

# SOLUSI INVERSI MEDAN TERHAMBUR DISEKITAR OBYEK DENGAN METODE NEWTON KANTOROVICH

## SKRIPSI



Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Sains pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Jember

Oleh

*Mar'atus Sholeha*

NIM. 971810201005



JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2003

*MOTTO*

*I'm not designed to be second or third  
but I'm designed to win*

**(Marc Dacascos)**

## PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Setelah melewati perjalanan yang panjang dan atas izin-Nya akhirnya dapat kuselesaikan karya kecil ini. Dengan segala kerendahan hati kupersembahkan karya ini, sebagai kebahagiaan seiring dengan sembah sujud, rasa hormat dan terima kasih kepada :

- Ayahanda dan Ibunda tercinta, sinaran kasih sayang yang tak pernah sepi akan sumbangan do'a yang selalu mengiringi dalam setiap langkah dalam menggapai cita-citaku;
- Kakakku dan Adikku, terima kasih atas perhatian dan dukungannya selama ini;
- Iit, terima kasih atas bantuannya, dengan kebersamaan kita, perbedaan kita, senyum, canda, tawa dan marahmu merupakan hikmah dan semangatku;
- Almamater yang kubanggakan.

## DEKLARASI

Skripsi ini berisi hasil kerja/penelitian mulai bulan September sampai dengan bulan November 2002 di Laboratorium Fisika Komputasi FMIPA Universitas Jember. Bersama ini saya menyatakan bahwa isi skripsi ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri kecuali jika disebutkan sumbernya dan skripsi ini belum pernah diajukan pada institusi lain.

Jember, Januari 2003

Mar'atus Sholeha

## ABSTRAK

**Solusi Inversi Medan Terhambur Disekitar Obyek dengan Metode Newton Kantorovich**, Mar'atus Sholeha, 971810201005, Skripsi, Bulan Januari, Tahun 2003, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember.

Dalam Tugas Akhir ini, telah dilakukan iterasi algoritma pada citra geombang mikro dengan metode Newton Kantorovich. Citra obyek digambar dengan cara menyusun kembali distribusi permitivitas komplek dari obyek yang memiliki sifat dielektrik yang tidak sejenis dan dengan bentuk yang tidak beraturan. Data hamburan dari gelombang mikro yang mengenai obyek diinverskan dengan metode Newton Kantorovich. Data medan terhambur disimulasikan dengan cara menyelesaikan integral medan di dekat obyek. Citra yang dihasilkan pada metode ini, dapat diketahui kualitasnya dengan melihat sensitifitas terhadap kontras dan SNR, selain itu, metode NK dibandingkan dengan metode ART dalam merekonstruksi citra. Hasil penelitian didapat bahwa citra hasil rekonstruksi dengan metode NK lebih bagus dan secara umum variasi data SNR tidak berpengaruh terhadap kualitas citra yang dihasilkan.

*Kata kunci : inversi medan terhambur, metode Newton Kantorovich*

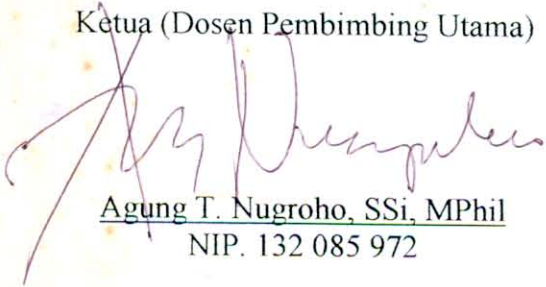
## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini telah diterima oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada :

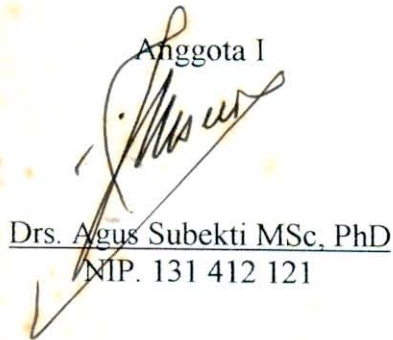
Hari : Kamis  
Tanggal : 27 FEB 2003  
Tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Jember

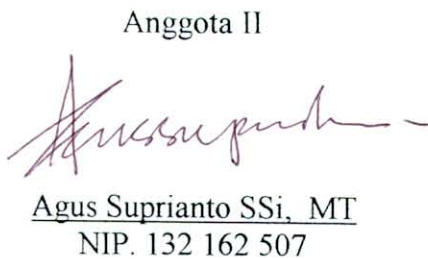
### Tim Penguji

Ketua (Dosen Pembimbing Utama)      Sekretaris (Dosen Pembimbing Anggota)

  
Agung T. Nugroho, SSi, MPhil  
NIP. 132 085 972

  
Sutisna SPd, MSi  
NIP. 132 257 929

Anggota I  
  
Drs. Agus Subekti MSc, PhD  
NIP. 131 412 121

Anggota II  
  
Agus Suprianto SSi, MT  
NIP. 132 162 507

Mengesahkan  
Dekan Fakultas MIPA  
Universitas Jember

  
(Dr. Sumadi, MS)  
NIP. 130 368 784

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi yang berjudul : "*Solusi Inversi Medan Terhambur Disekitar Obyek dengan Metode Newton Kantorovich.*" Dapat terselesaikan dengan baik. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana Sains Jurusan Fisika Fakultas matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Pada kesempatan ini disampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat :

1. Agung T. Nugroho SSi, MPhil sebagai Dosen Pembimbing Utama (DPU) dan Sutisna MSi sebagai Dosen Pembimbing Anggota (DPA) yang telah membimbing penulis guna menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak dan Ibu Terhormat, Kakak dan Adikku terima kasih atas perhatian dan dukungannya selama ini.
3. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini.

