

**EFEKTIVITAS METODE ALGEBRAIC RECONSTRUCTION TECHNIQUE
UNTUK SISTEM KOORDINAT POLAR DAN RECTANGULAR PADA
TOMOGRAFI KAPASITANSI**
(EFFECTIVITY OF ALGEBRAIC RECONSTRUCTION TECHNIQUE FOR POLAR AND
RECTANGULAR COORDINATES SYSTEM ON ELECTRICAL CAPACITANCE TOMOGRAPHY)

Farah Wahidiyah¹⁾, Endhah Purwandari¹⁾, Yuda Cahyoargo Hariadi¹⁾, Warsito P. Taruno²⁾

¹⁾Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jember (UNEJ)

Jln. Kalimantan 37, Jember 68121

²⁾PT. Edwar Technology

Jln. Hartono Raya R:29, Modernland, Cikokol, Tangerang

E-mail: faraway0714@gmail.com

Abstrak

Tomografi kapasitansi merupakan salah satu teknologi tomografi yang banyak dikembangkan dalam dunia industri, khususnya untuk keperluan kontrol pipa minyak, pencampuran dua zat kimia, maupun pemrosesan hidrokarbon. Tomografi kapasitansi memiliki kecepatan *scanning* yang sangat tinggi, sehingga jumlah proyeksi atau pengukuran untuk keperluan rekonstruksi citra akan sangat terbatas. Oleh sebab itu metode ART dapat menjadi pilihan untuk perbaikan kualitas citra hasil rekonstruksi. Namun demikian, kesesuaian metode ini dengan geometri obyek yang akan dicitrakan perlu diperhatikan untuk mendapatkan hasil rekonstruksi maksimal. Dalam penelitian ini kegiatan pengambilan data tomografi dilakukan dengan simulasi COMSOL Multiphysics dan proses rekonstruksi menggunakan bahasa pemrograman MATLAB. Dengan melihat kualitas citra dan nilai korelasi citra yang dihasilkan, sistem koordinat polar memberikan hasil yang lebih baik dari pada sistem koordinat *rectangular* untuk proses rekonstruksi menggunakan metode ART. Nilai korelasi citra yang dihasilkan pada iterasi 100 ialah sebesar 0,266 untuk sistem koordinat polar dan 0,208 untuk sistem koordinat *rectangular*.

Kata Kunci: ART, kapasitansi, sistem koordinat, tomografi

Abstract

Electrical capacitance tomography (ECT) is one of tomography technologies developed in the industrialized world, particularly for the purposes of pipeline control, mixing two chemicals, and hydrocarbon processing. ECT's scanning has a very high speed, so the number of projections or measurement for the purpose of image reconstruction would be very limited. Therefore, ART may be an option to improve the quality of the reconstructed image. However, the suitability of this method with the geometry of the object must be considered to get the best reconstruction. In this research, measurement data performed by COMSOL Multiphysics simulation and reconstruction process conducted using MATLAB programming language. Based on the image quality and the correlation value of the object reconstructed, polar coordinate system gives better results than the rectangular one. Image correlation values at 100th iteration is 0.266 for polar coordinate system and 0.208 for the rectangular one.

