



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMODELAN 3 DIMENSI ENDAPAN BIJIH BESI
MENGUNAKAN METODA *RESISTIVITY*
DAN *INDUCED POLARIZATION* (IP)**

TESIS

Yanto Sudyanto
NPM. 0806421590

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM PASCA SARJANA FISIKA
JAKARTA
DESEMBER 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMODELAN 3 DIMENSI ENDAPAN BIJIH BESI
MENGUNAKAN METODA RESISTIVITY
DAN INDUCED POLARIZATION (IP)**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains

Yanto Sudyanto
NPM. 0806421590

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA
KEKHUSUSAN GEOFISIKA RESERVOAR
JAKARTA
DESEMBER 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah hasil karya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.



Nama : Yanto Sudyanto

NPM : 0806421590

Tanda Tangan : 

Tanggal : 18 Desember 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : Yanto Sudiyanto
NPM : 0806421590
Program Studi : Magister Fisika
Judul Tesis : Pemodelan 3 Dimensi Endapan Bijih Besi
Menggunakan Metode *Resistivity* dan *Induced Polarization* (IP)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Studi Magister Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Yunus Daud (.....)

Penguji : Prof. Dr. Suprayitno Munadi (.....)

Penguji : Dr. Supriyanto (.....)

Penguji : Dr. Jatmiko Prio Atmojo (.....)

Ditetapkan di Jakarta

Tanggal 18 Desember 2010

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas Rahmat, Taufik dan Hidayah serta Inayah-Nya telah dapat menyelesaikan tesis ini. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk mencapai gelar Magister Sains (*Master of science*) pada Program Pasca Sarjana Fisika, bidang Geofisika Reservoar, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengentahuan Alam, Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dari berbagai pihak, mulai dari masa perkuliahan sampai dengan penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena, penulis mengucapkan terimakasih kepada :

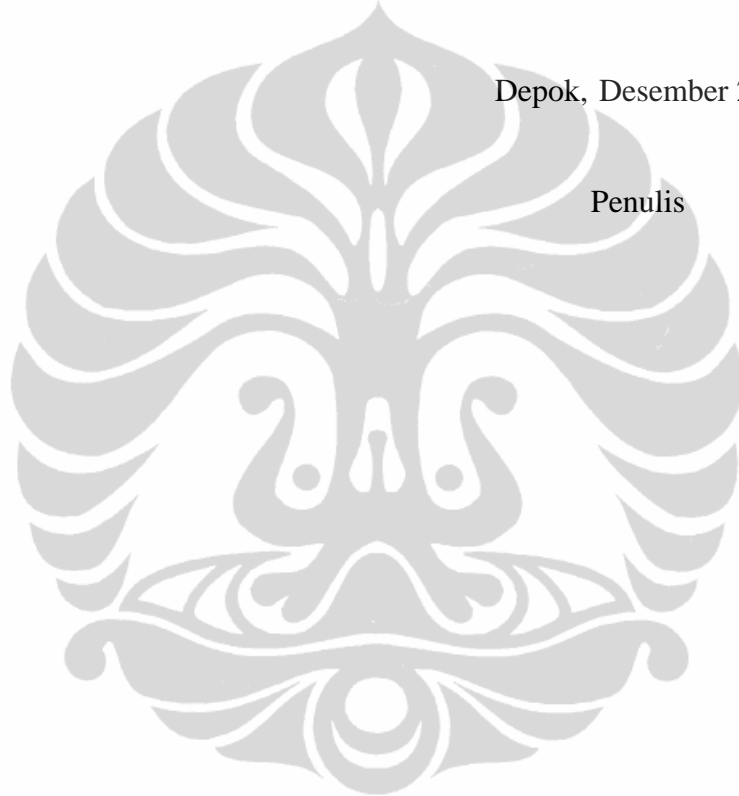
1. DR. Yunus Daud, MSc, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan tesis ini.
2. Pihak PT. Ina Touna Mining yang telah memberikan kesempatan dalam akusisi data di area kuasa pertambangannya dan memberikan data hasil laboratorium yang penulis perlukan.
3. DR. Yusuf Surahman, MSc selaku Direktur Pusat Teknologi Sumberdaya Mineral, BPPT, yang telah memberikan izin dan kesempatan kepada penulis untuk melanjutkan studi ke jenjang pasca sarjana di Universitas Indonesia.
4. Ir. Dadan M. Nurjaman, MSi, selaku Kepala Bidang Eksplorasi dan Penambangan, Pusat Teknologi Sumberdaya Mineral, BPPT, yang telah meluangkan waktu berdiskusi dan memberikan arahan selama akusisi data di lapangan.
5. Ir. Syabarudin Zikri yang telah memberikan bantuan dan arahan selama akusisi data di lapangan
6. Lendriadi Agung, SSi yang telah menyediakan waktu untuk memberikan bantuan dan arahan selama pengolahan data di laboratorium

7. Keluarga tercinta yang telah mendukung dan memberikan motivasi selama perkuliahan hingga terselesaikannya penyusunan tesis ini.
8. Rekan-rekan kerja di Pusat Teknologi Sumberdaya Mineral, BPPT yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan tesis ini.

Akhir kata, penulis berharap semoga Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat untuk pengembangan dan aplikasi ilmu geofisika.

Depok, Desember 2010

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Yanto Sudyanto
NPM : 0806421590
Program Studi : Magister Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Pemodelan 3 Dimensi Endapan Bijih Besi Menggunakan Metode *Resistivity* dan *Induced Polarization* (IP)

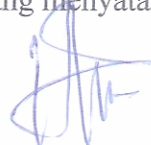
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 18 Desember 2010

Yang menyatakan,



(Yanto Sudyanto)

ABSTRAK

Nama : Yanto Sudiyanto
Program Studi : Geofisika Reservoir, Pasca Sarjana Fisika, FMIPA
Judul : Pemodelan 3 Dimensi Endapan Bijih Besi menggunakan Metode *Resistivity* dan *Induced Polarization* (IP)

Endapan bijih besi terdapat dalam satuan batuan ultramafik-mafik. Satuan batuan ini terdiri atas gabro dan peridotit yang telah mengalami serpentinisasi. Dalam bijih besi terkandung mineral bijih kromit, magnetit dan hematite. Berdasarkan pada komposisi mineralogi dan kimia, pembentukan endapan bijih besi diduga oleh proses magmatik; kemudian mengalami proses *replacement* dan oksidasi. Dengan kisaran nilai *resistivity* 42 -179 ohm.m yang mewakili endapan bijih besi kurang memperlihatkan kontras *resistivity* yang baik Anomali terbentuk pada nilai *induced polarization* (IP)-nya dengan kisaran nilai *chargeability* 24 -107 msec. Dari pemodelan IP 3 dimensi diperoleh model endapan bijih besi berbentuk podform dan lensa-lensa kecil.

Kata Kunci : Bijih besi, batuan ultramafik-mafik, *resistivity*, IP and pemodelan

ABSTRACT

Name : Yanto Sudiyanto
Study Program : Reservoir Geophysics, Physics Magister, Faculty of Mathematics and Natural Science
Title : 3D Modelling of Iron Ore Deposits Using Resistivity and Induced Polarization (IP) Methods

Iron ore deposits to be found on the mafic-ultramafic rocks units which consists of serpentinized gabbro and peridotite. The iron ore contains cromite, magnetite and hematite. Base on mineralogy and chemical composition, iron ore deposits is predicted to be formed by magmatic process and occurred a replacement and oxidation processes later. With range of 42 -179 ohm.m resistivity value that represent the ore iron deposits less show well contrast. Anomaly occurre on its induced polarization (IP) value with range of 24 -107 msec chargeability value which represent the iron ore deposit. Of the IP 3D modelling to be found the model of iron ore deposits have the form of podform and small lens.

Key words : Iron ore, mafic-ultramafic rocks, resistivity, IP and modelling

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR FOTO.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	3
1.3. Perumusan Masalah.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Metodologi.....	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	6
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Geologi Regional.....	7
2.2 Genesa Endapan Bijih Besi.....	9
2.3 Prinsip Pengukuran Metoda Geolistrik	12
2.4 Hubungan antara <i>Resistivity</i> dengan Parameter Geologi.....	15
2.5 Teknik Pengukuran Geolistrik.....	17
2.5.1 Survey <i>Resistivity</i> 1 Dimensi.....	17
2.5.2 Survey <i>Resistivity</i> 2 Dimensi.....	18
2.5.3 Survey <i>Resistivity</i> 3 Dimensi.....	20
2.5.3.1. Metoda <i>Complete data set</i>	22
2.5.3.2. Metoda <i>Cross diagonal</i>	23
2.5.3.3. Metoda <i>Roll-along</i>	23
2.6. Prinsip Pengukuran <i>Induced Polarization (IP)</i>	25
2.6.1. Fenomena <i>Induced Polarization (IP)</i>	26
2.6.2. Sumber Efek <i>Induced Polarization (IP)</i>	27
2.6.2.1. Polarisasi Membran.....	27
2.6.2.2. Polarisasi Elektroda.....	29
2.7. Teknik Pengukuran <i>Induced Polarization (IP)</i>	29
2.7.1. Pengukuran dalam <i>Time-domain</i>	30
2.7.2. Pengukuran dalam <i>Frequency-domain</i>	31

BAB 3. DISAIN PENGUKURAN DAN AKUSISI DATA RESISTIVITY DAN INDUCED POLARIZATION (IP).....	33
3.1 Pendahuluan.....	33
3.2 Disain Pengukuran <i>Resistivity</i> dan <i>Induced Polarization</i> (IP)...	33
3.2.1 Desain Pengukuran <i>Resistivity</i> dan IP 2 dimensi dengan Lintasan Paralel.....	33
3.2.2 Desain Pengukuran <i>Resistivity</i> dan IP 3 dimensi dengan <i>Cross line</i>	34
3.3 Akusisi Data <i>Resistivity</i> dan <i>Induced Polarization</i> (IP).....	36
3.4 Kendala.....	38
BAB 4. PEMODELAN DAN INTERPRETASI.....	39
4.1. Pendahuluan.....	39
4.2. Pemodelan.....	39
4.2.1. <i>Forward Modelling resistivity</i> dan IP 3 Dimensi.....	39
4.2.2. <i>Inversion Modelling</i>	48
4.3. Interpretasi.....	55
BAB 5. PEMBAHASAN.....	59
5.1. Geologi Daerah Penelitian.....	59
5.2. Data Pengujian Mineralogi dan Kimia.....	63
5.2.1. Data Analisa Mineralogi dan Interpretasi.....	64
5.2.2. Data Analisa Kimia dan Interpretasi.....	67
5.2.3. Data Analisa XRF dan Interpretasi.....	69
5.3. Interpretasi Terpadu.....	72
5.4. Perhitungan Cadangan.....	80
BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN.....	81
6.1. Kesimpulan.....	81
6.2. Saran.....	82
DAFTAR REFERENSI.....	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Diagram alir penelitian.....	5
Gambar 2.1.	Sebaran busur geologi Sulawesi.....	8
Gambar 2.2.	Peta geologi lembar Poso.....	9
Gambar 2.3.	Hubungan diferensiasi magma dengan endapan mineral logam	10
Gambar 2.4.	Variasi komposisi kimia setiap zona horizon endapan laterit.....	12
Gambar 2.5.	Pengaruh dimensi material terhadap resistan pada konduktor arus.....	13
Gambar 2.6.	Susunan 4 elektroda konvensional pada pengukuran geolistrik.....	14
Gambar 2.7.	Konfigurasi elektroda yang biasa digunakan dalam survey geolistrik.....	15
Gambar 2.8.	Kisaran nilai <i>resistivity</i> dan <i>conductivity</i> batuan, soil dan mineral logam.....	16
Gambar 2.9.	Tiga model berbeda yang digunakan dalam interpretasi pengukuran <i>resistivity</i>	17
Gambar 2.10.	Susunan elektroda pada survey <i>resistivity</i> 2D dengan konfigurasi Wenner dan urutan pengukuran yang digunakan untuk membuat pseudosection.....	19
Gambar 2.11.	Bentuk susunan elektroda pada survey <i>resistivity</i> 3D.....	20
Gambar 2.12.	Lokasi elektroda potensial hubungannya dengan elektroda arus tunggal dengan menggunakan metoda (a) <i>complete data set survey</i> dan (b) <i>cross-diagonal survey</i>	22
Gambar 2.13.	Penggunaan metoda <i>roll along</i> pada survey dengan grid 10x10 dengan sistim <i>Resistivity-meter</i> 50 elektroda.....	24
Gambar 2.14.	Konfigurasi 4 elektroda terdiri atas 2 elektroda arus C_1 dan C_2 serta 2 elektroda potensial P_1 dan P_2	25
Gambar 2.15.	Peluruhan potensial hubungannya dengan IP setelah interupsi arus listrik dan efek waktu peluruhan IP	26
Gambar 2.16.	Efek polarisasi membran pada batuan berpori yang mengandung mineral lempung. (a). Kondisi distribusi ion-ion sebelum medium dialiri arus listrik (b). Polarisasi membran ketika medium dialiri arus.....	28
Gambar 2.17.	Efek polarisasi elektroda pada batuan berpori mengandung mineral logam. (a) Aliran elektrolit ketika dialiri listrik (b). Polarisasi elektroda pada batuan mengandung mineral logam.....	29
Gambar 3.1.	Susunan grid 15x15 untuk akuisisi data <i>resistivity</i> dan IP 3 dimensi.....	34
Gambar 3.2.	Proses penggabungan (<i>concatenate</i>) 3 data <i>resistivity</i> dan IP 2 dimensi pada setiap lintasan dalam susunan lintasan parallel.....	37
Gambar 4.1.	Proses <i>forward modeling</i>	40

Gambar 4.2.	Model 3 dimensi dengan 3 blok berbentuk elips dan <i>rectangular</i> masing-masing mempunyai nilai <i>resistivity</i> dan <i>chargeability</i> pada grid survey 15x15.....	41
Gambar 4.3.	Pseudosection <i>resistivity</i> vertikal pada arah pengukuran sumbu X dari <i>forward modeling</i>	42
Gambar 4.4.	Pseudosection <i>resistivity</i> vertikal pada pengukuran arah X dari data pengukuran.....	42
Gambar 4.5.	Pseudosection <i>resistivity</i> vertikal pada arah pengukuran sumbu Y dari <i>forward modeling</i>	43
Gambar 4.6.	Pseudosection <i>resistivity</i> vertikal pada pengukuran arah Y dari data pengukuran.....	43
Gambar 4.7.	Pseudosection <i>chargeability</i> vertikal pada pengukuran arah X dari <i>forward modelling</i>	44
Gambar 4.8.	Pseudosection <i>chargeability</i> vertikal pada pengukuran arah X dari data pengukuran.....	44
Gambar 4.9.	Pseudosection <i>chargeability</i> vertikal pada pengukuran arah Y dari <i>forward modeling</i>	45
Gambar 4.10.	Pseudosection <i>chargeability</i> vertikal pada pengukuran arah Y dari data pengukuran.....	45
Gambar 4.11.	Pseudosection <i>resistivity</i> horizontal pada arah pengukuran sumbu X.....	46
Gambar 4.12.	Pseudosection <i>resistivity</i> horizontal pada arah pengukuran sumbu Y.....	47
Gambar 4.13.	Pseudosection IP horizontal pada arah pengukuran sumbu X.....	47
Gambar 4.14.	Pseudosection IP horizontal pada arah pengukuran sumbu Y.....	48
Gambar 4.15.	Pemodelan inversi 3 dimensi. (a) Model standar, lebar blok-blok <i>rectangular</i> sama dengan satuan spasi elektroda pada arah X dan arah Y. (b) Model dimana beberapa lapisan atas dibagi setengah, ke arah vertikal dan horizontal, untuk mendapatkan resolusi yang lebih tinggi. (c) Model dimana blok-blok model dibagi pada arah horizontal saja....	49
Gambar 4.16.	Diagram alir proses pemodelan inversi dan pemodelan 3 dimensi <i>resistivity</i> dan IP.....	51
Gambar 4.17.	<i>Slice</i> vertikal <i>resistivity</i> pada model 3 dimensi <i>resistivity</i> hasil pengukuran geolistrik dengan konfigurasi Wenner.....	51
Gambar 4.18.	Model 3 dimensi <i>resistivity</i> hasil pengukuran geolistrik dengan konfigurasi Wenner.....	52
Gambar 4.19.	<i>Slice</i> vertikal IP pada model 3 dimensi IP hasil pengukuran geolistrik dengan konfigurasi Wenner.....	52
Gambar 4.20.	Model 3 dimensi IP hasil pengukuran geolistrik dengan konfigurasi Wenner.....	53
Gambar 4.21.	<i>Slice</i> vertikal <i>resistivity</i> pada model 3 dimensi <i>resistivity</i> hasil pengukuran geolistrik dengan konfigurasi Dipole-dipole.....	53
Gambar 4.22.	Model 3 dimensi <i>resistivity</i> hasil pengukuran geolistrik dengan konfigurasi Dipole-dipole.....	54

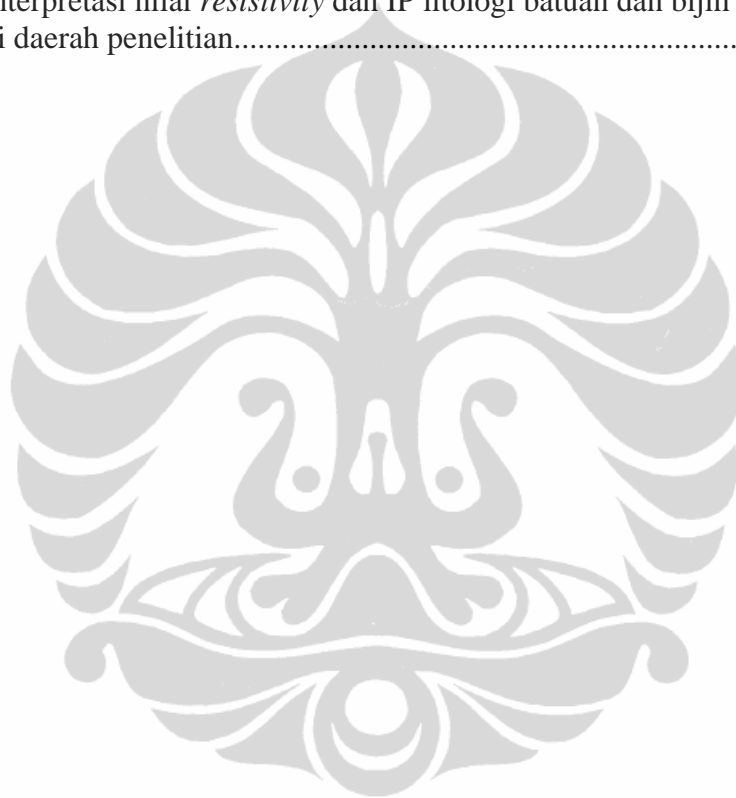
Gambar 4.23.	<i>Slice</i> vertikal IP pada model 3 dimensi IP hasil pengukuran geolistrik dengan konfigurasi Dipole-dipole.....	54
Gambar 4.24.	Model 3 dimensi IP hasil pengukuran geolistrik dengan konfigurasi Dipole-dipole.....	55
Gambar 4.25.	<i>Slice</i> vertikal <i>resistivity</i> pada model 3 dimensi <i>resistivity</i> hasil pengukuran geolistrik dengan konfigurasi Wenner.....	57
Gambar 4.26.	<i>Slice</i> horizontal <i>resistivity</i> pada model 3 dimensi <i>resistivity</i> hasil pengukuran geolistrik dengan konfigurasi Dipole-dipole.....	57
Gambar 4.27	<i>Slice</i> vertikal IP pada model 3 dimensi IP hasil pengukuran geolistrik dengan konfigurasi Wenner.....	58
Gambar 4.28	<i>Slice</i> horizontal IP pada model 3 dimensi IP hasil pengukuran geolistrik dengan konfigurasi Dipole-dipole.....	58
Gambar 5.1.	Korelasi unsur-unsur TiO ₂ , Fe total, Fe ₂ O ₃ dengan SiO ₂	68
Gambar 5.2.	Korelasi TiO ₂ dengan Al ₂ O ₃ , MgO, dan FeO.....	69
Gambar 5.3.	Korelasi unsur-unsur Fe, TiO ₂ dengan SiO ₂	70
Gambar 5.4.	Korelasi kedalaman dengan kandungan unsur dalam batuan bijih besi pada di 2 lokasi pemboran.....	71
Gambar 5.5.	Korelasi TiO ₂ dengan Al ₂ O ₃ , MgO, dan FeO pada bijih besi dari inti bor DH-7 dan DH-9.....	72
Gambar 5.6.	Model 3 dimensi <i>resistivity</i> dengan sebaran anomali <i>resistivity</i> tinggi (257 ohm.m – 1000 ohm.m) dan beberapa kontras dengan kisaran nilai <i>resistivity</i> 40 ohm.m - 257 ohm.m pada area ± 50 hektar.....	75
Gambar 5.7.	Model 3 dimensi IP dengan sebaran anomali IP sebagai indikasi keterdapatn endapan bijih besi pada area ± 50 hektar	76
Gambar 5.8.	Model 3 dimensi IP dengan sebaran endapan bijih besi berbentuk <i>podform</i> dan lensa kecil pada area ± 50 hektar....	77
Gambar 5.9.	Model 3 dimensi bentuk endapan bijih besi dan sebarannya dikorelasikan dengan lokasi pemboran dan lokasi pengukuran geolistrik 3D pada area ± 50 hektar.....	77
Gambar 5.10.	Model 3 dimensi bentuk endapan bijih besi dan penyebarannya di bawah permukaan pada area ± 50 hektar.....	78
Gambar 5.11.	Model 3 dimensi IP dengan kontras nilai IP sebagai indikasi keterdapatan endapan bijih besi pada area ± 1764 m ²	78
Gambar 5.12.	Model 3 dimensi IP dan bentuk endapan bijih besi pada kisaran nilai <i>chargeability</i> 24 -107 msec pada area ±1764 m ² .	79
Gambar 5.13.	Model 3 dimensi bentuk endapan bijih besi pada area ±1764 m ²	79

DAFTAR FOTO

Foto 3.1.	Model survey <i>resistivity</i> 3D dengan lintasan <i>Cross line</i>	36
Foto 3.2.	Rombakan bijih besi magnetit berukuran 5 – 20 cm di lokasi Fmg-4.....	36
Foto 3.3.	Rombakan bijih besi magnetit berukuran 10 – 50 cm di lokasi Fmg-4.....	36
Foto 3.4.	<i>Resistivity-meter</i> merk ARES-G4 v. 4.7 dilengkapi dengan accu 12 volt, <i>swith box</i> , kabel <i>multi-core</i> dan multi-elektroda.....	37
Foto 5.1.	Morfologi daerah penelitian.....	59
Foto 5.2.	Singkapan batuan Peridotit di lokasi UM-4.....	60
Foto 5.3.	Singkapan batuan ultramafik di lokasi UM-3.....	60
Foto 5.4.	Breksi tampak fragmen bijih besi dan batuan beku.....	60
Foto 5.5.	Singkapan batupasir dan lempung.....	60
Foto 5.6.	Singkapan magnetit dan hematit in-situ dengan sifat kemagnetan lemah-kuat di lokasi Oc-2.....	61
Foto 5.7.	Bongkah magnetit dengan sifat kemagnetan kuat di lokasi Fmg-3.....	61
Foto 5.8.	Singkapan magnetit masif dengan sifat kemagnetan kuat, di lokasi OC-1.....	62
Foto 5.9.	Bongkah hematit masif dengan sifat kemagnetan lemah, di lokasi Fhm-1.....	62
Foto 5.10.	Profil limonit tipis dengan fragmen kerikil batuan ultramafik dan bijih magnetit.....	62
Foto 5.11.	Profil limonit dengan fragmen kerikil-bongkah batuan ultramafik dan bijih magnetit.....	62
Foto 5.12.	Sayatan gabro, tampak olivin (Ol), piroksen (Px), plagioklas (Plg) sebagai penyusun utama, serta inklusi garnet (Gnt).....	65
Foto 5.13.	Sayatan peridotit tersusun oleh mineral utama olivin (Ol), piroksen (Px), serpentin pada retakan olivin dan piroksen.....	65
Foto 5.14.	Fotomikrografi sampel Fmg-1, tampak bijih kromit dan magnetit yang menggantikan kromit, rongga pada magnetit terisi hematit dan gutit.....	66
Foto 5.15.	Fotomikrograf sampel Oc-1, tampak magnetit dengan bentuk massif dan berongga terisi hematit dan gutit.....	66

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Chargeability beberapa mineral dan batuan.....	30
Tabel 3.1.	Input parameter pada <i>Resistivity-meter</i> dalam pengukuran <i>resistivity</i> dan IP dengan susunan lintasan parallel.....	37
Tabel 3.2.	Input parameter pada <i>Resistivity-meter</i> dalam pengukuran <i>resistivity</i> dan IP dengan susunan lintasan <i>cross-line</i>	38
Tabel 5.1.	Hasil analisa kimia batuan bijih besi.....	64
Tabel 5.2.	Interpretasi korelasi singkapan batuan dengan nilai <i>resistivity</i> ...	73
Tabel 5.3.	Interpretasi nilai <i>resistivity</i> dan IP litologi batuan dan bijih besi di daerah penelitian.....	74



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Peta Zona Prospek Endapan Bijih Besi dan Lokasi Pengukuran Geolistrik.....	85
Lampiran 2.	Peta Lokasi Pengamatan dan Lintasan Geolistrik.....	86
Lampiran 3.	Peta Geologi Daerah Penelitian.....	87
Lampiran 4.	Peta Lokasi Pengamatan dan Pengambilan Sampel.....	88
Lampiran 5.	Data Analisa Petrografi.....	89
Lampiran 6.	Data Analisa Mineragrafi.....	92
Lampiran 7.	Data Bor dan Analisa XRF.....	97
Lampiran 8.	Korelasi Singkapan Batuan Ultramafik-mafik dengan Profil <i>Resistivity</i> dan IP 2D Line-5.....	98
Lampiran 9.	Korelasi Singkapan Endapan Laterit dengan Profil <i>Resistivity</i> dan IP 2D Line-9.....	99
Lampiran 10.	Korelasi Data Bor DH-3 dengan Profil <i>Resistivity</i> dan IP 2D Line-5.....	100
Lampiran 11.	Korelasi Data Bor DH-7 dengan Profil <i>Resistivity</i> dan IP 2D Line-9.....	101



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bijih besi yang ekonomis umumnya berupa Magnetit (Fe_3O_4), Hematit (Fe_2O_3), Limonit ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) dan Siderit. (FeCO_3). Endapan bijih besi dapat terbentuk secara primer maupun sekunder. Pembentukan bijih besi primer dapat terjadi oleh proses magmatik, metasomatik kontak, dan hidrotermal; sedangkan endapan bijih besi sekunder terbentuk oleh proses sedimenter, residual, dan oksidasi (Jensen and Batemen, 1981). Tipe endapan bijih besi di Indonesia terdiri atas skarn, placer, laterit dan sedimen; di beberapa tempat terdapat tipe magmatik dan greisen (Sutisna, 1995). Jenis endapan bijih besi primer didominasi magnetit – hematit dan sebagian berasosiasi dengan kromit – garnet, yang terdapat pada batuan ultrabasa (Pardiarto dan Widodo, 2007). Bentuk endapan bijih besi magmatik berupa tubuh bijih masif berbentuk lensa, dike atau sill, dan mineral bijih besi terdisiminasi dalam batuan induk atau terdisiminasi sebagai laminasi dalam intrusi yang berlapis (Gross et al., 1997).

Penelitian ini merupakan hasil kerjasama antara PT. Ina Touna Mining dengan BPPT. Dalam penelitian ini dilakukan survey geologi pada area seluas 290 hektar dan survey geolistrik pada area seluas 50 hektar. Daerah penelitian terletak di area kuasa pertambangan PT. Ina Touna Mining, Kabupaten Poso, Propinsi Sulawesi Tengah. Endapan bijih besi di Daerah Poso terbentuk bersama nikel dan kromit dalam batuan ultrabasa (Simanjuntak et al., 1997). Hasil survey geologi menunjukkan batuan yang tersebar di daerah penelitian terdiri atas batuan ultramafik-mafik, sedimen, aluvial, bijih besi dan endapan laterit. Sebagian besar endapan bijih besi merupakan endapan sekunder, dan di beberapa tempat terdapat singkapan bijih besi yang diperkirakan sebagai endapan primer berbentuk seperti lensa. Dalam bijih besi terkandung mineral bijih kromit, magnetit dan hematit.

Dari survey geologi diperoleh perkiraan area prospek (zonasi) endapan bijih besi dan diinterpretasikan di bawah permukaan terdapat tubuh bijih besi yang tersebar baik ke arah vertikal maupun horisontal. Interpretasi ini masih perlu dikonfirmasi lagi dengan menggunakan metoda geofisika.

Dalam eksplorasi endapan bijih besi, metoda geofisika yang sering digunakan yaitu geomagnet, geolistrik, dan *Induced Polarization* (IP). Dari ke 3 metoda ini yang dapat memetakan sebaran tubuh bijih besi di bawah permukaan adalah geolistrik dan IP. Kedua metoda geofisika tersebut dapat merespon sifat kelistrikan batuan di bawah permukaan, yaitu *resistivity* dan *chargeability*. Menurut Lowrie (2007) parameter fisika utama dalam batuan pada survey geolistrik adalah *resistivity* dan *conductivity*. Anomali terbentuk ketika terdapat kontras *resistivity* yang baik dalam batuan seperti *dike* mineralisasi atau *ore body*, yang akan menimbulkan kontras *resistivity* dengan batuan sekitarnya. Apabila dari hasil pengukuran metoda geolistrik tidak ditemukan anomali *resistivity*, maka digunakan metoda IP. Menurut Telford (1990) dalam eksplorasi logam dasar umumnya dilakukan penggabungan 2 metode geofisika yaitu metode *resistivity* dan IP.

Metoda geofisika yang digunakan pada penelitian ini adalah metoda geolistrik *resistivity* dan IP. Endapan bijih besi di bawah permukaan secara alami berbentuk 3 dimensi, untuk memperoleh informasi bentuk geometrinya diperlukan metoda pengukuran geolistrik *resistivity* dan IP 3 dimensi. Dalam akuisisi data *resistivity* dan IP 3 dimensi dapat menggunakan metoda pengukuran geolistrik *resistivity* dan IP 2 dimensi dengan lintasan paralel atau dengan sistim grid (Loke, 2000).

1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan :

1. Mengetahui pola sebaran lateral endapan bijih besi, jenis batuan dan struktur geologi serta genesa endapan bijih besi di daerah penelitian melalui survey geologi.
2. Melakukan *forward modelling* untuk mendapatkan parameter model yang cocok dengan data pengamatan
3. Mendapatkan model distribusi *resistivity* dan *Induced Polarization* (IP) di bawah permukaan dalam model 3 dimensi melalui survey geolistrik *resistivity* dan *induced polarization* (IP) 2D dan 3D.
4. Mengetahui model geometri 3 dimensi endapan bijih besi di daerah penelitian .

1.3. Perumusan Masalah

Permasalahan yang dihadapi dalam melakukan penelitian ini adalah :

1. Bagaimana memahami pembentukan endapan bijih besi dengan *host rock*-nya
2. Bagaimana memahami metoda geolistrik *resistivity* dan IP dalam metoda pengukuran 3 dimensi.
3. Bagaimana memilih konfigurasi elektroda dalam pengukuran geolistrik dalam metoda pengukuran 3 dimensi.
4. Apakah terdapat kontras *resistivity* dan IP endapan bijih besi dengan batuan sekitarnya.
5. Bagaimana memahami pemodelan 3 dimensi endapan bijih besi berdasarkan parameter fisika *resistivity* dan *chargeability* nya.

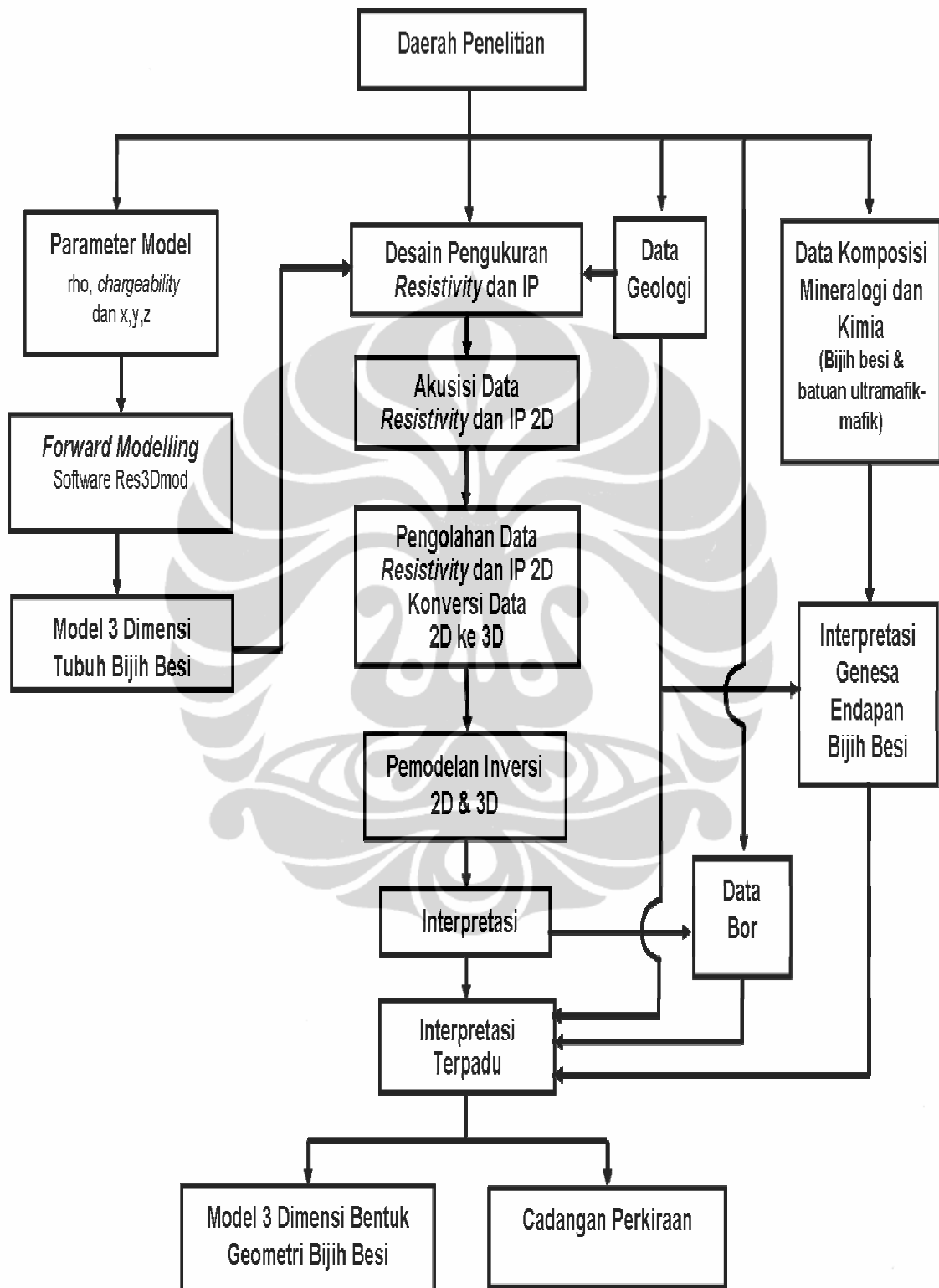
1.4. Batasan Masalah

1. Data geologi daerah penelitian merupakan data hasil survey geologi yang dilakukan pada area KP. PT. Ina Touna Mining, di Kabupaten Poso, Sulawesi Tengah.
2. Dalam interpretasi genesa endapan bijih besi berdasarkan pada data karakteristik kimia dan mineralogi batuan bijih besi, dan mineralogi batuan ultramafik-mafik.
3. Data geofisika yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hasil survey geolistrik *resistivity* dan IP 2 dimensi dengan konfigurasi Wenner dan Dipole-dipole dalam *Time-domain* dengan menggunakan *Resistivity-meter* Merk Ares tipe ARES-G4 v4.7.
4. Parameter fisika yang digunakan pada penelitian ini adalah *resistivity* dan *chargeability*.

1.5. Metodologi

Pada penelitian ini secara umum metoda yang dilakukan meliputi review geologi regional, survey geologi, analisa data mineralogi dan komposisi kimia bijih besi di daerah penelitian untuk interpretasi genesa endapan bijih besi. Prediksi area prospek potensi endapan bijih besi menjadi dasar pertimbangan dalam pembuatan desain pengukuran geolistrik *resistivity* dan *Induced Polarization* (IP). Hasil akusisi data *resistivity* dan IP 2 dimensi diinversi dengan program Res2Dinv dan Res3Dinv menghasilkan model distribusi *resistivity* dan IP medium geologi di bawah permukaan. Data *resistivity* dan IP dalam format *.dat kemudian dikonversi ke format *.xyz dalam bentuk text file untuk diproses dengan program Geoslicer. Integrasi seluruh hasil interpretasi data *resistivity* dan IP, data geologi, data mineralogi dan kimia bijih besi untuk mendapatkan model 3 dimensi endapan bijih. .

Seluruh tahapan penelitian tersebut digambarkan dalam bentuk diagram alir seperti terlihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1. Diagram alir penelitian

1.6. Sistematika Penulisan

Bab 1 menguraikan tentang latar belakang dan tujuan penelitian ini dilakukan; perumusan masalah yang belum dipahami dan diketahui dalam penelitian ini; batasan masalah agar penelitian ini terfokuskan dan tidak meluas pembahasannya; metodologi penelitian yang menjelaskan tahapan kegiatan penelitian hingga output akhir penelitian.

Bab 2 menguraikan tentang hasil penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu yang berkaitan dengan lokasi penelitian ini, yang meliputi kondisi geologi regional, genesa endapan bijih besi, metoda geolistrik *resistivity* dan IP serta teknik akuisisi data *resistivity* dan IP yang biasa diaplikasikan dalam penelitian mineral bijih logam.

Bab 3 menjelaskan tentang pembuatan rencana lintasan (disain) pengukuran geolistrik dan dasar pertimbangannya; metoda akuisisi data *resistivity* dan IP di lapangan serta proses pengolahan data *resistivity* dan IP yang telah dilakukan; kendala-kendala yang terjadi selama pelaksanaan penelitian.

Bab 4 menjelaskan tentang proses pemodelan geofisika, terdiri atas *forward modelling* dan *inversion modelling*, dengan parameter modelnya yang meliputi *resistivity*, *chargeability*, posisi dan bentuk geometri; interpretasi data hasil pemodelan inversi data *resistivity* dan IP.

Bab 5 membahas kondisi geologi, data mineralogi dan kimia batuan di daerah penelitian serta interpretasinya; interpretasi terpadu meliputi interpretasi data *resistivity* dan IP yang diintegrasikan dengan data geologi dan data bor; pemodelan 3 dimensi endapan bijih besi berdasarkan parameter IP serta perhitungan cadangan perkiraan endapan bijih di daerah penelitian.