Semoga bantuan, bimbingan dan dorongan beliau dicatat sebagai amal baik oleh Allah SWT dan mendapat balasan yang setimpal dari-Nya. Amin. Akhirnya semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Jember, Januari 2003

Mar'atus Sholeha

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN DEKLARASI</b> .....	iv
<b>HALAMAN ABSTRAK</b> .....	v
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>HALAMAN KATA PENGANTAR</b> .....	vii
<b>HALAMAN DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>HALAMAN DAFTAR TABEL</b> .....	x
<b>HALAMAN DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Hamburan Gelombang Mikro Disekitar Obyek.....	5
2.2 Metode Newton dan Newton Kantorovich.....	7
2.3 Permasalahan Inversi Medan Terhambur.....	9
2.4 ART ( <i>Algebraic Reconstruction Techniques</i> ).....	12
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	13
3.2 Metode Penelitian.....	13
3.2.1 Obyek yang Diteliti.....	13
3.2.2 Konfigurasi Antena.....	15



3.2.3	Metode Simulasi Data .....	15
3.2.4	Metode Rekonstruksi Citra.....	16
3.2.5	Metode Pengujian Citra.....	17

#### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1	Implementasi Penelitian .....	19
4.1.1	Obyek yang Direkonstruksi.....	19
4.1.2	Rekonstruksi Citra Tomografi dengan Metode NK .....	21
4.1.3	Metode Penguji Alogaritma .....	21
4.2	Rekonstruksi NK dan ART dengan Kontras Hetrogen .....	21
4.3	Rekonstruksi Citra dengan Data SNR .....	31

#### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1	Kesimpulan.....	37
5.2	Saran.....	37

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	38
-----------------------------	----

<b>LAMPIRAN</b> .....	39
-----------------------	----

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
4.1 Perbandingan Hasil Rekonstruksi Citra dengan Metode NK dan ART .....	30
4.2 Kualitas Citra Hasil Rekonstruksi dengan Metode NK dan ART yang Diuji dengan Variasi Data SNR.....	36

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Geometri 2D dari benda ( $D$ ) yang disinari gelombang TM yang dikelilingi medium $D^0$ .....	5
3.1 Obyek Berbentuk Kotak dua Dimensi Dengan Medium Eksterior Berbentuk Kotak .....	13
3.2 Pencacahan Obyek Menjadi 10 X 10 Sel .....	15
3.3 Konfigurasi Antena .....	15
3.4 Nilai per Proyeksi .....	16
4.1 Obyek yang Direkonstruksi .....	19
4.2 Metode Pencacahan Obyek dengan Menggunakan Milimeter Blok .....	20
4.3 Obyek yang Akan Direkonstruksi .....	22
4.4 Citra Hasil Rekonstruksi dengan Metode ART dan NK, Lemak Sebagai Benda dan Air Sebagai Medium Eksterior .....	22
4.5 Lemak yang berada di dalam air dimana lemak sebagai benda dan air sebagai medium eksterior .....	23
a Grafik Error Citra dengan metode ART .....	23
b Grafik Error Citra dengan metode NK .....	23
c Error Data dengan metode ART .....	23
d Error Data dengan metode NK .....	23
4.6 Obyek yang Akan Direkonstruksi .....	24
4.7 Citra Hasil Rekonstruksi dengan Metode ART dan NK, dimana Tulang sebagai Benda dan air sebagai Medium Eskterior .....	25
4.8 Tulang yang berada di dalam air dimana Tulang sebagai benda dan air sebagai medium eksterior .....	26
a Grafik Error Citra dengan metode ART .....	26
b Grafik Error Citra dengan metode NK .....	26
c Error Data dengan metode ART .....	26
d Error Data dengan Metode NK .....	26

4.9 Obyek yang Akan Direkonstruksi .....	27
4.10 Citra Hasil Rekonstruksi dengan Metode ART dan NK, Daging sebagai Benda dan Air sebagai Medium Eksterior .....	28
4.11 Daging yang Berada didalam Air dimana Daging sebagai Benda dan Air sebagai Medium Eksterior .....	29
a Grafik Error Citra dengan metode ART .....	29
b Grafik Error Citra dengan metode NK .....	29
c Error Data dengan metode ART .....	29
d Error Data dengan metode NK .....	29
4.12 Hasil Rekonstruksi Citra dengan Data SNR 30 dB,40 dB dan 50 dB pada Bagian Real.....	32
4.13 Hasil Rekonstruksi Citra dengan Data SNR 30 dB,40 dB dan 50 dB pada Bagian Imaginer.....	33
4.14 Grafik Error Citra dan Data untuk SNR 30 dB, 40 dB dan 50 dB .....	34

# BAKI PENDAHULUAN



## 1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, tomografi telah banyak digunakan sebagai alat bantu pada proses pencitraan. Alat ini mampu mendeteksi dan mengidentifikasi bagian-bagian yang terdapat di dalam tubuh suatu makhluk hidup (manusia), yang kemudian hasilnya digambarkan dalam bentuk citra.

Pada awal perkembangannya, sistem tomografi memanfaatkan sumber gelombang sinar x dan sinar  $\gamma$ . Kedua sinar tersebut memiliki frekuensi yang tinggi dan panjang gelombang yang sangat pendek dimana kedua sinar tersebut berasal dari unsur radioaktif yang berbahaya bagi makhluk hidup. Sehubungan dengan kondisi tersebut di atas, dunia medis mulai membatasi penggunaan tomografi dengan menggunakan kedua sinar tersebut, dan beralih pada sistem baru yang dinamakan sistem tomografi gelombang mikro (*Microwave Tomography System*).

*Microwave Tomography System* (MTS) merupakan suatu sistem yang dapat dirasakan lebih aman dan murah dari pada sistem tomografi sebelumnya. Hal ini disebabkan rendahnya ionisasi yang terjadi. Walaupun demikian, untuk sumber gelombang dengan panjang gelombang sangat pendek, seperti sinar x dan sinar  $\gamma$ , efek difraksi di dalam obyek dapat diabaikan. Sehingga iteratif linier alogaritma seperti *Algebraic Reconstruction Technique* (ART) dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan inversi (Maini, 1980). Saat ini sistem gelombang mikro banyak diarahkan dalam kegiatan penelitian. Sistem ini sengaja di rancang untuk menyelidiki kehidupan-kehidupan biokimia dan juga untuk penelitian-penelitian yang dapat memajukan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Gelombang mikro merekonstruksi distribusi dielektrik obyek, dimana dielektrik obyek tergantung dari kondisi obyek itu sendiri misalnya konsentrasi ion dan mobilitas, konsentrasi zat cair dan suhu. Oleh sebab itu metode MTS ini akan menghasilkan citra dalam menyelesaikan masalah penggambaran. Hal ini

disebabkan tomografi dengan menggunakan gelombang mikro menghasilkan citra yang dipaparkan dalam bentuk distribusi kompleks konstanta dielektrik. Citra tersebut dihasilkan dari pemecahan masalah invers matematika pada persamaan integral medan elektromagnetik. Masalah ini bersifat non linier dan *ill posed*. Berdasarkan penyelidikan (Burden, 1993) dan (Neittenmaki, 1996) disebutkan bahwa kondisi tersebut menghasilkan suatu persamaan non linier yang sukar untuk dipecahkan, kondisi ini oleh Burden dan Neittenmaki dinamakan dengan kondisi *ill posed*. Kondisi seperti ini akan menyebabkan :

- a. Solusi tidak valid
- b. Solusi ditemukan tapi tidak spesifik atau,
- c. Solusi ditemukan tapi tidak stabil.

