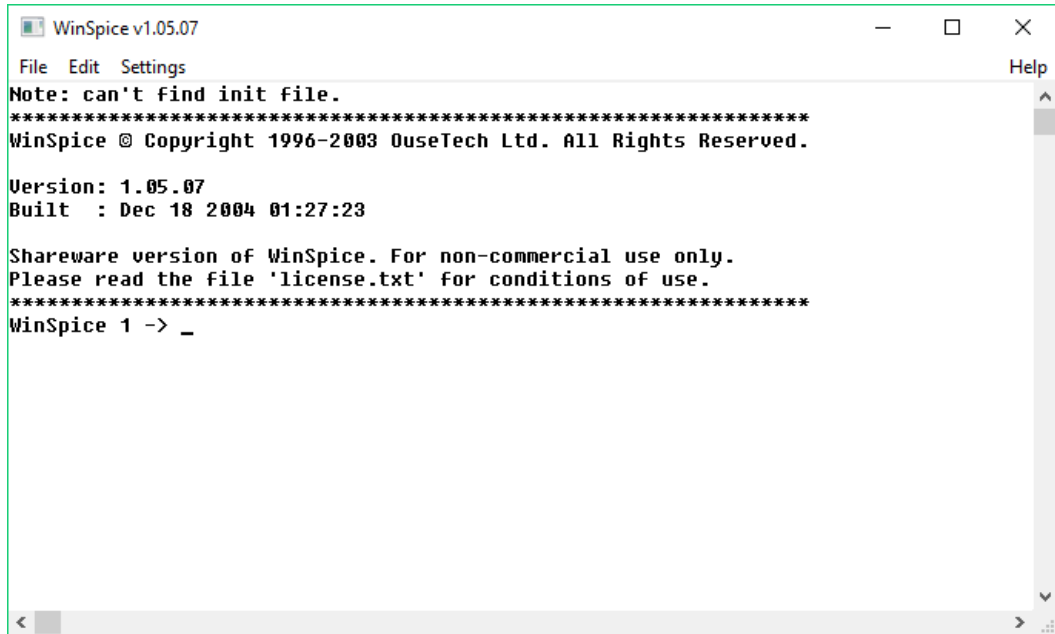
Gambar 5. Rangkaian resistor *phantom* sebagai model penampang melintang buah manggis yang disusun berdasarkan penempatan komponen penyusunnya: biji, daging, dan kulit

Skematik rangkaian resistor di atas merupakan representasi penampang melintang buah manggis. Adapun spesifikasi yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Jumlah resistor = 68 buah
- Jumlah elektroda = 16 buah
- Pola injeksi arus = *adjacent / neighbouring*
- Elektroda diposisikan pada noda tepi, sebagai tempat injeksi arus sekaligus pengukuran tegangan
- Output: Data beda potensial masing-masing pasang elektroda

A Resistive-Based BDS (*Boundary Data Simulator*)

Ilustrasi rangkaian resistor yang ditunjukkan pada Gambar 2 akan diimplementasikan menggunakan WinSpice 1.05.07, yaitu sebuah perangkat lunak untuk mendesain rangkaian listrik dan melakukan simulasi rangkaian dengan elemen rangkaian dapat disusun dengan *script*.