Bab 6 menguraikan tentang kesimpulan dari uraian dan pembahasan data survey geologi, *resistivity* dan IP serta hasil interpretasinya.

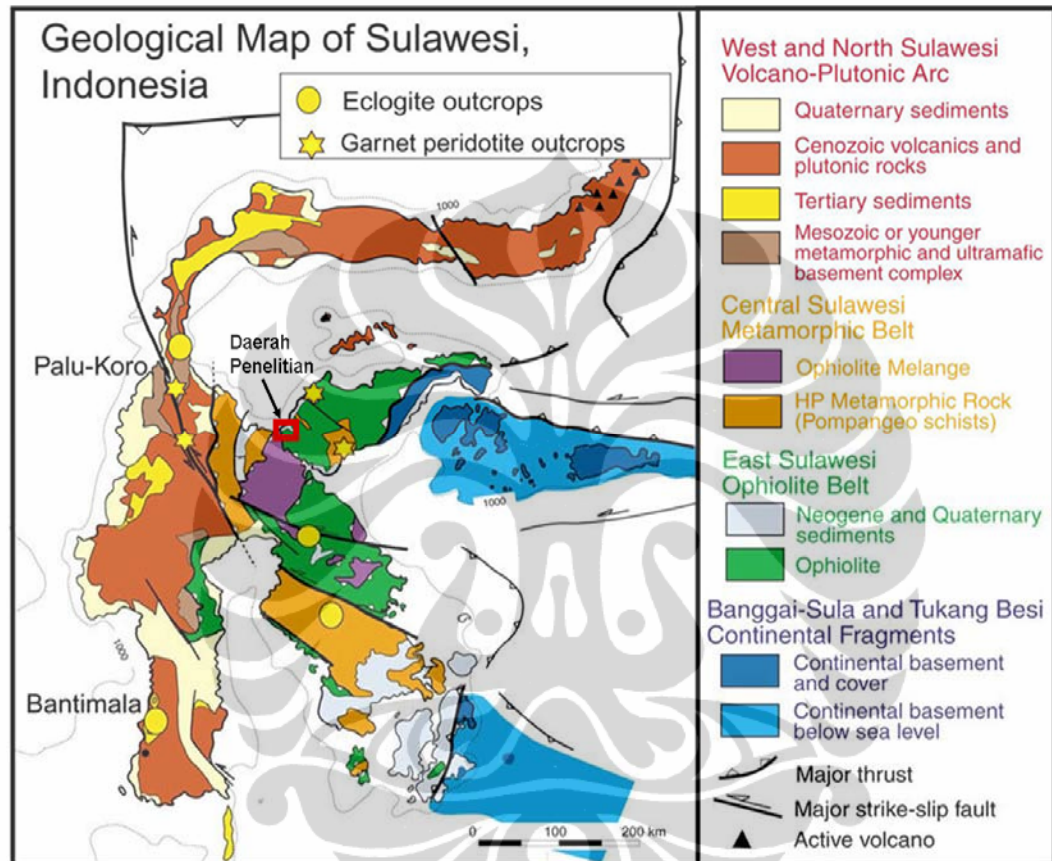
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Pulau Sulawesi terletak pada posisi pusat pertemuan 3 lempeng tektonik yakni Lempeng Australia yang bergerak ke utara, Lempeng Pasifik yang bergerak ke barat dan Lempeng Asia yang bergerak ke selatan-tenggara (Katili, 1978; Hamilton, 1979). Pulau ini telah mengalami paling sedikit 4 kali aktifitas tektonik pada periode Kapur Tengah, Oligo-Miosen, Miosen Tengah dan Pliosen Awal (Villeneuve et al., 2001). Akibat aktivitas tektonik tersebut, di Sulawesi Tengah terbentuk 4 busur geologi (Gambar 2.1) dengan karakteristik litologi dan fase tektonik yang berbeda (Sukamto dan Simanjuntak, 1983; Simanjuntak et al., 1997; Kadarusman and Parkinson, 2000; Villeneuve et al., 2001) yaitu :

1. Busur Plutonik-Vulkanik Sulawesi Barat; berkomposisi batuan metamorf Kapur-Eosen sebagai batuan dasar; Satuan Batuan Vulkanik Miosen Tengah-Miosen Akhir, berupa lava andesitik-basaltik; Intrusi granit Pliosen.
2. Busur Metamorf Sulawesi Tengah; terdiri atas satuan batuan sedimen Kapur Akhir yang sebagian termalihkan, dan Kompleks Pompangea dengan komposisi metamorf, diduga lebih tua dari Kapur.
3. Busur Ofiolit Sulawesi Timur; disusun oleh batuan ultramafik, terdiri atas dunit, peridotit, piroksenit, harzburgite, lezorlit dan gabro. Satuan ini juga disebut Kompleks Ultramafik yang telah mengalami beberapa kali pengalihempatan selama Kapur-Miosen Tengah. Kompleks ini berumur Jura Akhir – Eosen yang berasal dari kerak samudera, merupakan produk proses tumbukan (Sukamto dan Simanjuntak, 1983). Berdasarkan data geokimia diduga Busur Ofiolit Sulawesi bagian Timur berasal dari *mid-oceanic ridge* (Suroso dan Sukarna, 1995).
4. Banggai-Sula Platform; disusun oleh batuan sedimen darat – laut dalam selama Mesozoik (Kala Trias-Oligosen) yang didasari oleh batuan metamorf.

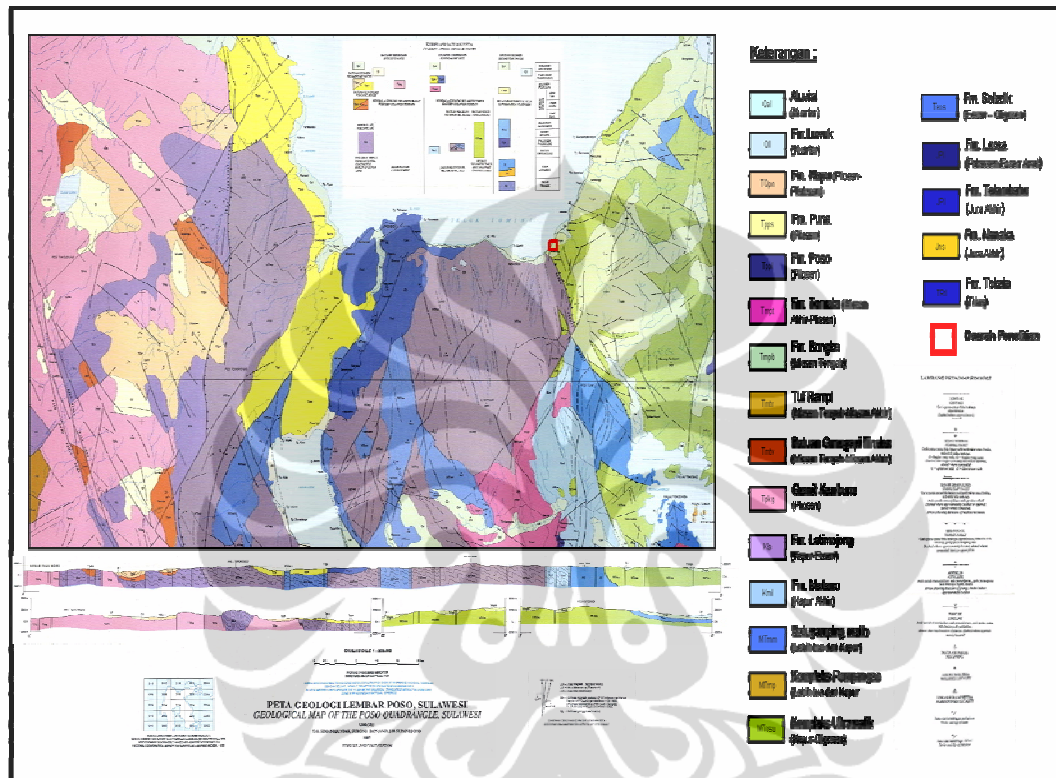
Keempat busur tersebut ditutupi tidak selaras oleh sedimen Molasa (Fm. Bongka, Fm. Tomata dan Fm. Poso). Sedimen Molasa disusun oleh konglomerat, batupasir, lanau, napal dan batugamping, diendapkan pada lingkungan paralik – laut dangkal selama Kala Miosen Tengah to Plistosen (Simanjuntak et al., 1997).



Gambar 2.1. Sebaran Busur Geologi Sulawesi (Villeneuve et al., 2001)

Struktur geologi yang terbentuk di Sulawesi merupakan hasil dari beberapa fase tektonik yang berbeda (Simanjuntak et al., 1997), terdiri atas struktur lipatan, sesar mendatar, sesar naik dan sesar normal. Zona sesar besar berupa sesar mendatar Palu-Koro yang berarah barat-laut-tenggara; sesar ini diduga masih aktif sampai sekarang. Sesar naik utama yang berarah hampir utara-selatan, yakni Sesar Poso yang memisahkan Busur Plutonik-Vulkanik Sulawesi Barat dengan Busur Metamorf Sulawesi Tengah dan Sesar Wekuli yang memisahkan Busur Metamorf Sulawesi Tengah dengan Busur Ophiolit Sulawesi Timur. Sesar normal

umumnya berarah hampir barat-timur. Struktur lipatan yang terbentuk merupakan hasil beberapa fase tektonik berbeda sehingga membentuk pola dan bentuk yang berbeda dari lipatan tegak sampai rebah serta dari lipatan antiklin dan sinklin. Diduga paling tidak terdapat 4 generasi pembentukan lipatan (Gambar 2.2).

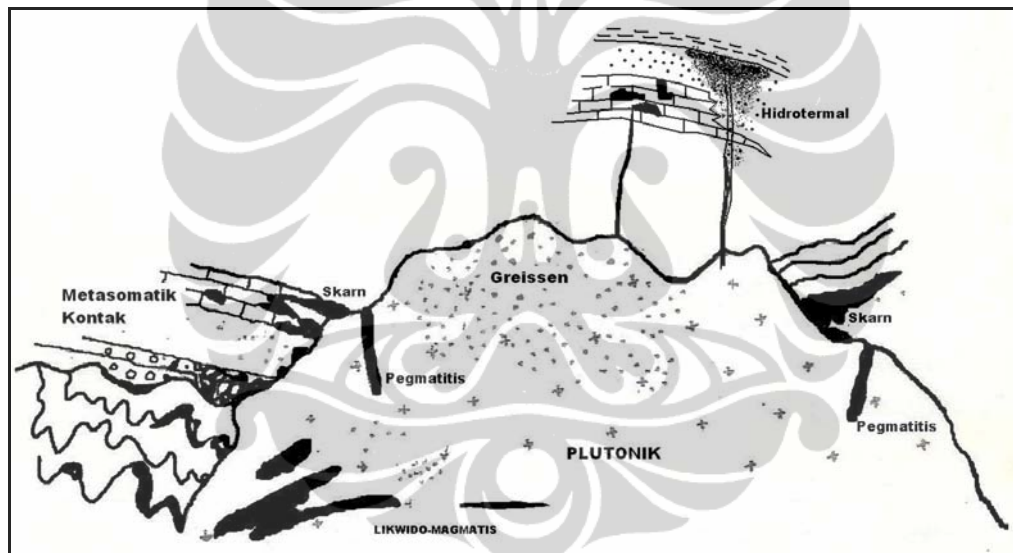


Gambar 2.2. Peta Geologi Lembar Poso (Simanjuntak et al.,1997)

2.2 Genesa Endapan Bijih Besi

Endapan bijih besi dapat terbentuk secara primer maupun sekunder. Pembentukan endapan bijih besi primer dapat terbentuk oleh proses magmatik, metasomatik kontak, dan hidrotermal. Sedangkan endapan bijih besi sekunder terbentuk oleh sedimenter, residual, dan oksidasi (Jensen and Batemen,1981). Menurut Pardiarto dan Widodo (2007), pembentukan bijih besi primer oleh proses magmatik dengan cara *gravity settling* dalam batuan ultrabasa, kemudian diikuti dengan proses metasomatik yang diakhiri oleh proses hidrotermal akibat terobosan batuan beku granitis.

Endapan bijih besi magmatik terbentuk dari magma mafik-ultramafik karena proses kristalisasi pada temperatur tinggi dengan cara *gravity settling* dan secara langsung berhubungan dengan evolusi magma induk (Mondal, 2008). Mineral-mineral berat yang mengandung kalsium, magnesium dan besi, cenderung memperkaya reservoir magma yang terletak di bagian bawah reservoir dengan unsur-unsur tersebut (Gross, 1997). Proses ini menghasilkan tubuh bijih besi masif dan disiminasi, bentuk lensa memanjang (*podform*), lensa, tumpukan lapisan dalam batuan induk (Gross, 1997). Lapisan paling bawah diperkaya dengan mineral-mineral yang lebih berat seperti mineral-mineral bijih kromit, platina, dan besi-titan, dan lapisan di atasnya diperkaya dengan mineral-mineral silikat yang lebih ringan.



Gambar 2.3. Hubungan diferensiasi magma dengan endapan mineral logam (Batemen, 1951 dalam Sudradjat, 1987)

Proses metasomatik kontak terjadi pada tekanan dan suhu yang sangat tinggi terutama pada kontak terobosannya antara magma yang masih cair dengan batuan di sekitarnya (*country rocks*). Suhu di daerah kontak akan berkisar 500-1.100°C. Akibat dari kontak ini, pengaruh temperatur tanpa adanya perubahan kimia pada batuan sekitarnya akan terbentuk batuan metamorf, sedangkan jika terjadi perubahan kimia oleh pertukaran dan penambahan ion akan terbentuk endapan metasomatik (Jensen and Batemen, 1981). Mineral logam hasil kontak

metasomatik sangat bervariasi seperti magnetit dan hematit, serta mineral aditifnya yaitu spinel, wolframit, kasiterit, arsenopirit, pirit, sfalerit, kalkopirit dan galena.

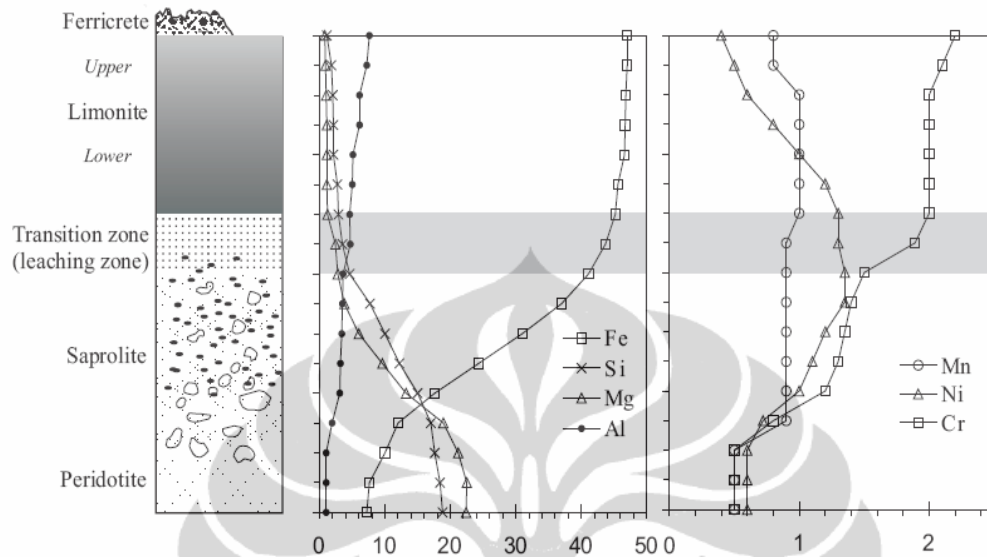
Proses hidrotermal merupakan produk akhir dari proses diferensiasi magmatik, dimana larutan hidrotermal ini banyak mengandung logam-logam yang relatif ringan. Larutan ini makin jauh dari sumber magma, akan makin kehilangan temperaturnya sehingga dikenal endapan Hipotermal (T 300°C - 500°C) Mesotermal (T 150°C - 350°C), dan Epitermal (T 0°C - 200°C). Berdasarkan bentuk endapannya dikenal 2 jenis endapan hidrotermal yaitu *cavity filling* dan *metasomatic replacement* (Jensen and Batemen, 1981)

Endapan bijih besi sekunder terjadi karena proses pelapukan, transportasi dan sedimentasi. Terbentuknya endapan ini dipengaruhi empat faktor yaitu komposisi dan struktur batuan sumber, keadaan topografi, temperatur dan iklim, medium transportasi dan waktu/lamanya proses (Jensen and Batemen, 1981).

Endapan laterit merupakan jenis endapan residu yang dihasilkan oleh proses pelapukan yang terjadi pada batuan ultramafik-mafik dengan melibatkan dekomposisi, pengendapan kembali dan akumulasi secara kimiawi. Proses pelapukan batuan ultramafik-mafik berjalan secara intensif karena pengaruh faktor-faktor kemiringan lereng yang relatif kecil, air tanah dan cuaca, sehingga menghasilkan tanah laterit yang masih mengandung bongkahan bijih besi hematit dan goetit berukuran kerikil – kerakal (Boldt,1967 dalam Pardiarto dan Widodo, 2007).

Menurut Lewis et al. (2006) profil endapan laterit dari bawah ke atas terdiri atas 4 zona horison utama, yaitu *serpentinized peridotite*, *saprolite*, *limonite* dan *ferricrete (iron cap)*. Horison paling bawah sebagai tahap awal pelapukan, mewakili batuan ultramafik yang telah mengalami serpentinisasi. Zona saprolit ditandai oleh proses reduksi, dimana batas antara kedua zona tersebut tidak teratur. Zona limonit ditentukan oleh komposisi dominan mineral gutit dan

hematit. Seluruh zona dilindungi dari erosi oleh zona *iron cap*. Secara umum setiap zona mempunyai karakteristik kimia yang bervariasi (Gambar 2.4)



Gambar 2.4. Variasi komposisi kimia setiap zona horison endapan laterit (Rodriguez et al., 2003 in Lewis et al., 2006)

2.3 Prinsip Pengukuran Metoda Geolistrik

Survey geolistrik dilakukan untuk menentukan distribusi *resistivity* bawah permukaan dengan membuat pengukuran di atas permukaan. Besaran yang diukur pada metoda geolistrik adalah perbedaan potensial listrik dan kuat arus listrik, sedangkan yang dihitung adalah *resistivity* listrik. Hukum Ohm menyatakan bahwa beda potensial akibat suatu beban berbanding lurus dengan arus listrik. Hubungan antara besarnya beda potensial listrik dalam satuan Volt (V), kuat arus listrik dalam satuan ampere (I) dan besarnya resistan atau tahanan kawat penghantar (R) dalam satuan ohm (Lowrie, 2007) adalah :

$$V = I R \quad (1)$$

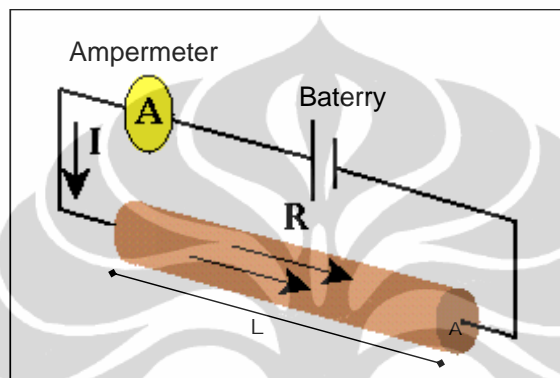
Jika beban merupakan suatu material tertentu (misal kawat tembaga) maka resistansinya akan bergantung pada dimensi material tersebut (Gambar 2.5). Hubungan antara resistan (R) dan dimensi material konduktor lurus dengan

panjang (L) dan luas permukaan (A) diekspresikan dalam persamaan 2 (Lowrie, 2007).

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2)$$

atau

$$\rho = R \frac{A}{L}$$

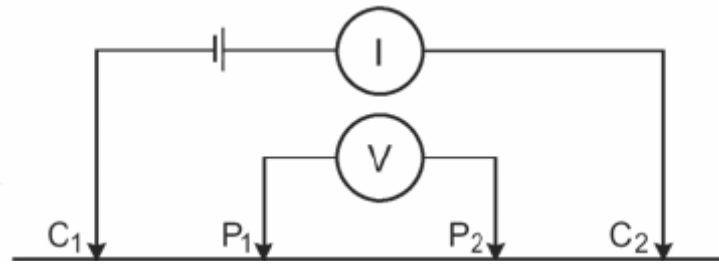


Gambar 2.5. Pengaruh dimensi material terhadap resistan pada konduktor lurus.

Dalam pengukuran geolistrik biasanya dilakukan dengan menginjeksikan arus listrik (I) ke dalam bumi melalui dua elektroda arus, C1 dan C2, kemudian beda potensial (V) yang terjadi diukur melalui dua elektroda potensial, P1 dan P2 seperti terlihat pada Gambar 2.6. (Loke, 2000). Dari pengukuran diperoleh nilai arus (I , satuan mA) dan beda potensial listrik (V , satuan mV), sehingga nilai *resistivity* (ρ_a , satuan ohm.m) dapat dihitung melalui persamaan (Loke, 2000) :

$$\rho_a = k V/I \quad (3)$$

dimana k merupakan faktor geometri yang tergantung kepada susunan empat elektrodanya.



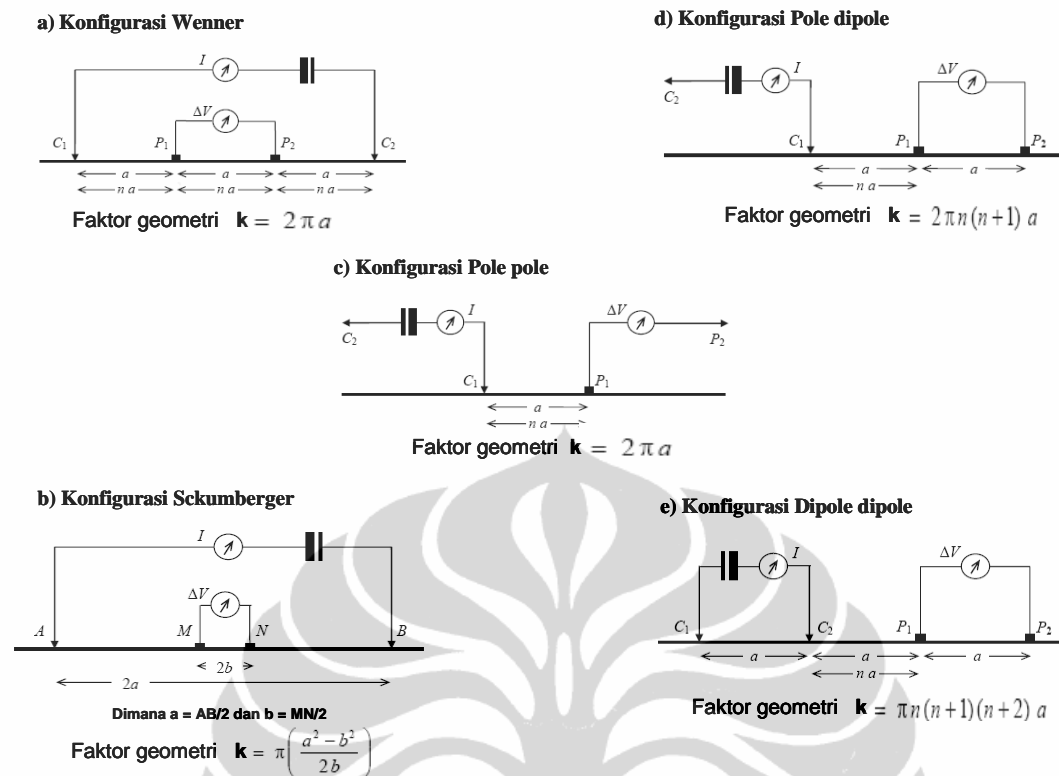
Gambar 2.6. Susunan 4 elektroda konvensional pada pengukuran geolistrik

Resistivity meter biasanya memberikan besaran nilai arus dan potensial, besaran nilai resistansi (R , satuan ohm) dapat diperoleh dari persamaan $R = V/I$, sehingga nilai *resistivity* semu dapat dihitung melalui persamaan :

$$\rho_a = k R \quad (4)$$

Nilai *resistivity* yang dihitung bukan merupakan nilai *resistivity* medium sebenarnya tetapi suatu nilai semu dimana *resistivity* medium homogen akan memberikan nilai resistansi yang sama pada susunan elektroda yang sama (Loke, 2000). Menurut Telford et al. (1990), meskipun *resistivity* semu tidak mencerminkan secara langsung *resistivity* medium, namun distribusi nilai *resistivity* semu hasil pengukuran mengandung informasi distribusi *resistivity* medium. Untuk menentukan nilai *resistivity true* bawah permukaan harus dilakukan inversi terhadap nilai *resistivity* semu terukur (Loke, 2000).

Konfigurasi elektroda yang biasa digunakan dalam survey geolistrik bersama dengan faktor geometrinya (Telford, 1990; Loke, 2000; Herman, 2001; Lowrie, 2007) diperlihatkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Konfigurasi elektroda yang biasa digunakan dalam survey geolistrik dan faktor geometrinya.

2.4 Hubungan antara *Resistivity* dengan Parameter Geologi

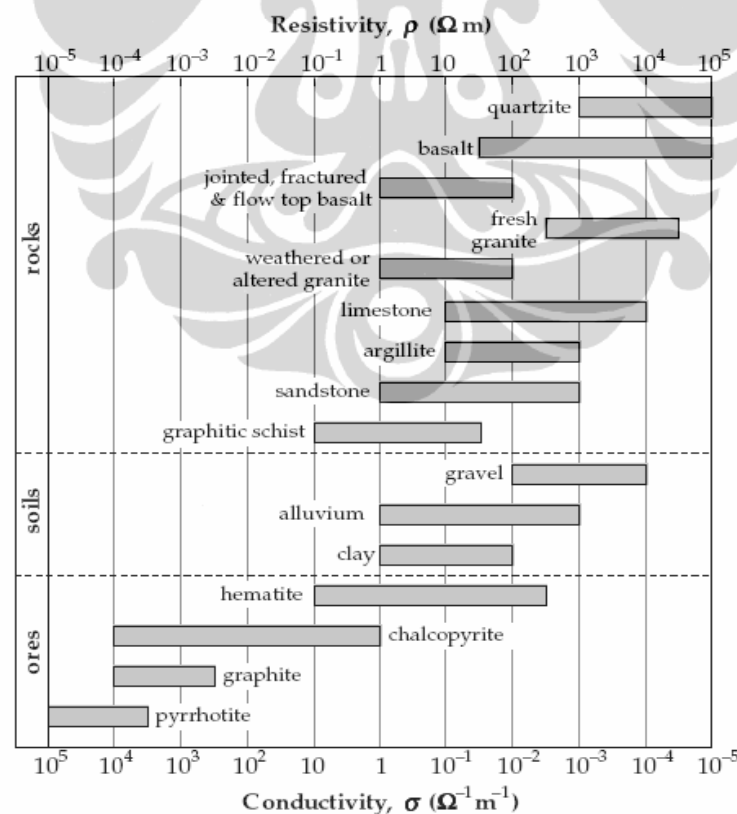
Resistivity bawah permukaan berhubungan dengan variasi parameter - parameter geologi seperti jenis batuan, mineral logam, kandungan fluida, porositas, tingkat kejenuhan dan salinitas air dalam batuan (Loke, 2000). Selain itu, faktor-faktor geologi lainnya yang menentukan *resistivity* batuan yaitu umur batuan, tekstur batuan dan proses geologi (seperti alterasi, pelapukan, pelarutan dan metamorfisme). Pengetahuan terhadap nilai *resistivity* tiap material geologi penting sebelum survey geolistrik dilakukan (Gambar 2.8).

Pada mineral-mineral bijih logam dapat mempunyai *resistivity* sangat rendah - tinggi, seperti pada pirhotit (besi sulfida) dengan *grade* tinggi mempunyai *resistivity* sangat rendah berkisar $10^{-5} - < 10^{-3}$ ohm.m, dan magnetit (besi oksida) berkisar $5 \times 10^{-5} - 5,7 \times 10^3$ (Telford, 1990; Lowrie, 2007). Batuan sedimen, biasanya lebih porous dan kandungan air tinggi, mempunyai *resistivity* rendah.

Resistivity batuan sangat dipengaruhi oleh adanya rongga dalam batuan (porositas, ϕ) dan karakteristik fluida (saturasi, S) pengisi rongga tersebut yang bertindak sebagai elektrolit (Lowrie, 2007). Jika rongga batuan bersisi udara, gas atau uap air yang tidak dapat menghantarkan listrik maka *resistivity* batuan tersebut akan sangat tinggi. *Resistivity* formasi batuan (ρ_f) sebagai fungsi porositas (ϕ) dan resistivity air formasi (ρ_w) dinyatakan oleh *Hukum Archie* secara empiris melalui persamaan :

$$\rho_f = a \rho_w \phi^{-m} S^{-n} \quad (5)$$

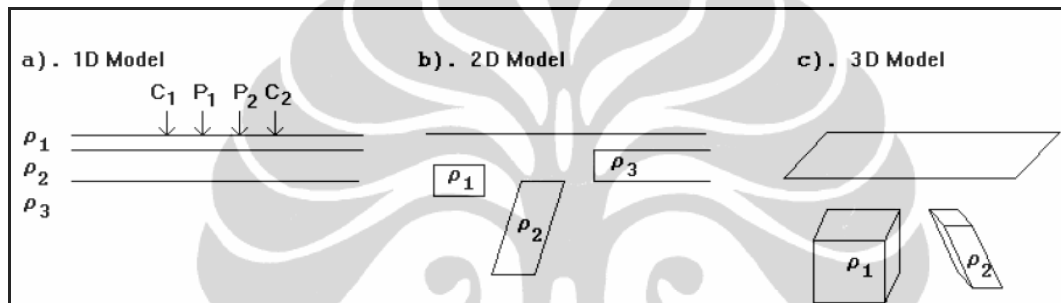
dimana a adalah konstanta ($0,5 \leq a \leq 2,5$), m adalah konstanta dari faktor sementasi ($1,3 \leq m \leq 2,5$), nilai S dan ϕ merupakan pecahan antara 0 dan 1 dan $n \approx 2$. Pada persamaan tersebut diasumsikan seluruh pori-pori batuan terisi oleh air formasi atau formasi batuan dikatakan dalam keadaan jenuh.



Gambar 2.8. Kisaran nilai *resistivity* dan *conductivity* batuan , soils dan mineral bijih logam (Lowrie, 2007)

2.5 Teknik Pengukuran Geolistrik

Pengukuran geolistrik dapat dilakukan untuk tujuan berbeda, sesuai dengan prinsip pengukuran geolistrik dan konfigurasi elektroda. Berdasarkan informasi yang ingin diperoleh dari pengukuran geolistrik dikenal 3 teknik pengukuran yaitu, *profiling/mapping*, *sounding*, dan *imaging* (Telford, 1990). Sedangkan menurut Loke (2000) berdasarkan model dimensi yang ingin diperoleh dalam interpretasi bawah permukaan, dikenal 3 jenis survey *resistivity*, yaitu 1D, 2D dan 3D seperti terlihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Tiga model berbeda yang digunakan dalam interpretasi pengukuran *resistivity* (Loke, 2000).

2.5.1 Survey *Resistivity* 1 Dimensi

Pada pengukuran *resistivity* 1 dimensi diasumsikan arus listrik mengalir dalam medium homogen isotropi di bawah permukaan bumi yang terdiri atas medium yang berlapis-lapis secara horisontal (Gambar 2.9a). Dalam pengukuran ini dikenal 2 teknik pengukuran yaitu *Vertical Sounding* dan *Lateral Profiling*. Teknik pengukuran *Vertical Sounding* atau *Vertical Electrical Sounding* (VES) dilakukan untuk memperkirakan variasi *resistivity* sebagai fungsi kedalaman pada suatu titik pengukuran. Menurut Loke (2000), dalam teknik ini titik tengah konfigurasi elektroda diatur tetap, kemudian untuk memperoleh penetrasi yang lebih dalam spasi diantara elektroda-elektroda diperlebar. Dalam interpretasi data *sounding* diasumsikan *resistivity* medium hanya berubah pada arah vertikal dan

tidak berubah pada arah lateral. Konfigurasi elektroda yang sering digunakan dalam teknik pengukuran ini adalah konfigurasi Schlumberger.

Teknik pengukuran *Lateral Profiling* dilakukan untuk mengetahui variasi *resistivity* secara lateral (horizontal). Pada teknik ini biasanya menggunakan konfigurasi Wenner, dengan jarak antar elektroda tetap. Teknik profiling ini dikenal juga sebagai *constant separation traversing* (CST) atau juga teknik *mapping*. Menurut Loke (2000), pada teknik ini spasi diantara elektroda-elektroda diatur tetap, kemudian seluruh konfigurasi elektroda dipindahkan sepanjang garis lurus untuk memperoleh informasi perubahan *resistivity* secara lateral. Dalam interpretasi data *profiling*, diasumsikan *resistivity* medium tidak berubah ke arah vertikal.

2.5.2 Survey *Resistivity* 2 Dimensi

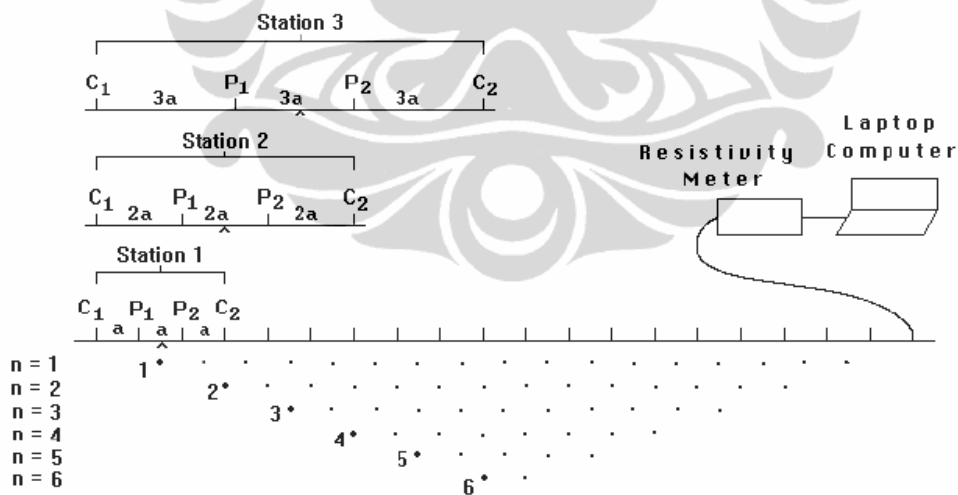
Dalam interpretasi data pengukuran *resistivity* 1D diasumsikan arus listrik mengalir dalam medium homogen isotropi di bawah permukaan bumi yang terdiri atas medium yang berlapis-lapis secara horizontal. Dalam prakteknya di alam, kondisi ideal tersebut sangat jarang atau bahkan tidak ditemukan. Kondisi geologi bawah permukaan sangat kompleks dimana *resistivity* dapat berubah dengan cepat pada jarak yang pendek. Survey *resistivity* 2D dilakukan untuk mengidentifikasi perubahan *resistivity* bawah permukaan baik ke arah lateral maupun vertikal sepanjang lintasan survey (Gambar 2.9b). Dalam interpretasi data hasil pengukuran diasumsikan bahwa *resistivity* tidak berubah pada arah tegak lurus lintasan survey. Model interpretasi menghasilkan profil 2 dimensi (*pseudosection*) yang menggambarkan perubahan *resistivity* semu medium dibawah permukaan ke arah lateral dan vertikal dalam bentuk kontur sepanjang lintasan survey.

Saat ini telah dikembangkan teknologi peralatan geolistrik digital yang dikontrol mikroprosesor serta dilengkapi dengan sistim multi-elektroda dan *multi-core cable*, sehingga pengukuran *resistivity* 2D dapat dilakukan secara efektif dan efisien. Dengan konfigurasi elektroda apapun pengukuran *resistivity* 2D dengan

jarak antar elektroda yang berbeda-beda dapat dilakukan secara cepat, sehingga diperoleh informasi variasi *resistivity* secara lateral dan vertikal. Istilah Loke (2000) survey *resistivity* 2D ini disebut sebagai *2D Electrical Imaging Survey*.

Pada Gambar 2.10 memperlihatkan contoh kemungkinan urutan pengukuran *resistivity* 2D menggunakan konfigurasi Wenner dengan 20 elektroda (Loke, 2004). Pada sistim 20 elektroda dengan spasi "1a" terdapat 17 (20-3) kemungkinan pengukuran, dan dengan spasi "2a" terdapat 14 (20-2x3) kemungkinan pengukuran. Pengukuran diulang lagi dengan proses yang sama untuk spasi elektroda "3a", "4a", "5a" dan "6a". Jika diperhatikan bahwa ketika spasi elektroda bertambah, jumlah pengukuran semakin berkurang.

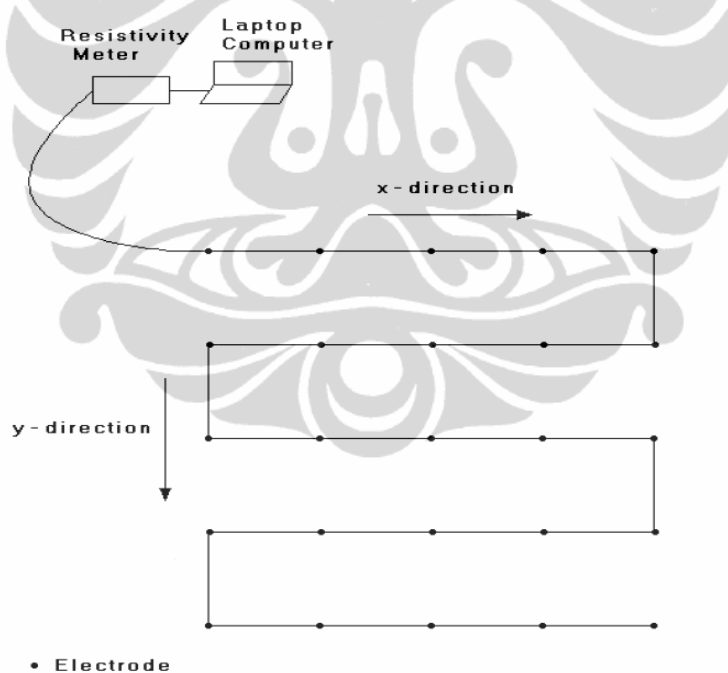
Dalam survey 2D, untuk memperoleh profil 2 dimensi bawah permukaan yang baik, pengukuran harus dilaksanakan secara sistematik dan dibuat seluruh kemungkinan pengukuran. Kondisi ini akan mempengaruhi kualitas model interpretasi yang diperoleh dari inversi *resistivity* semu terukur.



Gambar 2.10. Susunan elektroda pada survey *resistivity* 2D dengan konfigurasi Wenner dan urutan pengukuran yang digunakan untuk membuat *pseudosection* (Loke, 2004).