Citra dari sistem tomografi bisa diperoleh dengan cara menyinari bahan dielektrik dengan gelombang mikro dari arah yang berbeda kemudian mengukur medan terhambur di sekitar obyek. Citra yang dihasilkan masih sulit untuk direkonstruksi, hal ini dikarenakan persamaan yang dihasilkan bersifat *non linier*, dan pada masalah inversi hamburan kondisi ini berada dalam kondisi *ill posed*. Kenyataan ini menarik perhatian para ahli, sehingga tidak sedikit para ahli yang melakukan penelitian untuk menghasilkan citra yang sempurna.

Penelitian MTS dimulai  $\pm 20$  tahun lalu. Pada tahun 1979, Dines (Dines, 1979) menggunakan teknik rekonstruksi linier yang menggunakan tomografi sinar  $\alpha$  untuk menghasilkan citra geofisika. Data ditata ulang dalam bentuk distribusi pelemahan atau penguatan intensitas yang sudah diperhitungkan antara pemancar, dan penerima dalam lubang galian. Hasil rekontruksi yang ada ditunjukkan dengan distribusi numerik pelemahan sinar.

Maini dan kawan-kawan (Maini, 1980, 1981) menggunakan alogaritma ART guna merekonstruksi obyek dielektrik dengan konstanta dielektrik yang setara dengan nilai rata-rata obyek dielektrik dari tubuh manusia pada frekuensi 400 MHZ. Dari sini dihasilkan citra yang bagus dengan resolusi sebesar  $0,1 \lambda$ .

Pada tahun 1981, Roger (Roger, 1981) mengusulkan memakai alogaritma Newton Kantorovich (NK) untuk merekonstruksi silinder konduktif. NK adalah generalisasi dari metode Newton. Parameter pada tiap iterasi yang digunakan

adalah perbedaan antara data terukur dan data tebaan. Roger sukses dalam menggunakan NK untuk polarisasi (TE) *Transvere Electric*, dari sini dia dapat dengan mudah membuat metode NK untuk merekonstruksi data hamburan dari polarisasi TM dari sebuah silinder.

Pada tahun 1991, Joachimowicz (Joachimowicz, 1991) menunjukkan manfaat dari NK untuk merekonstruksi obyek. Dari penelitian ini Joachimowicz menggunakan Tikhonov regulator untuk menyelesaikan kondisi *ill-posed* pada permasalahan inversi. Pada tahun yang sama Joachimowicz menginvestigasi metode NK yang diaplikasikan pada obyek dengan kontras tinggi dan air sebagai medium eksteriornya. Bahan dielektrik yang digunakan adalah tulang, daging, lemak dan air. Pada penelitiannya Joachimowicz menggunakan frekwensi kerja sebesar 3 GHZ. Dari sini dapat disimpulkan bahwa metode NK dapat menghasilkan citra yang lebih baik pada beberapa kondisi dibanding metode Newton, metode NK juga lebih fleksibel, tetapi lebih sensitif terhadap SNR dan kontras.

Pada tahun 1998, Joachimowicz (Joachimowicz, 1998) mengaplikasikan metode NK pada data eksperimen yang diambil dari pemindai gelombang mikro (*mikrowave scanner*) dengan frekwensi kerja 2,33 GHZ. Penelitian ini dilakukan guna menginvestigasi secara kuantitatif faktor-faktor yang mempengaruhi pada eksperimen seperti suhu obyek dan SNR. Dari penelitian ini tampak bahwa metode NK tetap mampu untuk merekonstruksi obyek dan menghasilkan citra yang baik pada data dengan *Signal Noise Ratio* (SNR) lebih tinggi dari 20 dB.

Saat ini kondisi citra yang dihasilkan oleh MTS tidak sebagus bila dibandingkan dengan citra dari sinar  $\alpha$  dan sinar  $\gamma$ , akan tetapi kelebihan-kelebihan yang ada pada MTS sangat penting sekali, diantaranya tidak radioaktif dan murah, sehingga kondisi tersebut telah memberikan harapan baru bagi perkembangan sistem ini untuk tahun-tahun berikutnya.

Seperti yang telah disebutkan di atas bahwa integral medan elektromagnet bersifat *non-linier* dan berkondisi *ill-posed*. Integral ini tidak bisa diselesaikan secara langsung, sehingga diperlukan suatu operator untuk melinierkannya. Pada penelitian ini, akan digunakan metode NK dan *Algebraic Reconstruction*

*Technique* (ART) sebagai pembanding untuk menyelesaikan kondisi *ill-posed* tersebut.

## 1.2 Permasalahan

Rekonstruksi dibuat untuk mengumpulkan data yang tersebar di daerah medan yang menimbulkan suatu masalah inversi medan terhambur dimana inversi medan terhambur tidak dapat diselesaikan secara analitis.

Telah disebutkan di atas bahwa solusi dari permasalahan inversi medan terhambur tidak dapat diselesaikan secara analitis sehingga menimbulkan beberapa permasalahan yang akan menjadi bahasan dalam penelitian ini.

Permasalahan itu antara lain adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana mengaplikasikan metode NK untuk mencari solusi dari permasalahan inversi hamburan ?
2. Bagaimana pengaruh kontras dan SNR terhadap metode NK?
3. Bagaimana perbedaan hasil kualitas citra NK jika dibandingkan dengan ART?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Dari permasalahan di atas dapat diketahui bahwa tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menjelaskan inversi medan terhambur di sekitar obyek dengan menggunakan metode NK.
2. Melihat pengaruh kontras dan SNR terhadap metode NK.
3. Melihat perbedaan hasil kualitas citra NK jika dibandingkan dengan ART.

## 1.4 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Dapat mengetahui solusi permasalahan inversi medan terhambur di sekitar obyek dengan metode NK dan sebagai pembandingnya ART.
2. Dapat mengetahui pengaruh kontras dan SNR terhadap metode NK dan sebagai pembandingnya ART.
3. Dapat memberikan sumbangan bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi.

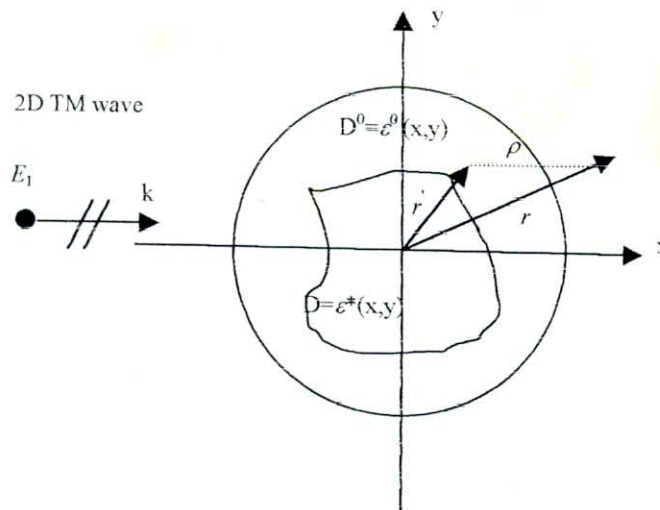


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Hamburan Gelombang Mikro di Sekitar Medan

Pada sistem tomografi gelombang mikro, yang dimaksud dengan proses rekonstruksi citra adalah proses untuk mendapatkan distribusi konstanta dielektrik dari penampang lintang sebuah obyek. Rekonstruksi dibuat dengan menginverskan data medan terhambur yang tersebar di sekitar obyek ketika benda disinari oleh gelombang mikro. Karena panjang gelombang yang ditransmisikan sebanding dengan ukuran sel, maka secara matematis integral medan menjadi *non-linier* dan inversnya berada pada kondisi *ill-posed*. Masalah utama pada inversi medan terhambur adalah upaya dalam menemukan solusi terbaik untuk menanggulangi *ill-posed*.