Gambar 6. WinSpice v1.05.07

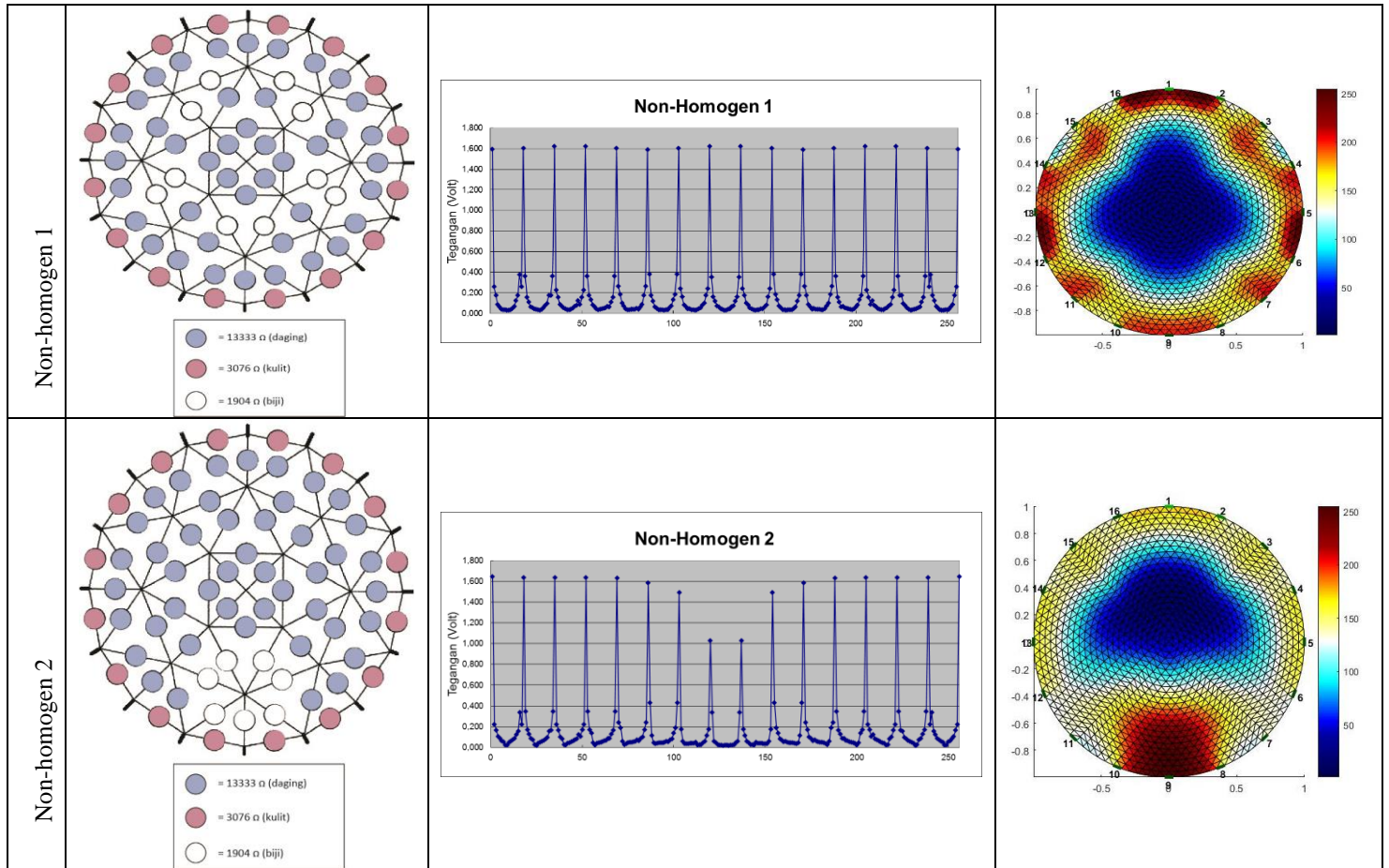
WinSpice-based BDS ini disusun dengan *script* dengan 3 bagian utama yaitu rangkaian resistor sebagai virtual phantom (terdiri dari kombinasi resistor 1904 Ohm, 3076 Ohm, dan 13,333 kOhm), sumber arus dengan sepasang node sebagai posisi injeksi arus (arus AC 1 mA 50 kHz), dan pengukuran tegangan pada elektroda tepi. Simulasi dilakukan tiga kali yaitu untuk satu pola rangkaian homogen dan dua pola non-homogen (representasi biji buah manggis dan modifikasi).