Keywords: ART, capacitancy, coordinates system, tomography

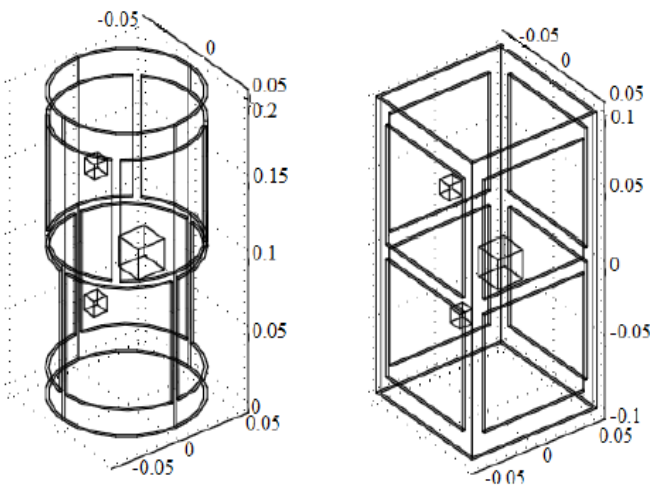
PENDAHULUAN

Electrical Capacitance Tomography (ECT) atau tomografi kapasitansi merupakan salah satu teknologi tomografi yang banyak dikembangkan dalam dunia industri. Teknologi tomografi elektrik ini biasa dimanfaatkan untuk keperluan kontrol pipa minyak, pencampuran dua zat kimia, maupun pemrosesan hidrokarbon [1]. Tomografi kapasitansi memiliki kecepatan pindai (*scanning*) yang sangat tinggi, sehingga jumlah proyeksi atau pengukuran untuk keperluan rekonstruksi citra menjadi sangat terbatas [2]. Oleh sebab itu, diperlukan suatu algoritma perekonstruksi untuk meningkatkan kualitas citra pada jumlah proyeksi yang terbatas, dan dalam hal ini algoritma iteratif dalam metode *Algebraic Reconstruction Technique (ART)* dapat menjadi pilihan untuk perbaikan kualitas citra hasil rekonstruksi [3]. Namun demikian, kesesuaian metode ini dengan geometri

obyek yang akan dicitrakan perlu diperhatikan untuk mendapatkan hasil rekonstruksi maksimal [4]. Dalam penelitian ini dilakukan kegiatan rekonstruksi citra untuk mengetahui efektivitas metode ART pada sistem koordinat polar dan *rectangular* yang biasa digunakan dalam tomografi 2D untuk bidang industri.

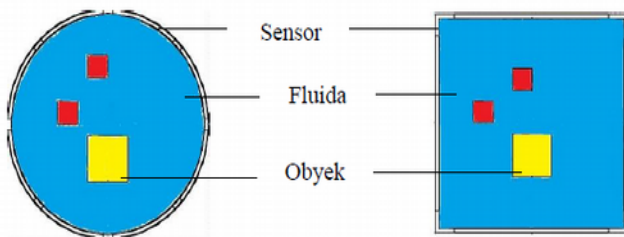
METODE PENELITIAN

Dalam kegiatan tomografi kapasitansi, rekonstruksi citra didasarkan pada distribusi permitivitas yang diperoleh melalui pengukuran nilai kapasitansi suatu obyek [2]. Pada penelitian ini, proses pengambilan data pengukuran dilakukan melalui simulasi tomografi kapasitansi 3D menggunakan *software* COMSOL MULTIPHYSICS 3.5, dengan desain geometri seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Geometri obyek dalam sistem 3D

Obyek dikondisikan pada dua keadaan, yakni keadaan permitivitas tinggi yang diwakili oleh permitivitas listrik relatif air ($\epsilon_r=80$) dan permitivitas rendah yang diwakili oleh permitivitas listrik relatif udara ($\epsilon_r=1$). Sedangkan obyek dalam penelitian ini diberi nilai permitivitas listrik relatif yang berada di antara kedua nilai permitivitas tersebut. Dalam sistem 2D obyek yang diteliti diilustrasikan seperti pada Gambar 2.



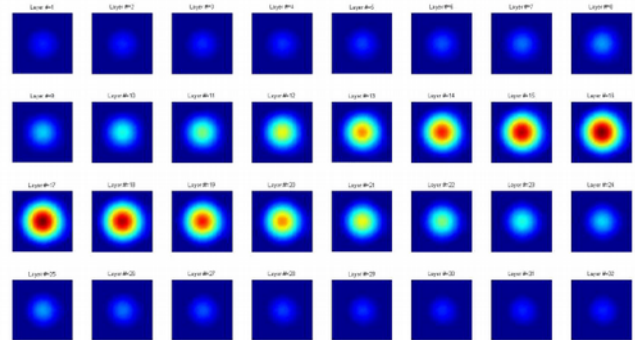
Gambar 2. Obyek yang diteliti dalam sistem 2D

Data pengukuran nilai kapasitansi ditentukan berdasarkan proses *looping* sensor. Untuk sensor yang berjumlah delapan, dalam satu kali proses *looping* akan diperoleh tujuh hasil pengukuran nilai kapasitansi. Jumlah ini didasarkan pada jumlah pasangan elektroda (sumber dan detektor) yang dapat dibentuk dari sejumlah sensor yang digunakan [5]. Dengan demikian, dalam penelitian ini diperoleh pengukuran sebanyak 28. Selanjutnya, nilai kapasitansi yang diperoleh dari pengukuran ini digunakan untuk membentuk matriks obyek.