Untuk mempermudah pemahaman tentang konsep ini, maka dimisalkan obyek yang akan direkonstruksi seperti tampak pada gambar 2.1 di bawah ini



**Gambar 2.1.** Geometri 2D dari benda ( $D$ ) yang disinari gelombang TM yang dikelilingi medium  $D^0$ .

Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1 sebuah penampang  $2D$  benda ( $D$ ) homogen dengan penampang lintang digambarkan dalam sistem koordinat  $XOY$ , dimana obyek dikelilingi oleh medium homogen  $D^0$  dengan konstanta dielektrik kompleks  $\epsilon^0$ .

Dengan menotasikan  $E$  sebagai total medan,  $E_i$  adalah medan datang dan  $E_s$  adalah medan terhambur, maka total medan di dalam dan di luar obyek adalah

$$E(\bar{r}) = E_i(\bar{r}) + k_0^2 \int_D G(\bar{r}, \bar{r}') \xi(\bar{r}') E(\bar{r}') dD', \quad (2.1)$$

dimana

$$G(\bar{r}, \bar{r}') = -j \frac{1}{4} H_0^{(2)}(k_0 \rho_{rr'}), \quad (2.2)$$

$\rho_{rr'} = |\bar{r} - \bar{r}'|$  merupakan jarak antara  $\bar{r}$  dengan  $\bar{r}'$

Persamaan (2.2) merupakan Fungsi Green pada obyek  $2D$  dalam ruang bebas.

Pada persamaan (2.1) terdapat variabel kontras pada titik  $\bar{r}$  yang dinotasikan  $\xi(\bar{r})$ . Adapun definisi kontras yaitu perbedaan relatif konstanta dielektrik antara benda dengan medium eksterior, yang dapat dinotasikan sebagai berikut :

$$\xi = \frac{\epsilon_b - \epsilon_0}{\epsilon_0}$$

atau

$$\xi = \frac{\epsilon_b}{\epsilon_0} - 1, \text{ dimana } \epsilon_b \text{ konstanta dielektrik benda dan } \epsilon_0 \text{ konstanta}$$

dielektrik eksterior.

Jika penampang lintang  $D$  dibagi dalam  $N$  sel sehingga medan listrik dan konstanta dielektrik dapat diasumsikan konstan pada setiap sel, maka  $E_n$  dan  $\xi_n$  berturut-turut adalah medan listrik dan kontras dielektrik pada sel ke  $n$ . Dengan mengacu pendekatan Fungsi Green  $G(\bar{r}, \bar{r}')$  seperti yang dikemukakan Richmond (Richmond, 1965) maka persamaan (2.1) dapat dituliskan

$$E_n = E_{ln} - \sum_{n'=1}^N C_{mn'} \xi_{n'} E_{n'} \quad (2.3a)$$

dimana

Jika  $n \neq n'$

$$C_{mn'} = \frac{j\pi k_0 a_{n'}}{2} j_1(k_0 a_{n'}) H_0^{(2)}(k_0 \rho_{mn'}) \quad (2.3b)$$

jika  $n = n'$

$$C_{mn'} = \frac{j\pi}{2} \left[ k_0 a_{n'} H_1^{(2)}(k_0 a_{n'}) - \frac{2j}{\pi} \right] \quad (2.3c)$$

Dari persamaan (2.3) maka hubungan antara total medan pada antenna ke-m di luar obyek dan total medan dalam  $N$  sel dapat dituliskan

$$E_m = E_{lm} - \sum_{n'=1}^N C_{mn'} \xi_{n'} E_{n'} \quad (2.4a)$$

dimana

$$C_{mn'} = \frac{j\pi k_0 a_{n'}}{2} j_1(k_0 a_{n'}) H_0^{(2)}(k_0 \rho_{mn'}) \quad (2.4b)$$

Kemudian medan terhambur pada antenna ke-  $m$  dapat ditulis sebagai berikut :

$$E_{sm} = - \sum_{n'=1}^N C_{mn'} \xi_{n'} E_{n'} \quad m=1,2,\dots,M. \quad (2.5)$$

Pada penelitian ini akan dicari nilai  $\xi_n$  jika  $E_{sm}$  diketahui nilainya untuk itu diperlukan metode untuk menginversi persamaan (2.3a) dan (2.5). Permasalahan ini akan diselesaikan dengan menggunakan metode Newton Kantorovich.

## 2.2 Metode Newton dan Newton Kantorovich

Agar lebih mudah maka permasalahan di atas diekspresikan dengan menggunakan operator  $A$  berikut ini :

$$E_{sm} = A. \xi_n \quad (2.6)$$

dimana  $A$  : operator integral .

Variabel-variabel di atas berhubungan dengan fungsi output  $E_{sm}$ , atau medan hamburan dan fungsi input  $\xi_n$ , atau kontras dielektrik obyek. Dari persamaan (2.3a) dan (2.5) tampak bahwa operator  $A$  tidak dapat diselesaikan secara langsung, karena operator  $A$  non linier dan tidak berbentuk bujur sangkar.

Untuk menyelesaikan permasalahan inversi pada permasalahan tersebut sangat sulit sekali, hal ini disebabkan karena fungsi output  $E_{sm}$  berhubungan dengan dua fungsi yang tidak diketahui yaitu  $\xi_n$  dan  $E_n$ , dimana telah diketahui bahwa prosedur untuk menyelesaikan permasalahan tersebut tidak *reversibel* (Roger, 1981). Dari persamaan (2.5) tampak bahwa persamaan tersebut tidak dapat digunakan untuk mencari  $\xi_n$  secara langsung dari  $E_{sm}$  jika tidak ada  $E_n$ . Untuk mengatasi masalah ini, algoritma Newton Kantorovich yang merupakan generalisasi dari metode Newton dikembangkan oleh Roger (Roger, 1981).