Rekonstruksi dilakukan dengan EIDORS (*Electrical Impedance and Diffuse Optical Tomography Reconstruction Software*) menggunakan metode *difference* yaitu perbedaan data homogen dengan data yang diukur (non homogen). Adapun asumsi data homogen kali ini adalah dengan resistansi daging.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel2. Hasil percobaan

| | Rangkaian | Data boundary yang dihasilkan WinSpice | Hasil Rekonstruksi EIDORS |
|---------|-----------|--|---------------------------|
| Homogen | | | |



WinSpice-based BDS menghasilkan data *boundary* masing-masing objek. Nilai tegangan maksimum pada simulasi non homogen (1,646 V dan 1,624 V) lebih rendah dari pada nilai tegangan maksimum pada simulasi homogen (4,897 V). Hal ini dikarenakan objek homogen seluruhnya terdiri dari daging yang berresistansi jauh lebih tinggi (13,3 kOhm) dibandingkan objek non homogen yang selain daging juga terdiri dari kulit dan biji yang resistansinya lebih rendah (3076 dan 1904 Ohm). Karena itu, total resistansi objek homogenya lebih tinggi, yang menyebabkan tegangan *boundary* pun lebih tinggi pula. Selain itu, puncak tegangan pada pola homogen cenderung bernilai sama (merata) sedangkan untuk pola penampang non homogen berbeda. Pada pola non homogen pertama di mana biji tersebar di tengah, walaupun tidak terlalu bernilai sama, namun puncaknya lebih merata. Sedangkan pada non homogen kedua di mana biji hanya terletak di satu sisi dan bersentuhan dengan pinggiran kulit, puncak tegangan *boundary* tidak beraturan. Puncak untuk masing-masing pola secara berurutan akan menurun di mana titik puncak terendah adalah saat titik injeksi arus berdekatan dengan resistansi rendah (biji).

Data *boundary* yang dikumpulkan dapat digunakan untuk rekonstruksi citra dengan EIDORS (*Electrical Impedance and Diffuse Optical Tomography Reconstruction Software*). Rekonstruksi dilakukan dengan metode *difference* yaitu perbedaan data homogeny dengan data yang diukur (non homogen). Terlihat adanya gradasi warna yang berlekuk-lekuk mengikuti sebaran biji.

Terlihat pula pada hasil simulasi non homogen kedua bahwa region citra yang merepresentasikan daging terlihat kontras dengan warna biru, sedangkan biji walaupun luasnya kecil namun terbedakan sebagai corak merah. Sedangkan untuk hasil simulasi non homogen pertama, luas biji dan daging tidak dapat terlihat seperti non homogen kedua.

KESIMPULAN

1. WinSpice-based BDS (*boundary data simulator*) dapat digunakan dalam pembangkitan data untuk model penampang melintang buah manggis. Rekonstruksi menggunakan data *boundary* tersebut

dilakukan dengan EIDORS (*Electrical Impedance and Diffuse Optical Tomography Reconstruction Software*) berdasarkan perbedaan data antara data output homogen dengan nonhomogennya.

2. Pemodelan penampang melintang buah manggis disusun menggunakan tiga elemen penyusun, berupa: biji, daging buah dan kulitnya. Ketiganya memiliki resistansi yang berbeda yang akan terlihat kontras pada rekonstruksi citra.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi sesuai dengan Surat Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Program Penelitian Nomor: 079/SP2H/LT/DRPM/II/2016. Melalui skim Program Unggulan Perguruan Tinggi-IPB 2016, “Pengembangan Teknologi Rekonstruksi Tomography ECVT Berbasis Open Source untuk Nondestructive Testing Kualitas Produk Pertanian Pasca Panen”.

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. P. Hua, E. J. Woo, J. G. Webster, dan W. J. Tompkins, *Finite element modeling of electrode-skin contact impedance in electrical impedance tomography*, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 40(4), 335-343 (1993)
8. 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)
9. B.W. Watson (Ed.), *IEE Medical Electronics Monographs 1-6*
10. Rika Putri, *Kajian Sifat Listrik Buah Manggis (Garcinia mangostana L.) Pada Tingkat Kematangan Berbeda*, Skripsi, Dept. Fisika, IPB, 2007