2.5.3 Survey *Resistivity* 3 Dimensi

Kondisi geologi di bawah permukaan bumi umumnya kompleks dan seluruh struktur geologi di bawah permukaan dalam bentuk 3 dimensi, yang mencerminkan karakteristik fisika medium geologi di bawah permukaan sangat bervariasi. Dalam interpretasi data *resistivity* 2D, diasumsikan bahwa *resistivity* medium geologi bawah permukaan tidak berubah secara signifikan pada arah tegak lurus lintasan survey. Untuk mendapatkan informasi yang lengkap dan lebih akurat digunakan survey *resistivity* 3D atau disebut juga *3D Electrical Imaging Survey* (Loke, 2000). Dalam interpretasi metoda ini menggunakan model interpretasi 3D (Gambar 2.9c), dimana secara teoritis seharusnya memberikan hasil yang akurat. Metoda survey ini pada prinsipnya menggunakan teknik pengukuran imaging atau teknik tomografi.



Gambar 2.11. Bentuk susunan elektroda pada survey *resistivity* 3D (Loke, 2004)

Bentuk susunan elektroda dalam survey *resistivity* 3D dapat menggunakan bentuk grid bujursangkar (*square grid*) dengan spasi elektroda sama dalam arah x dan y, seperti contoh terlihat pada Gambar 2.11 dengan grid 5 x 5 yang menggunakan

25 elektroda; atau dengan bentuk grid persegi panjang (*rectangular grid*) dengan jumlah elektroda dan spasi elektroda pada arah x dan y yang berbeda (Loke, 2004). Penggunaan bentuk susunan grid tergantung bentuk model geologi yang dipetakan dan masalah teknis di lapangan. Untuk memetakan tubuh-tubuh mineral bijih yang memanjang (*elongated ore bodies*) digunakan bentuk susunan *rectangular grid*.

Pada metoda geolistrik dengan survey *resistivity* 3 Dimensi, dalam pemilihan jenis konfigurasi elektroda bergantung pada struktur yang dipetakan atau tujuan survei, masalah teknis di lapangan dan besar kecilnya grid survey. Pada survey ini pada dasarnya semua konfigurasi elektroda dapat digunakan, namun yang sering digunakan pada survey ini adalah Pole-Pole, Pole Dipol dan Dipol-dipol, karena mempunyai cakupan data yang lebih baik (Loke, 2004). Pada grid yang kecil, kurang dari 12x12 elektroda, konfigurasi Pole-pole mempunyai jumlah kemungkinan pengukuran yang lebih banyak jika dibandingkan dengan konfigurasi elektroda Pole-dipole dan Dipole-dipole. Oleh karena itu konfigurasi Pole-pole lebih tepat jika digunakan untuk grid kurang 12 x 12 elektroda.

Konfigurasi Pole-dipole merupakan konfigurasi asimetris, pengukuran harus dilakukan dengan susunan elektroda "*forward*" dan "*reverse*". Pada konfigurasi ini digunakan untuk grid survey medium hingga besar atau mulai dari grid 12 x 12 atau lebih. Pada grid survey lebih besar dari 12 x 12 elektroda direkomendasikan menggunakan konfigurasi Dipole-dipole (Loke, 2004).

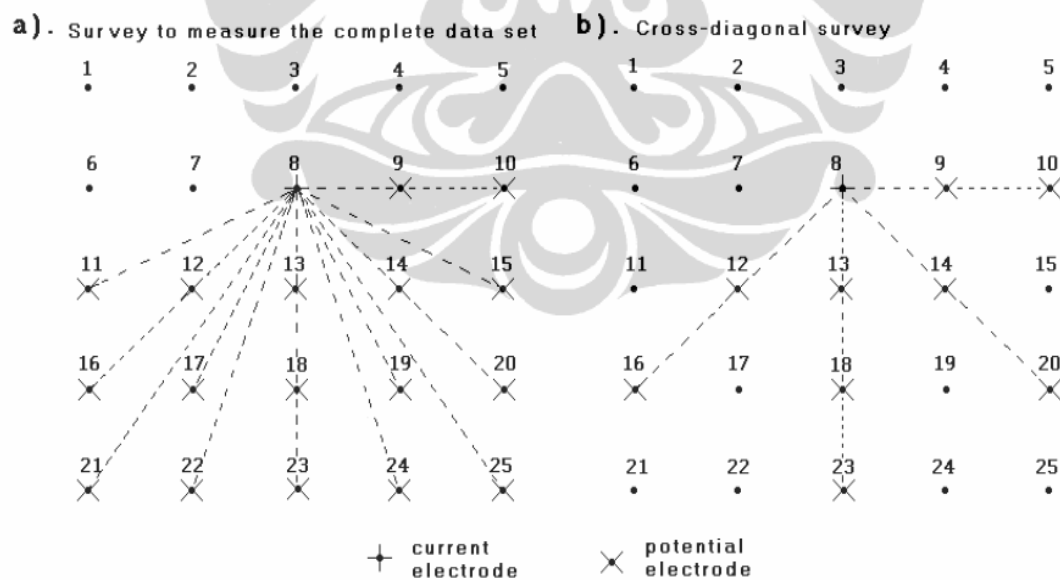
Menurut Loke (2000), dalam survey *resistivity* 3D dikenal 3 metoda pengukuran, yaitu *complete data set*, *cross diagonal* dan *teknik roll-along*. Pada ketiga metoda tersebut susunan grid dapat dilakukan dalam bentuk *square grid* maupun *rectangular grid*.

2.5.3.1. Metoda *Complete data set*

Pada metoda ini pengukuran dilakukan semaksimal mungkin kemungkinan pengukuran. Maksimum jumlah pengukuran independen (n_{max}) sebanding dengan jumlah elektroda (n_e) yang digunakan yang diekspresikan dalam persamaan matematik sebagai berikut :

$$n_{max} = n_e (n_e - 1) / 2 \quad (6)$$

Dalam kasus ini, setiap elektroda digunakan sebagai elektroda arus secara bergiliran dan beda potensial diukur pada seluruh elektroda lain. Dalam metoda ini biasanya menggunakan konfigurasi pole-pole. Untuk grid 5 x 5 dengan jumlah elektroda 25, menggunakan persamaan (8) terdapat 300 *datum point* kemungkinan pengukuran (Gambar 2.12a), kemudian untuk grid 7 x 7 akan mempunyai 1176 *datum point*.



Gambar 2.12. Lokasi elektroda potensial hubungannya dengan elektroda arus tunggal dengan menggunakan metoda (a) *complete data set survey* dan (b) *cross-diagonal survey*.

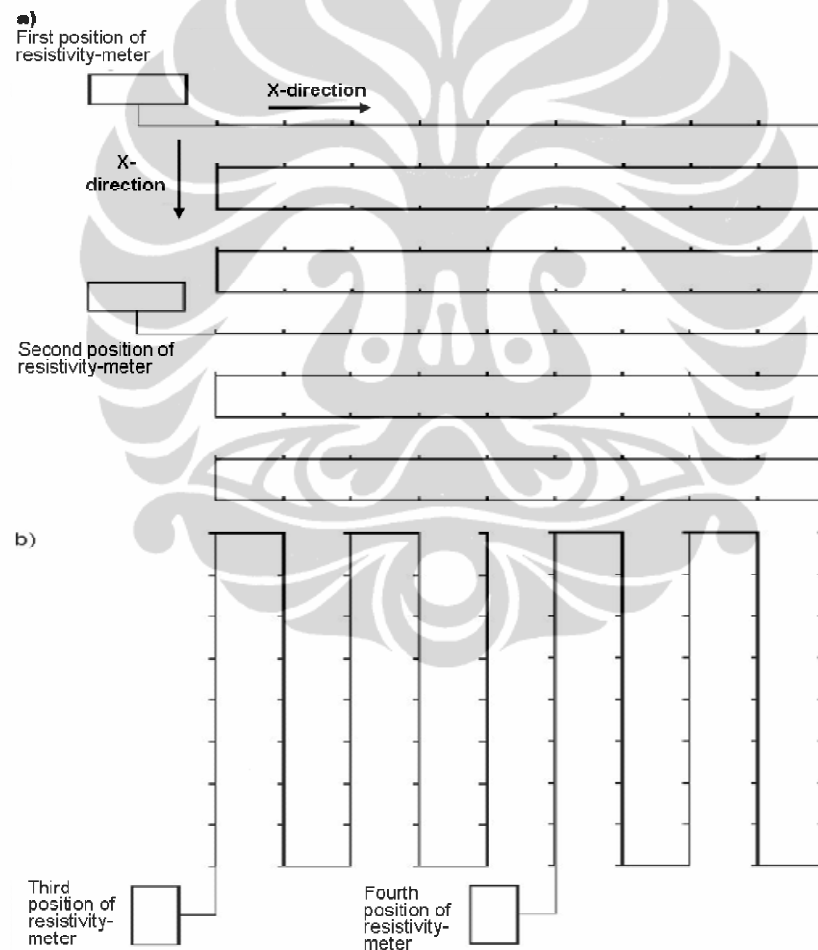
2.5.3.2. Metoda *Cross diagonal*

Pengukuran dengan *complete data set* akan memerlukan waktu yang cukup lama, apabila menggunakan *Resistivity-meter* dengan *single channel*. Untuk mengurangi jumlah pengukuran yang diperlukan dengan tanpa menurunkan kualitas model resistivity 3D yang diperoleh, digunakan alternatif pengukuran dengan metoda "*cross diagonal survey*" (Gambar 2.12b). Pada metoda ini pengukuran beda potensial hanya dilakukan pada elektroda sepanjang lintasan arah x, arah y dan arah diagonalnya. Sebagai contoh pada grid 7x7 terdapat 1176 kemungkinan pengukuran, dengan metoda tersebut dapat direduksi menjadi 476 kemungkinan pengukuran. Pada metoda ini juga sering menggunakan konfigurasi pole-pole terutama untuk susunan grid kecil (kurang dari 12x12).

2.5.3.3. Metoda *Roll-along*

Pada pengukuran *resistivity* 3D dengan susunan grid yang lebih besar dari 12x12 akan memerlukan lebih banyak elektroda terutama untuk aplikasi pada cakupan area yang relatif besar. Sebagai gambaran pada susunan grid 15x15 akan memerlukan 225 elektroda, yang melebihi kapasitas yang tersedia pada beberapa sistim *Resistivity-meter* multi-elektroda. Dalam kasus terbatasnya jumlah elektroda yang tersedia serta kemampuan sistim *Resistivity-meter*, maka digunakan metoda pengukuran *Roll-along*. Pada metoda ini biasanya menggunakan konfigurasi Dipole-dipole, karena susunan gridnya besar. Pada Gambar 2.13. contoh survey yang menggunakan sistim *Resistivity-meter* multi-elektroda dengan 50 elektroda untuk survey dengan grid 10 x10. Pengukuran pertama elektroda disusun dalam sub-grid 10 x 5 dengan lintasan lebih panjang ke arah X, kemudian seluruh sub-grid dipindahkan ke arah Y, pengukuran diulang lagi dengan sub-grid dan arah lintasan yang sama (Gambar 2.13a). Selanjutnya pengukuran dilakukan pada orientasi arah Y dengan sub-grid yang sama, namun arah lintasan lebih panjang ke arah Y (Gambar 2.13b)

Dalam akuisisi data survey *resistivity* 3D juga dapat dilakukan dengan metoda survey *resistivity* 2D secara paralel pada arah X saja atau arah Y saja atau juga keduanya atau cross line (Loke, 2000). Kondisi ini biasanya dilakukan apabila pengukuran memerlukan grid besar dan jumlah elektroda yang tersedia terbatas. Dalam kasus ini, data *resistivity* 3D diperoleh dari sejumlah lintasan *cross survey* 2D atau lintasan paralel survey 2D saja. Data dari tiap survey 2D pada awalnya diinversi untuk mendapatkan penampang *resistivity* 2D setiap lintasan, kemudian digabung seluruhnya kedalam bentuk data 3D dan diinversi dengan software Res3DInv untuk mendapatkan model 3 dimensi.

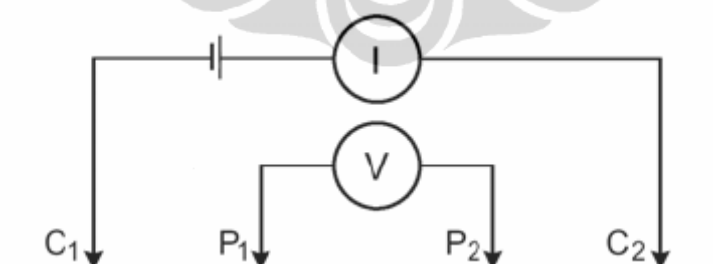


Gambar 2.13. Penggunaan metoda *roll-along* pada survey dengan grid 10x10 dengan sistim *Resistivity-meter* 50 elektroda. (a) Survey menggunakan grid 10x5 dengan lintasan berorientasi arah X dan (b) Survey dengan grid 10x5 pada lintasan berorientasi arah Y.

2.6 Prinsip Pengukuran Induced Polarization (IP)

Metoda pengukuran IP adalah salah satu metoda geofisika yang digunakan untuk mencari mineral bijih logam di bawah permukaan bumi. Metode IP pada dasarnya merupakan pengembangan dari metode geolistrik, yang mampu memberikan informasi tambahan ketika tidak ditemukan kontras *resistivity*. Metode IP menggunakan efek polarisasi terinduksi sebagai dasar kerjanya. Metode ini memiliki teknik pengukuran yang tidak berbeda dengan pengukuran *resistivity*.

Metode IP digunakan dalam eksplorasi logam dasar karena adanya fenomena polarisasi yang terjadi di dalam suatu medium batuan. Fenomena polarisasi tersebut menandakan adanya kandungan logam di bawah permukaan yang tidak dapat terdeteksi dengan baik jika hanya menggunakan survey *resistivity*, sehingga dalam eksplorasi logam dasar umumnya dilakukan penggabungan dua metode yaitu metode IP dan *resistivity* (Telford, 1990). Ilustrasi fenomena IP dapat digambarkan sebagai berikut (Gambar 2.14), arus listrik DC dialirkan melalui rangkaian empat elektroda dan dimatikan secara tiba-tiba, potensial yang tertangkap pada elektroda potensial tidak turun langsung menjadi nol, namun turun secara perlahan yang disebut dengan *potential decay* atau *overvoltage decay* (Lowrie, 2007).

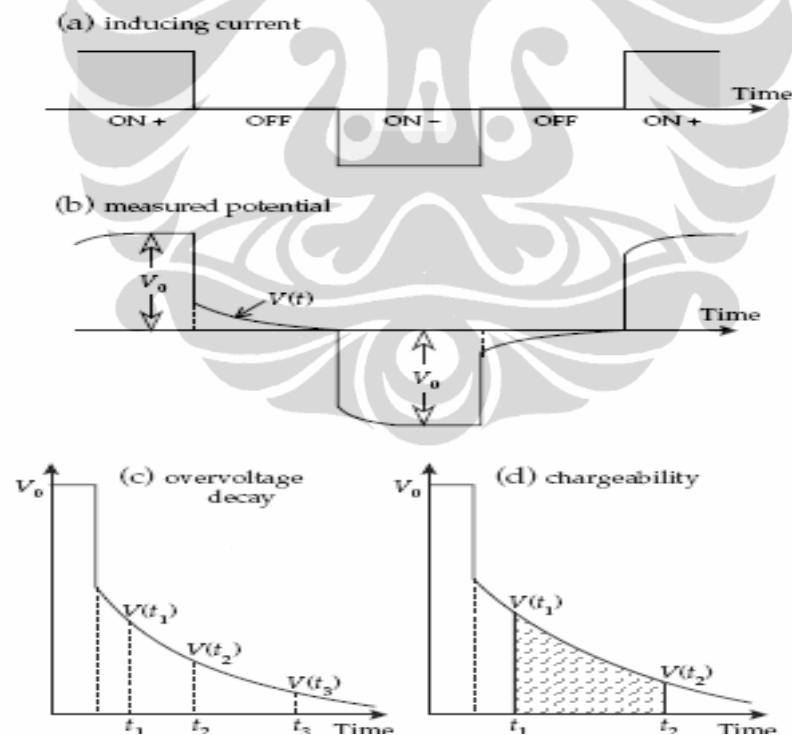


Gambar 2.14. Konfigurasi 4 elektroda terdiri atas 2 elektroda arus C_1 dan C_2 serta 2 elektroda potensial P_1 dan P_2 (Lowrie, 2007)

2.6.1. Fenomena Induced Polarization (IP)

Induced Polarization (IP) adalah efek yang muncul saat batuan terinduksi oleh energi listrik yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui batuan, dan batuan itu terinduksi untuk sementara. Jadi metode IP adalah metode yang didasarkan atas fenomena polarisasi yang terjadi di dalam suatu medium batuan.

Efek IP dapat diilustrasikan dengan menggunakan empat elektroda, dimana pada elektroda arus (C_1 dan C_2) dialiri arus listrik dan pada elektroda potensial (P_1 dan P_2) akan terukur beda potensial (Gambar 2.14). Ketika aliran arus dihentikan (Gambar 2.15a), maka nilai beda potensial antara kedua elektroda potensial tidak secara langsung bernilai 0 kembali, namun secara perlahan-lahan mengalami penurunan hingga bernilai 0 (Gambar 2.15b).



Gambar 2.15. Peluruhan potensial hubungannya dengan IP setelah interupsi arus listrik dan efek waktu peluruhan IP (Lowrie, 2007).

Medium yang mengalami efek tersebut dinamakan medium yang dapat terpolarisasi. Efek IP yang ditunjukkan selama selang waktu penurunan beda

potensial sangat dipengaruhi oleh konduktivitas, tingkat polarisasi medium, dan tingkat mobilitas ion pada medium. Efek IP menentukan lama waktu peluruhan potensial. Jika terdapat konduktor mineral bijih terdisiminasi, waktu peluruhan meningkat akibat *overlap* dan distorsi setengah siklus potensial.

2.6.2. Sumber Efek Induced Polarization (IP)

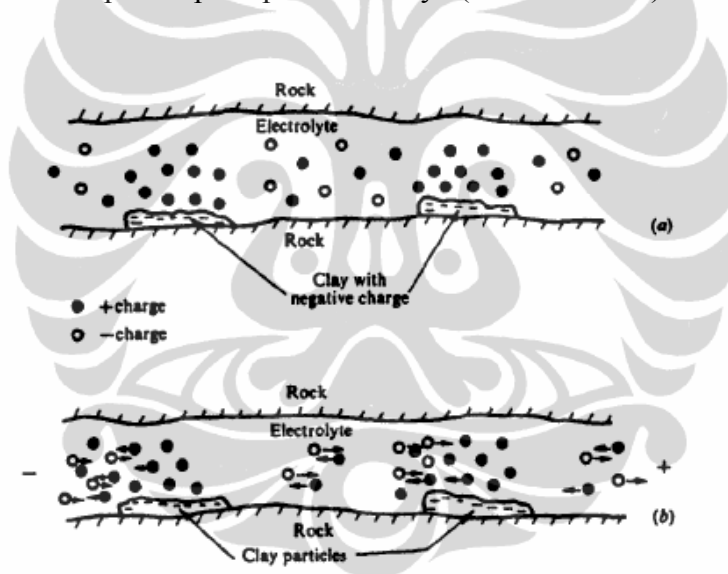
Polarisasi pada suatu medium dapat terjadi karena adanya penyimpanan energi saat medium dialiri arus listrik. Secara teoritis, bentuk energi yang tersimpan pada medium dapat berupa energi mekanik dan energi kimia. Penyimpanan energi kimia ini dapat diakibatkan oleh pertama, variasi mobilitas ion dalam fluida yang terkandung pada medium; kedua, variasi antara konduktivitas elektrolit dan elektron dalam medium yang mengandung mineral logam (Telford, 1990). Akibat efek pertama menghasilkan polarisasi yang dikenal sebagai polarisasi membran atau elektrolit dan merupakan *background IP effect* atau disebut juga *normal IP effect*. Kondisi ini terjadi pada batuan yang tidak mengandung mineral-mineral logam. Akibat efek kedua dikenal sebagai polarisasi elektroda atau *overvoltage*. Efek ini biasanya lebih besar dibandingkan efek polarisasi membran, dan besarnya sangat tergantung pada kandungan mineral logam dalam medium batuan (Telford, 1990). Kedua efek polarisasi yang menyebabkan IP tidak dapat dibedakan ketika melakukan pengukuran (Lowrie, 2007).

2.6.2.1. Polarisasi Membran

Polarisasi membran merupakan indikator konduksi elektrolit yang terbentuk akibat perbedaan kemampuan ion-ion dalam fluida pori untuk bermigrasi dalam batuan berpori (Lowrie, 2007). Konduksi elektrolit terjadi apabila material tidak memiliki kandungan mineral logam. Konduksi jenis ini dapat berlangsung pada batuan yang memiliki porositas dan permeabilitas baik. Umumnya mineral pembentuk batuan bermuatan negatif (-) pada bidang batas antara permukaan batuan dengan fluida pori dan menarik ion-ion positif (+) dalam fluida pori. Ion-

ion positif mengakumulasi pada permukaan butiran dan melebar disekitar fluida pori, sebagian lagi menghambat ion negatif dalam fluida pori.

Ketika arus eksternal dialirkan, ion-ion positif dapat melewati awan ion muatan positif tetapi ion-ion negatif mengakumulasi jika ukuran pori tidak cukup besar untuk menembus rintangan. Efek ini seperti suatu membran yang meloloskan salah satu ion secara selektif dan menimbulkan akumulasi sementara ion-ion negatif untuk membentuk sebaran ion yang terpolarisasi dalam batuan. Efek ini sering kali terjadi dalam batuan yang mengandung mineral-mineral lempung; pertama, karena lempung berukuran butiran dan pori kecil; kedua, butiran lempung relatif bermuatan negatif kuat dan menyerap ion-ion positif yang membentuk awan ion positif pada permukaannya (Gambar 2.16a).

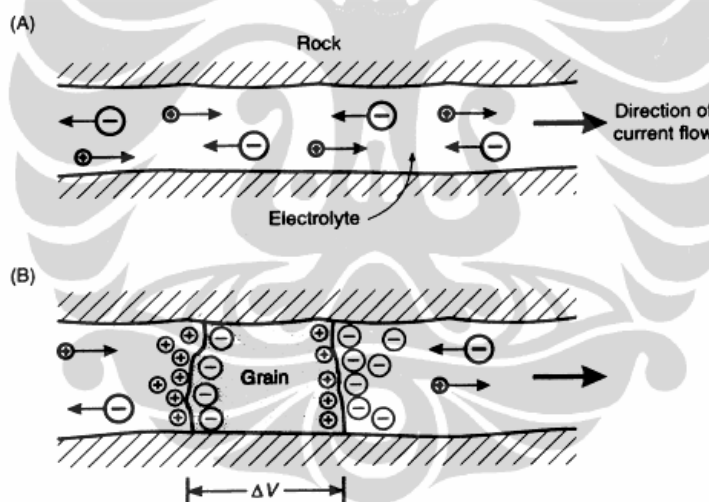


Gambar 2.16. Efek polarisasi membran pada batuan berpori yang mengandung mineral lempung. (a). Kondisi distribusi ion-ion sebelum medium dialiri arus listrik (b). Polarisasi membran ketika medium dialiri arus (Telford, 1990)

Jika pada kondisi ini kemudian dialiri arus listrik, maka akan terjadi penumpukan ion positif dan negatif di dekat permukaan mineral lempung, kemudian ketika aliran arus dihentikan ion-ion tersebut akan bergerak kembali ke posisi semula (Gambar 2.16b). Terbentuknya membran-membran tersebut akan mengurangi kemampuan mobilitas ion-ion secara signifikan.

2.6.2.2. Polarisasi Elektroda

Polarisasi elektroda pada prinsipnya sama seperti efek membran polarisasi, yang terjadi ketika mineral logam hadir dalam batuan berpori. Butiran logam menghantarkan muatan listrik dengan konduksi elektron, ketika terjadi konduksi elektrolit di sekitarnya. Meskipun aliran elektron melalui mineral logam lebih cepat daripada ion-ion dalam elektrolit, namun muatan listrik yang berlawanan mengakumulasi pada permukaan butiran logam yang merintang aliran ion melewati fluida pori (Gambar 2.17). Ketika arus listrik dialirkan terbentuk polarisasi elektroda (*overvoltage*) selama beberapa saat. Tingkat pengaruh efek ini sebanding dengan konsentrasi logam. Setelah aliran arus dihentikan, ion-ion yang terakumulasi kembali ke posisi semula dan polarisasi elektroda meluruh dengan lambat (Lowrie, 2007).



Gambar 2.17. Efek polarisasi elektroda pada batuan berpori mengandung mineral logam. (a) Aliran elektrolit ketika dialiri listrik (b). Polarisasi elektroda pada batuan mengandung mineral logam (Telford, 1990)

2.7 Teknik Pengukuran *Induced Polarization* (IP)

Dalam survey IP paling sering menggunakan metoda geolistrik dengan konfigurasi Dipole-dipole (Lowrie, 2007). Pasangan elektroda arus membentuk *transmitter*, dan pasangan elektroda potensial membentuk *receiver* (Gambar 2.14). Teknik pengukuran IP terdiri atas *Time-Domain* dan *Frequency-Domain*.

2.7.1. Pengukuran dalam *Time-domain*

Pada pengukuran efek IP jenis ini, sumber arus dialirkan pada selang waktu tertentu. Cara paling sederhana untuk mengukur efek IP dalam fungsi waktu ialah membandingkan potensial residual V_t yang tersisa pada waktu t setelah arus listrik dihentikan dan potensial yang terukur pada kedua elektroda potensial selama arus listrik mengalir V_0 . Saat sumber arus dimatikan, akan terjadi penurunan beda potensial pada kedua elektroda potensial dalam *time domain*. Nilai beda potensial saat tidak adanya arus listrik yang mengalir dicatat sebagai beda potensial sekunder dalam fungsi waktu V_t . Adapun parameter yang dihitung adalah :

$$\text{IP effect : } (V_t / V_0) \times 100\% \quad (7)$$

$$\text{Chargeability : } M = \frac{1}{V_0} \int_{t_1}^{t_2} V(t) dt \quad (8)$$

dimana V_0 adalah beda potensial saat arus dialirkan (volt), V_t beda potensial sesaat setelah arus terputus sebagai fungsi waktu. Nilai V_t jauh lebih kecil dibandingkan V_0 , dan keduanya mempunyai satuan milivolt. Selang waktu yang digunakan bisa bervariasi antara 0,1 hingga 10 detik. Pada Tabel 2.1. memperlihatkan nilai *chargeability* beberapa jenis mineral pada konsentrasi 1% vol. dengan *charging time* 3 detik dan *integration time* 1 detik serta beberapa jenis batuan dengan *charging time* dan *integration time* sekitar 1 menit (Telford, 1990).

Tabel 2.1. *Chargeability* beberapa mineral dan batuan

Mineral	<i>Chargeability</i>	Mineral dan Batuan	<i>Chargeability</i>
Pyrite	13.4	20% sulfides	2,000 – 3,000
Chalcopyrite	9.4	0-20% sulfides	1,000 – 2,000
Chalcocite	13.2	2-8% sulfides	500 - 1,000
Copper	12.3	Volcanic tuffs	300 – 500
Galena	3.7	Granite, granodiorite	10 – 50
Magnetite	2.2	Limestone, dolomite	10 – 20
Malachite	0.2	Schist	5 – 20
Hematite	0.0	Argillites	3 – 10
Graphite	11.2	Quartzites	5 – 12

Sumber : Telford (1990)

Nilai IP kadang-kadang diberikan dalam nilai *metallic factor* (MF). Nilai MF dapat dihitung dari pengukuran dalam *time-domain* (Witherly and Viselaar, 1990 in Loke, 2004). Dalam *time-domain*, nilai MF diperoleh dari persamaan :

$$MF = 1000 M / \rho_{DC} \quad (9)$$

dimana M adalah *chargeability* dalam satuan milidetik dan satuan MF sama seperti konduktivitas yaitu siemen/m.

2.7.2. Pengukuran dalam *Frequency-domain*

Makin tinggi frekwensi signal sering kali menjadi efek yang meningkatkan rasio V_t/V_o , yang memberikan gambaran konduktor yang lebih baik (Lowrie, 2007). Ketergantungan efek IP pada frekwensi dieksploitasi dalam pengukuran *resistivity* semu pada 2 frekwensi rendah, yakni f dan F ($>f$). Umumnya $f = 0.05 - 0.5$ Hz dan $F = 1 - 10$ Hz. Ketika $\rho_f > \rho_F$, maka diperoleh *frequency effect* (FE) dengan persamaan :

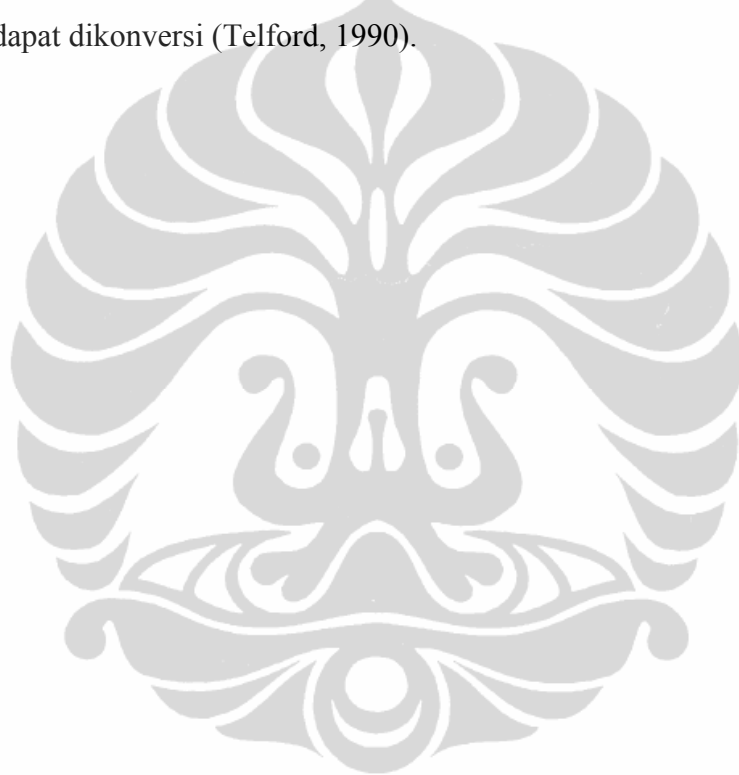
$$FE = \frac{\rho_f - \rho_F}{\rho_F} \quad (10)$$

dimana ρ_f adalah *resistivity* semu saat frekwensi rendah, dan ρ_F adalah *resistivity* semu saat frekwensi tinggi. Rasio FE sering dikalikan dengan 100 menyatakan sebagai persentase FE (PFE). Jika tidak ada efek IP, *resistivity* akan sama pada kedua frekwensi. Makin besar nilai FE, makin besar IP dalam tanah.

Kehadiran konduktor logam dinyatakan sebagai *metallic factor* (MF) yang sebanding dengan perbedaaan konduktivitas pada 2 pengukuran frekwensi. MF diperoleh melalui persamaan :

$$\begin{aligned}
 MF &= A(\sigma_F - \sigma_f) = A(\rho_F^{-1} - \rho_f^{-1}) \\
 &= A\left(\frac{\rho_f - \rho_F}{\rho_f \rho_F}\right)
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

Konstanta A adalah $2\pi \times 10^5$; satuan MF sama seperti konduktivitas yaitu siemen/m. Secara teori, kedua pengukuran dalam *time-domain* atau *frequency domain* menggambarkan fenomena yang sama, namun hasilnya tak selalu sama. Konversi dari *time-domain* ke *frequency-domain* juga sebaliknya cukup sulit dan tak mungkin dapat dikonversi (Telford, 1990).



BAB 3
DISAIN PENGUKURAN DAN AKUSISI DATA
RESISTIVITY DAN INDUCED POLARIZATION (IP)

3.1 Pendahuluan

Dengan pertimbangan faktor batasan waktu, luas area survey dan lama waktu akusisi data, pengukuran *resistivity* dan IP di daerah penelitian menggunakan 2 teknik pengukuran, yaitu pengukuran *resistivity* dan IP 2 dimensi dan 3 dimensi. Pengukuran *resistivity* dan IP 2 dimensi menggunakan konfigurasi Wenner dilakukan pada area seluas ± 50 hektar, sedangkan pengukuran *resistivity* dan IP 3 dimensi menggunakan konfigurasi Dipole-dipole dilakukan pada area $\pm 1.764 \text{ m}^2$ yang berada dalam area ± 50 hektar. Akusisi data *resistivity* dan IP 3 dimensi menggunakan metoda pengukuran *resistivity* dan IP 2 dimensi. Akusisi data *resistivity* dan IP 2 dimensi pada setiap lintasan pengukuran dilakukan dalam sekali pengukuran.

3.2 Disain Pengukuran *Resistivity* dan *Induced Polarization (IP)*

Survey geologi di daerah penelitian menghasilkan zona prospek endapan bijih besi. Zona prospek ini menjadi faktor pertimbangan utama dalam mendisain lintasan pengukuran geolistrik yang meliputi penentuan lokasi, arah lintasan dan spasi antar lintasan pengukuran (Lampiran 1). Faktor pertimbangan lainnya dalam mendesain lintasan pengukuran geolistrik, yaitu luas area dan batasan waktu survey.

3.2.1 Desain Pengukuran *Resistivity* dan IP 2 dimensi dengan Lintasan Paralel

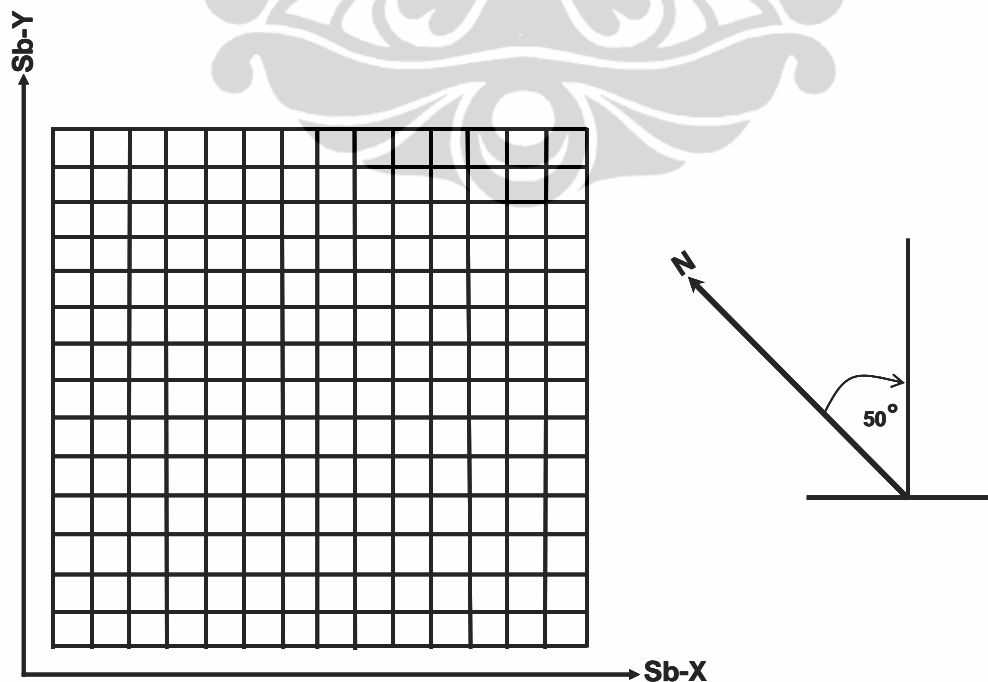
Dalam disain ini, pengukuran *resistivity* dan IP 2 dimensi dilakukan pada area seluas ± 50 hektar dengan menggunakan konfigurasi Wenner. Dalam disain ini,

pengukuran terbagi kedalam 9 lintasan yang disusun secara paralel, dengan jarak antar lintasan pengukuran berkisar antara 90 – 100 m dan arah lintasan N125°E. Setiap lintasan terdiri atas 3 sub-lintasan pengukuran *resistivity* dan IP 2 dimensi, dimana pada setiap sub-lintasan pengukuran dilakukan pengukuran *overlap* sepanjang 70 m. Panjang setiap sub-lintasan pengukuran 235 m dengan spasi elektroda 5 m dan jumlah elektroda yang digunakan sebanyak 48 elektroda. Jumlah pengukuran geolistrik secara paralel ini dilakukan sebanyak 27 sub-lintasan pengukuran.

Pada lintasan pengukuran geolistrik Line-5 dan Line-9 terdapat titik bor DH-3 dan DH-7 serta singkapan batuan seperti terlihat pada Lampiran 2.

3.2.2 Desain Pengukuran *Resistivity* dan IP 3 dimensi dengan *Cross line*

Dalam disain ini, akusisi data *resistivity* dan IP 3 dimensi dilakukan dengan pengukuran *resistivity* dan IP 2 dimensi menggunakan konfigurasi dipole-dipole dengan cara pengukuran *cross line* (Gambar 3.1).



Gambar 3.1. Pengukuran *resistivity* dan IP 3 dimensi dengan cara *cross line*

Pengukuran ini disusun dalam bentuk grid 15 x 15, dan jarak antara lintasan 3 meter. Panjang setiap lintasan pengukuran 42 meter dengan spasi elektroda 3 meter dan jumlah elektroda yang digunakan sebanyak 15 elektroda. Arah lintasan pengukuran N 140°E searah sumbu X dan lintasan *cross* nya berarah N 50°E searah sumbu Y. Tahap pertama, pengukuran geolistrik searah sumbu X sebanyak 15 lintasan, kemudian pengukuran dilanjutkan searah sumbu Y sebanyak 15 lintasan.

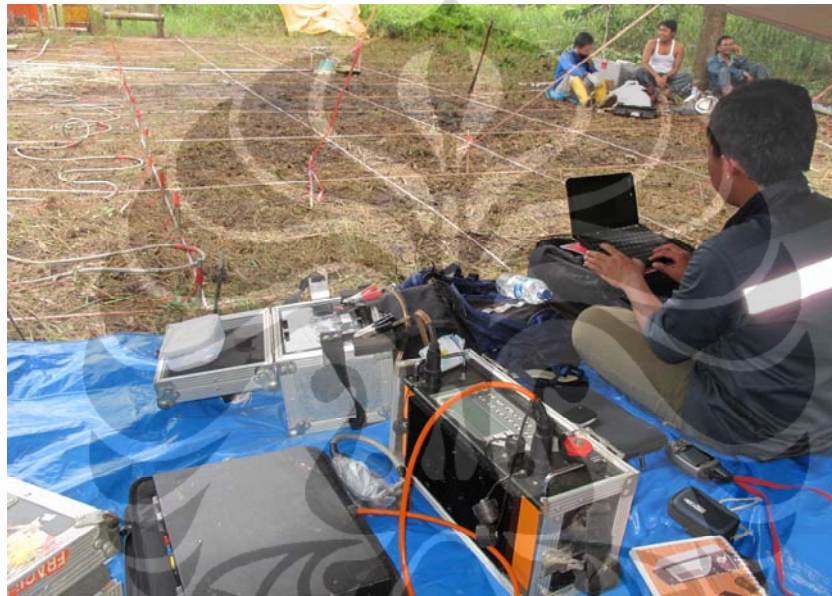


Foto 3.1. Model survey *resistivity* 3D dengan lintasan *Cross line*

<p>Foto 3.2. Rombakan bijih besi berukuran 5 – 20 cm di lokasi Fmg-4</p>	<p>Foto 3.3. Rombakan bijih besi berukuran 10 – 50 cm di lokasi Fmg-4</p>

Lokasi pengukuran secara *cross line* terletak diantara Line-5 dan Line-6 pada area $\pm 1.764 \text{ m}^2$ (Lampiran 1 dan 2). Penentuan lokasi survey ini berdasarkan pada :

1. Singkapan rombakan fragmen bijih besi berukuran kerikil-bongkah (5-50 cm) yang berada di punggungan dan di lereng bukit (Foto 3.2 dan Foto 3.3) yang diperkirakan di bawah permukaan singkapan tersebut terdapat tubuh bijih besi.
2. Kondisi morfologi dan vegetasi yang tidak rapat sehingga memudahkan pengukuran.