Penyelesaian persamaan (2.6) dengan menggunakan metode Newton Kontrovoich, dimulai dengan mengambil prediksi data input  $\xi^0$ , yang selanjutnya digunakan untuk mendapatkan nilai baru. Proses ini akan diulang-ulang sampai metode ini konvergen atau divergen. Untuk memulai metode ini, terlebih dahulu kita dapatkan nilai  $\xi^0$  pada  $E_s$  dengan menggunakan deret Taylor sebagai berikut :

$$E_s(\xi) = E_s(\xi^0) + \frac{dE_s}{d\xi} \Big|_{\xi^0} (\xi - \xi^0) + \frac{1}{2!} \frac{d^2 E_s}{d\xi^2} \Big|_{\xi^0} (\xi - \xi^0)^2 + \dots \quad (2.7)$$

dimana :  $E_s(\xi) = A. \xi$ .

Alogaritma Newton merupakan prosedur yang bertahap. Alogaritma ini konvergen terhadap nilai  $\xi$  bila  $E_s(\xi) = E_{sm}$  didapatkan. Dengan mengasumsikan  $\xi^0$  sebagai fungsi input  $\xi$ , yang dekat dengan data terukur, maka hanya dua variabel dari deret Taylor yang dibutuhkan untuk menyelesaikannya. Selanjutnya persamaan (2.7) dapat disederhanakan dalam bentuk berikut :

$$E_s(\xi) = E_s(\xi^0) + \frac{dE_s}{d\xi} \Big|_{\xi^0} (\xi - \xi^0), \quad (2.8)$$

solusi yang benar dari  $\xi$  akan memenuhi persamaan sebagai berikut :

$$E_s(\xi) = E_s(\xi^0) + \left. \frac{dE_s}{d\xi} \right|_{\xi^0} (\xi - \xi^0) \approx E_{sm}. \quad (2.9)$$

Dengan memperkenalkan notasi  $A'(\xi^0)$  untuk  $\left. \frac{dE_s}{d\xi} \right|_{\xi^0}$  persamaan (2.9) dapat disusun

kembali menjadi sebagai berikut :

$$E_s(\xi) - E_s(\xi^0) = A'(\xi^0) [\xi - \xi^0]. \quad (2.10)$$

Jika  $[\xi - \xi^0]$  bernilai kecil, maka persamaan ini adalah perkiraan yang bagus dari data nilai aktual suatu fungsi.

Alogaritma Newton Kantorovich (NK) merupakan pengembangan dari alogaritma Newton, dimana tiga simbol  $E_s$ ,  $\xi$  dan  $A$  merupakan dua fungsi riil dan sebuah operator.

### 2.3 Permasalahan Inversi Medan Terhambur

Kegunaan metode ini dapat mentransformasikan persamaan integral pada (2.3a) dan (2.5) dalam bentuk matriks, yaitu

$$[E_1] = [I] + [C_{mm'}][\xi][E] \quad (2.11)$$

dan

$$[E_s] = -[C_{mm'}][\xi][E], \quad (2.12)$$

dimana :

$[E_s]$  merupakan vektor M. Elemen dalam matriks ini adalah  $[E_s]_m = E_{sm}$  yang didefinisikan pada persamaan (2.5),

$[C_{mm'}]$  merupakan matriks operator integral NXN. Elemen matriks ini adalah  $[C_{mm'}]_{nn'} = C_{nn'}$ , yang didefinisikan pada persamaan (2.3b),

$[C_{mm'}]$  merupakan matrik operator integral MXN elemen matrik ini adalah  $[C_{mm'}]_{nn'} = C_{nn'}$ . Yang didefinisikan pada persamaan (2.3b),

$[\xi]$  adalah matrik NXN yang mempunyai elemen dari sel N itu sendiri,

$[E]$  adalah vektor N yang elemennya merupakan medan listrik dalam N sel

$[E_j]$  adalah vektor N yang elemennya merupakan medan datang N

$[I]$  adalah matrik identitas NXN.

Seandainya matriks medan terhambur  $[E_S]$  diketahui dari pengukuran, maka distribusi dielektrik  $[\xi]$  dapat dihitung dengan algoritma NK. Pertama, ditebak  $[\xi^0]$  dari  $[\xi]$  untuk semua sel adalah nol atau data dugaan awal distribusi dielektrik suatu obyek. Kedua, hitung total medan listrik pada penampang obyek dalam gelombang polarisasi TM dengan menggunakan persamaan (2.11). Ketiga, menghitung operator  $A'$ , dalam variasi  $\Delta\xi$  dari distribusi kontras pada variasi  $\Delta E_s$ , secara analitis  $A'$  dapat dihitung mengikuti aturan (Joachimowicz, 1991).

Pada persamaan (2.11) dan (2.12) dituliskan :

$$[\Delta E] = -[C_{mi}] [\Delta(\xi E)] \quad (2.13)$$

$$[\Delta E_s] = -[C_{mi}] [\Delta(\xi E)], \quad (2.14)$$

dimana

$$(\xi E)_n = \xi_n E_n \quad \text{untuk } n = 1, 2, \dots, N.$$

Kuantitas dari  $\Delta(\xi E)$  dapat dihitung dalam cara yang lain. Pertama melalui taksiran :

$$\Delta(\xi E) \approx \Delta \xi E + \xi \Delta E \quad (2.15)$$

dan mensubstitusikan (2.13) ke (2.15) sehingga didapat

$$[\Delta(\xi E)] = [[I] + [\xi][C_{mi}]]^{-1} [\Delta\xi][E]. \quad (2.16)$$

Dengan mensubstitusikan (2.16) ke (2.14) akan kita peroleh

$$\begin{aligned} [\Delta E_s] &= -[C_{mi}] [[I] + [\xi][C_{mi}]]^{-1} [E^+] [\Delta\xi] \\ &= [D] [\Delta\xi], \end{aligned} \quad (2.17)$$

dimana

$$[D] = -[C_{mi}] [[I] + [\xi][C_{mi}]]^{-1} [E^+]. \quad (2.18)$$

$[E^+]$  adalah matrik diagonal NXN yang elemennya merupakan komponen  $E$ , dan  $[D]$ , merupakan matrik MXN. Himpunan pada setiap medan datang (j) merupakan persamaan linier

$$[\Delta E_s]_j = [D]_j [\Delta \xi], \quad (2.19)$$

sehingga sekarang ukuran matrik  $[D]$  menjadi  $M \times N$ .

Akhirnya, setelah perhitungan matrik  $[D]$ , implementasi dari NK ditujukan untuk mengevaluasi persamaan linier (2.19), dengan menginverskannya diperoleh

$$[\Delta \xi] = \left[ [D]^{\#} [D] \right]^{-1} [D]^{\#} [\Delta E_s], \quad (2.20)$$

dimana tanda # adalah konjugat transpose. Nilai baru dari distribusi dielektrik dapat diperoleh dengan penambahan solusi (2.20) pada nilai taksiran sebelumnya.