Untuk melakukan rekonstruksi citra diperlukan juga matriks sensitivitas yang menunjukkan distribusi medan listrik pada masing-masing sensor. Selanjutnya, proses rekonstruksi citra dilakukan dengan menggunakan metode ART dalam bahasa pemrograman MATLAB. Citra hasil rekonstruksi kemudian ditampilkan dalam bentuk 2D yang berupa irisan-irisan penampang melintang sepanjang sumbu z sejumlah 32 irisan. Tingkat kesesuaian citra hasil rekonstruksi dengan obyek yang diteliti dihitung menggunakan persamaan korelasi citra (r) [6].

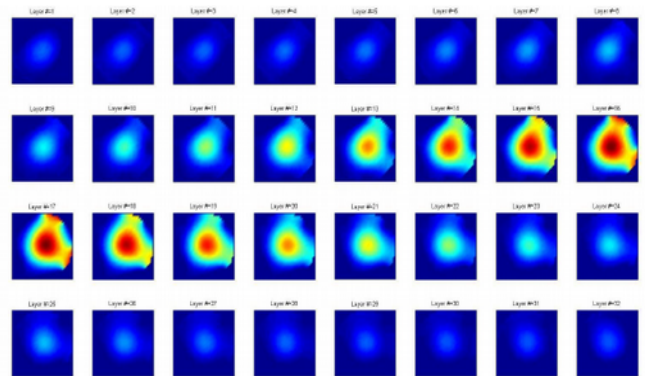
HASIL PENELITIAN

Secara visual, citra 3D memberikan kemudahan untuk mengetahui kesesuaian hasil rekonstruksi dengan obyek asli. Akan tetapi, untuk pengujian metode rekonstruksi diperlukan gambaran yang lebih jelas di sekitar obyek untuk mengetahui tingkat kesesuaian hasil rekonstruksi secara detail. Dalam penelitian ini, citra 2D dalam bentuk penampang melintang diambil dari irisan paling bawah hingga bagian atas dari geometri 3D. Citra 2D hasil rekonstruksi menggunakan metode ART untuk sistem koordinat polar ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3. Hasil citra 2D untuk sistem koordinat polar Iterasi 100, $r = 0,266$

Sedangkan citra 2D hasil rekonstruksi menggunakan metode ART untuk sistem koordinat *rectangular* ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Citra 2D untuk Sistem Koordinat *Rectangular* pada Iterasi 100, $r = 0,208$

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil citra yang ditampilkan, tampak bahwa metode ART telah berhasil melakukan rekonstruksi citra dari jumlah pengukuran yang terbatas pada dua jenis geometri yang mewakili dua sistem koordinat, yakni *polar* dan *rectangular*. Namun demikian, hasil rekonstruksi belum dapat menggambarkan obyek yang sebenarnya. Pada obyek asli, terdapat tiga buah obyek, akan tetapi pada hasil rekonstruksi tampak hanya terdapat satu buah obyek. Hal ini dapat disebabkan oleh berbagai hal, di antaranya adalah jarak obyek yang terlalu dekat ataupun ukuran obyek yang

terlalu kecil, serta efek *blurring* yang terlalu besar juga dapat menyebabkan obyek-obyek yang berdekatan tampak menyatu seolah-olah hanya terdapat satu buah obyek saja.

Nilai permitivitas obyek juga dapat mempengaruhi citra hasil rekonstruksi. Pada simulasi yang dilakukan, obyek dengan ukuran yang kecil diberi nilai permitivitas besar, sehingga medan listrik di sekitar obyek tersebut rendah. Dalam hal ini nilai tegangan sumber yang diberikan pada elektroda akan memberikan pengaruh pada sebaran medan listrik yang dihasilkan di bawah kondisi adanya obyek di dalam sistem.

Bentuk geometri pada hasil rekonstruksi untuk sistem koordinat polar tidak berbentuk silinder seperti geometri obyek simulasi yang ditampilkan pada Gambar 2, sebab pada dasarnya bentuk sel (unit terkecil dari citra) adalah *rectangular*. Dengan demikian, dalam proses rekonstruksi, parameter yang digunakan sistem koordinat polar dikembalikan lagi pada sistem koordinat kartesian, sehingga hasil citra yang diperoleh untuk sistem koordinat polar akan tetap berbasis *rectangular*. Pada Gambar 3, tampak efek *blurring* atau kondisi kabur di sekitar obyek yang ditunjukkan oleh warna kuning, hijau, dan biru muda di sekeliling obyek.