3.3 Akuisisi Data *Resistivity* dan *Induced Polarization (IP)*

Dalam penelitian ini, pengukuran geolistrik *resistivity* dan IP menggunakan *Resistivity-meter single receiver* Merk ARES-G4 v4.7 yang dilengkapi dengan sistim multi elektroda sebanyak 48 elektroda dan kabel *multi-core* sepanjang 235 m (Foto 3.4). Posisi setiap elektroda ditentukan dengan *Global Positioning System (GPS)*, sedangkan elevasi setiap elektroda mengacu pada kontur topografi yang dibantu dengan alat Sunto untuk mengukur perbedaan ketinggian antar elektroda.



Foto 3.4. *Resistivity-meter* merk ARES-G4 v. 4.7 dilengkapi dengan accu 12 volt, *swith box*, kabel *multi-core* dan multi-elektroda

Dalam pengukuran *resistivity* dan IP, sesaat sebelum akuisisi data dijalankan, dilakukan *input* beberapa parameter pada *Resistivity-meter* Ares (Tabel 3.1).

Tabel 3.1. Input parameter pada *Resistivity-meter* dalam pengukuran *resistivity* dan IP dengan susunan lintasan paralel

File	: PL - 01	MC-set (Configuration)	: Wenner
Location	: Poso	Length	: 235 m
Operator	: Yanto	Distance (electrode space)	: 5 m
Date	: 6/8/2010	S-min	: 0
Note	: Paralel line	S-max	: 235 m
Profile	: 1	Edge type	: Full
Measuring methods	: 2D multicable	Potential	: IP 100 mv
First electrode coordinat;	X-loc : 0 m	Stacking	: 4
	Y-loc : 0 m	Pulse	: 0.3s
Direction	: 0° (Sumbu X)	IP-Windows	: 0.02s; 0.04s; 0.08s; 0.16s; 0.32s

```

Concatenate Profile-01 - Notepad
File Edit Format View Help
Concatenation of several data files in RES2DINV format to one file in RES2DINV format
Number of files to concatenate
3
File 1 parameters
Name of data file in RES2DINV format
E:\16 ytsd \Data geolistrik\GL 1-01.dat
X location of first electrode along this line
0
Line sign (0=positive,1=negative)
0
File 2 parameters
Name of data file in RES2DINV format
E:\16 ytsd \Data geolistrik\GL 1-02.dat
X location of first electrode along this line
165
Line sign (0=positive,1=negative)
0
File 3 parameters
Name of data file in RES2DINV format
E:\16 ytsd \Data geolistrik\GL 1-03.dat
X location of first electrode along this line
330
Line sign (0=positive,1=negative)
0
Name of outout file in RES2DINV format
E:\16 ytsd \Data geolistrik\Masene Profile-01.dat
End of file

```

Gambar 3.2. Proses penggabungan (*concatenate*) 3 data resistivity dan IP 2 dimensi pada setiap lintasan dalam susunan lintasan paralel

Pada pengukuran *resistivity* dan IP 2 dimensi dengan lintasan paralel, akuisisi data *resistivity* dan IP pada setiap sub-lintasan pengukuran dengan konfigurasi Wenner

sebanyak 360 *datum point*. Pada setiap lintasan dilakukan penggabungan (*concatenate*)3 data *resistivity* dan IP 2 dimensi dalam format *.dat dari 3 sub lintasan pengukuran yang menghasilkan 1 data *resistivity* dan IP 2 dimensi dalam bentuk format *.dat dengan jumlah *datum point* sebanyak 1019 pada setiap lintasan. Proses *concatenate* data *resistivity* dan IP 2 dimensi dapat dilihat pada Gambar 3.2.

Pada pengukuran *resistivity* dan IP 3 dimensi dengan desain pengukuran *cross line*, akuisisi data *resistivity* dan IPnya menggunakan pengukuran *resistivity* dan IP 2 dimensi dengan konfigurasi dipole-dipole. Setiap lintasan pengukuran dilakukan akuisisi data sebanyak 78 *datum point*. Sesaat sebelum akuisisi data, dilakukan *input* parameter pada *Resistivity-meter* Ares (Tabel 3.2).

Tabel 3.2. Input parameter pada *Resistivity-meter* dalam pengukuran *resistivity* dan IP dengan susunan lintasan *cross-line*

File	: PX-01	MC-set (Configuration)	: Dipole-dipole
Location	: Poso	Length	: 42 m
Operator	: Yanto	Distance (electrode space)	: 3 m
Date	: 15/8/2010	S-min	: 0
Note	: Cross line	S-max	: 42 m
Profile	: 1	Edge type	: Full
Measuring methods	: 2D multicable	Potential	: IP 100 mv
Fisrt electrode coordinat;	X-loc : 0 m	Stacking	: 4
	Y-loc : 0 m	Pulse	: 0.3s
Direction	: 0° (Sumbu X)	IP-Windows	: 0.02s; 0.04s; 0.08s; 0.16s; 0.32s

3.4 Kendala

1. Batasan waktu, pada penelitian ini dilakukan survey geologi dan survey geolistrik dengan batasan waktu 3 minggu
2. Morfologi dan kerapatan vegetasi di lapangan
3. Kondisi cuaca , karena pada saat hujan tidak dilakukan pengukuran
4. Biaya penelitian dan masalah teknis (kendaraan operasional, logistik, dll)

BAB 4

PEMODELAN DAN INTERPRETASI

4.1 Pendahuluan

Dalam menginterpretasi endapan bijih di daerah penelitian dilakukan pemodelan 3 dimensi dengan menggunakan metoda geolistrik *resistivity* dan *induced polarization* (IP) untuk mengetahui sebaran lateral dan vertikal serta bentuk geometrinya di bawah permukaan. Dalam penelitian ini, pemodelan yang dilakukan meliputi *forward modelling* dan *inversion modelling*. *Forward modelling* dilakukan untuk mendapatkan parameter model yang cocok dengan data pengamatan (Grandis, 2007), selain itu juga membantu dalam pemilihan konfigurasi elektroda, setelah mempertimbangkan kondisi geologi, kedalaman investigasi, resolusi, waktu, biaya dan kepraktisan (Loke, 2001). *Inversion modelling* (pemodelan inversi) dilakukan untuk membantu dalam interpretasi data pengukuran (Loke, 2000). Dalam pemodelan ini diperlukan nilai parameter model yang diperoleh secara langsung dari data lapangan.

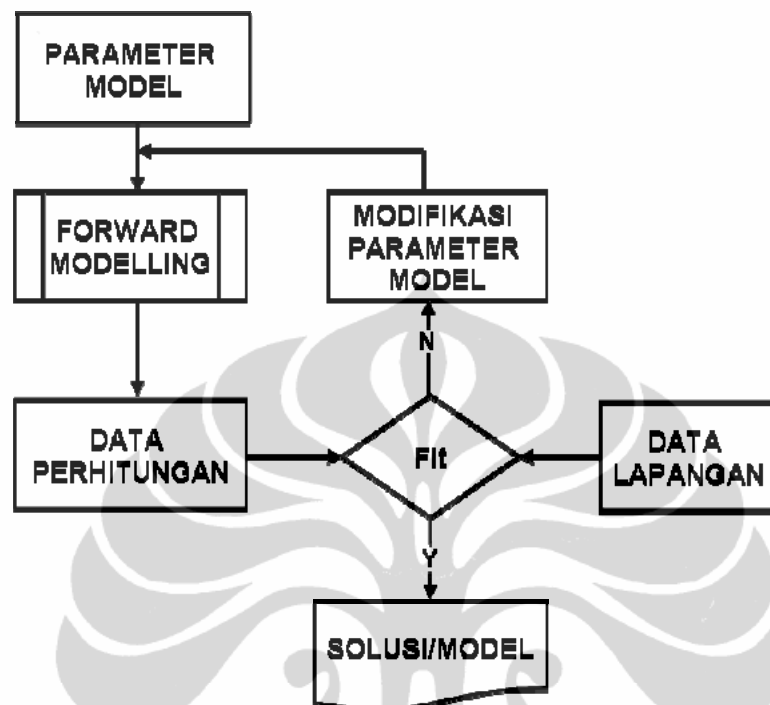
4.2 Pemodelan

Pemodelan merupakan proses estimasi parameter model yang mengkarakterisasi kondisi geologi bawah permukaan berdasarkan data yang diamati di permukaan bumi (Grandis, 2007). Pemodelan yang dilakukan meliputi *forward modelling resistivity* dan IP 3 dimensi dan *inversion modelling resistivity* dan IP 3 dimensi.

4.2.1 *Forward Modelling resistivity* dan IP 3 Dimensi

Dalam pemodelan ini dilakukan proses coba-coba nilai parameter model hingga diperoleh data teoritis yang cocok dengan data pengamatan (Gambar 4.1). Jika respon suatu model cocok dengan data maka model yang digunakan untuk

memperoleh respon tersebut dapat dianggap mewakili kondisi bawah permukaan tempat data diukur.

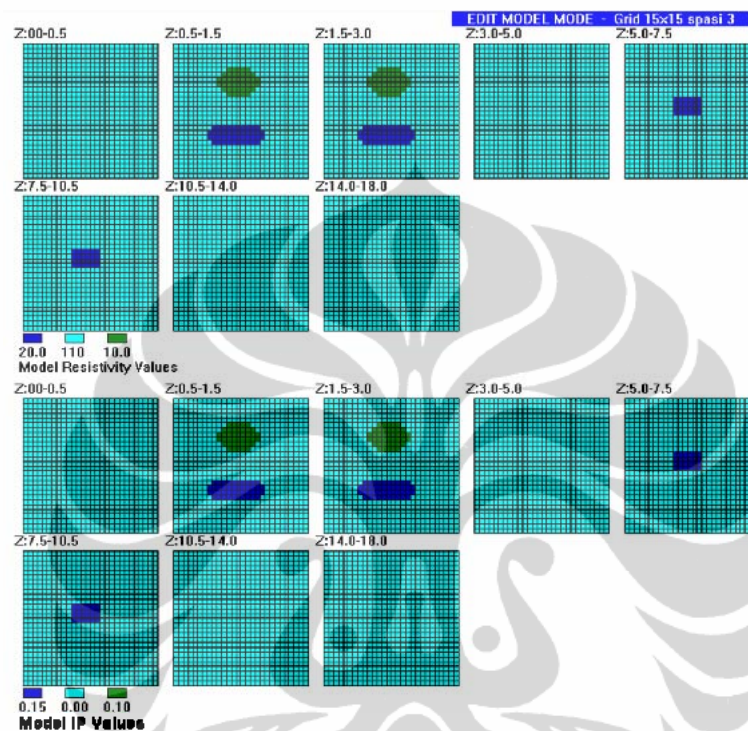


Gambar 4.1. Proses *forward modelling* (Grandis, 2007)

Dalam *forward modelling resistivity* dan IP 3 dimensi ini menggunakan program Res3DMod. Program ini dapat menghitung nilai *resistivity* dan IP semu untuk menafsirkan model bawah permukaan dengan menggunakan metoda *finite-difference* atau *finite-element* dengan susunan elektroda *square grid*, namun juga dapat dilakukan dengan susunan *rectangular grid* (Loke, 2001).

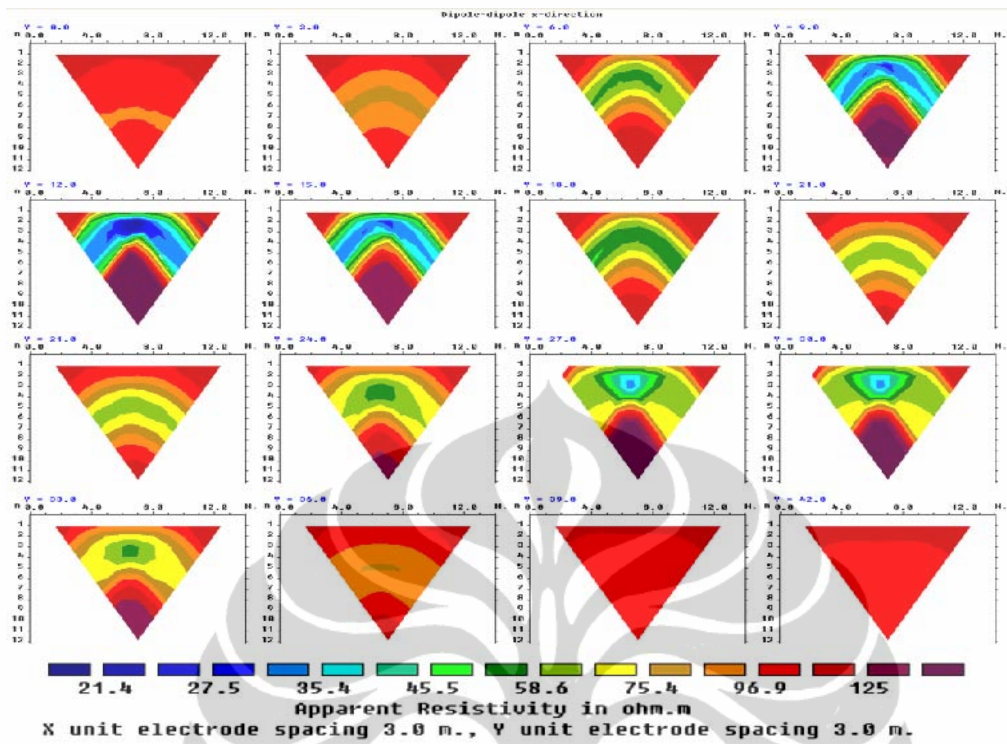
Dalam penelitian ini, *Forward modelling resistivity* dan IP 3 dimensi menggunakan susunan grid 15x15 dengan spasi 3 m dengan konfigurasi elektroda dipole-dipole. Pada program Res3DMod dimasukan parameter model, dengan 3 nilai *resistivity* dan IP serta bentuk model berupa elips dan *rektangular* yang mewakili 3 medium, kedalam setiap sel dalam 3 dimensi menggunakan *input text file*. Dalam pemodelan ini dilakukan beberapa kali *input* nilai *resistivity* dan IP yang berbeda-beda secara coba-coba dengan bentuk model tetap berupa elips dan

rektangular. Setelah beberapa kali dilakukan input parameter model dan dikalkulasi oleh program Res3Dmod, akhirnya diperoleh parameter model dengan nilai *resistivity* 20 ohm.m, 110 ohm.m dan 10 ohm.m dan nilai *chargeability* 0,15 mV/V, 0,00 mV/V dan 0,1 mV/V (Gambar 4.2).

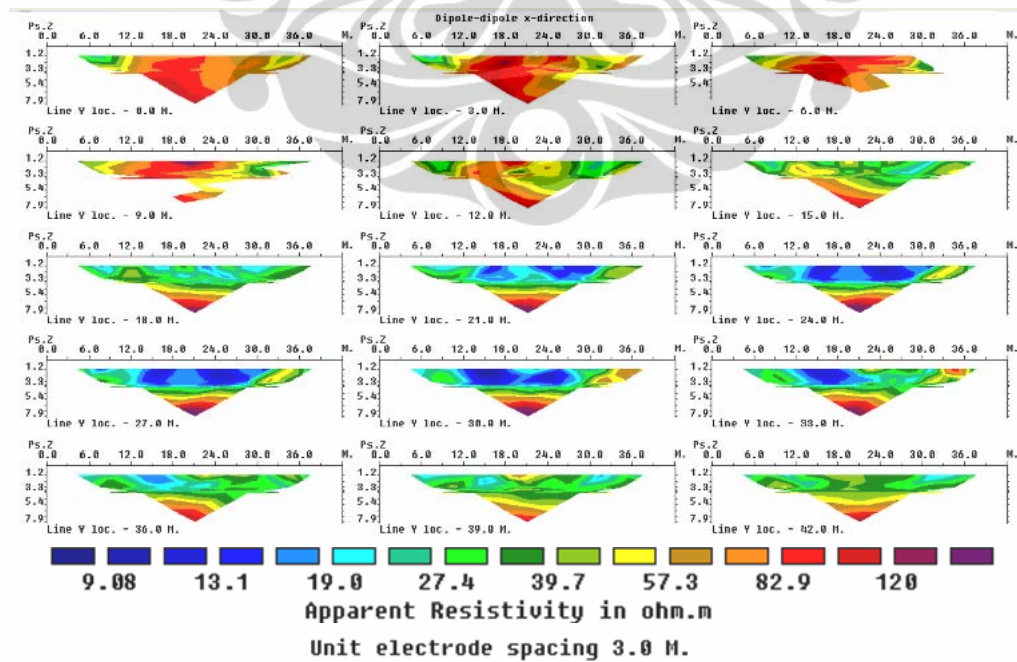


Gambar 4.2. Model 3 dimensi dengan 3 blok berbentuk elips dan *rectangular* masing-masing mempunyai nilai *resistivity* dan *chargeability* pada grid survey 15x15.

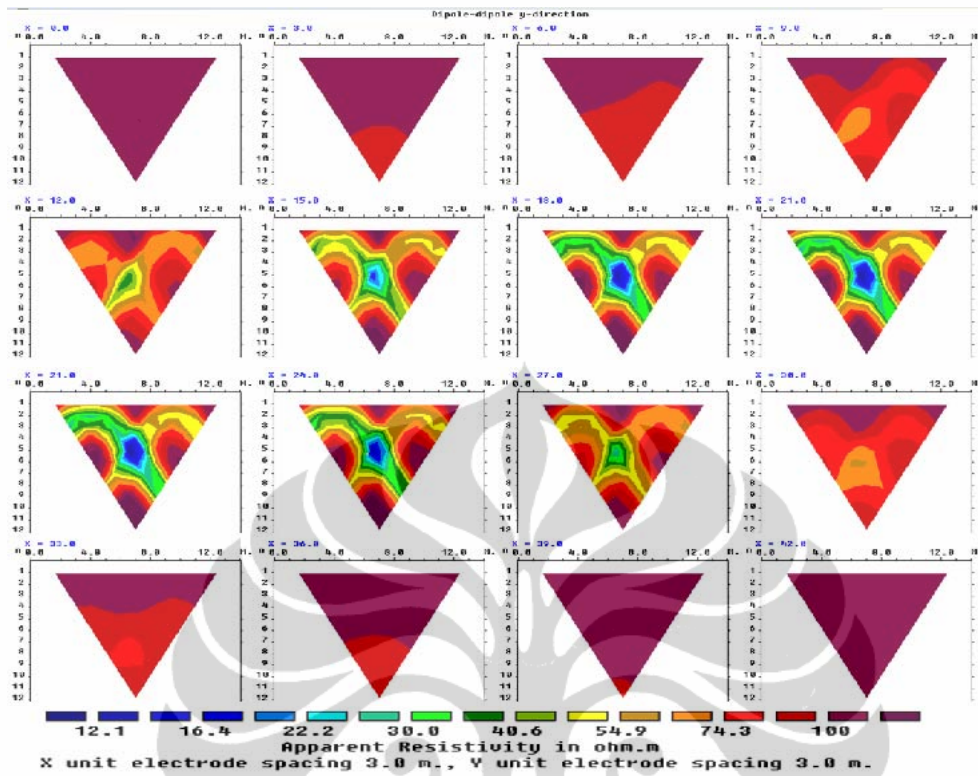
Hasil *forward modelling* dengan program Res3DMod diperoleh model dalam bentuk slice vertikal pada pengukuran arah X dan arah Y beserta kisaran nilai *resistivity* dan *chargeability* semu nya (Gambar 4.3, 4.5, 4.7 dan Gambar 4.9). Jika dibandingkan dengan model *resistivity* dan *chargeability* semu dari pengukuran yang diperoleh dari program Res3DInv (Gambar 4.4, 4.6, 4.8, dan Gambar 4.10), terlihat kisaran nilai *resistivity* dan *chargeability* semu hasil pemodelan program Res3DMod yang mendekati atau hampir sama dengan kisaran nilai *resistivity* dan *chargeability* semu data pengukuran, yang menunjukkan bahwa parameter model yang digunakan dalam *forward modelling* dianggap mewakili medium di bawah permukaan tempat data diukur.



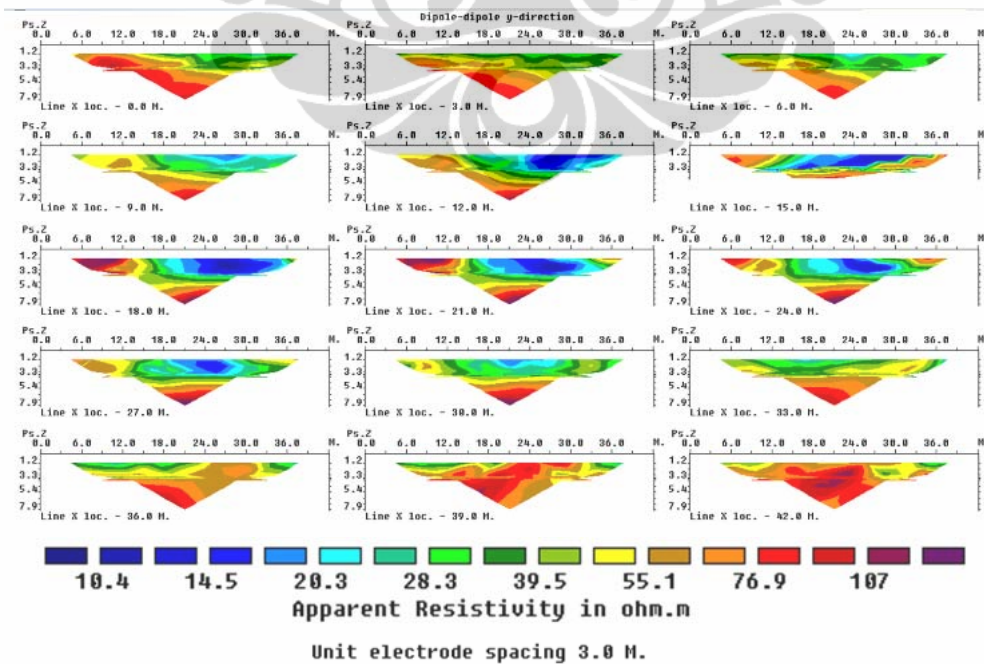
Gambar 4.3. Pseudosection *resistivity* vertikal pada pengukuran arah X dari *forward modelling*.



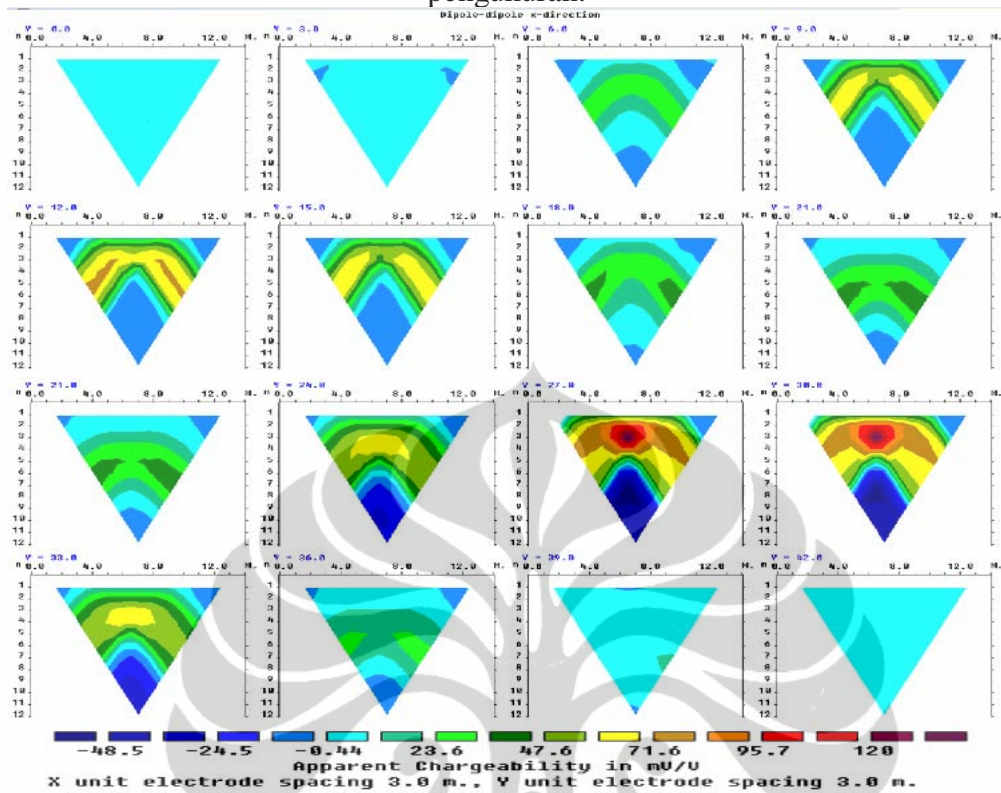
Gambar 4.4. Pseudosection *resistivity* vertikal pada pengukuran arah X dari data pengukuran.



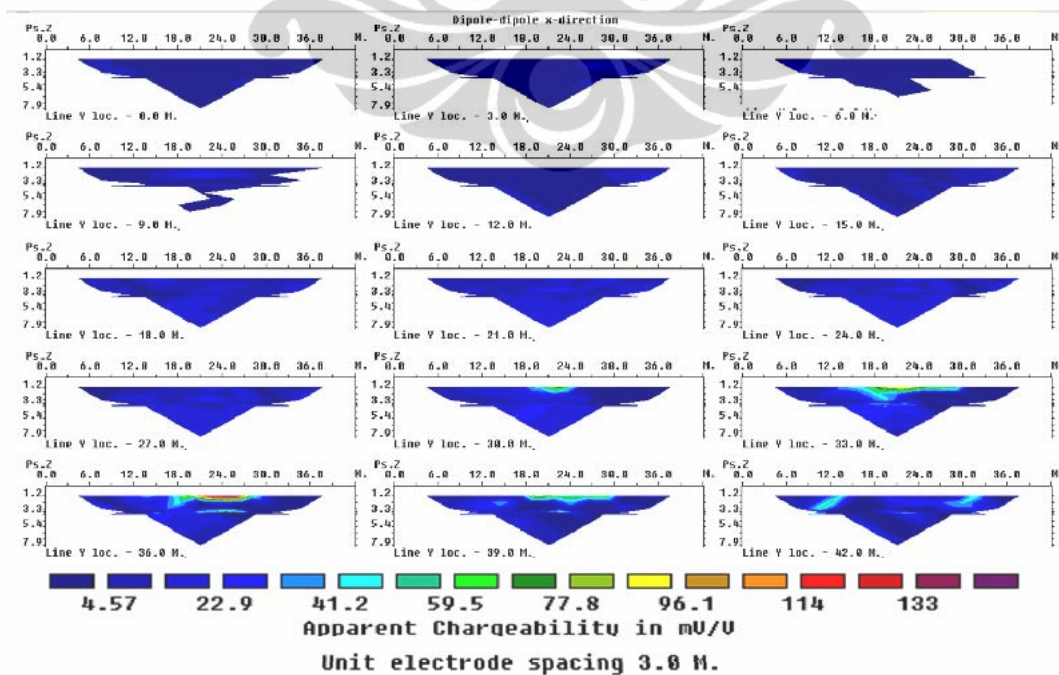
Gambar 4.5. Pseudosection *resistivity* vertikal pada pengukuran arah Y dari *forward modelling*



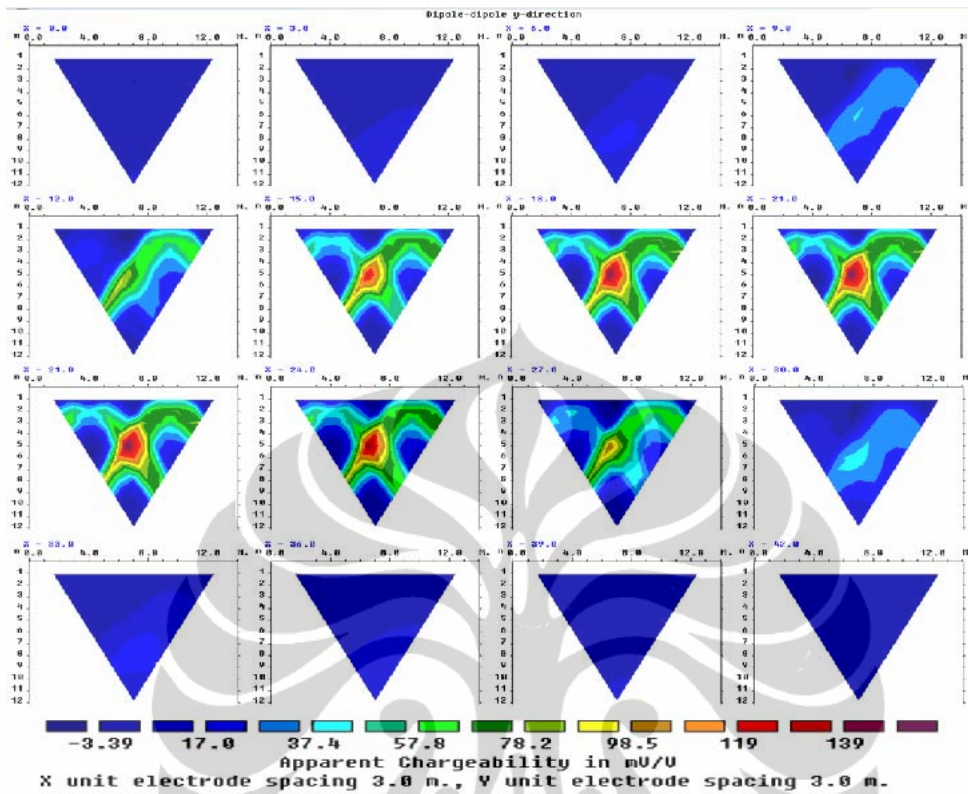
Gambar 4.6. Pseudosection *resistivity* vertikal pada pengukuran arah Y dari data pengukuran.



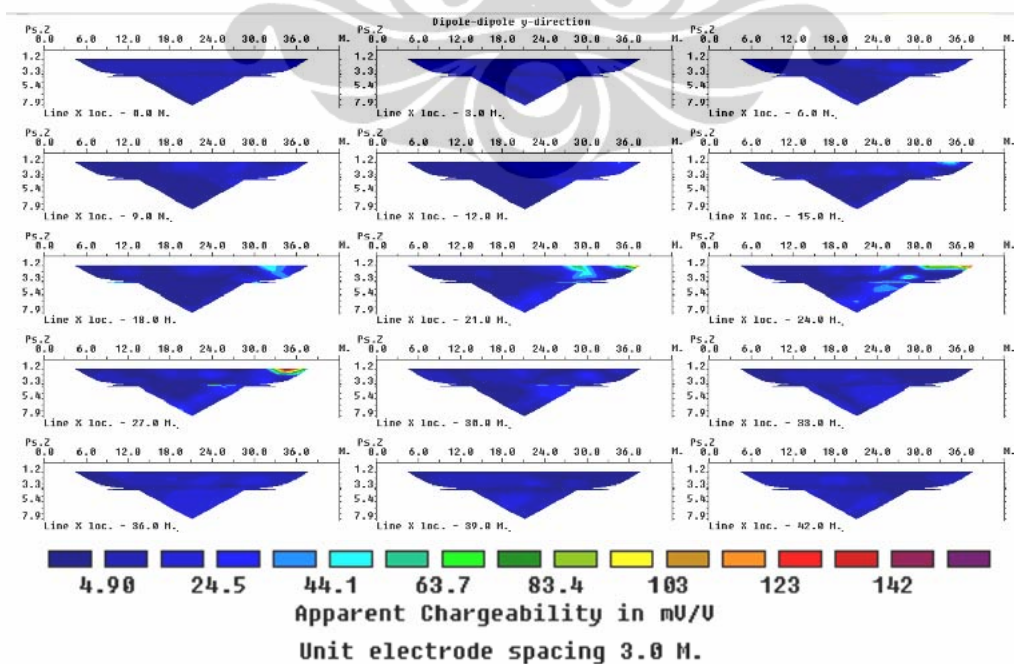
Gambar 4.7. Pseudosection *chargeability* vertikal pada pengukuran arah X dari *forward modelling*



Gambar 4.8. Pseudosection *chargeability* vertikal pada pengukuran arah X dari data pengukuran.



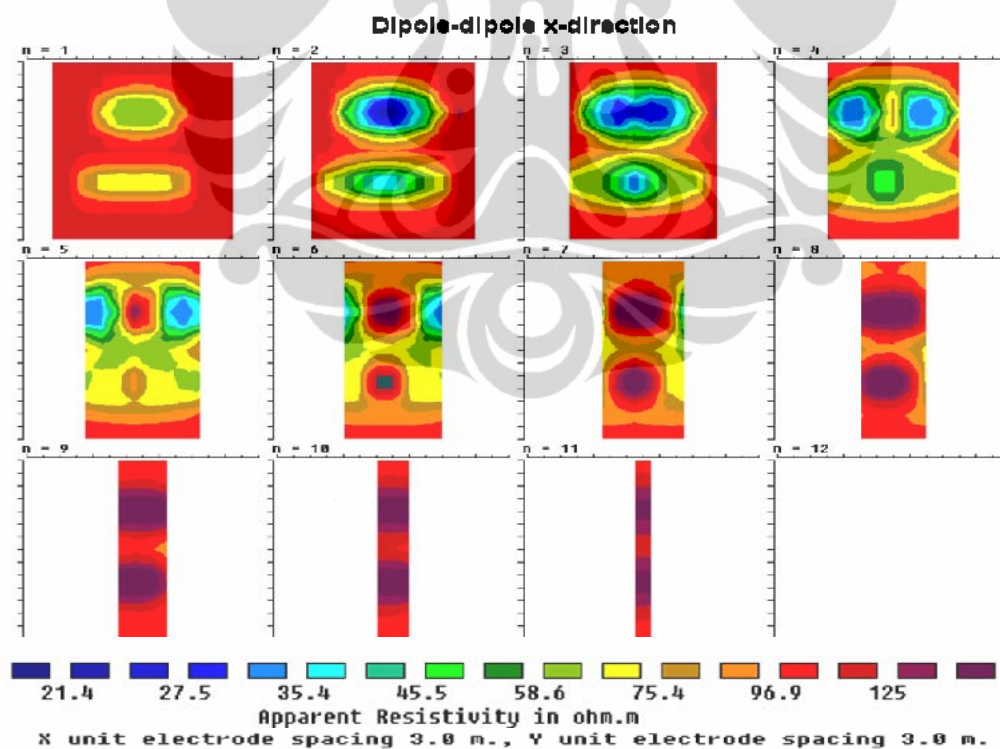
Gambar 4.9. Pseudosection *chargeability* vertikal pada pengukuran arah Y dari *forward modelling*



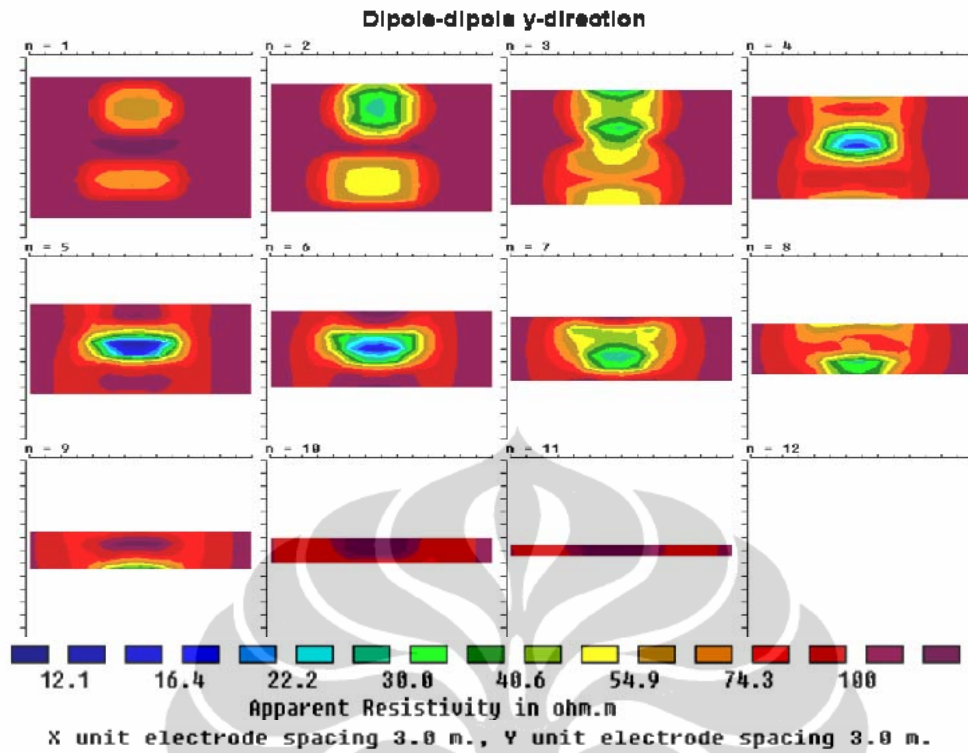
Gambar 4.10. Pseudosection *chargeability* vertikal pada pengukuran arah Y dari data pengukuran.

Hasil *forward modelling* dengan program Res3Dmod juga diperoleh model pseudosection horizontal pada pengukuran arah X dan arah Y dengan kisaran nilai *resistivity* dan *chargeability* semu yang hampir sama dengan kisaran nilai *resistivity* dan *chargeability* semu data pengukuran (Gambar 4.11 sampai Gambar 4.14).