Invers matriks pada persamaan (2.20) tidak stabil, sehingga perlu disempurnakan dengan memanfaatkan Regulasi Thikonov (Thikonov, 1977), yaitu sebagai berikut :

$$[\Delta \xi] = \left[ [D]^{\#} [D] + \alpha [I] \right]^{-1} [D]^{\#} [\Delta E_s] \quad (2.21)$$

dengan meminimalkan perbedaan antara perhitungan medan penghamburan dan pengukuran medan penghamburan. Proses ini diringkas untuk setiap perulangan ke-k sebagai berikut :

Langkah 1 : Memperhitungkan medan internal total  $E^k$  dengan menginverskan

$$\text{persamaan matrik } E^k = \left[ 1 + [C_{m'}] [\xi^k] \right]^{-1} [E_i]$$

Langkah 2 : Menaksirkan medan penghamburan  $\Delta E_s^k$  dilokasi penerimaan dari

$$E_s^k = -[C_{m'}] [\xi^k]^{-1} [E^k]$$

Langkah 3 : Memperhitungkan kesalahan antara medan penghamburan pada langkah 2 dan medan pengukuran  $E_S \rightarrow \Delta E_s^k$

Langkah 4 : Menaksirkan perintah pertama dari kesalahan pada perbedaan  $\Delta_{sk}$

$$\text{oleh penyelesaian } [\Delta \xi] = \left[ [D]^{\#} [D] + \alpha [I] \right]^{-1} [D]^{\#} [\Delta E_s]$$

Langkah 5 : Mengubah fungsi perbedaan  $\rightarrow \xi^{k+1} = \xi^k + \Delta \xi$

Langkah 6 : Memasukkan langkah pertama sejauh  $\Delta E_S$  untuk memperkecil kesalahan .

## 2.4 ART (*Algebraic Reconstruction Techniques*)

Pada penelitian ini metode yang digunakan sebagai pembanding adalah ART. Metode ART digunakan untuk merekonstruksi obyek jika integral medan yang dihasilkan linier. Data proyeksi didapatkan dengan menyinari suatu benda dengan gelombang elektromagnetik yang dapat menembus benda, seperti sinar-x dan sinar- $\gamma$ .

Selanjutnya ART disusun oleh Gordon (Gordon, 1974) yang terdapat pada persamaan (2.22).

$$\alpha_j^{k+1} = \alpha_j^k + \frac{P_i - q_i}{\sum_{m=1}^N W_{ij}^2} W_{ij} \quad (2.22)$$

dimana

$$q_i = \sum_{j=1}^N W_{ij} \alpha_j^k$$

$\alpha$  = konstanta atenuasi

$P$  = Proyeksi data

$W_{ij}$  = besar faktor kontribusi  $\alpha$  pada sel ke- $j$  saat dilalui sinar.

$M$  = jumlah total sinar yang melalui obyek



### BAB III METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

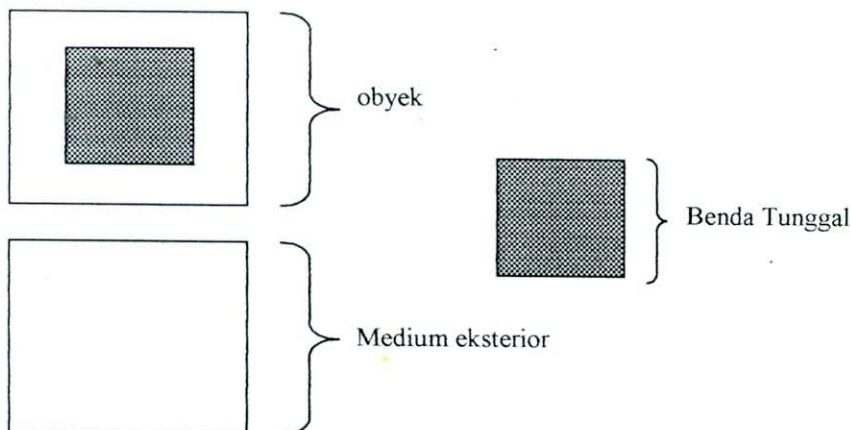
Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan September s/d November 2002 di Laboratorium Fisika Komputasi Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Jember.

#### 3.2 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah simulasi. Data diambil dari perhitungan komputer dengan berdasarkan nilai-nilai dari obyek. Kemudian data direkonstruksi untuk mendapatkan distribusi dielektrik properties benda. Kualitas perekonstruksi ditentukan dengan mengubah nilai obyek dan kualitas data.

##### 3.2.1 Obyek yang Diteliti

Obyek yang akan dicitrakan berbentuk kotak dua dimensi dengan medium eksterior berbentuk kotak, seperti tampak pada Gambar 3.1 di bawah ini



Gambar 3.1. Obyek berbentuk kotak dua dimensi dengan medium eksterior berbentuk kotak.

Gambar 3.1 di atas merupakan obyek yang di dalamnya terdapat benda ( $D$ ) yang dikelilingi oleh medium homogen eksterior  $D^0$  yang berbentuk kotak, dengan konstanta kompleks dielektrik  $\epsilon^0$ . Sebagai benda yang akan direkonstruksi pada penelitian ini yaitu lemak, tulang, dan daging yang dimasukkan dalam air sebagai medium eksterior.

Frekuensi yang digunakan pada penelitian ini yaitu 100 MHz, dimana frekuensi tersebut pernah digunakan oleh Joachimovicz (Joachimovicz, 1991). Kemudian obyek diberi nilai kontras yang berbeda antara dielektrik benda dan dielektrik medium eksterior, jadi nilai kontras yang ada dinotasikan sebagai berikut :

$$\xi = \frac{\epsilon_b - \epsilon_0}{\epsilon_0}$$

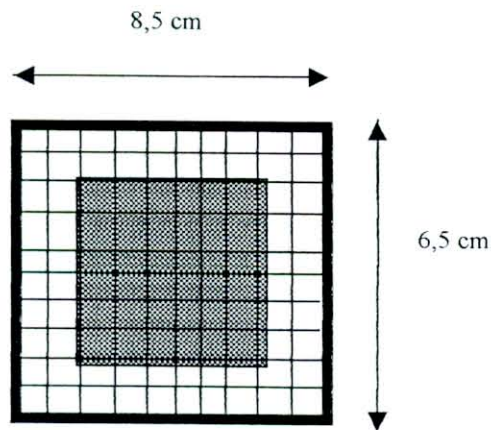
atau

$$\xi = \frac{\epsilon_b}{\epsilon_0} - 1, \text{ dimana } \epsilon_b \text{ konstanta dielektrik benda dan } \epsilon_0 \text{ konstanta}$$

dielektrik eksterior sehingga mempunyai nilai kontras sebesar  $4 + ij$  untuk menguji kualitas citra tersebut.