Sama halnya dengan hasil rekonstruksi pada sistem koordinat polar, hasil rekonstruksi sistem koordinat *rectangular* menunjukkan efek *blurring* yang tampak jelas dan melebar di sekeliling obyek. Pada irisan ke-15 dan 17, terlihat warna merah yang menunjukkan nilai permitivitas tinggi yang melebar ke sekitar obyek. Hal ini boleh jadi disebabkan oleh pengaruh nilai sensitivitas yang kurang baik. Artinya, distribusi medan listrik tidak tersebar secara merata dalam ruang geometri sensor.

Pada dasarnya, nilai korelasi citra yang dihasilkan menunjukkan tingkat kesesuaian nilai permitivitas hasil rekonstruksi dengan nilai permitivitas yang sebenarnya (pada simulasi). Dengan kata lain, tingkat kesesuaian nilai permitivitas hasil rekonstruksi untuk sistem koordinat polar dan *rectangular* terhadap nilai permitivitas sebenarnya pada penelitian ini masih sangat rendah, khususnya pada sistem koordinat *rectangular*. Hal ini ditunjukkan dengan nilai korelasi citra sebesar 0,266 untuk sistem koordinat polar dan 0,208 untuk sistem koordinat *rectangular*.

Efek *blurring* yang terdapat pada hasil rekonstruksi juga dapat disebabkan oleh metode rekonstruksi yang digunakan. Pada metode ART, perhitungan yang dilakukan merupakan operasi matematika dasar, yakni menjumlahkan nilai pada setiap baris dan kolom matriks. Selanjutnya, nilai hasil penjumlahan dikembalikan lagi pada masing-masing sel dengan cara membagi rata nilai hasil penjumlahan dengan banyaknya sel. Hal ini memungkinkan terjadinya penumpukan nilai di sekitar obyek, sehingga memberikan efek *blurring* pada citra hasil rekonstruksi yang ditampilkan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Metode *Algebraic Reconstruction Technique* (ART) dapat digunakan untuk melakukan rekonstruksi citra pada sistem koordinat polar dan *rectangular* dalam kegiatan tomografi kapasitasi. Akan tetapi, obyek hasil rekonstruksi belum dapat menggambarkan obyek yang sebenarnya. Hal ini ditunjukkan dengan hasil citra yang ditampilkan dan nilai korelasi citra yang dihasilkan, yakni sebesar 0,266 untuk

sistem koordinat polar dan 0,208 untuk sistem koordinat *rectangular*. Untuk mendapatkan kualitas citra yang lebih baik pada jumlah proyeksi yang terbatas, dapat ditambahkan filter pada metode rekonstruksi yang digunakan, sedangkan untuk menghasilkan citra berbentuk polar dari piksel yang berbasis *rectangular*, perlu dipertimbangkan untuk melakukan deteksi tepian atau menggunakan bantuan perangkat lunak lain.

Ucapan Terima Kasih

Penulis F.W. mengucapkan terima kasih kepada Agung Tjahjo Nugroho, S.Si, M.Phil yang telah mengenalkan penulis pada dunia tomografi. Kepada PT. Edwar Technology yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian ini bersama tim riset *Edwar Technology*. Kepada Nurul Priyantari, S.Si, M.Si dan Puguh Hiskiawan, S.Si, M.Si untuk arahan yang diberikan demi penyempurnaan tata tulis dalam karya tulis ini.

Daftar Pustaka

- [1] Warsito. 2005. Review: Komputasi Tomografi dan Aplikasinya dalam Proses Industri. *Prosiding Semiloka Teknologi Simulasi dan Komputasi serta Aplikasi*: 1-11.
- [2] Ma'arif, S. 2008. *Pengembangan Desain Sensor Tiga Dimensi pada Electrical Capacitance Volume Tomography (ECVT): Percobaan dengan Bagian Tubuh Manusia*. Depok: FMIPA Universitas Indonesia.
- [3] Bangliang, Lihui, Danya, dan Baofen. 1999. An Improved Simultaneous Iterative Reconstruction Technique. *World Congress on Industrial Process Tomography*, 1 (79): 418-422.
- [4] Grangeat, P. 2009. *Tomography*. London: John Wiley & Sons.
- [5] Arko. 2000. *Image Reconstruction Algorithm for Electrical Capacitance Tomography*. Pusat Pengembangan Teknologi Informasi dan Komputasi, BATAN.
- [6] Yen, E. K. dan Johnston, R. G. Tanpa Tahun. *The Ineffectiveness of the Correlation Coefficient for Image Comparisons*. <http://jps.anl.gov/vol.2/3-Correlation.pdf>.