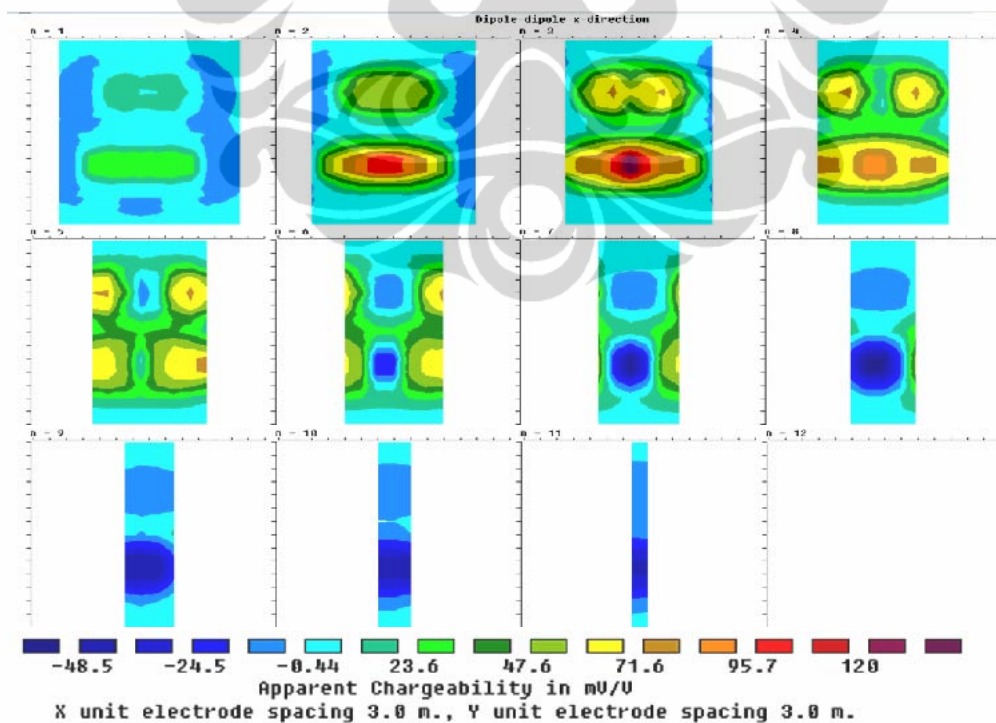
Pada *pseudosection resistivity* horizontal (Gambar 4.11 dan 4.12) dan *pseudosection chargeability* horizontal (Gambar 4.13 dan 4.14) terlihat pada $n = 2$, kedua model dengan nilai *resistivity* 10 ohm.m dengan nilai *chargeability* 0,1 mV/V dan 20 ohm.m dengan nilai *chargeability* 0,15 mV/V memperlihatkan model bentuk elips yang hampir sama model bentuknya dengan hasil pemodelan inversi data pengukuran (Gambar 4.18, 4.20, 4.22, 4.24, 4.25 dan 4.27).



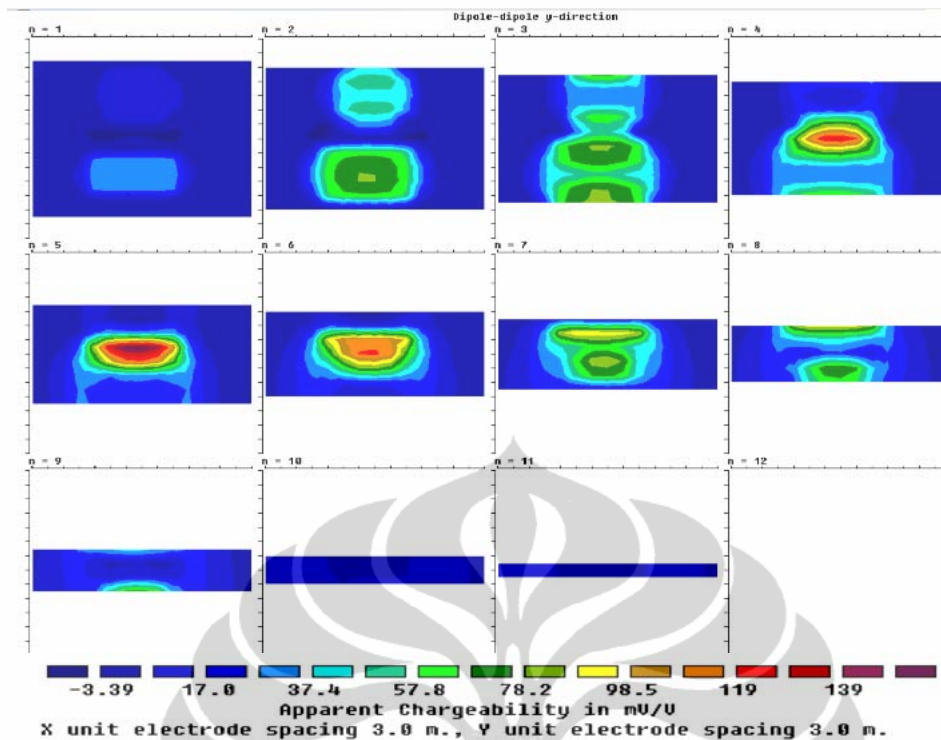
Gambar 4.11. Pseudosection *resistivity* horizontal pada pengukuran arah X



Gambar 4.12. Pseudosection *resistivity* horizontal pada pengukuran arah Y



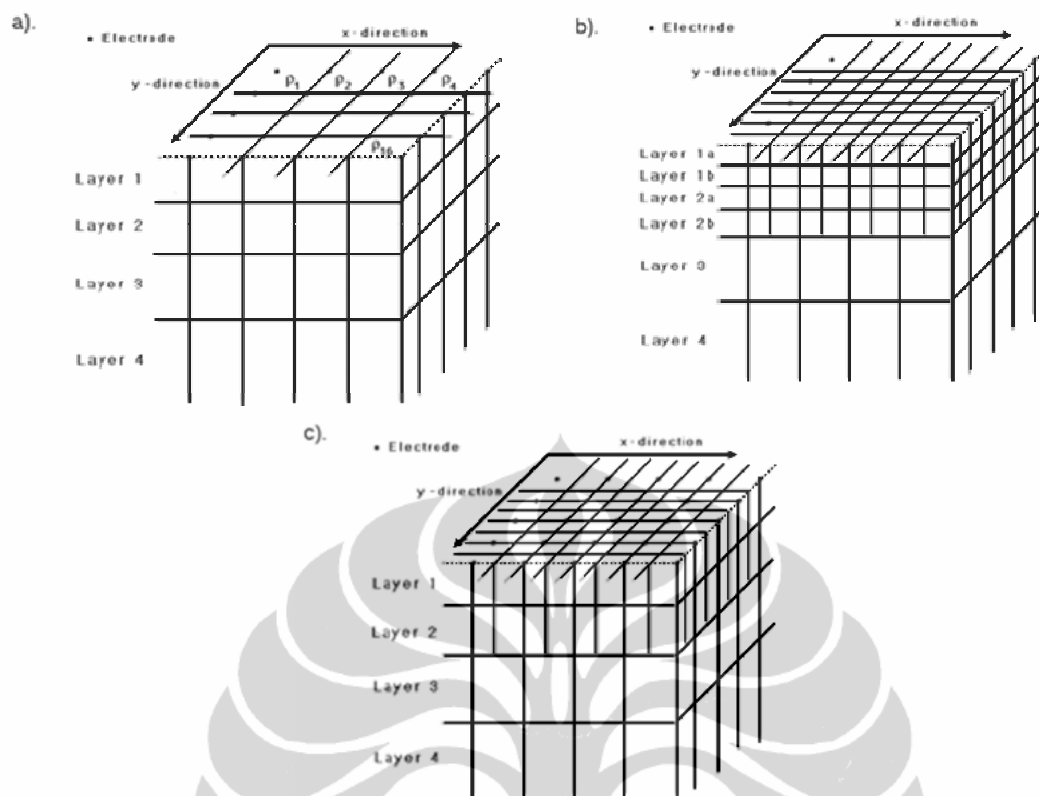
Gambar 4.13. Pseudosection *chargeability* horizontal pada pengukuran arah X



Gambar 4.14. Pseudosection *chargeability* horizontal pada pengukuran arah Y

4.2.2 Inversion Modelling

Pemodelan inversi (*Inverse Modelling*) sering dikatakan sebagai kebalikan dari *Forward Modelling* karena dalam pemodelan inversi parameter model diperoleh secara langsung dari data lapangan. Pemodelan inversi pada dasarnya merupakan proses modifikasi model agar diperoleh kecocokan data perhitungan dengan data pengamatan (Grandis, 2007). Dalam interpretasi data *resistivity* dan IP 2 dimensi dan 3 dimensi menggunakan program Res2Dinv dan Res3DInv. Kedua program ini menggunakan metoda iterasi untuk memulai model awal dan mencoba untuk meminimalkan perbedaan antara nilai *resistivity* dan IP semu hasil perhitungan dan pengukuran atau untuk mendapatkan suatu *improved model* dimana nilai *resistivity* dan IP semu terhitung sama dengan atau mendekati nilai *resistivity* terukur (Loke, 2004).



Gambar 4.15. Pemodelan inversi 3 dimensi. (a) Model standar, lebar blok-blok *rectangular* sama dengan satuan spasi elektroda pada arah X dan arah Y. (b) Model dimana beberapa lapisan atas dibagi setengah, ke arah vertikal dan horizontal, untuk mendapatkan resolusi yang lebih tinggi. (c) Model dimana blok-blok model dibagi pada arah horizontal saja (Loke, 2000)

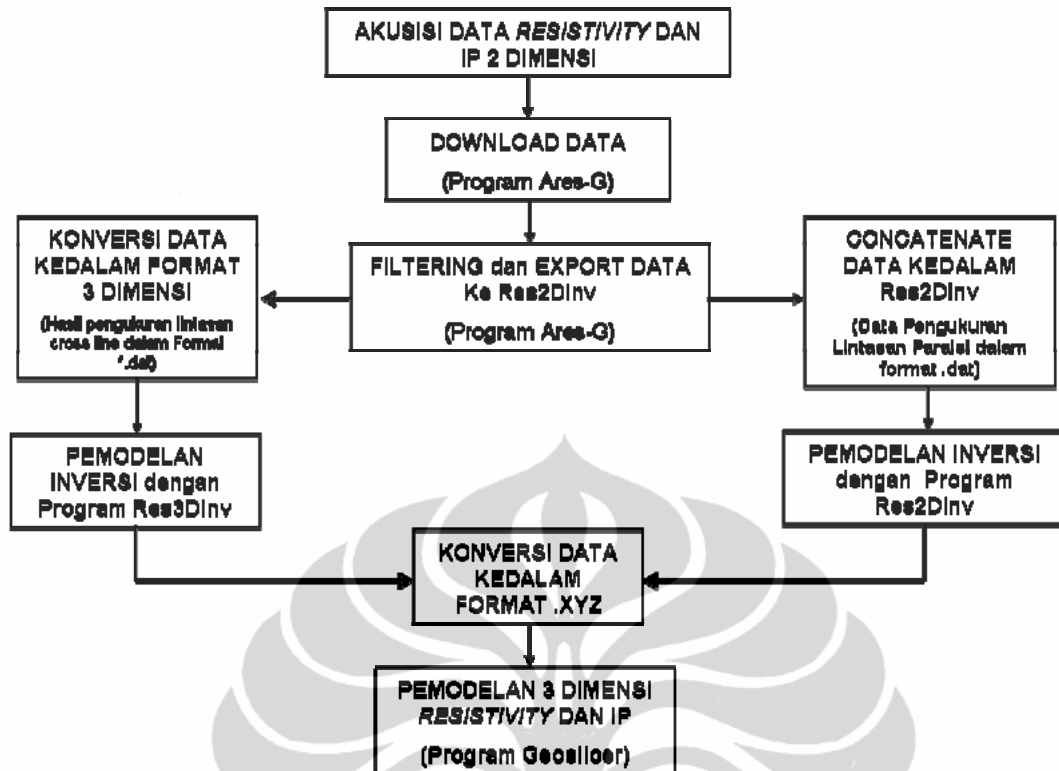
Dalam interpretasi data *resistivity* dan IP 3 dimensi digunakan suatu model seperti diperlihatkan pada Gambar 4.15. (Loke, 2004). Dalam program Res3DInv, suatu model bawah permukaan dibagi kedalam beberapa lapisan dan tiap lapisan selanjutnya dibagi lagi kedalam sejumlah blok. Setiap blok pada lapisan atas mempunyai elektroda pada setiap sudutnya. Dengan pembagian blok-blok, jumlah parameter model dan waktu yang dibutuhkan komputer untuk menginversi dapat bertambah secara dramatis.

Data *resistivity* dan IP dari lapangan berupa data 2 dimensi. Data hasil pengukuran geolistrik dengan konfigurasi Wenner dan Dipole-dipole dalam format 2DM kemudian difilter dan dikonversi oleh program Ares-G menghasilkan data dalam format *.dat. Untuk pemodelan 3 dimensi diperlukan data *resistivity*

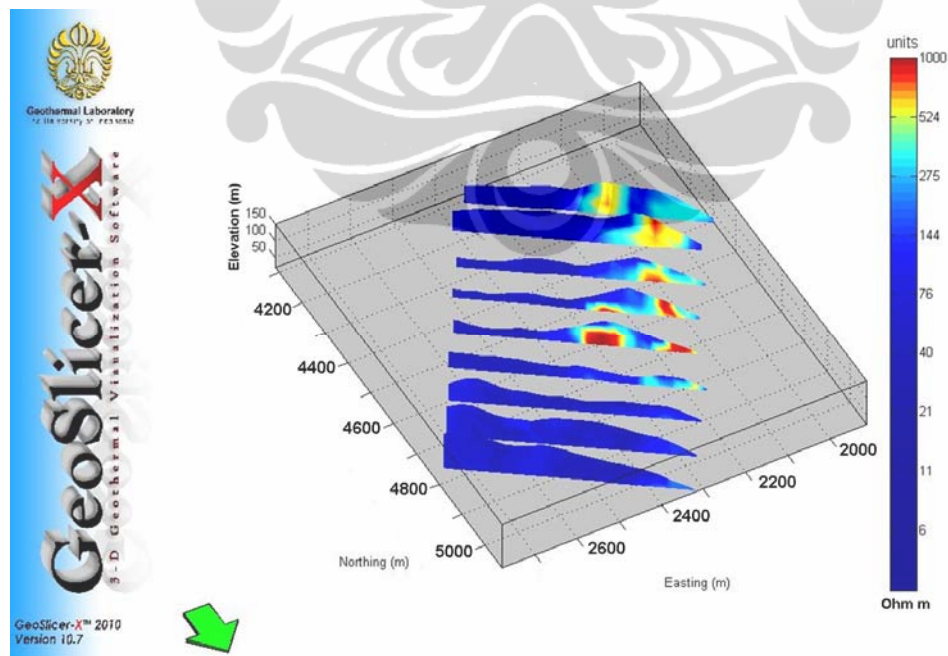
dan IP dalam format 3 dimensi, maka dilakukan konversi data 2 dimensi ke format data 3 dimensi.

Data *resistivity* dan IP 2 dimensi dalam format *.dat dari setiap lintasan pengukuran geolistrik pada susunan lintasan paralel dengan konfigurasi Wenner diinversi dengan program Res2DInv menghasilkan data dalam bentuk INV.file, kemudian dikonversi kedalam format *.xyz. dan diproses dengan program GeoSlicer-X untuk memvisualisasikan model 3 dimensi *resistivity* dan IP. Pada data *resistivity* dan IP 2 dimensi (format *.dat) hasil pengukuran geolistrik dengan konfigurasi Dipole-dipole pada susunan lintasan cross line di konversi kedalam format 3 dimensi (format *.dat); kemudian diinversi dengan program Res3DInv dan dikonversi kedalam format*.xyz. untuk diproses dengan program GeoSlicer-X untuk memvisualisasikan model 3 dimensi *resistivity* dan IP.

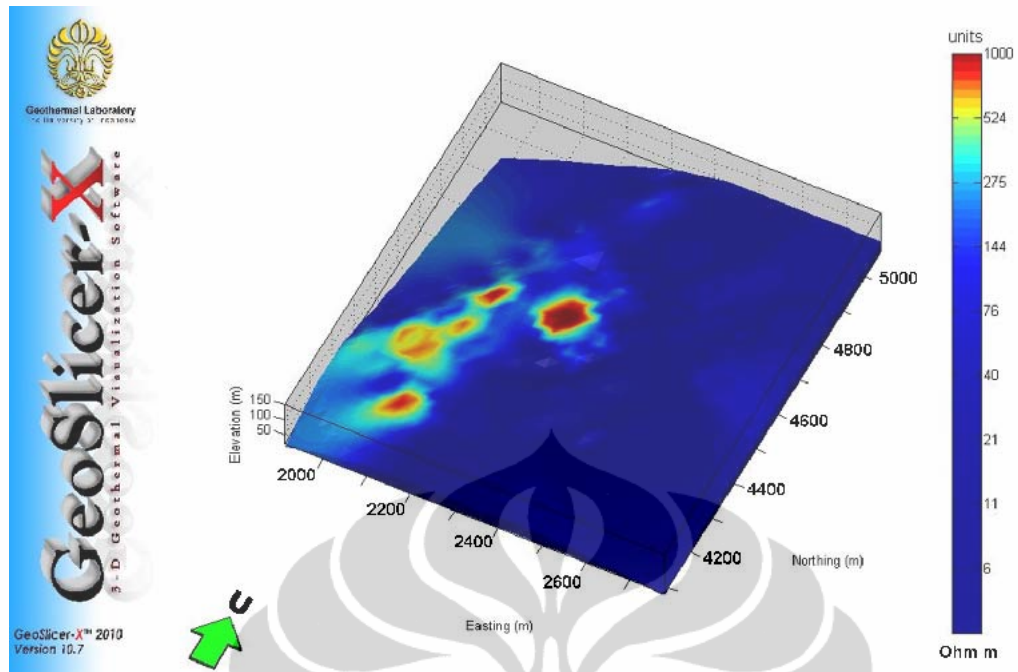
Seluruh proses tahapan pemodelan 3 dimensi diatas dirangkum kedalam diagram alir (Gambar 4.16). Hasil pemodelan 3 dimensi *resistivity* dan IP dengan menggunakan program GeoSlicer-X dapat dilihat pada Gambar 4.17 sampai 4.24. Program GeoSlicer-X dikembangkan oleh Laboratorium Geofisika Eksplorasi, Universitas Indonesia yang dapat digunakan untuk *displaying* data *resistivity* dan IP dalam 3 dimensi seperti model *slicer* horizontal dan vertikal sehingga memudahkan dalam analisa medium dan struktur geologi di bawah permukaan (Daud dan Saputera, 2010).



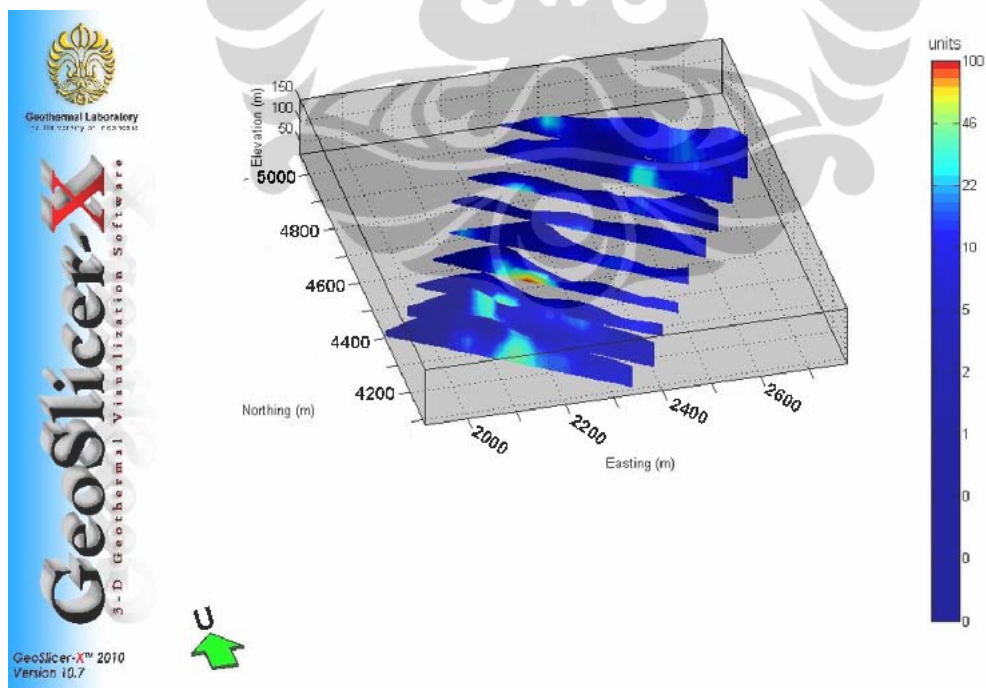
Gambar 4.16. Diagram alir proses pemodelan inversi dan pemodelan 3 dimensi resistivity dan IP



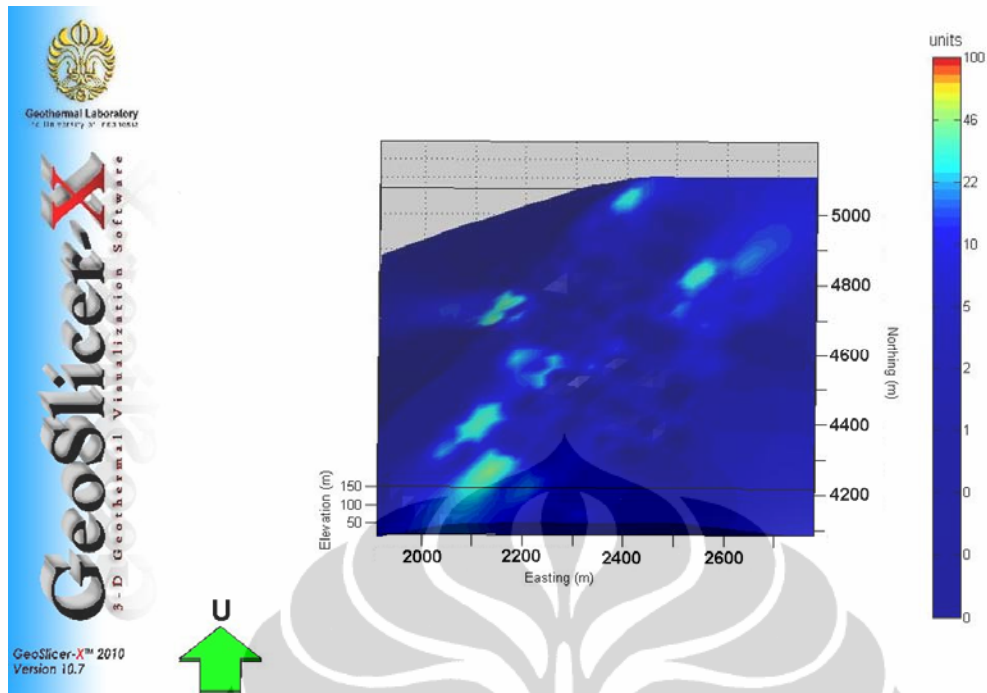
Gambar 4.17. Slice vertikal resistivity pada model 3 dimensi resistivity hasil pengukuran geolistrik dengan konfigurasi Wenner.



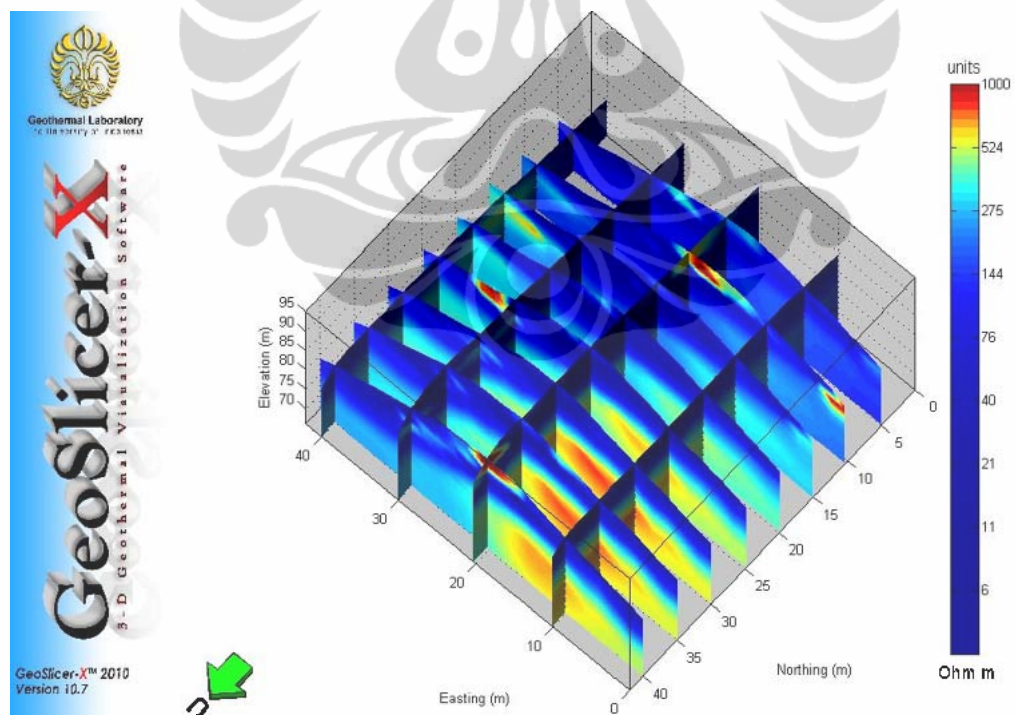
Gambar 4.18. Model 3 dimensi *resistivity* hasil pengukuran geolistrik dengan konfigurasi Wenner



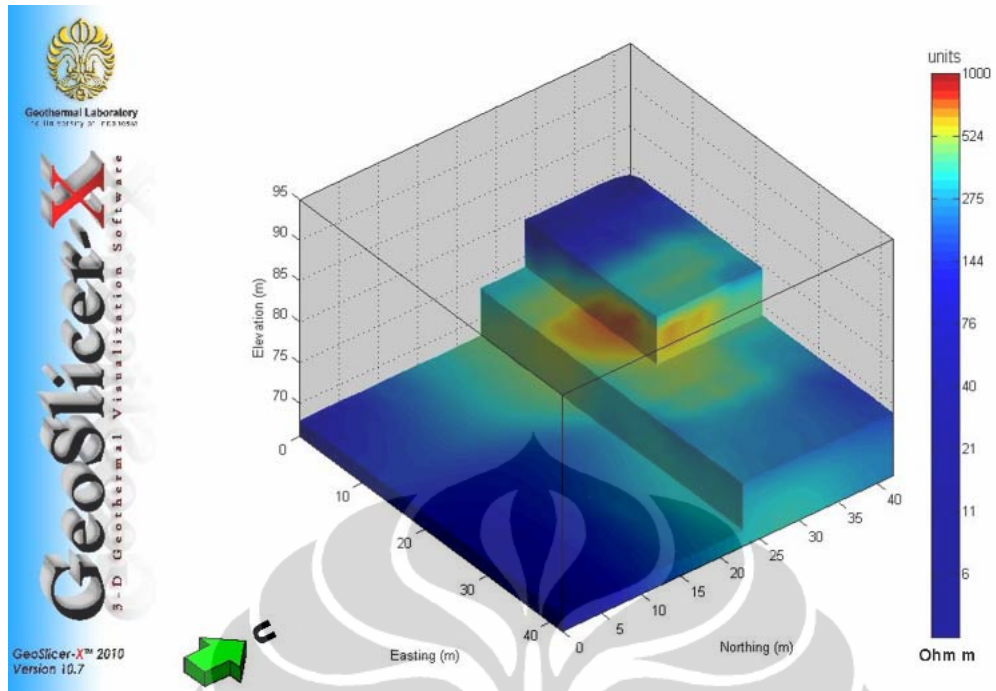
Gambar 4.19. *Slice* vertikal IP pada model 3 dimensi IP hasil pengukuran geolistrik dengan konfigurasi Wenner.



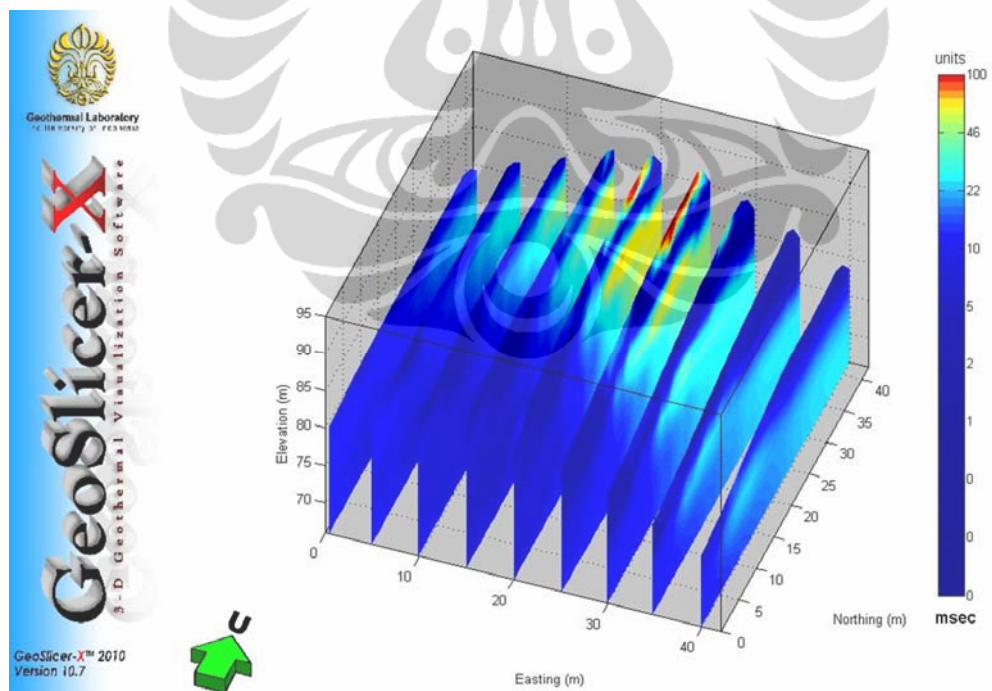
Gambar 4.20. Model 3 dimensi IP hasil pengukuran geolistrik dengan konfigurasi Wenner



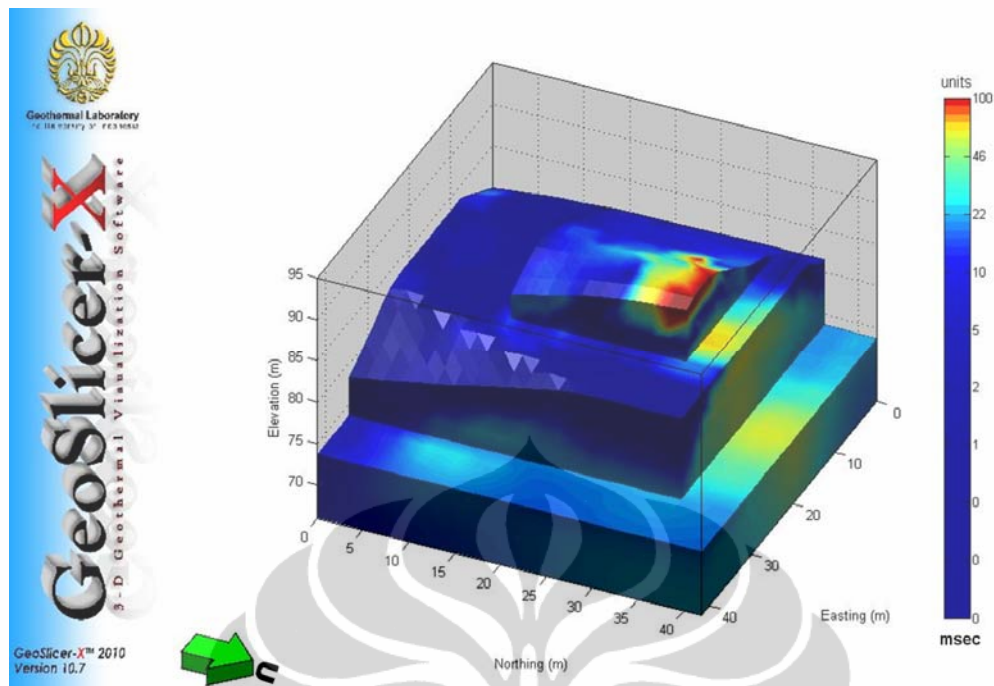
Gambar 4.21. *Slice* vertikal resistivity pada model 3 dimensi resistivity hasil pengukuran geolistrik dengan konfigurasi Dipole-dipole



Gambar 4.22. Model 3 dimensi *resistivity* hasil pengukuran geolistrik dengan konfigurasi Dipole-dipole



Gambar 4.23. *Slice* vertikal IP pada model 3 dimensi IP hasil pengukuran geolistrik dengan konfigurasi Dipole-dipole.



Gambar 4.24. Model 3 dimensi IP hasil pengukuran geolistrik dengan konfigurasi Dipole-dipole

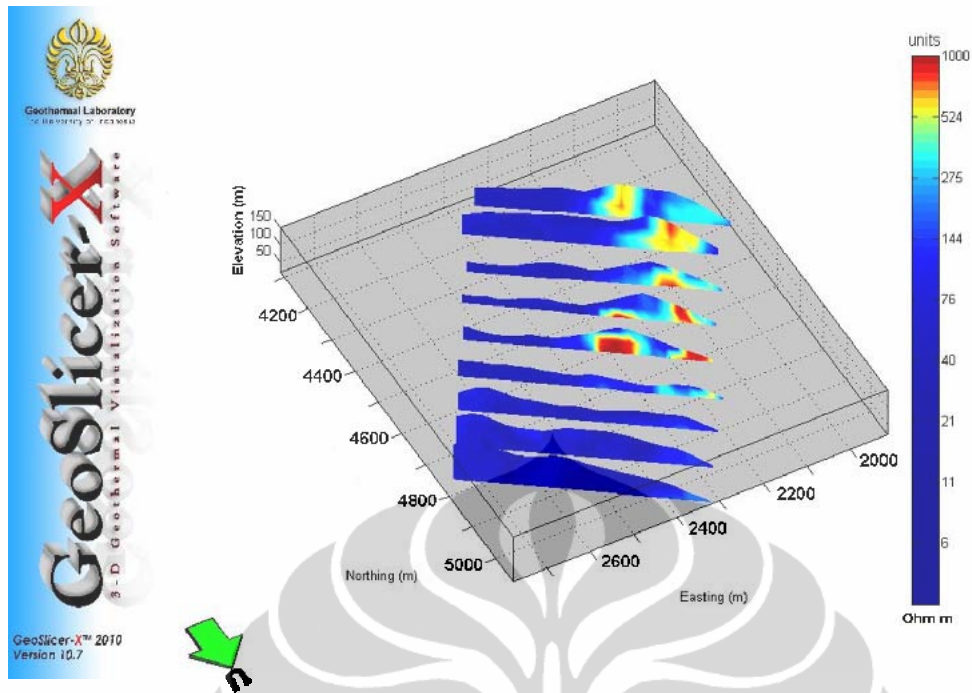
4.3 Interpretasi

Dalam interpretasi ini belum diintegrasikan dengan data geologi dan pemboran, hanya berdasarkan pada data distribusi nilai *resistivity* dan *chargeability* dalam model 3 dimensi. Hasil proses inversi memperlihatkan distribusi nilai *resistivity* di bawah permukaan berkisar antara 6 ohm.m – 1000 ohm.m. Pada model *slice* vertikal dan horizontal *resistivity* (Gambar 4.17, 4.21, 4.25 dan 4.27) dan model 3 dimensi *resistivity* (Gambar 4.18 dan 4.22) terdapat anomali *resistivity* dengan kisaran nilai 257 ohm.m – 1000 ohm.m yang kontras dengan nilai *resistivity* sekitarnya (6 ohm.m – 257 ohm.m). Kisaran nilai *resistivity* 257 ohm.m – 1000 ohm.m bersifat resistif dan diinterpretasikan bukan merupakan nilai *resistivity* mineral bijih besi, karena secara teoritis mineral bijih logam termasuk bijih besi bersifat konduktor yang mempunyai nilai kisaran *resistivity* rendah (Tabel 2.8). Pada Tabel 2.8 terlihat batuan yang mempunyai kisaran nilai *resistivity* tersebut yang sesuai dengan kondisi geologi daerah penelitian adalah basal. Umumnya basal mempunyai kandungan SiO₂ yang rendah (di bawah 40%) hampir sama

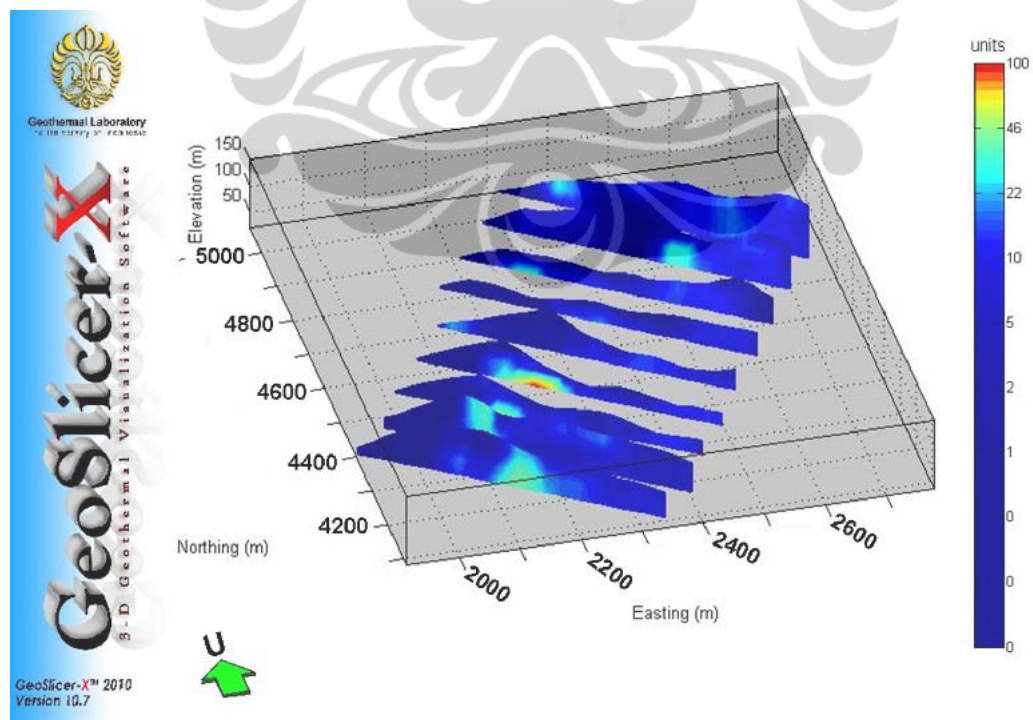
dengan gabro (Williams et al., 1954). Pada kisaran nilai *resistivity* antara 40 ohm.m - 257 ohm.m terdistribusi di sekitar zona anomali *resistivity* tinggi dan di beberapa lokasi memperlihatkan sedikit kontras dengan nilai *resistivity* sekitarnya yang berkisar 6 ohm.m – 40 ohm.m. Pada kisaran nilai *resistivity* 40 ohm.m - 257 ohm.m diduga mewakili medium bijih besi, namun kisaran nilai *resistivity* juga mewakili medium lapukan batuan ultramafik-mafik, limonit dan batuan sedimen.

Kisaran nilai *resistivity* 40 ohm.m 257 ohm.m yang diinterpretasikan mewakili medium bijih besi di daerah penelitian kurang memperlihatkan kontras *resistivity* yang baik sehingga diperlukan dukungan data IP untuk membantu dalam interpretasi endapan bijih besi di daerah penelitian.