Sebagai perbandingan, pada penelitian ini akan dicantumkan hasil penelitian para ahli dengan karakterisasi obyek yang berbeda-beda. Yang pertama yaitu dari Joachomowicz, dia mencacah obyek yang akan direkonstruksi menjadi  $21 \times 21$  sel dengan frekuensi kerja 100 MHz, diameter obyek  $1 \lambda$ , kemudian dalam aplikasinya pada dunia medis Joachimovicz juga memakai obyek dengan karakterisasi : lebar  $3,5 \lambda$ , obyek dicacah menjadi  $11 \times 11$  sel, dengan panjang obyek 8,5 cm dan lebar 6,5 cm (Joachimovicz : 1991). Peneliti selanjutnya yaitu Belkebir mereka menggunakan obyek dengan karakterisasi obyek dicacah menjadi  $17 \times 17$  sel, frekuensi kerja 7, 10 dan 13 GHz, diameter obyek  $1 \lambda$  (Belkebir, 1997).

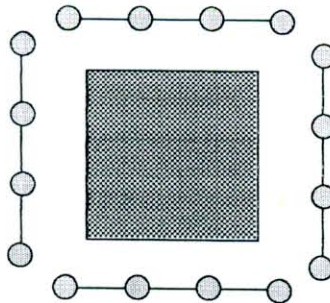
Dengan mempertimbangkan karakteristik dari obyek yang telah diteliti oleh para ahli tersebut, maka pada penelitian ini obyek dicacah menjadi  $10 \times 10$  sel dengan panjang 8,5 cm, lebar 6,5 cm seperti tampak pada Gambar 3.2 di bawah ini



Gambar 3.2. Pencacahan obyek menjadi 10 x 10 sel

### 3.2.2 Konfigurasi Antena

Seperti yang tertera pada Gambar 3.3. pada penelitian ini konfigurasi antena dibuat tegak lurus pada bagian kanan, kiri, atas dan bawah obyek tersebut. Dan antena yang diletakkan itu berjumlah 16 buah dengan 4 samping kanan, 4 samping kiri, 4 samping atas, dan 4 samping bawah.

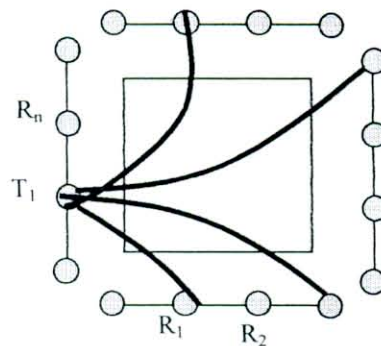


Gambar 3.3. Konfigurasi antena

### 3.2.3 Metode Simulasi Data

Data yang akan digunakan sebagai masukan dalam menampilkan citra diperoleh dengan cara mencari nilai yang dihasilkan pada setiap proyeksi, maksudnya adalah mencari nilai-nilai yang dihasilkan ketika satu antena berfungsi sebagai pemancar dan antena-antena yang lain berfungsi sebagai penerima. Kemudian antena

yang berfungsi sebagai pemancar tersebut akan bergilir dari antenna yang satu ke antenna yang lain, begitu juga antenna yang berfungsi sebagai penerima secara otomatis juga akan bergilir seperti tampak pada gambar di bawah ini



**Gambar 3.4 Nilai per proyeksi**

### 3.2.4 Metode Rekonstruksi Citra

Data-data yang dihasilkan dari integral medan merupakan data input dalam proses rekonstruksi citra. Rekonstruksi citra pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode NK yang dibandingkan dengan ART.

- Rekonstruksi dengan menggunakan Metode Newton Kontrovoich

Dengan menggunakan Metode Newton Kontrovoich maka permasalahan inversi hamburan dapat diselesaikan. Telah disebutkan dalam Bab II permasalahan inversi hamburan tersebut adalah sebagai berikut :

$$E_{Sm} = A \cdot \xi_n \quad (3.1)$$

Operator  $A$  pada persamaan (3.1) merupakan operator yang masih kompleks, sehingga operator tersebut tidak dapat diselesaikan secara langsung. Dengan menggunakan Metode Newton Kontorovich maka permasalahan tersebut dapat terselesaikan. Metode Newton Kontorovich pada prinsipnya adalah melakukan proses iterasi dengan menggunakan data dugaan  $\xi = \xi^0$ , yang nantinya data tersebut akan digunakan untuk mendekati dengan data terukur. Sehingga

penyelesaian permasalahan inversi hamburan dengan menggunakan metode Newton Kontrovoich akan menghasilkan solusi sebagai berikut :

$$[\Delta\xi] = \left[ [D]^{\#} [D] + \alpha [I] \right]^{-1} [D]^{\#} [\Delta E_s].$$

- *Algebraic Reconstruction Techniques* (ART) sebagai pembanding

Pada penelitian ini, akan digunakan metode ART sebagai pembanding, dimana ART tersebut bagus untuk merekonstruksi data non difraksi tomografi (Kak, 1974).

$$\alpha_j^{k+1} = \alpha_j^k + \frac{P_i - q_i}{\sum_{m=1}^N W^2 \cdot im} W_{ij}$$

Teknik ini diterapkan untuk merekonstruksi data tomografi linier. Pada prinsipnya metode ART mempunyai dasar yang sederhana. Semua metode-metode ART pada proses rekontruksi citra merupakan hasil iterasi.

### 3.2.5 Metode Pengujian Citra

Citra yang dihasilkan akan diuji dengan memberikan variasi kontras dan SNR, sehingga akan tampak kualitas dari citra yang dihasilkan. Dengan menggunakan metode NK, formula eror pengujian kualitas citra dengan menggunakan kontras menurut Franchois (Franchois, 1997) dituliskan sebagai berikut :

$$\Delta E_s = E_s^{mea} - E_s^K.$$

Dimana  $E_s^{mea}$  = data terukur dan  $E_s^K$  = data tebaan

Dan formula untuk *relative mean square error* (kuadrat rata-rata eror) sebagai berikut

$$err_s = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N |\Delta E_s(n)|^2}{\sum_{i=1}^N |s(n)|^2} \right]^{1/2}$$

n = sel-sel

s = nilai kontras

$\Delta E_s$  = selang antara data hasil rekonstruksi dan data terukur pada langkah ke k.