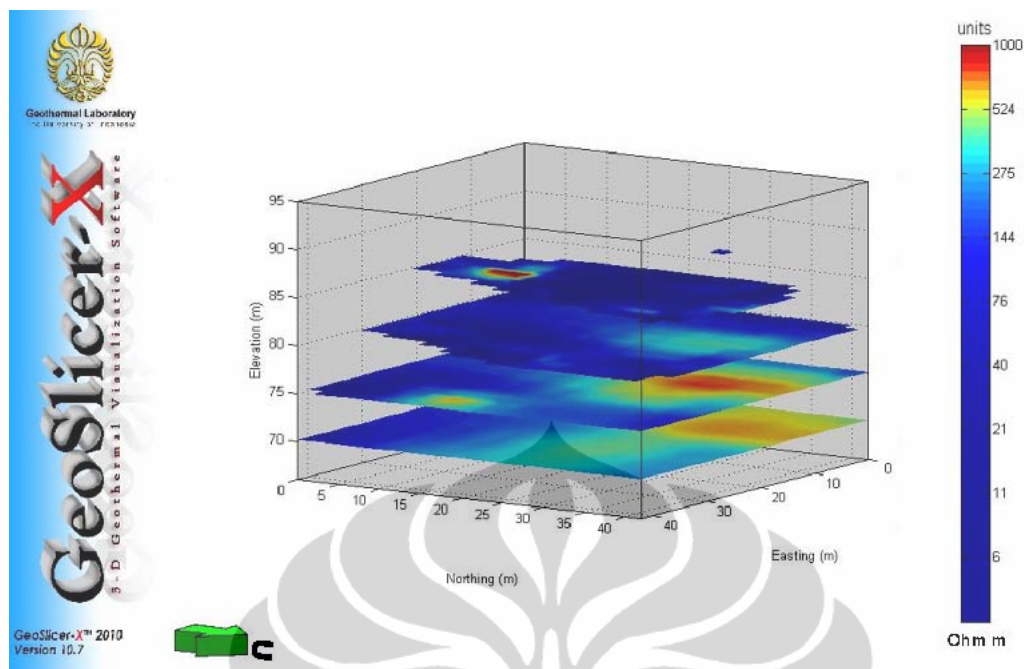
Hasil pemodelan inversi data IP diperoleh kisaran nilai *chargeability* 0 – 100 msec. Pada model slice vertikal dan horizontal IP (Gambar 4.19, 4.23, 4.26 dan 4.28) dan model 3 dimensi IP (Gambar 4.20 dan 4.24) terdapat kontras nilai IP dengan nilai *chargeability* berkisar 24 – 100 msec. Secara teoritis, mineral-mineral bijih oksida umumnya mempunyai kisaran nilai *chargeability* lebih rendah dibandingkan dengan mineral-mineral bijih sulfida (Tabel 2.1). Berdasarkan nilai IP diinterpretasikan endapan bijih besi di daerah penelitian mempunyai kisaran nilai *chargeability* 24 - 100 msec.



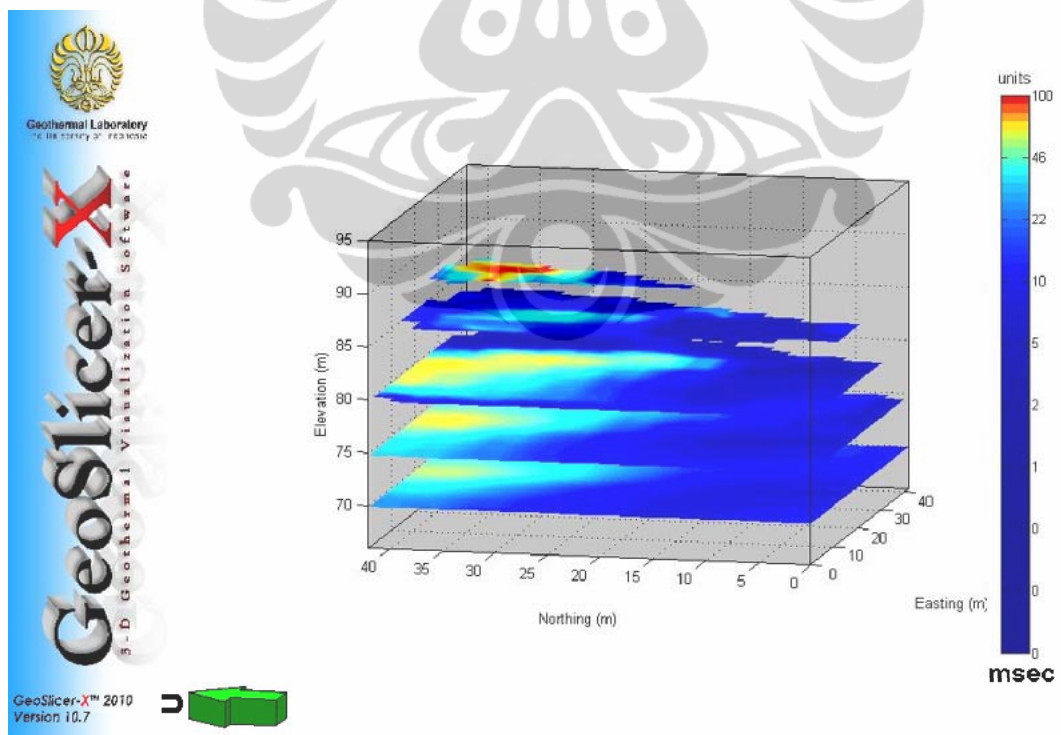
Gambar 4.25. *Slice* vertikal resistivity pada model 3 dimensi resistivity hasil pengukuran geolistrik dengan konfigurasi Wenner.



Gambar 4.26. *Slice* vertikal IP pada model 3 dimensi IP hasil pengukuran geolistrik dengan konfigurasi Wenner.



Gambar 4.27. *Slice horizontal resistivity* pada model 3 dimensi *resistivity* hasil pengukuran geolistrik dengan konfigurasi Dipole-dipole.



Gambar 4.28. *Slice horizontal IP* pada model 3 dimensi IP hasil pengukuran geolistrik dengan konfigurasi Dipole-dipole.

BAB 5 PEMBAHASAN

5.1. Geologi Daerah Penelitian

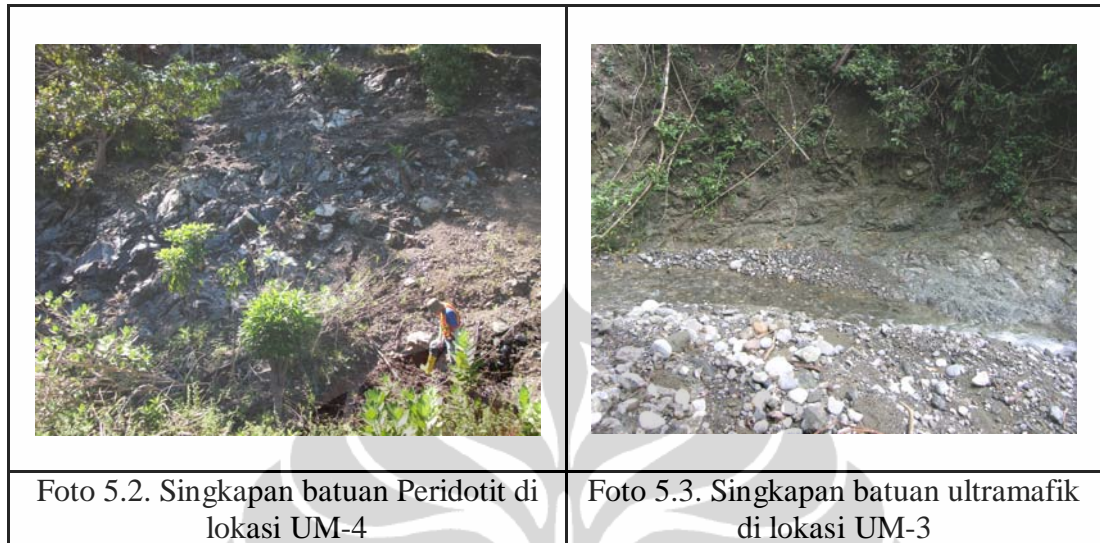
Morfologi daerah penelitian didominasi oleh perbukitan bergelombang dengan elevasi berkisar 25 m hingga 267 m di atas permukaan air laut (Foto 5.1). Punggungan perbukitan umumnya relatif sempit dengan kemiringan lerengnya berkisar antara 30° to 80°. Morfologi ini terbentuk oleh Kompleks Ultramafik dan Formasi Bongka. Kondisi punggungan yang relatif sempit dengan lereng-lerengnya yang terjal kemungkinan menjadi penghambat terbentuknya endapan laterit yang tebal di daerah penelitian.



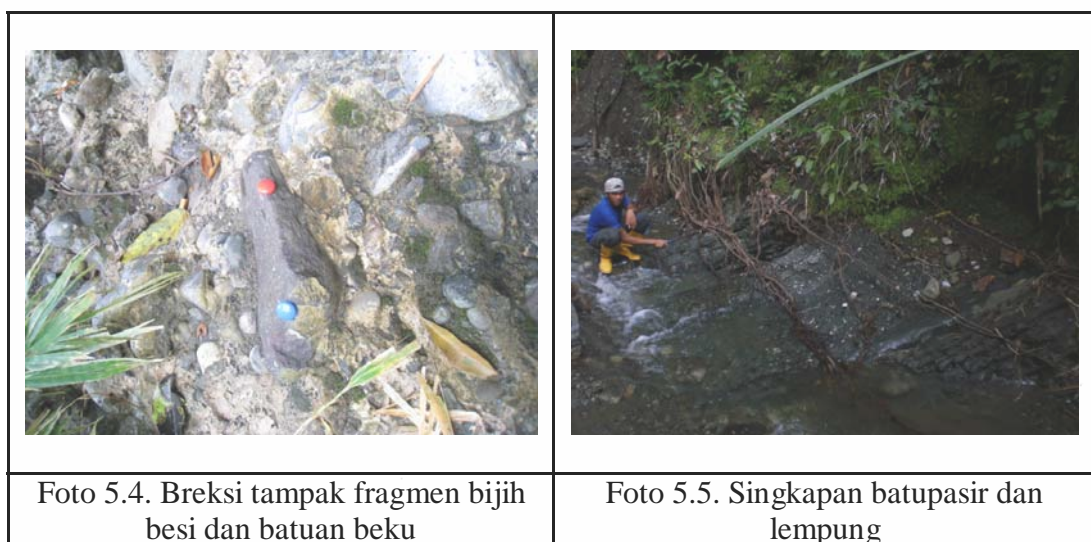
Foto 5.1. Morfologi daerah penelitian

Batuan yang tersingkap di daerah penelitian terdiri atas batuan ultramafik-mafik, batuan sedimen, batuan bijih besi dan aluvial (Lampiran 3). Batuan ultramafik-mafik menempati area sekitar 25% daerah penelitian. Singkapan batuan ultramafik-mafik memperlihatkan warna hitam-kelabu, kehijauan, tampak kilap kaca, kompak, keras, rekahannya terisi silika, bagian yang lapuknya bersifat lepas-lepas, sebagian lunak dan mudah dipecahkan (Foto 5.2 dan 5.3).

Pengambilan sampel batuan dilakukan pada setiap lokasi pengamatan singkapan (Lampiran 4).



Batuan sedimen yang tersingkap terdiri atas breksi, batulempung, batupasir dan batugamping terumbu (Foto 5.4 dan 5.5). Satuan ini menempati area sekitar 35% daerah penelitian. Pada breksi tersusun oleh beragam fragmen batuan seperti batuan ultramafik, batuan beku dan bijih besi. Pada batupasir memperlihatkan struktur perlapisan dan gradasi butiran. Satuan batuan ini termasuk kedalam Formasi Bongka yang diendapkan dalam lingkungan payau hingga laut dangkal dan sebagian dalam kipas bawah laut, pada Kala Miosen Tengah. Formasi ini menutupi secara tidak selaras kompleks ultramafik (Simanjuntak et al., 1997).



Batuan bijih besi yang terdapat di daerah penelitian mempunyai sifat kemagnetan lemah–kuat. Pengetesan sifat kemagnetan dilakukan dengan testpen magnet. Bijih besi banyak ditemukan di punggung, lereng, lembah perbukitan, serta di alur sungai, berukuran kerikil-bongkah, berbentuk *angular–sub-angular*, merupakan hasil proses rombakan, erosi, dan transportasi. Di daerah penelitian terdapat 2 jenis bijih besi, yaitu magnetit dan hematit. Keduanya secara fisik tidak dapat dibedakan, hanya dapat dibedakan dengan sifat kemagnetannya dimana hematit mempunyai sifat kemagnetan lemah. Beberapa singkapan bijih besi yang diduga *in situ* terdapat di lereng dan lembah perbukitan serta di zona struktur sesar.



Umumnya bijih besi memperlihatkan warna hitam, coklat kemerahan, berat, teroksidasi, pada bongkahannya terdapat retakan dan rekahan, di beberapa lokasi sifat kemagnetan tubuh bijih besi terdisiminasi, namun umumnya memperlihatkan bentuk masif (Foto 5.6) dan kadang berbentuk layer-layer tipis (Foto 5.7). Fragmen bijih besi yang berukuran kerikil-bongkah sebagian besar tertanam dalam matrik soil limonit bersama dengan pecahan batuan ultramafik. Di beberapa tempat rombakan fragmen bijih besi tersebar di atas permukaan soil pada punggung dan lereng perbukitan. Berdasarkan bentuk fragmennya yakni *angular-sub-angular*, diduga fragmen batu bijih besi tersebut dekat dengan sumbernya.



Foto 5.8. Singkapan magnetit masif dengan sifat kemagnetan kuat, di lokasi OC-1.



Foto 5.9. Bongkah hematit masif dengan sifat kemagnetan lemah, di lokasi Fhm-1

Di daerah penelitian juga tersingkap endapan laterit di beberapa tempat pada lereng perbukitan atau bekas kupasan. Kondisi fisik limonit memperlihatkan warna coklat – coklat kemerahan, lepas-lepas, fragmen batuan ultramafik dan bijih besi tertanam dalam matriks, teroksidasi, dengan ketebalan 1 meter – 3 meter (Foto 5.10 dan Foto 5.11). Singkapanya memperlihatkan horizon paling atas dari urutan vertikal endapan laterit.



Foto 5.10. Profil limonit tipis dengan fragmen kerikil batuan ultramafik dan bijih magnetit



Foto 5.11. Profil limonit dengan fragmen kerikil-bongkah batuan ultramafik dan bijih magnetit

Satuan aluvial merupakan hasil pengendapan sungai dan pantai, butirannya berukuran lempung hingga kerakal dengan komponen batuan beragam. Satuan ini menempati area sekitar 25% daerah penelitian.

Struktur geologi yang terdapat di daerah penelitian berupa sesar normal dan sesar mendatar diperkirakan (Lampiran 3). Sesar-sesar tersebut mempunyai arah baratlaut-tenggara dan timurlaut-baratdaya. Indikasi adanya struktur tersebut adalah kelurusan gawir yang terlihat di lapangan, kelurusan dan pembelokan alur sungai serta perubahan arah punggung perbukitan serta breksiasi. Struktur sesar normal mengontrol beberapa endapan bijih besi. Pembentukan sesar normal diperkirakan akibat pengaruh aktivitas tektonik Miosen Tengah, kemudian dipotong oleh sesar mendatar yang diduga terbentuk oleh aktivitas tektonik akhir Miosen-Pliosen, berkaitan dengan tumbukan Banggai-Sula. Pembentukan struktur di lengan timur Sulawesi karena pengaruh aktivitas tektonik regional yang berkaitan dengan tumbukan platform Banggai-Sula kearah baratlaut dengan lengan barat dan timur Sulawesi selama Kapur hingga Pliosen (Simanjuntak et al., 1997; Villeneuve et al., 2001).

5.2. Data Pengujian Mineralogi dan Kimia

Dalam penelitian ini, seluruh pengujian laboratorium dilakukan oleh PT. Ina Touna Mining yang meliputi analisa mineralogi dan analisa kimia. Pada analisa mineralogi menggunakan metoda petrografi dan mineragrafi, sedangkan pada analisa kimia menggunakan metoda AAS dan X Ray Fluoresence (XRF). Pada sampel batuan ultramafik–mafik hanya dilakukan analisa petrografi (Lampiran 5). Sampel batuan bijih besi diambil dari singkapan dan inti bor; pada sampel dari singkapan bijih besi dilakukan analisa mineragrafi (Lampiran 6) dan analisa kimia (Tabel 5.1), sedangkan pada sampel bijih besi dari inti bor dilakukan analisa XRF (Lampiran 7). Analisa mineralogi dan analisa kimia dilakukan di Pusat Sumberdaya Geologi, Bandung.

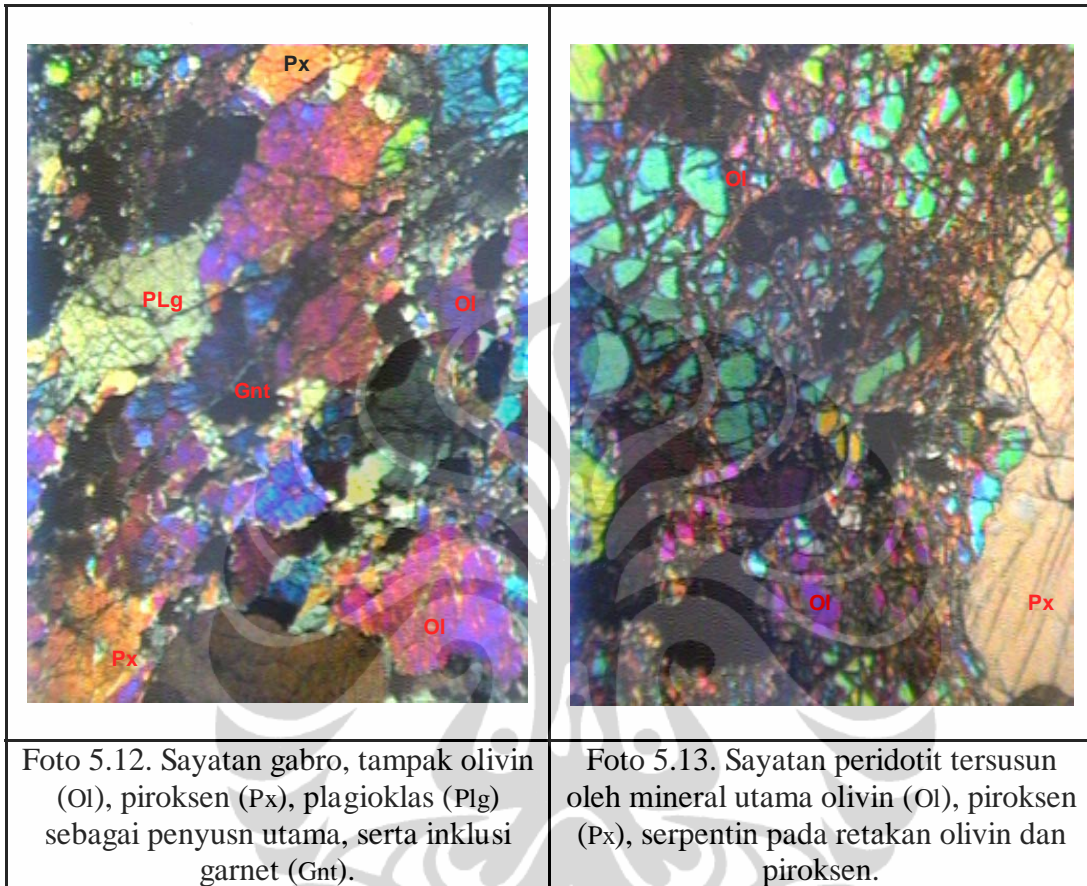
Tabel 5.1. Hasil analisa kimia batuan bijih besi

Sampel Urutan	Fmg-6	Fmg-4	Fmg-3	Oc-1	Oc-2
SiO ₂ (%)	16.56	7.48	8.68	8.66	17.76
Al ₂ O ₃ (%)	12.31	16.11	16.28	15.16	16.2
Fe Total (%)	38.56	44.62	44.09	39.93	37.18
FeO (%)	1.27	3.73	5.87	13.6	12.27
Fe ₂ O ₃ (%)	50.38	59.65	56.52	41.98	39.52
CaO (%)	0.34	0.05	0.14	0.16	0.14
MgO (%)	1.45	1.2	1.36	3.34	1.08
Na ₂ O (%)	0	0	0.09		0
K ₂ O (%)	0	0	0	0	0
TiO ₂ (%)	0.37	0.41	0.62	0.48	0.33
P ₂ O ₅ (%)	0.32	0.35	0.3	0.24	0.32
Pb (%)	0.013	0.015	0.0145	0.0136	0.0323
Ni (%)	0.415	0.5108	0.5898	0.4619	0.4709
Cr (%)	0.7908	0.7908	0.6282	0.6377	0.7439
H ₂ O (%)	0.9	0.67	0.67	0.12	0.83

5.2.1. Data Analisa Mineralogi dan Interpretasi

Hasil analisa petrografi yang dilakukan pada 3 sampel batuan ultramafik-mafik (Lampiran 5) yang menunjukkan jenis batuan gabro, gabro terserpentinisasi, dan peridotit terserpentinisasi. Mineral utama dalam gabro terdiri atas olivin, piroksen, plagioklas, serpentin dan garnet (Foto 5.12). Pada peridotit terserpentinisasi tersusun oleh olivin, piroksen, serpentin, mineral opa (Foto 5.13). Pada mineral olivin dan piroksen sebagai mineral penyusun utama dalam gabro dan peridotit, sebagian telah mengalami ubahan dengan hadirnya mineral serpentin menggantikan mineral tersebut. Batuan ultramafik-mafik merupakan batuan yang sangat tidak stabil dan mudah lapuk, karena mineral olivin dan piroksen mudah

bereaksi cepat dengan air pada temperatur tertentu akibat proses metamorfis atau hidrotermal, kemudian berubah menjadi mineral serpentin (Tanner et al.,1995).



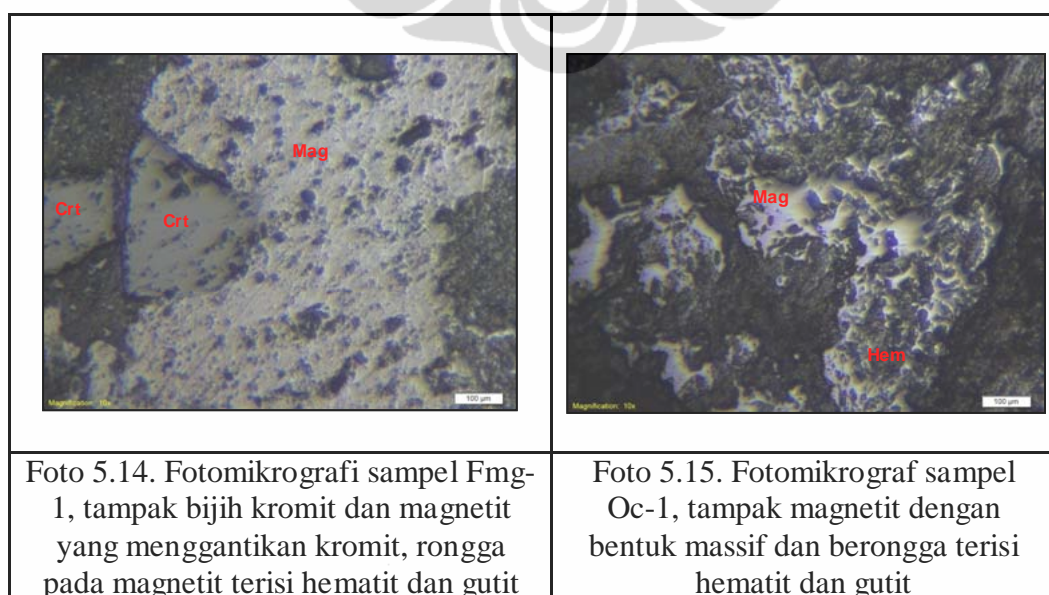
Pada seluruh kristal mineral yang berukuran besar telah mengalami deformasi fisik berupa retakan-retakan yang rapat membentuk tekstur mortar (hancuran kristal mineral). Deformasi yang melibatkan proses mekanik demikian disebut deformasi kataklastik akibat proses metamorfisme pada tekanan dan temperatur tinggi atau metamorfisme regional (William et al., 1954; Deer et al.,1992). Menurut Kadarusman dan Parkinson (2000), batuan kompleks ofiolit berasal dari mantel atas yang telah mengalami tekanan tinggi - sangat tinggi berkaitan dengan proses subduksi dan tumbukan selama Kapur Tengah-Miosen.

Kehadiran mineral garnet mengindikasikan batuan tersebut telah mengalami proses metamorfisme. Mineral garnet terbentuk dalam fasies granulit pada kondisi temperatur dan tekanan tinggi, akibat proses metamorfisme regional atau pada

kontak sesar pada kedalaman tertentu (William et al., 1954; Kadarusman and Parkinson, 2000). Hadirnya mineral opa_q pada peridotit mengindikasikan terbentuknya mineral logam pada batuan tersebut.

Kadarusman dan Parkinson (2000) dalam studi petrologi batuan peridotit kompleks ophiolit di sekitar area penelitian, menyebutkan bahwa batuan peridotit terusun oleh mineral olivin, ortopiroksen, klinopiroksen, dan garnet. Pada beberapa kristal besar olivin mengandung sejumlah kecil bijih ilmenit dan magnetit serta *lamellae* kromit.

Hasil fotomikrograf sayatan poles bijih magnetit pada 5 sampel bijih besi (Lampiran 6) menunjukkan komposisi mineral bijih terdiri atas kromit ($\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$), magnetit (Fe_3O_4), hematit (Fe_2O_3) dan besi hidroksida (*hydrous iron oxides*). Pada setiap sampel bijih besi, bijih kromit selalu muncul meskipun tidak dominan, *isotrop*, bentuk anhedral hingga subhedral, rounded, tersebar, sebagian nampak telah digantikan oleh magnetit. Magnetit selalu muncul dominan, *isotrop*, bentuk granular berbutir halus, subhedral hingga anhedral, beberapa nampak dengan bentuk yang massif berongga, tersebar dan menggantikan kromit, maupun mengisi retakan bersama silikat, sebagian tampak berubah ke hematit dan *hidrous iron oxide* (Foto 5.14 dan 5.15).



Hematit, anisotrop, subhedral, berbutir halus, terdapat bersama magnetit menggantikan magnetit, sebagian telah berubah ke *hydrous iron oxides*. Besi hidroksida diinterpretasikan sebagai mineral bijih gutit. Mineral gutit terbentuk oleh proses oksidasi yang paling dekat dengan permukaan (Lewis et al., 2006).

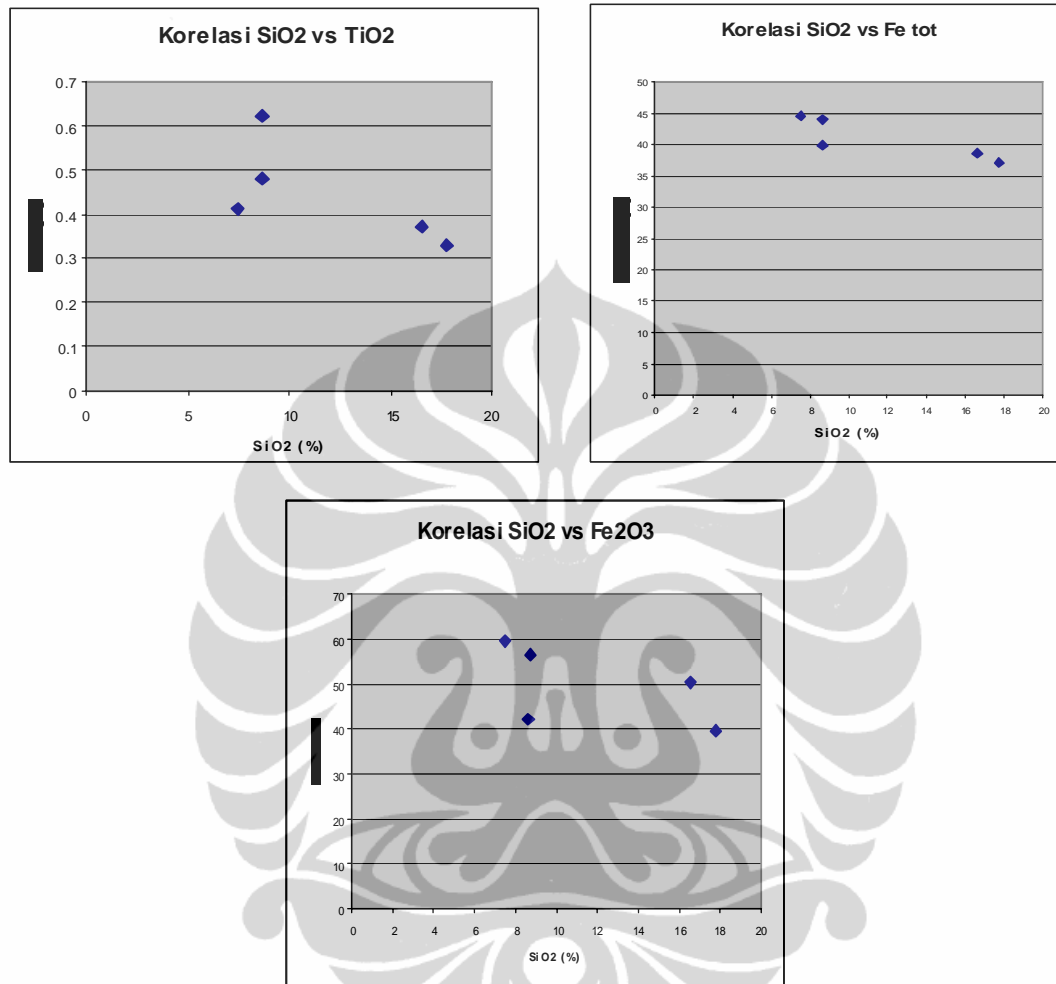
Pembentukan endapan bijih besi di daerah penelitian berasosiasi dengan batuan mafik dan ultramafik, dan diperkirakan terbentuk oleh proses *gravity settling* dalam magma yang berkomposisi basa-ultrabasa, yang diindikasikan oleh munculnya mineral bijih kromit dan magnetit. Menurut Jensen and Batemen (1981) dalam magma ultrabasa, unsur-unsur berdaya larut rendah akan mengkristal pertama, termasuk beberapa mineral asesori seperti apatit, zirkon, ilmenit, magnetit dan kromit. Proses pembentukan kromit dan magnetit berasosiasi dengan batuan mafik-ultramafik selama proses *early magmatic - late magmatic* (Jensen and Batemen, 1981) atau dalam *fasa liquid magmatic* (Tanner et al., 1995).

5.2.2. Data Analisa Kimia dan Interpretasi

Kandungan unsur pada ke 5 sampel bijih besi bervariasi (Tabel 5.1), terlihat adanya korelasi negatif antara Fe total dan TiO dengan SiO₂ (Gambar 5.1). Perilaku unsur tersebut juga terjadi pada batuan bijih besi yang diambil dari inti bor (Gambar 5.3). Menurut Pang et al. (2007) terjadinya proses pengayaan Fe dan Ti dengan penurunan SiO₂ akan memerlukan tekanan tinggi; kondisi ini kemungkinan terbentuk oleh diferensiasi magma yang berasal dari mantel pada dasar kerak dibawah tekanan ~10 kbar. Selain kandungan SiO₂ rendah, dalam bijih besi juga terkandung unsur MgO dan CaO serta tidak atau sangat kecil mengandung unsur K₂O dan Na₂O mengindikasikan bijih besi berasal dari magma induk yang berkomposisi basa-ultrabasa.

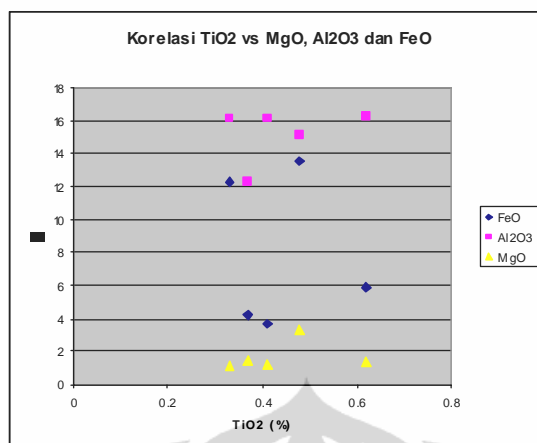
Bijih kromit (FeO.Cr₂O₃) selalu muncul pada sampel bijih besi, meskipun tidak dominan. Kehadirannya berkorelasi dengan kandungan unsur Cr yang rendah

(0,63% – 0,79%). Rendahnya kandungan bijih kromit kemungkinan karena proses *replacement* menjadi magnetit.



Gambar 5.1. Korelasi unsur-unsur TiO₂, Fe total , Fe₂O₃ dengan SiO₂

Mineral bijih magnetit (Fe₃O₄) muncul dominan dalam setiap sampel, selain sebagai hasil proses pergantian mineral bijih kromit, kemungkinan juga merupakan hasil pengendapan langsung bersama kromit dari proses *gravity settling* dalam cairan magma basa-ultrabasa. Kehadiran magnetit yang dominan dibuktikan oleh kandungan FeO dan Fe₂O₃ yang tinggi (Tabel 5.1). Selain itu terdapat korelasi yang cenderung positif antara Al₂O₃, MgO dan FeO dengan TiO₂ (Gambar 5.2) yang merupakan karakteristik bijih besi yang pembentukannya berasosiasi dengan batuan ultramafik (Pang et al., 2007).



Gambar 5.2. Korelasi TiO_2 dengan Al_2O_3 , MgO , dan FeO

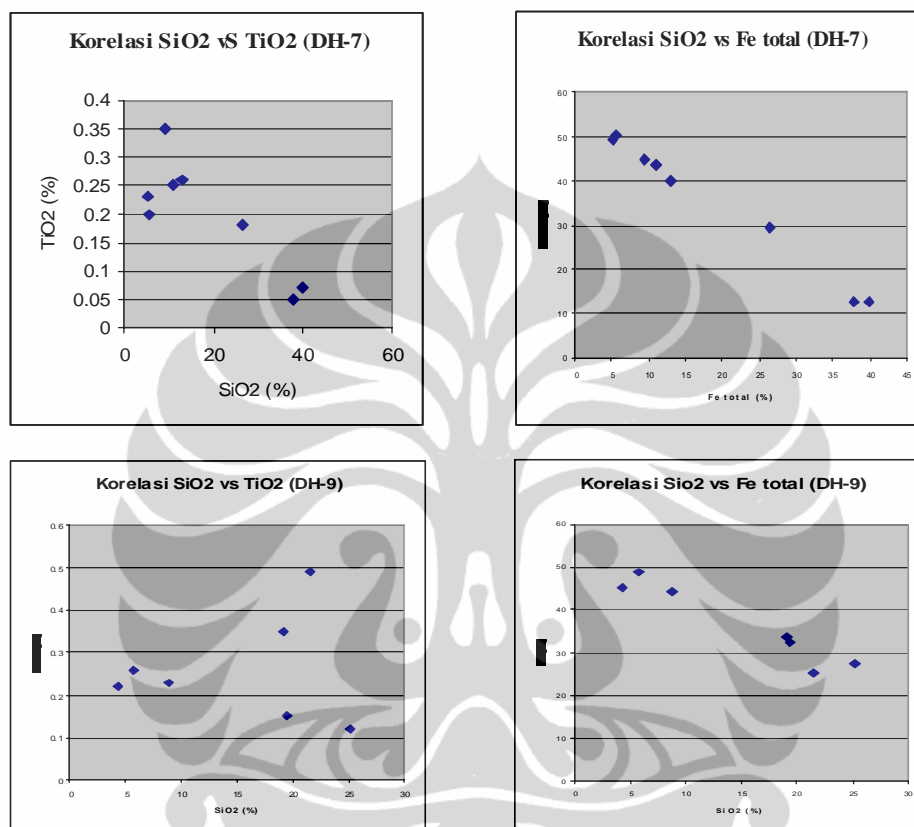
Kehadiran hematit umumnya terlihat menggantikan magnetit dan terdapat bersama dengan magnetit. Kandungan unsur Fe_2O_3 yang tinggi berasosiasi dengan terbentuknya mineral bijih tersebut. Tidak menutup kemungkinan terbentuknya hematit di daerah penelitian langsung dari proses magmatik. Menurut Hwang et al. (2008) dalam pengendapan magnetit dan hematit dengan magma induk mafik-ultramafik terdapat 2 tipe oksida besi yaitu magnetit kromian dan hematit titanian kromian. Besi hidroksida tampak menggantikan magnetit dan hematit yang diinterpretasikan sebagai mineral gutit. Mineral gutit terbentuk pada zona limonit dalam endapan laterit (Lewis et al., 2006).

5.2.3. Data Analisa XRF dan Interpretasi

Data pemboran di 3 lokasi (Lampiran 2 dan 4) dengan kedalaman paling dalam 12 m, menunjukkan litologi batuan dari atas hingga ke bawah terdiri atas soil, limonit, bijih besi dan batuan ultramafik lapuk. Pada ke 3 data bor menunjukkan bijih besi terdapat pada kedalaman mulai dari 0,65 m hingga 3,1 m dengan panjang inti bor batuan bijih besi bervariasi antara 4,3 – 6,6 m.

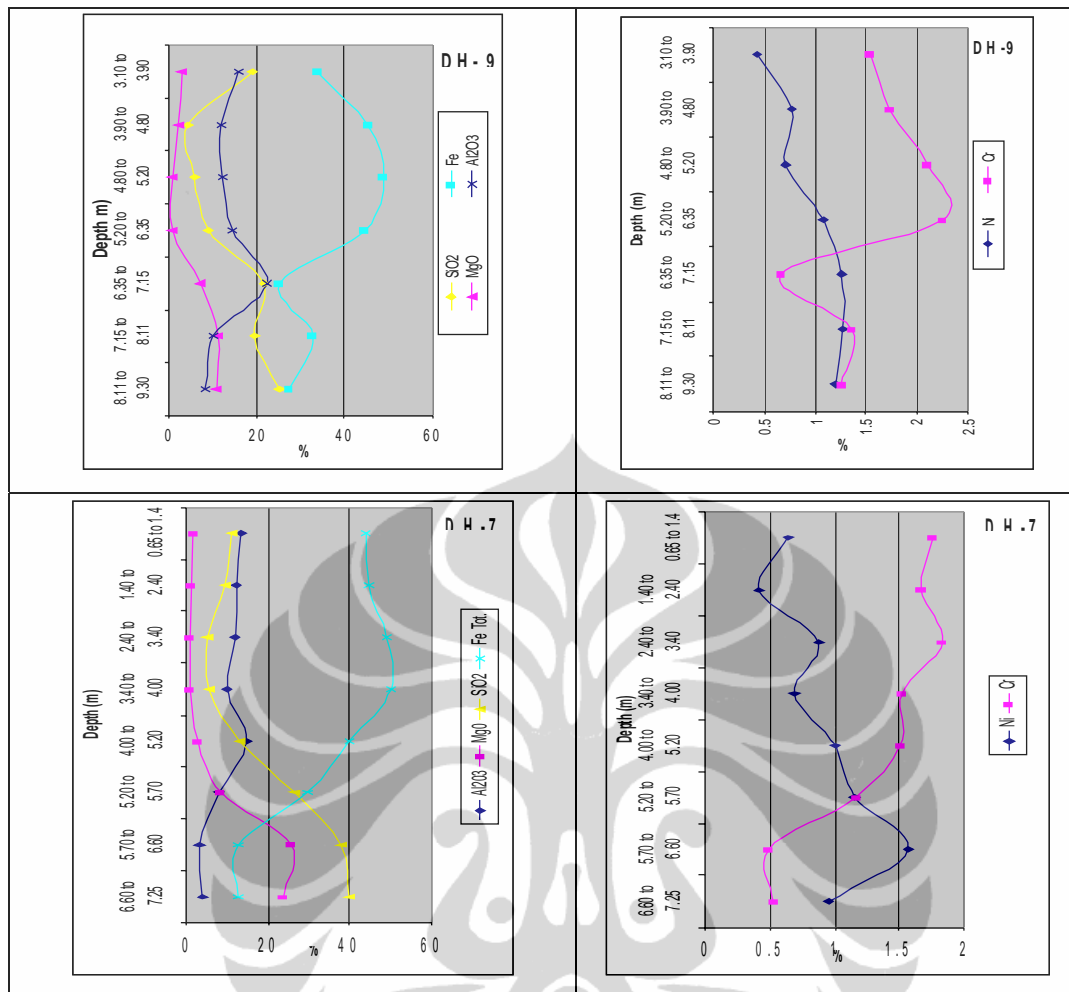
Hasil analisa XRF sampel bijih besi dari inti bor (Lampiran 7) dengan kedalaman bervariasi, diperoleh kandungan unsur logam Fe berkisar 12,6% - 50,3%, unsur

Ni berkisar 0,41% - 1,57 dan unsur Cr berkisar 0,46% - 2,25%. Kandungan SiO_2 rendah, dan kandungan unsur Fe, MgO dan CaO yang signifikan, serta kandungan unsur K_2O dan Na_2O sangat rendah diperkirakan bijih besi di daerah penelitian berasal dari magma induk yang berkomposisi basa-ultrabasa.



Gambar 5.3. Korelasi unsur-unsur Fe, TiO_2 dengan SiO_2

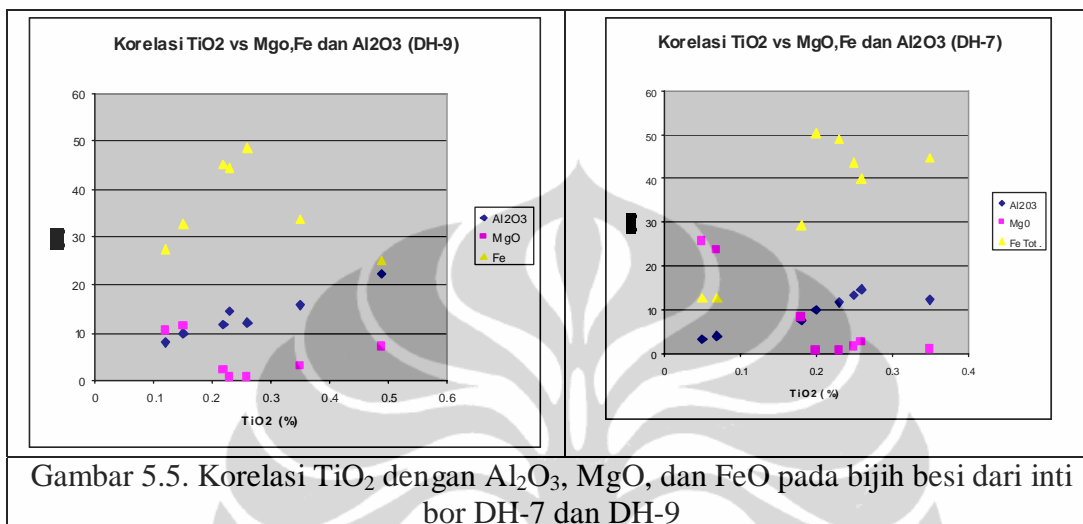
Jika dilihat korelasi antara kandungan unsur-unsur pembentuk bijih besi dengan kedalaman (Gambar 5.4) terdapat kenaikan kandungan unsur logam Fe, Al_2O_3 , dan Cr yang menunjukkan adanya pengayaan unsur tersebut, sementara pada unsur SiO_2 , MgO dan Ni terjadi penurunan. Kondisi ini terjadi akibat peran proses oksidasi yang dominan (Lewis et al., 2006), dan pada endapan bijih besi di daerah penelitian, makin ke arah permukaan proses oksidasi semakin dominan.



Gambar 5.4. Korelasi kedalaman dengan kandungan unsur dalam batuan bijih besi pada di 2 lokasi pemboran

Kehadiran unsur-unsur Zn, As dan sulfur dalam bijih besi, meskipun sangat kecil, merupakan indikasi adanya pembentukan mineral sulfida. Terbentuknya mineral sulfida mengindikasikan adanya proses hidrotermal namun belum begitu kuat. Proses hidrotermal berasosiasi dengan intrusi batuan granitis (Jensen and Batemen, 1981; Tanner et al., 1995). Penafsiran ini juga didukung oleh hadirnya unsur alkali, K₂O dan Na₂O, meskipun dalam persentase sangat kecil. Di daerah penelitian tidak terdapat batuan intrusi granitis, namun secara regional terdapat intrusi granit Kambuno yang berjarak sekitar 32 km di sebelah selatan daerah penelitian.

Korelasi antara Al_2O_3 , dan FeO dengan TiO_2 terlihat cenderung positif, sementara unsur MgO cenderung menurun (Gambar 5.5). Karakteristik kimia tersebut diperkirakan bahwa pembentukan bijih besi berasosiasi dengan pembentukan mineral-mineral mafik dalam magma yang berkomposisi basa-ultrabasa.



Gambar 5.5. Korelasi TiO_2 dengan Al_2O_3 , MgO , dan FeO pada bijih besi dari inti bor DH-7 dan DH-9

Dari interpretasi data analisa mineralogi, kimia dan XRF diperkirakan endapan bijih besi di daerah penelitian merupakan hasil pengendapan langsung bersama kromit dari proses *gravity settling* dalam cairan magma basa-ultrabasa. Pengendapan bijih besi ini kemungkinan bersamaan dengan pembentukan batuan peridotit-gabro yang terdapat di daerah penelitian. Kemudian endapan bijih besi mengalami proses pergantian (*replacement*) mineral dan proses oksidasi membentuk mineral bijih hematit dan gutit (besi hidroksida), kemungkinan akibat pengaruh proses hidrotermal.

5.3. Interpretasi Terpadu

Dalam interpretasi ini menggunakan data geologi dan pemboran yang dikorelasikan dengan data *resistivity* dan IP hasil proses inversi untuk mendapatkan gambaran distribusi *resistivity* dan IP di bawah permukaan yang merefleksikan sebaran batuan serta bentuk geometri endapan bijih besi.

Pada lintasan pengukuran Line-5 dan Line-9 melalui singkapan batuan ultramafik dan endapan laterit (Lampiran 2). Pada lintasan Line-5, singkapan memperlihatkan urutan litologi vertikal terdiri atas soil dan limonit, kedalamna 1–1,5 m; batuan ultramafik lapuk, lunak dan lepas-lepas, kedalaman 1–6 m; dan terbawah batuan ultramafik-mafik kompak dan tidak lapuk (Lampiran 8). Singkapan endapan laterit dengan ketebalan 4 – 5 meter yang dilalui oleh lintasan geolistrik Line-9 tersusun oleh rombakan fragmen batuan ultramafik-mafik dan batuan bijih besi dalam matriks soil dan limonit (Lampiran 9).

Dari korelasi singkapan batuan dengan nilai *resistivity* dan *chargeability* pada Line-5 dan Line-9 diinterpretasikan kisaran nilai *resistivity* dan *chargeability* limonit dan batuan ultramafik-mafik adalah sebagai berikut :

Tabel 5.2. Interpretasi korelasi singkapan batuan dengan nilai *resistivity* dan *Chargeability*

Litologi	<i>Resistivity</i> (ohm.m)	<i>Chargeability</i> (msec)
Soil dan Limonit	29 – 125	3,5 – 17
Batuan ultramafik-mafik lapuk	87 – 257	0 – 24
Batuan ultramafik kompak	257 – 1000	0 – 24

Data pemboran yang diperoleh, tersebar di 3 lokasi (Lampiran 2), namun yang berada pada lintasan geolistrik hanya 2 titik bor, yaitu DH-3 dan DH-7.

Pada Line-5, kedalaman pemboran (DH-3) sampai 10 m, inti batuan bijih besi terdapat pada kedalaman 2,2 m hingga 6,5 m (Lampiran 10). Interpretasi nilai *resistivity* batuan bijih besi pada kedalaman tersebut berkisar 87 – 257 ohm.m dan kisaran nilai *chargeability* 24 – 100 msec. Batuan ultramafik-mafik lapuk pada kedalaman 6,5 m hingga 10 m mempunyai kisaran nilai *resistivity* 20 – 42 ohm.m dan kisaran nilai *chargeability* 3 – 24 msec.

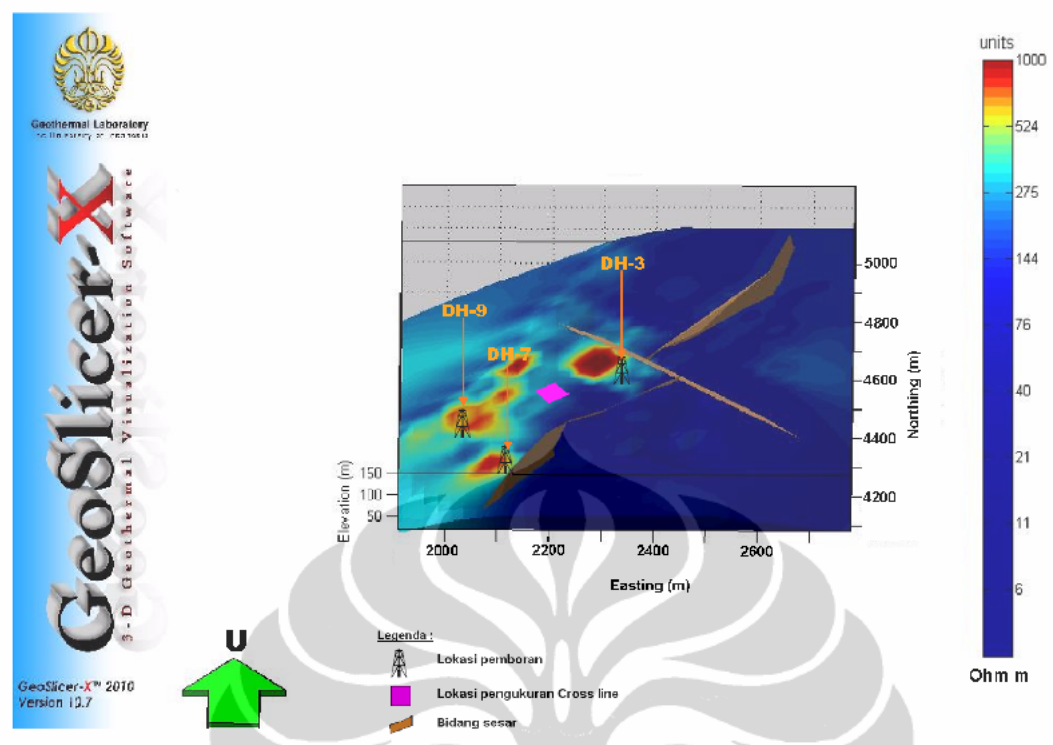
Pada Line-9, kedalaman pemboran (DH-7) sampai 7,25 m, inti batuan bijih besi terdapat pada kedalaman 0,65 m hingga 7,25 m (Lampiran 11). Interpretasi nilai *resistivity* bijih besi pada kedalaman tersebut berkisar 40 – 125 ohm.m dan pada kisaran nilai *chargeability* 24 – 45 msec.

Hasil interpretasi dari korelasi kisaran nilai *resistivity* dan IP dengan litologi batuan di daerah penelitian, yang diperoleh dari korelasi singkapan endapan limonit, batuan ultramafik-mafik dan data bor dengan profil *resistivity* dan IP 2 dimensi pada Line-5 dan Line-9 dapat dirangkum dalam tabel berikut.

Tabel 5.3. Interpretasi nilai *resistivity* dan IP litologi batuan dan bijih besi di daerah penelitian

Litologi	<i>Resistivity</i> (ohm.m)	<i>Chargeability</i> (msec)
Soil dan Limonit	29 – 125	3,5 – 17
Bijih besi	40 – 257	24 – 100
Batuan ultramafik-mafik lapuk	20 – 257	0 – 24
Batuan ultramafik-mafik kompak	257 – 1000	0 – 24

Pada Tabel 5.3 terlihat kisaran nilai *resistivity* yang relatif tinggi (257 ohm.m – 1000 ohm.m) menunjukkan kisaran nilai yang sangat kontras dengan nilai *resistivity* sekitarnya (6 ohm.m – 257 ohm.m). Kisaran nilai *resistivity* tersebut diinterpretasikan mewakili medium batuan ultramafik-mafik kompak. Material geologi lainnya seperti soil, limonit, bijih besi dan lapukan batuan ultramafik-mafik, umumnya mempunyai kisaran nilai *resistivity* yang tumpang tindih atau terdapat kesamaan nilai *resistivity*. Kisaran nilai *resistivity* 40 ohm.m - 257 ohm.m yang diinterpretasikan mewakili medium bijih besi, nampak terlihat sedikit kontras dengan nilai *resistivity* sekitarnya (dibawah 40 ohm.m) terutama yang berada di sekitar lokasi bor DH-3 dan lokasi pengukuran geolistrik 3 dimensi (Gambar 5.6).



Gambar 5.6. Model 3 dimensi *resistivity* dengan sebaran anomali *resistivity* tinggi (257 ohm.m – 1000 ohm.m) dan beberapa kontras dengan kisaran nilai *resistivity* 40 ohm.m - 257 ohm.m pada area \pm 50 hektar

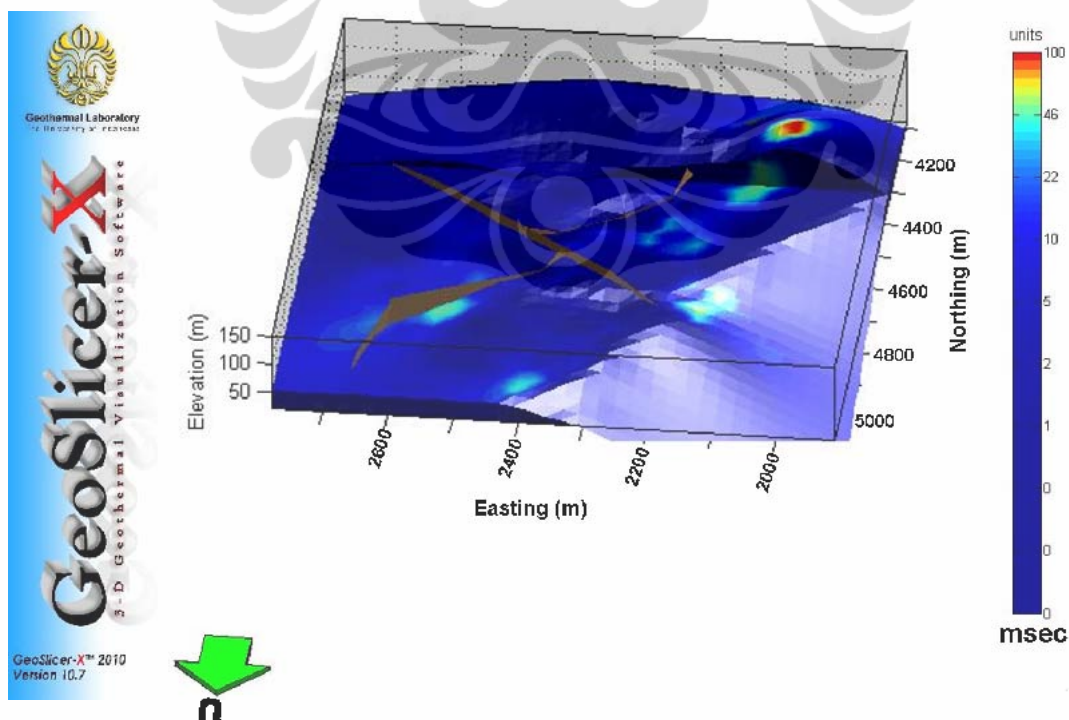
Kisaran nilai *chargeability* pada Tabel 5.3 memperlihatkan kisaran nilai yang kontras antara 24 msec -100 msec dengan nilai *chargeability* material geologi lainnya (0 msec – 24 msec). Kisaran nilai *chargeability* tersebut diinterpretasikan mewakili medium bijih besi. Oleh karena itu, dalam interpretasi potensi endapan bijih besi di daerah penelitian didasarkan pada kisaran nilai *chargeability* yang dapat menunjukkan kontras yang lebih baik dibandingkan dengan kisaran nilai *resistivity*-nya. Kisaran nilai *chargeability* 24 msec-107 msec menjadi *input isovalue* pada program GeoSlicer-X untuk pemodelan 3 dimensi endapan bijih besi di daerah penelitian.

Kisaran nilai *chargeability* bijih besi di daerah penelitian termasuk rendah, jika dibandingkan dengan *chargeability* mineral bijih sulfida (Tabel 2.1). Kondisi ini kemungkinan ada korelasinya dengan komposisi mineralogi dan kimia endapan bijih besi di daerah penelitian, dimana komposisi mineralnya didominasi oleh mineral-mineral oksida seperti kromit, magnetit dan hematit, yang diperkirakan

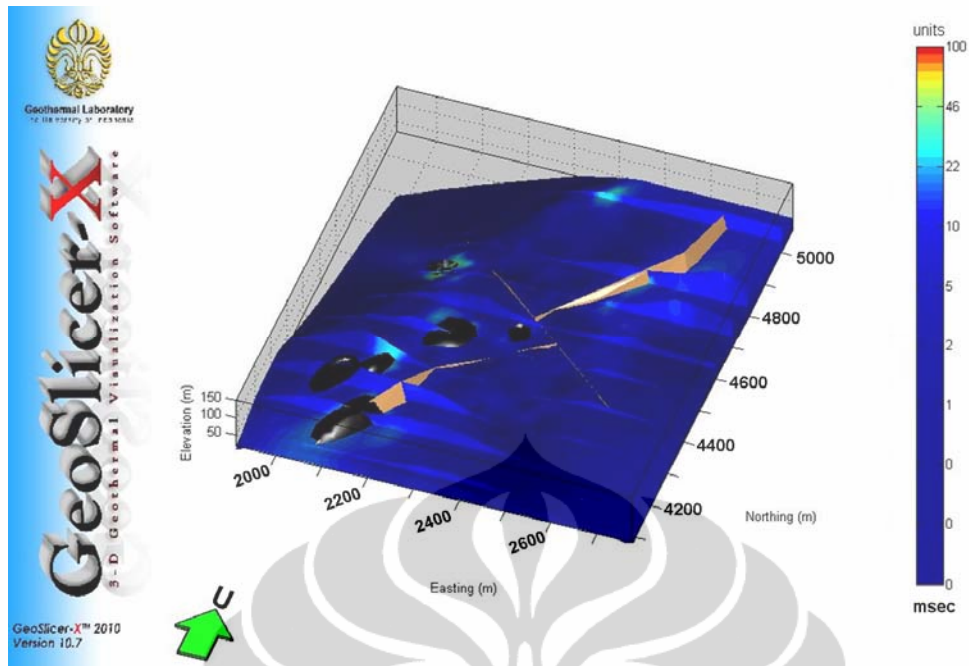
mempengaruhi kisaran nilai *resistivity* dan *chargeability* (IP) endapan bijih besi di daerah penelitian.

Dari data geologi, endapan bijih besi di daerah penelitian diinterpretasikan berbentuk lensa-lensa atau berupa laminasi endapan bijih besi. Interpretasi bentuk tubuh bijih besi tersebut akan dikaji lagi dengan pemodelan 3 dimensi endapan bijih besi berdasarkan nilai *chargeability* (IP) dengan menggunakan program GeoSlicer-X.

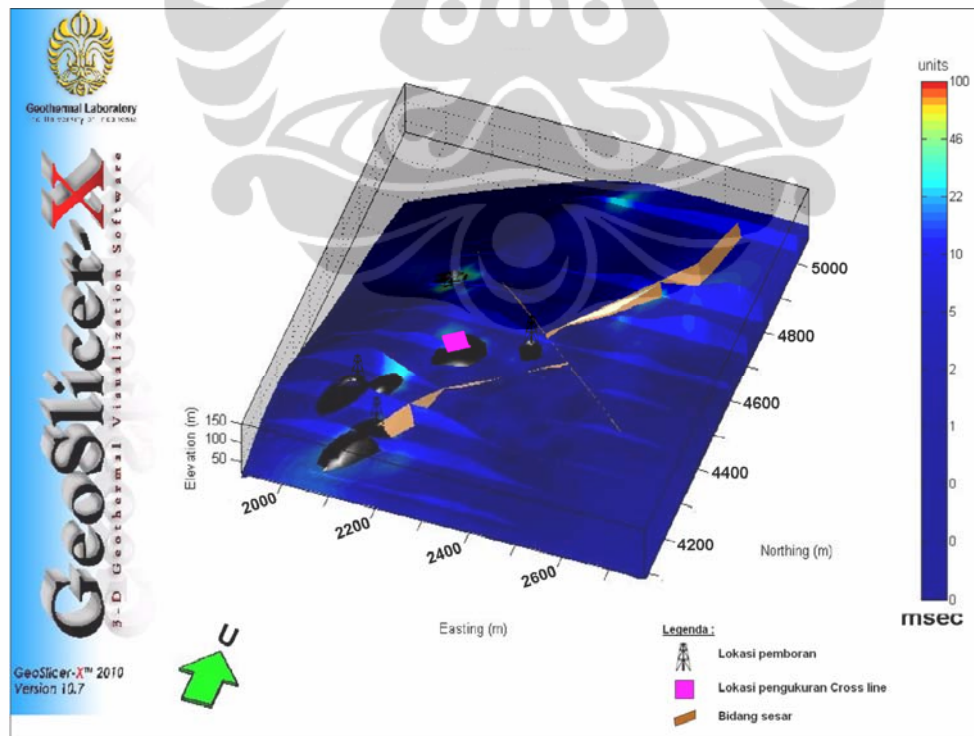
Hasil pemodelan 3 dimensi diperoleh model distribusi nilai *chargeability* seperti terlihat pada Gambar 5.7, 5.8, 5.9, 5.11 dan Gambar 5.12. Pada program GeoSlicer-X dilakukan input kisaran nilai *chargeability* 24 -107 msec (*isovalue*) diperoleh model bentuk endapan bijih besi, dimana pada model 3 dimensi di area ± 50 hektar memperlihatkan bentuk lensa-lensa panjang (*podform*) dan lensa pendek (Gambar 5.10), sedangkan model 3 dimensi pada area ± 1764 m² berbentuk kantung atau lensa tegak dan lensa kecil (Gambar 5.13).



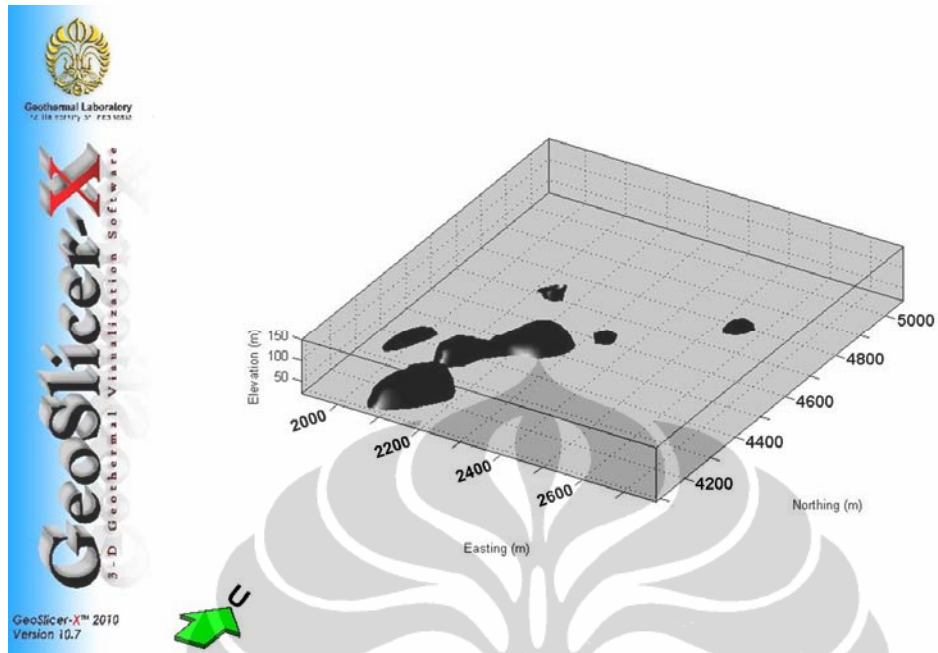
Gambar 5.7. Model 3 dimensi IP dengan sebaran anomali IP sebagai indikasi keterdapatn endapan bijih besi pada area ± 50 hektar



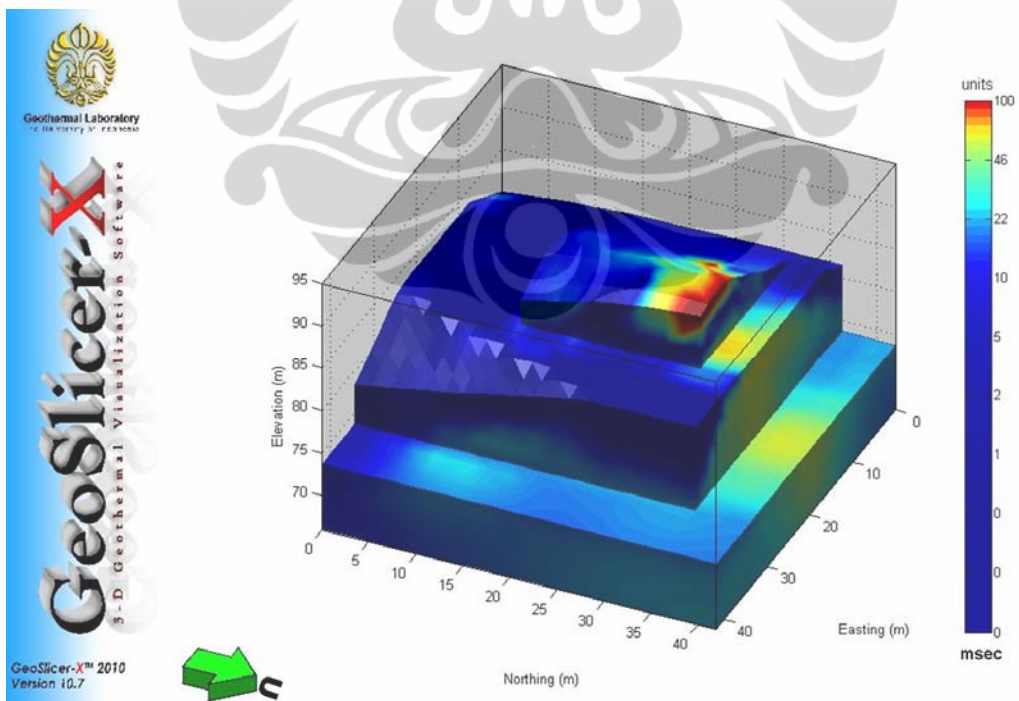
Gambar 5.8. Model 3 dimensi IP dengan sebaran endapan bijih besi yang pada kisaran nilai *chargeability* 24 -100 msec berbentuk *podform* dan lensa kecil pada area \pm 50 hektar



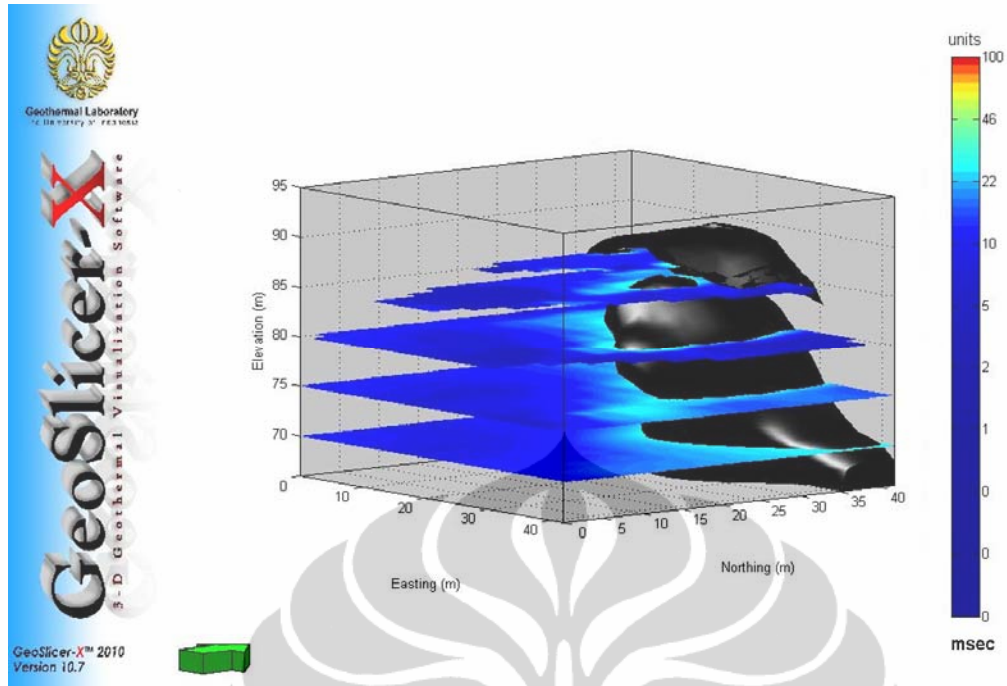
Gambar 5.9. Model 3 dimensi IP dan sebaran endapan bijih besi yang dikorelasikan dengan lokasi pemboran dan lokasi pengukuran geolistrik 3D pada area \pm 50 hektar



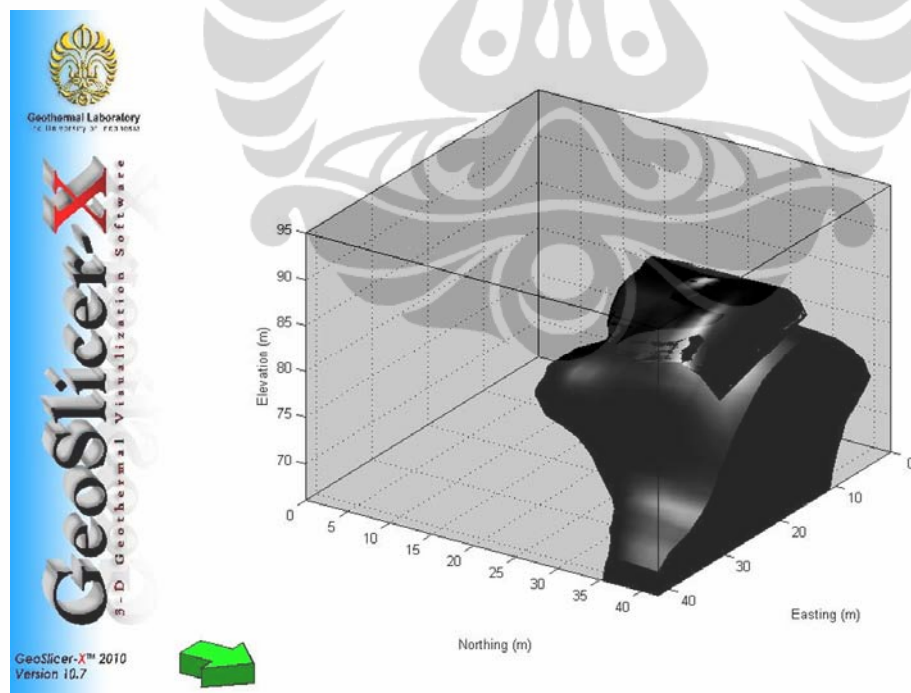
Gambar 5.10. Model 3 dimensi bentuk endapan bijih besi dan penyebarannya di bawah permukaan pada area ± 50 hektar



Gambar 5.11. Model 3 dimensi IP dengan kontras nilai IP sebagai indikasi keberadaan endapan bijih besi pada area $\pm 1764 \text{ m}^2$.



Gambar 5.12. Model 3 dimensi IP dan bentuk endapan bijih besi pada kisaran nilai *chargeability* 24 -100 msec pada area $\pm 1764 \text{ m}^2$.

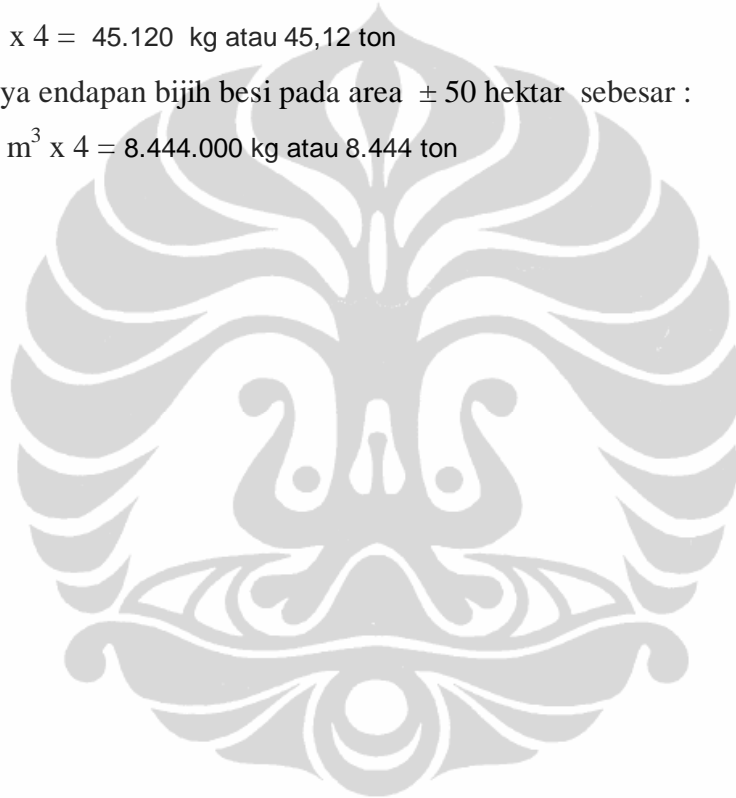


Gambar 5.13. Model 3 dimensi bentuk endapan bijih besi pada area $\pm 1764 \text{ m}^2$.

5.4. Perhitungan Cadangan

Dalam perhitungan cadangan endapan bijih besi di daerah penelitian digunakan *software Rockware* untuk volume endapan bijih besi. *Density* bijih besi diasumsikan 4 kg/m^3 . Hasil proses perhitungan volume endapan bijih besi ini diklasifikasikan sebagai sumberdaya. Sumberdaya endapan bijih besi pada kedua area adalah sebagai berikut

1. Sumberdaya endapan bijih besi pada area $\pm 1764 \text{ m}^2$ sebesar :
 $11.280 \text{ m}^3 \times 4 = 45.120 \text{ kg}$ atau 45,12 ton
2. Sumberdaya endapan bijih besi pada area ± 50 hektar sebesar :
 $2.111.000 \text{ m}^3 \times 4 = 8.444.000 \text{ kg}$ atau 8.444 ton



BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

1. Endapan bijih besi di daerah penelitian terdapat dalam Satuan Batuan Ultramafik-mafik yang disusun oleh gabro dan peridotit. Bijih besi berkomposisi mineral bijih kromit, magnetit, dan hematit. Berdasarkan komposisi mineralogi dan kimia, pembentukan endapan bijih besi diduga bersamaan dengan kromit oleh proses *gravity settling* dalam cairan magma basa-ultrabasa, kemudian endapan tersebut mengalami proses *replacement* dan oksidasi
2. Dalam proses *forward modelling* diperoleh parameter model berbentuk elips dan *rektangular* dengan nilai *resistivity* 10 ohm.m, 20 ohm.m dan nilai IP 0,1 mV/V dan 0,15 mV/V dalam medium dengan nilai *resistivity* 110 ohm.m dan nilai IP 0,00 mV/V, yang menghasilkan kisaran nilai *resistivity* dan *chargeability* semu serta bentuk geometri yang mendekati atau hampir sama dengan kisaran nilai *resistivity* dan *chargeability* semu data pengukuran serta bentuk geometri hasil pemodelan inversi data pengukuran.
3. Hasil pemodelan inversi data *resistivity* memperlihatkan distribusi *resistivity* di bawah permukaan berkisar 6 ohm.m – 1000 ohm.m. Hasil interpretasi data *resistivity* dan interpretasi terpadu menunjukkan anomali *resistivity* tinggi berkisar 257 ohm.m–1000 ohm.m yang diinterpretasikan mewakili medium batuan ultramafik-mafik. Pada kisaran nilai *resistivity* 40 ohm.m - 257 ohm.m diinterpretasikan mewakili medium bijih besi, namun kisaran nilai *resistivity* tersebut juga mewakili medium lapukan batuan ultramafik-mafik, limonit dan batuan sedimen. Kemudian pada kisaran nilai *resistivity* 6 ohm.m - 40 ohm.m diinterpretasikan mewakili medium limonit dan batuan sedimen.

4. Hasil pemodelan inversi data IP memperlihatkan distribusi nilai *chargeability* 0 – 100 msec di bawah permukaan. Hasil interpretasi data IP dan interpretasi terpadu menunjukkan anomali nilai *chargeability* dengan kisaran 24 msec – 100 msec yang memperlihatkan kontras yang baik dengan nilai sekitarnya (0 msec – 24 msec). Kisaran nilai *chargeability* tersebut diinterpretasikan mewakili medium bijih besi yang terdapat di daerah penelitian.
5. Dari hasil interpretasi tersebut menunjukkan bahwa distribusi nilai *resistivity* di bawah permukaan kurang memperlihatkan kontras *resistivity* yang baik, jika dibandingkan dengan distribusi nilai *chargeability* yang memperlihatkan kontras yang lebih baik di bawah permukaan. Oleh karena itu dalam pemodelan 3 dimensi endapan besi didasarkan pada kisaran nilai *chargeability* 24 msec – 100 msec untuk mendapatkan bentuk geometrinya.
6. Pemodelan 3 dimensi endapan bijih berdasarkan parameter IP dengan kisaran nilai *chargeability* antara 24 msec – 100 msec, diperoleh bentuk model endapan bijih besi berupa lensa – lensa panjang (podform), kantung/lensa tegak dan lensa- lensa kecil.
7. Sumberdaya endapan bijih besi di daerah penelitian sebesar 8.444 ton

6.2. Saran

1. Pada pengukuran geolistrik dengan susunan lintasan paralel disarankan menggunakan jarak antar lintasan yang lebih pendek, spasi 25 m atau 50 m, untuk mendapatkan data *resistivity* dan IP yang lebih lengkap dan representatif, sehingga diperoleh cadangan bijih besi yang lebih akurat.
2. Pada lokasi-lokasi tertentu yang diinterpretasikan terdapat indikasi endapan bijih besi di bawah permukaan berdasarkan survey geolistrik dan geologi, disarankan untuk melakukan survey *resistivity* 3 dimensi dengan spasi elektroda 2-3 m.