Selain dengan variasi kontras untuk pengujian citra, maka kualitas citra pada penelitian ini juga diuji dengan memberikan SNR, adapun persamaan untuk pengujian kualitas citra menurut Franchois (Franchois, 1997) dinyatakan dengan :

*Signal to noise Ratio* (SNR) didefinisikan sebagai berikut :

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{\|E_S^{mea}\|}{\|E_{S\ noise}^K\|} dB.$$

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari penelitian ini berkenaan dengan solusi inversi hamburan pada medan di sekitar obyek dengan menggunakan Metode Newton Kantorovich, dan dengan memberikan variasi SNR untuk menguji kualitas citra yang dihasilkan adalah sebagai berikut.

1. Metode NK lebih bagus dalam menampilkan citra dibandingkan dengan ART.
2. Setelah diberi variasi data SNR, metode NK mampu menampilkan citra yang bagus mulai proses iterasi pertama sampai pada iterasi ke-5. Selanjutnya eror citra akan naik perlahan-lahan.
3. Secara umum variasi data SNR tidak berpengaruh terhadap kualitas citra yang dihasilkan.

#### **5.2 Saran**

1. Perlu penelitian lebih lanjut untuk menstabilkan eror citra yang dihasilkan oleh metode NK setelah diberi variasi data SNR.
2. Perlu penelitian lebih lanjut berkenaan dengan regulator yang digunakan pada metode NK agar solusi yang dihasilkan lebih stabil.



## DAFTAR.PUSTAKA

- Bolomey," A. Izadnegahdar, L. Jofre, C. Pichot, G. Peronnet, and M. Solaimani. 1982, "*Microwave Diffraction Tomography For Biomedical Applications.*" IEEE Trans. Microwave Theory Tech. Vol. MTT-30, pp. 1998-2000.
- Burden R.L, and Faires S.D, 1993, "*Numerical Analysis.*" PWS-Kert Publishing Company Boston.
- Dines K.A, and Lytle R.J, 1979, "*Computerised Geophysical Tomography*", Proceeding IEEE, vol 67 pp. 1065-1075.
- Franchois A, February 1997, "*Microwave Imaging-Complex Permittivity Reconstruction with a Levenberg-Marquardt Method.*" IEEE Trans. Antennas Propagat. Vol. 45. No. 2.
- Kak A.C, and Slaney M, 1988, "*Computerised Tomographic Imeging*". IEEE Pres, New York.
- Kamal Belkebir, April 1997, "*Microwave Imaging-Location and Shape Reconstruction from Multifrequency Scattering Data.*" IEEE Trans. Antennas Propagat. Vol. 45. No. 4.
- Maini.R, M.F. Iskander, C.H. Durney, Dec. 1980, "*On The Electromagnetic Imaging Using Linear Reconstruction Techniques.*" Proc. IEEE, vol. 68 pp. 1550-1555.
- Maini.R, Magdy, M.F. Iskander, C.H. Durney, M. Bergren, Nov. 1981, "*On The Sensitivity And Resolution Of Microwave Imaging Using ART.*" Proc. IEEE, vol. 69no. 11.
- Nadine Joachimowicz, December 1991,1998, "*Inverse Scattering: An Iterative Numerical Method For Elektromagnetic Imaging.*" IEEE Trans. Antennas Propagat. Vol. 39. No.12.
- Neittenmaki P, Rudnicki M, and Savivi. A, 1996, "*Inverse Problem and Optical Resign in Electricity and Magnetism,*" Claderon Press Oxford.
- Richmond J.H. 1965," *Scattering by a dielectric cylinder of arbitrary cross section shape.*" IEEE Trans Antennas Propagat. Vol AP 13. pp. 334-341.
- Roger A, March 1981, "*A Newton Kantorovich Algorithm Applied To An Electromagnetic Nverse Problem.*" IEEE Trans. Antennas Propagat. Vol. AP-29. No. 2.
- Tikhonov A.N,1977," *Solutions of Ill-Posed Problems.*" Washington, DC: Winston.



### Lampiran 1. Listing Program Cara Merekonstruksi Citra

```

load data1; %data yang berisikan Ei,cnne,cmne,psi
% Program ini digunakan untuk merekonstruksi citra
% yang dihasilkan daridata-data yang telah diperoleh
psi=diag(psi);
psi0=zeros(100,1);
%iterasi pertama Esh(Es hitung)=0;
% delEs (delta Es) sama dengan Esu (Es ukur);
Ek=inv(eye(100,100)+psi*cnnNe)*Ei;
Esu=-cmne*psi*Ek;
D=-cmne*diag(Ek);
delpsi=inv(conj(D')*D+0.00000000001*eye(100,100))*conj(D')*Esu;
psi0=psi0+delpsi;
sel=Esu;
salah0=norm(sel)/norm(Esu);
beda=psi-diag(psi0);
salah1=norm(beda)/norm(psi);
errs=salah0;
errq=salah1;

for iter=1:25
    D=-cmne*inv(eye(100,100)+psi*cnnNe)*diag(Ek);
    Esh=-cmne*diag(psi0)*Ek;
    delEs=Esu-Esh;
    delpsi=inv(conj(D')*D+0.00000000001*eye(100,100))*conj(D')*delEs;
    psi0=psi0+delpsi;

    sel=Esu-Esh;
    salah0=norm(sel)/norm(Esu);
    beda=psi-diag(psi0);
    salah1=norm(beda)/norm(psi);
    errs(iter+1)= salah0;
    errq(iter+1)= salah1;
    a01=zeros(10,1);
    a02=zeros(1,14);
    if iter==1
        gam(psi0)

elseif iter==2
    gam(psi0)

```



Unit UPT Perpustakaan  
UNIVERSITAS JEMBER

BORANG TA-06

Departemen Pendidikan Nasional RI  
Universitas Jember  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**SURAT KETERANGAN SELESAI PENELITIAN**

Kami selaku Dosen Pembimbing Utama/Anggota yang mengawasi penelitian/percobaan mahasiswa sebagai tersebut di bawah ini :

Nama : Mar'atus Sholeha.....  
NIM : 978810201005.....  
Jurusan/PS : F.MIPA.Fisika.....  
Semester : XI.....

menerangkan dengan sebenarnya bahwa mahasiswa yang bersangkutan betul-betul telah melaksanakan penelitian/percobaan, tentang  
..Solusi Inversi Medan Terhambur Iisekitar Obyek Dengan Metode ..  
..Newton Kantorovich.....

Bertempat : ..Laboratorium Fisika Komputasi.....  
Dimulai tanggal ..September..... s/d ..Desember 2002.....

Surat keterangan ini dibuat sebagai persyaratan pengajuan permohonan ujian Tugas Akhir/Skripsi.

Demikian untuk diketahui dan dipergunakan sebagaimana mestinya.

Jember, 13 Januari 2003.....

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota

Agung TN, S.Si.M.Phil...  
NIP. 132 085 972

Sutisna M.Si.....  
NIP. 132 257 929