DAFTAR REFERENSI

- Daud, Y., & Saputra, R., 2010. GeoSlicer-X – A 3-D interactive software for geothermal data analysis. Bali : Proceeding of WGC 2010, 1-5.
- Deer, W.A., Howie, R.A., & Zussman, J., 1992. An Introduction to the rock-forming minerals (2nd ed). London : Longman.
- Grandis, H., 2007. Materi kuliah geolistrik dan elektromagnetik. Teknik Geofisika. ITB.
- Gross, G.A., Gower, C.F., & Lefebure, D.V., 1998. Magmatic Ti-Fe±V oxide deposits. British Columbia Ministry of Employment and Investment, 1, 24J-1 - 24J-3. [http://www.unalmed.edu.co/rrodriguez/magmatic Ti-Fe oxide deposits.htm](http://www.unalmed.edu.co/rrodriguez/magmatic%20Ti-Fe%20oxide%20deposits.htm)
- Hamilton, W., 1979. Tectonics of the Indonesian Region. U.S. Geol. Survey Prof. pp. 1078.
- Herman, R., 2001. An Introduction to electrical resistivity in geophysics. American Journal Physics, 69(9), 943-952. September 2001. <http://ojps.aip.org/ajp>
- Hwang, S.L. et al., 2008. Hematite and magnetite precipitates in olivine from the Sulu peridotite. American Mineralogist, 93, 1051-1060. <http://www.earth.sinica.edu.tw/~epma/papers/2008/Hwang-AmMin-93.pdf>
- Jensen, M., & Bateman, A.M., 1981. Economic Mineral Deposits. Canada : Jhon Wiley and Sons Inc.
- Kadarusman, A., & Parkinson, C.D., 2000. Petrology and P-T evolution of garnet peridotites from Central Sulawesi. Journal Metamorphic Geology, 18, 193-209.
- Katili, J.A., 1978. Past and present geotectonic position of Sulawesi, Indonesia. Tectonophysics, 45, 289-322.
- Loke, M.H., 2000. Electrical imaging survey for environmental and engineering studies. A practical guide to 2D and 3D survey. <http://www.terrapius.com>
- Loke, M.H., 2001. Res3Dmod (version 2.1). 3D resistivity and IP forward modelling using the finite-difference and finite-element methods.. Malaysia : Geotomo Software.
- Loke, M.H., 2004. Res2Dinv (version 3.54). Rapid 2D resistivity and IP inversion using the least-squares method. Malaysia : Geotomo Software.
- Loke, M.H., 2004. Res3Dinv (version 2.14). Rapid 3D resistivity and IP inversion using the least-squares method. Malaysia : Geotomo Software.

Lowrie, W., 2007. *Fundamental of Geophysics* (2nd ed.). New York : Cambridge University Press.

Mondal, S.K., 2008. Orthomagmatic ore deposits related to ultramafic-mafic rocks. *Journal of the Geological Society of India*, 72, 583-594. <http://sisirgeology.googlepages.com/contents.pdf>

Pang, K.N., Zhou, M.F., Lindsley, D., Zhao, D., & Malpas, J., 2007. Origin of Fe-Ti oxide ores in mafic intrusions. Evidence from the Panzhihua Intrusion, SW China. *Journal of Petrology*, 10, 1 – 26. <http://earthsci.org/mineral>

Pardiarto, B., & Widodo, W., 2007. Genesa besi dan alumina laterit. *Kelompok Kerja Mineral. Pusat Sumber Daya Geologi Bul.*,3,14-24.

Simandjuntak, T.O., Surono, & Supandjono, J.B., 1997. Peta geologi lembar Poso, Sulawesi. Bandung : Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

Sudradjat, M.D.,1987. *Geologi Ekonomi*. Jurusan Geologi. ITB. Bandung : Laboratorium Geologi Ekonomi.

Sukanto, R., & Simandjuntak, T.O., 1983. Tectonic relationship between geologic provinces of Western Sulawesi, Eastern Sulawesi and Banggai-Sula in the light of sedimentological aspects. *Indonesian Geological Research Development Centre Bull*, 7, 1-12.

Surono & Sukarna, D., 1995. The Eastern Sulawesi Ophiolite Belt, Eastern Indonesia. A review of it's origin with special reference to the Kendari Area. *Journal of Geology and Mineral Resources*, 46, 8-16.

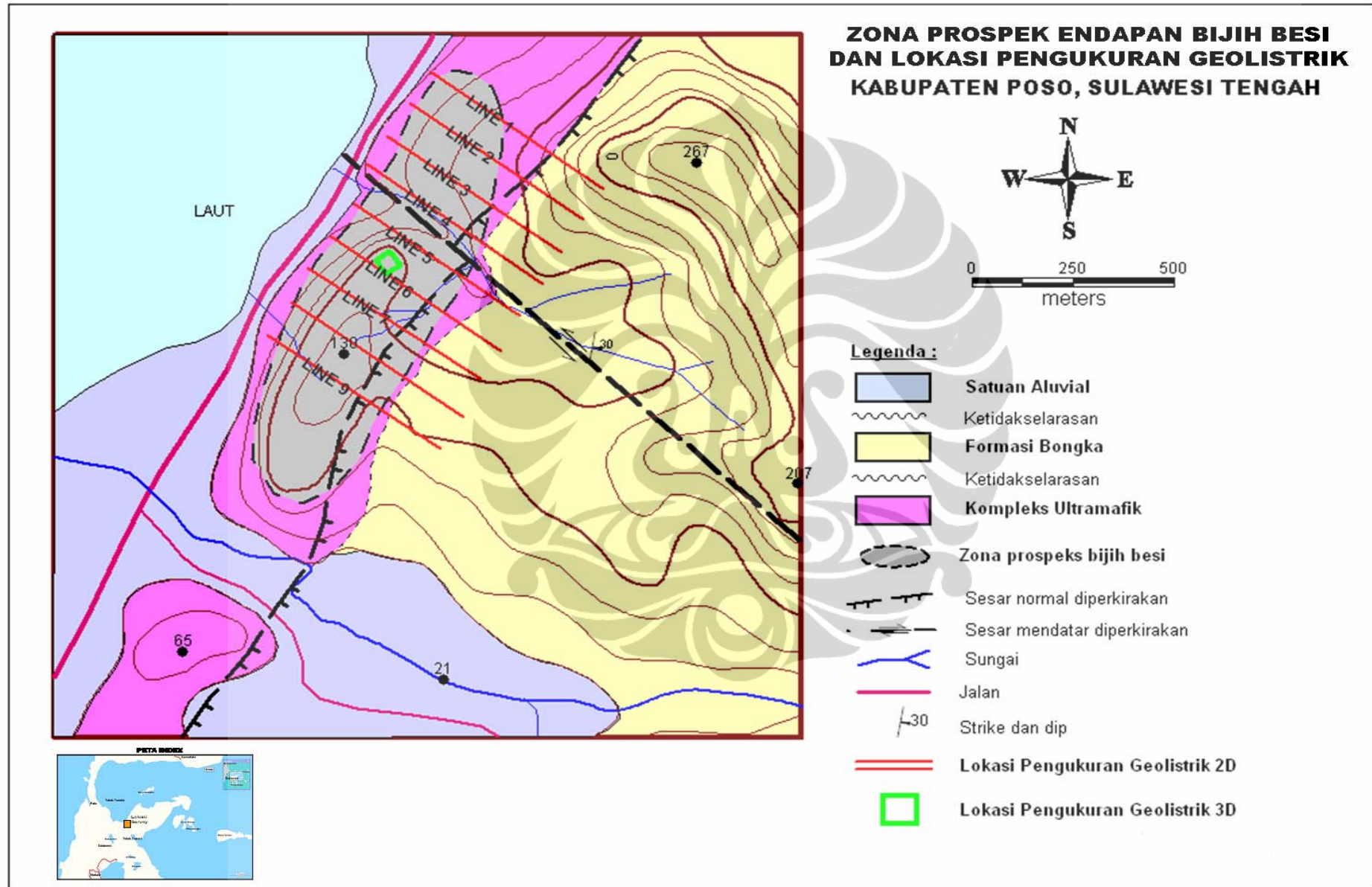
Sutisna, D.T., 1995. Tinjauan umum potensi dan pemanfaatan cebakan bijih besi di Indonesia. *Kelompok Kerja Mineral. Pusat Sumber Daya Geologi Bul.*, 3, 1-13

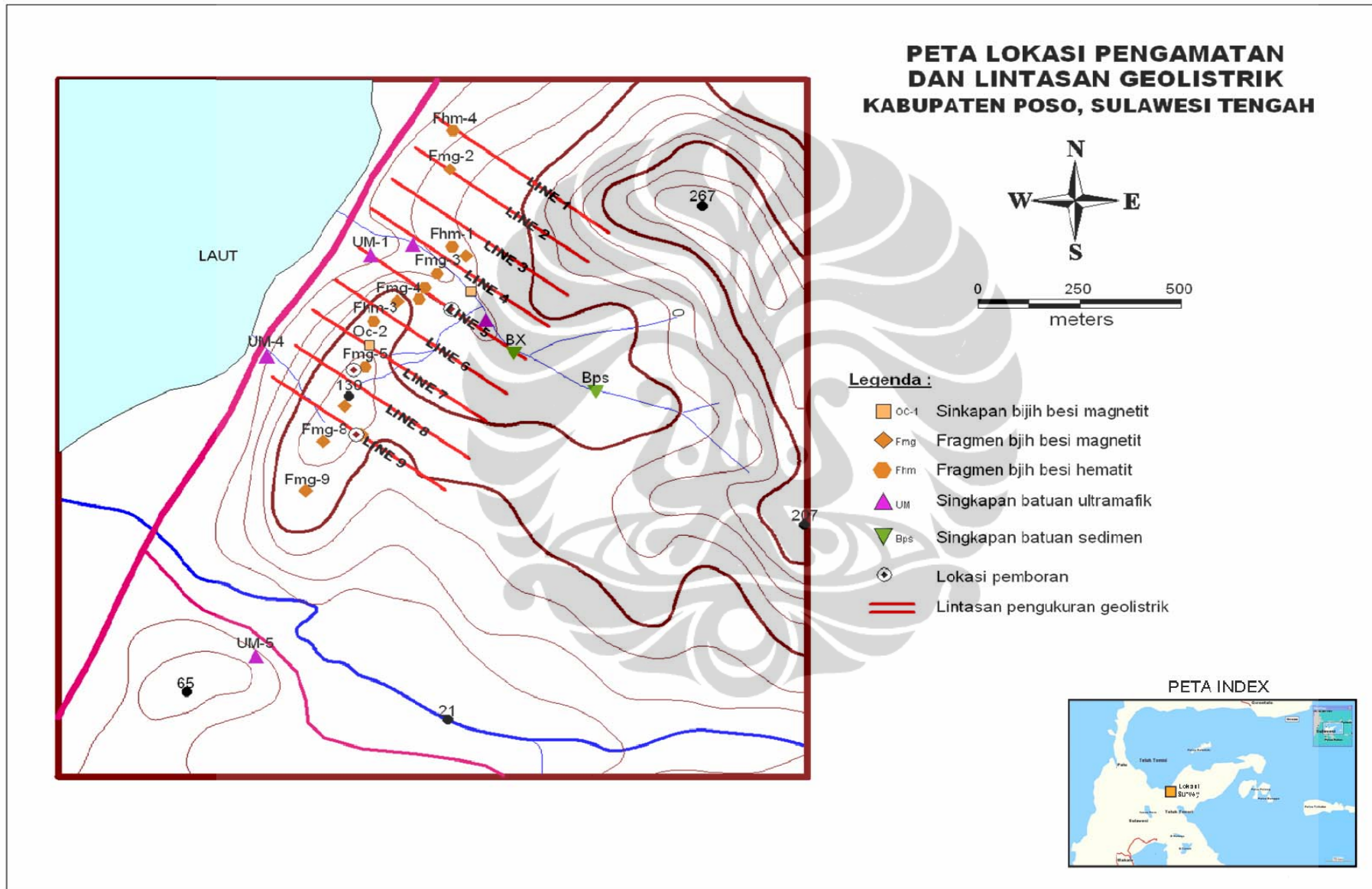
Tanner, U., Henrik., S., Emil, M., & Sonmez., S.,1995. Genesis of the Divrigi iron ore deposits. Turkey: *Mineral Resources Bull.*, 117, 17-28. http://www.mta.gov.tr/v2.0/eng/dergi_pdf/117/3.pdf

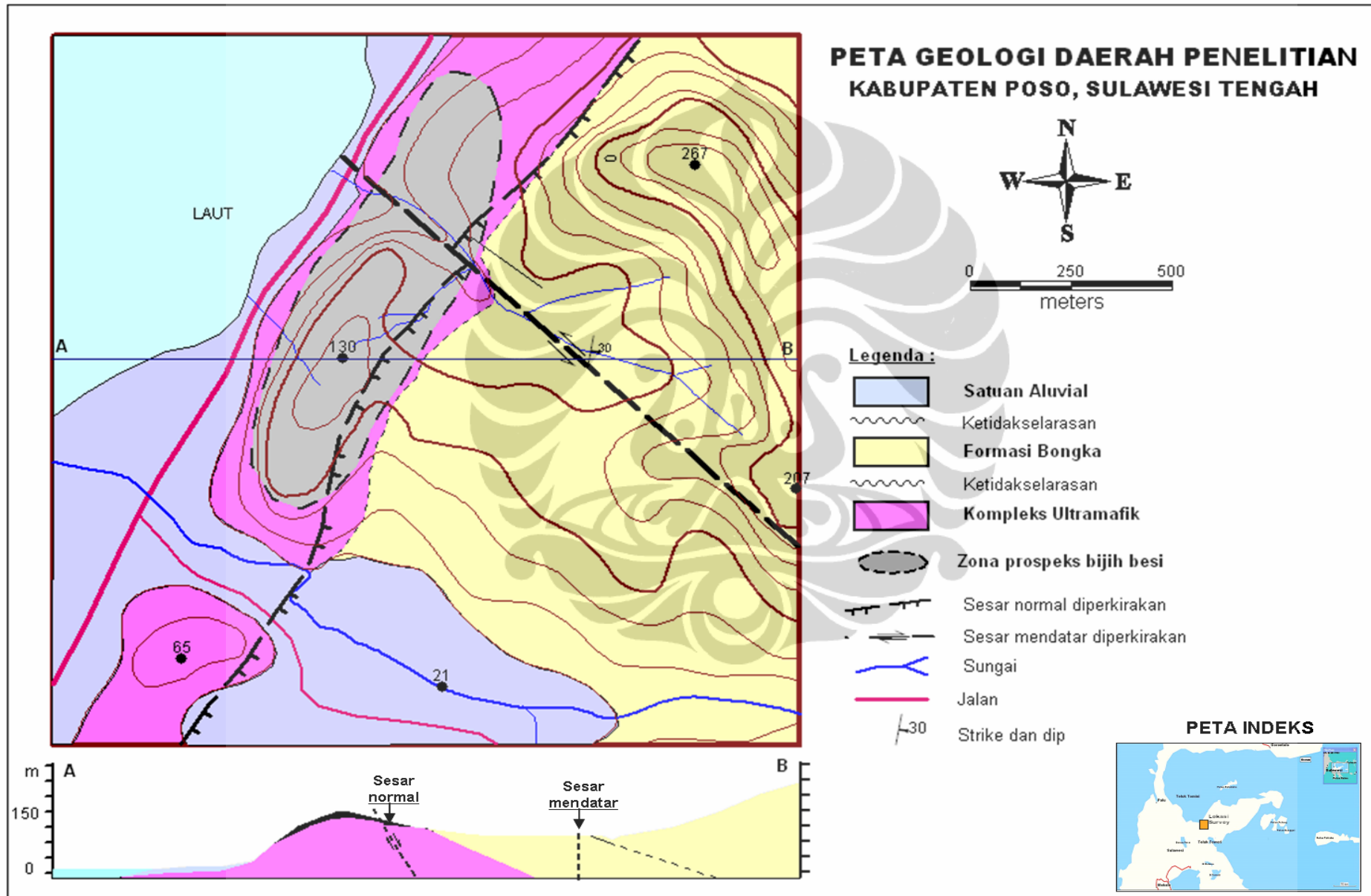
Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff R. E. 1990. *Applied Geophysics* (2nd ed). New York : Cambridge University Press.

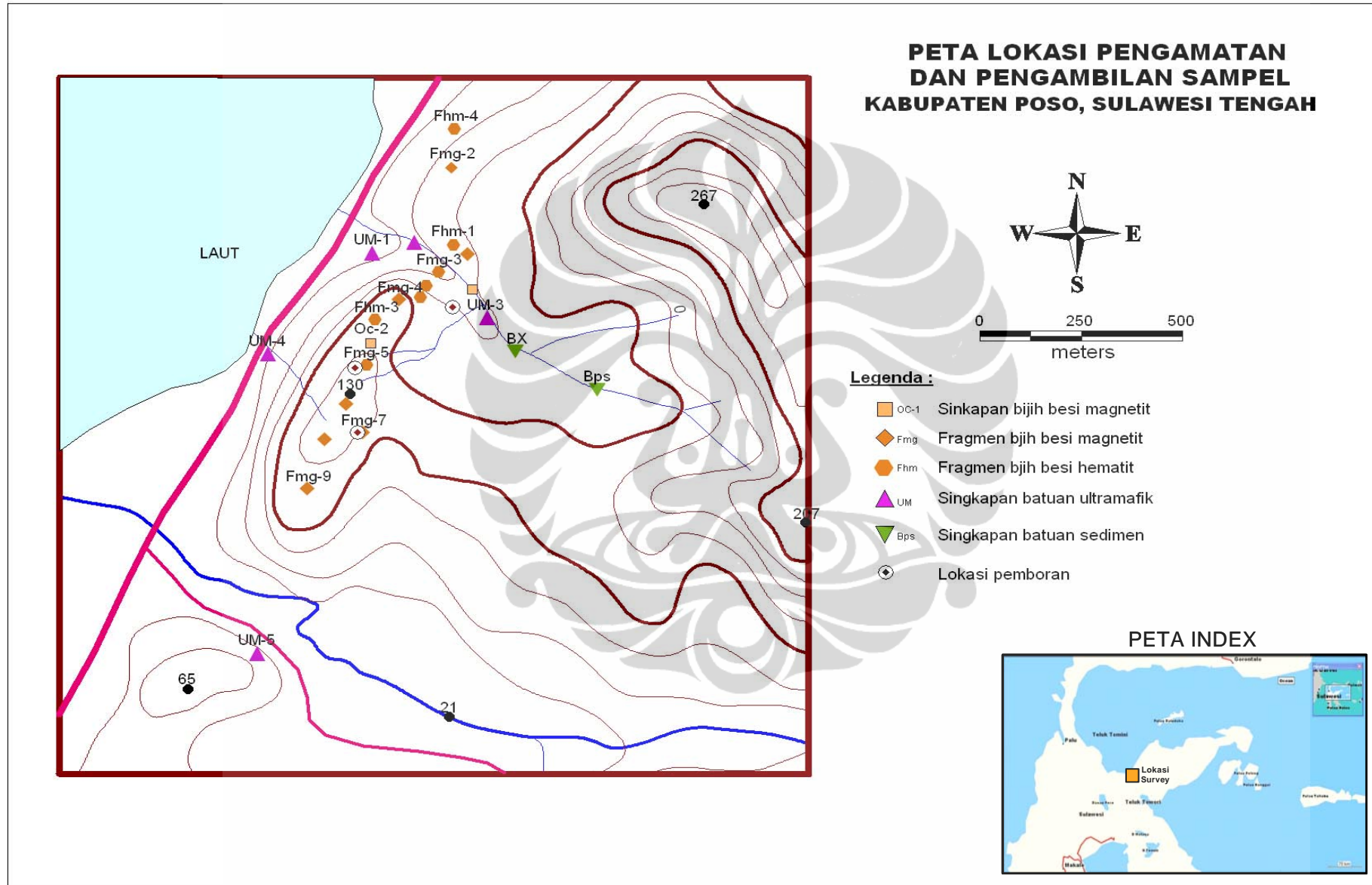
Villeneuve, M., Gunawan,W., Cornee J.J, & Vidal, O., 2001. Geology of the Central Sulawesi Belt (Eastern Indonesian): constraints for geodynamic model. *Paris: International Journal Earth Science*, 91, 524-537.

Williams, H., Turner, F.J., & Gilbert, C.M., 1954. *Petrography, An introduction to the study of rocks in the sections*. San Francisco : W.H. Freeman and company.









ANALISA MINERAGRAFI

PEMILIK	PT.ITM	LOKASI	
KODE	Fmg-4	PERIKSA	2010

Diskripsi mikroskopik :

Di bawah mikroskop cahaya pantul, mineral logam yang teridentifikasi adalah kromit, magnetit, hematit, dan hydrous iron oxides yang merupakan hasil ubahan dari magnetit/hematit.

Kromit, berwarna abu-abu gelap dengan refleksi dalam kemerahan, bentuk anhedral hingga subhedral, isotrop, rounded, tersebar,

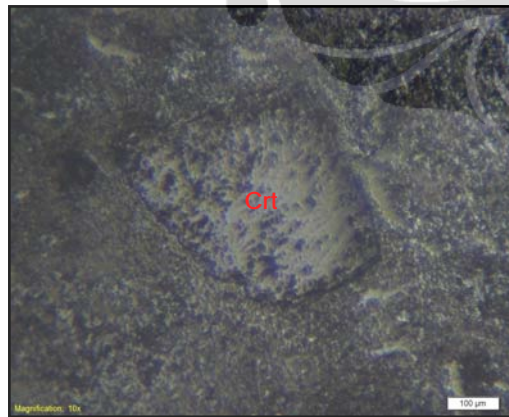
Magnetit, berwarna abu-abu, isotrop, bentuk granular berbutir halus, subhedral hingga anhedral, terdapat tersebar maupun mengisi retakan batuan bersama silikat, sebagian tampak berubah ke hematit dan hidrous iron oxide.

Hematit, berwarna abu-abu dengan refleksi dalam berwarna merah, anisotrop, subhedral, berbutir halus, terdapat bersama magnetit menggantikan magnetit, sebagian telah berubah ke hydrous iron oxides.

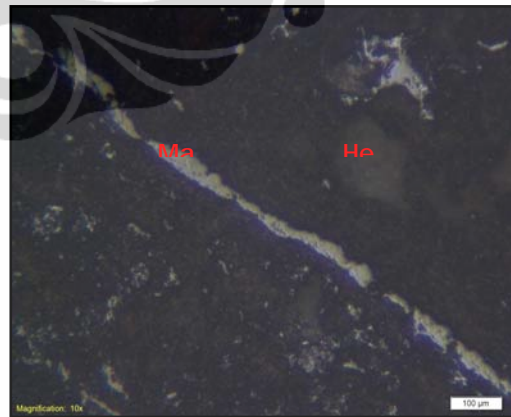
Hydrous iron oxides, berwarna abu-abu, refleksi dalam merah, terdapat menggantikan magnetit/hematit, sebagian mengisi retakan.

Paragenesa :KromitMagnetitHematitHydrous iron oxides**Komposisi (% volume)**

Kromit (3), Magnetit (40), Hematit (5) dan Hydrous iron oxides (Gutit)



Fotomikrograf sayatan poles dari kromit granular dan sub-rounded.



Fotomikrograf sayatan poles dari magnetit yang nampak mengisi

ANALISA MINERAGRAFI

PEMILIK	PT. UTM	LOKASI	-
KODE	Oc-1	PERIKSA	2010

Diskripsi mikroskopik :

Di bawah mikroskop cahaya pantul, mineral logam yang teridentifikasi adalah kromit, magnetit, hematit, dan hydrous iron oxides yang merupakan hasil ubahan dari magnetit/hematit.

Kromit, berwarna abu-abu gelap dengan refleksi dalam kemerahan, bentuk anhedral hingga subhedral, isotrop, rounded, tersebar, sebagian nampak digantikan oleh magnetit,

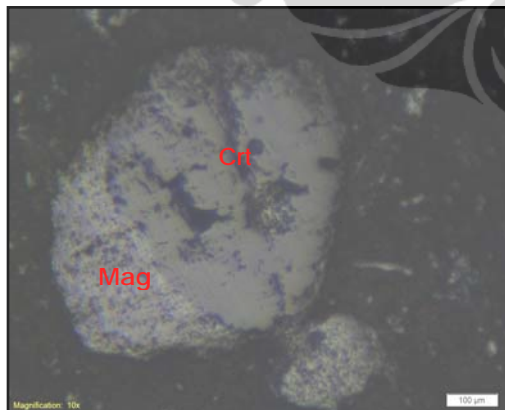
Magnetit, berwarna abu-abu, isotrop, bentuk granular berbutir halus, subhedral hingga anhedral, tersebar, sebagian nampak menggantikan kromit, dan sebagian tampak berubah ke hematit dan hidrous iron oxide .

Hematit, berwarna abu-abu dengan refleksi dalam berwarna merah, anisotrop, subhedral, berbutir halus, terdapat bersama magnetit menggantikan magnetit, sebagian telah berubah ke hydrous iron oxides.

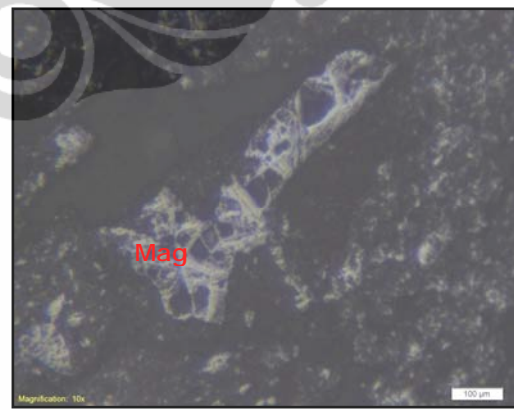
Hydrous iron oxides, berwarna abu-abu, refleksi dalam merah, terdapat menggantikan magnetit/hematit, sebagian mengisi retakan.

Paragenesa :KromitMagnetitHematitHydrous iron oxides**Komposisi (% volume)**

Kromit (2), Magnetit (15), Hematit (5) dan Hydrous iron oxides (Gutit)



Fotomikrograf sayatan poles dari kromit granular dan rounded yang nampak digantikan oleh magnetit.



Fotomikrograf sayatan poles dari magnetit yang nampak telah berubah menjadi hematit.

ANALISA MINERAGRAFI

PEMILIK	PT.ITM	LOKASI	-
KODE	Oc-2	PERIKSA	2010

Diskripsi mikroskopik :

Di bawah mikroskop cahaya pantul, mineral logam yang teridentifikasi adalah kromit, magnetit, hematit, dan hydrous iron oxides yang merupakan hasil ubahan dari magnetit/hematit.

Kromit, berwarna abu-abu gelap dengan refleksi dalam kemerahan, bentuk anhedral hingga subhedral, isotrop, rounded, tersebar,

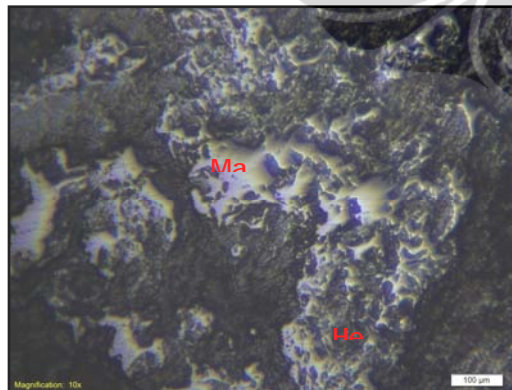
Magnetit, berwarna abu-abu, isotrop, bentuk granular berbutir halus, subhedral hingga anhedral, terdapat tersebar dan terdapat dengan bentuk massif berongga, sebagian tampak berubah ke hematit dan juga hidrous iron oxide.

Hematit, berwarna abu-abu dengan refleksi dalam berwarna merah, anisotrop, subhedral, berbutir halus, terdapat bersama magnetit menggantikan magnetit, sebagian telah berubah ke hydrous iron oxides.

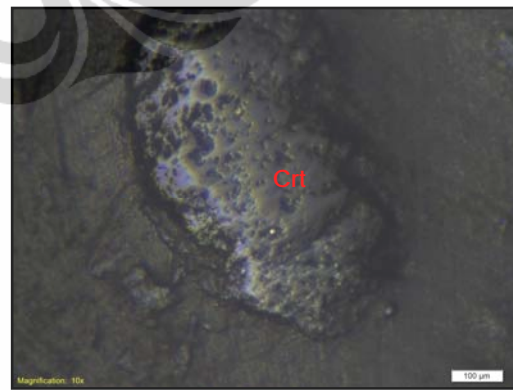
Hydrous iron oxides, berwarna abu-abu, refleksi dalam merah, terdapat menggantikan magnetit/hematit, sebagian mengisi retakan.

Paragenesa :KromitMagnetitHematitHydrous iron oxides**Komposisi (% volume)**

Kromit (1), Magnetit (10), Hematit (2) dan Hydrous iron oxides (Gutit)



Fotomikrograf sayatan poles dari magnetit dengan bentuk massif dan berongga.



Fotomikrograf sayatan poles dari kromit dengan bentuk yang subrounded.

ANALISA MINERAGRAFI

PEMILIK	PT.ITM	LOKASI	-
KODE	Fmg-6	PERIKSA	2010

Diskripsi mikroskopik :

Di bawah mikroskop cahaya pantul, mineral logam yang teridentifikasi adalah kromit, magnetit, dan hydrous iron oxides yang merupakan hasil ubahan dari magnetit.

Kromit, berwarna abu-abu gelap dengan refleksi dalam kemerahan, bentuk anhedral hingga subhedral, isotrop, rounded, tersebar, sebagian nampak telah digantikan oleh magnetit

Magnetit, berwarna abu-abu, isotrop, bentuk granular berbutir halus, subhedral hingga anhedral, beberapa nampak dengan bentuk yang massif berongga, terdapat tersebar maupun menggantikan kromit, sebagian tampak berubah ke hydrous iron oxide.

Hydrous iron oxides, berwarna abu-abu, refleksi dalam merah, terdapat menggantikan magnetit, sebagian mengisi retakan.

Paragenesa :

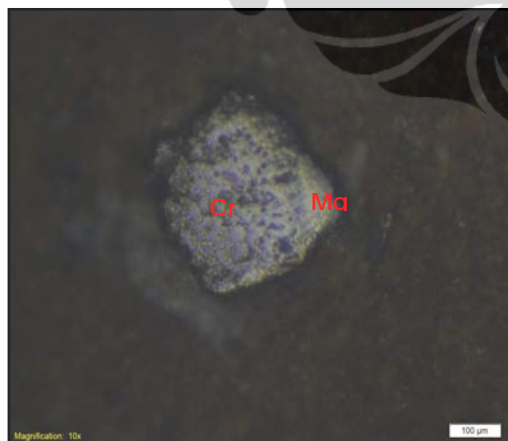
Kromit

Magnetit

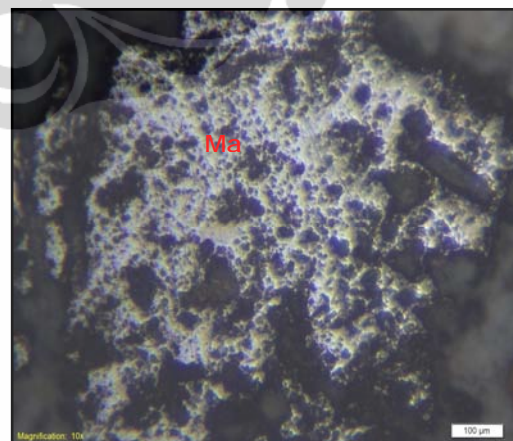
Hydrous iron oxides

Komposisi (% volume)

Kromit (5), Magnetit (10), dan Hydrous iron oxides (Gutit)



Fotomikrograf sayatan poles dari kromit granular dan rounded pada bagian pinggir nampak telah digantikan magnetit.



Fotomikrograf sayatan poles dari magnetit dengan bentuk massif berongga.

ANALISA MINERAGRAFI

PEMILIK	PT.ITM	LOKASI	-
KODE	Fmg-1	PERIKSA	2010

Diskripsi mikroskopik :

Di bawah mikroskop cahaya pantul, mineral logam yang teridentifikasi adalah kromit, magnetit, hematit, dan hydrous iron oxides yang merupakan hasil ubahan dari magnetit.

Kromit, berwarna abu-abu gelap dengan refleksi dalam kemerahan, bentuk anhedral hingga subhedral, isotrop, rounded, tersebar, nampak sebagian telah digantikan oleh magnetit.

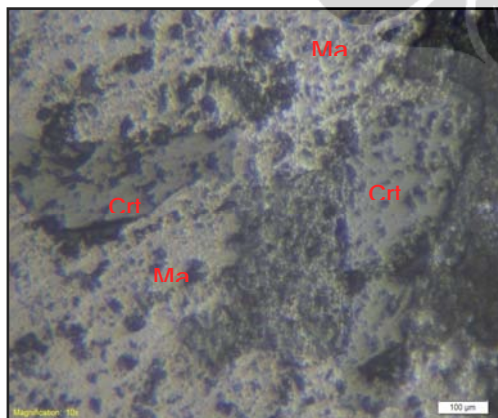
Magnetit, berwarna abu-abu, isotrop, bentuk granular berbutir halus, subhedral hingga anhedral, sebagian dengan bentuk massif berongga, terdapat tersebar maupun terdapat menggantikan kromit, sebagian tampak berubah ke hematit dan juga hidrous iron oxide.

Hematit, berwarna abu-abu, dengan bentuk subhedral hingga anhedral, berukuran halus, anisotrop, mempunyai refleksi dalam berwarna merah.

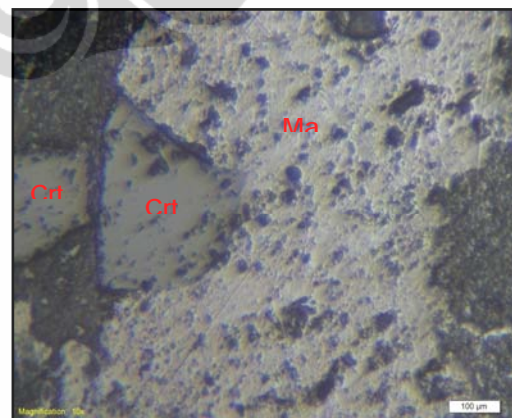
Hydrous iron oxides, berwarna abu-abu, refleksi dalam merah, terdapat menggantikan magnetit, sebagian mengisi retakan.

Paragenesa :KromitMagnetitHematitHydrous iron oxides**Komposisi (% volume)**

Kromit (30), Magnetit (20), Hematit (2), Hydrous iron oxides (Gutit)



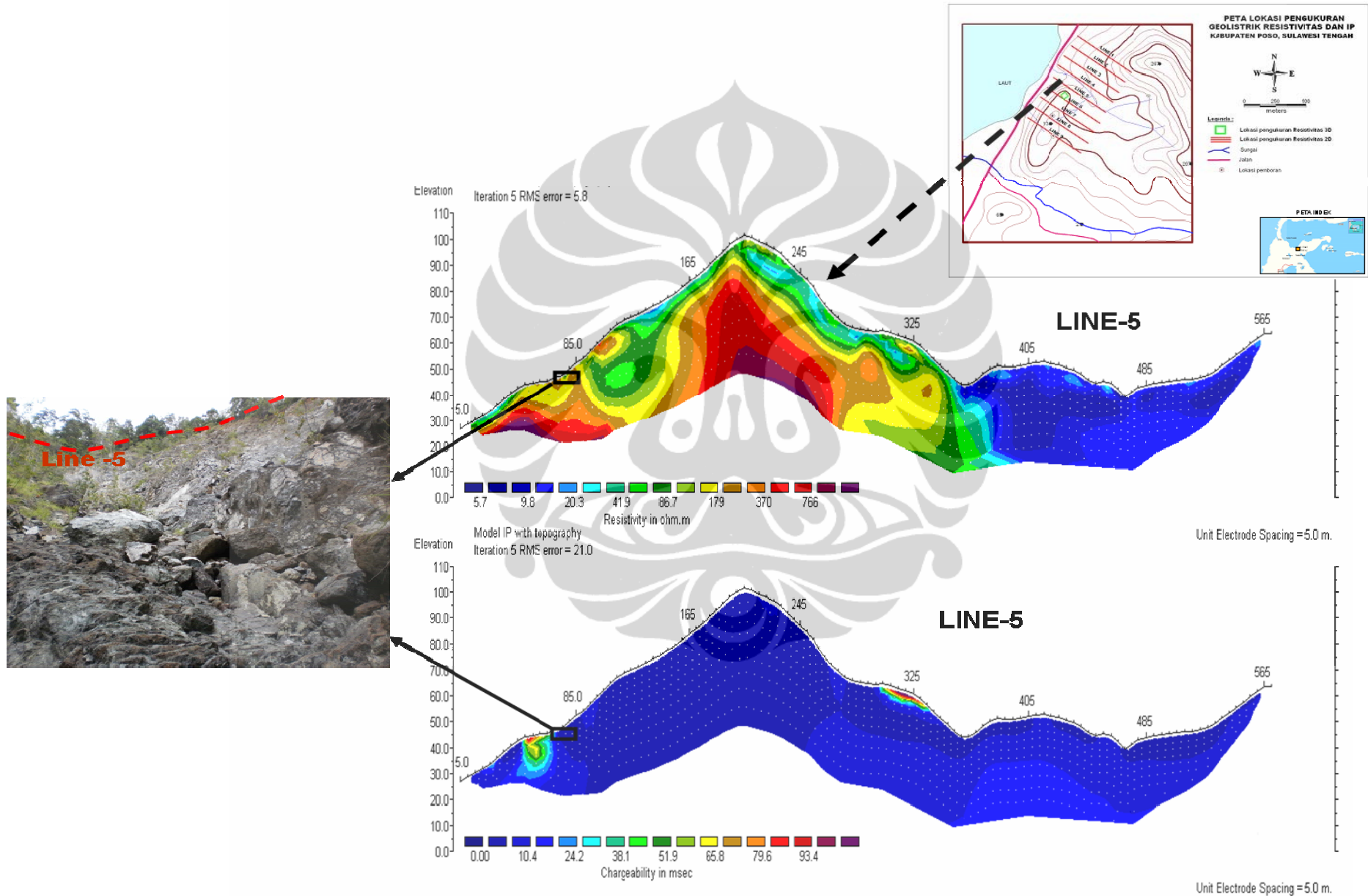
Fotomikrograf sayatan poles dari kromit dan magnetit.



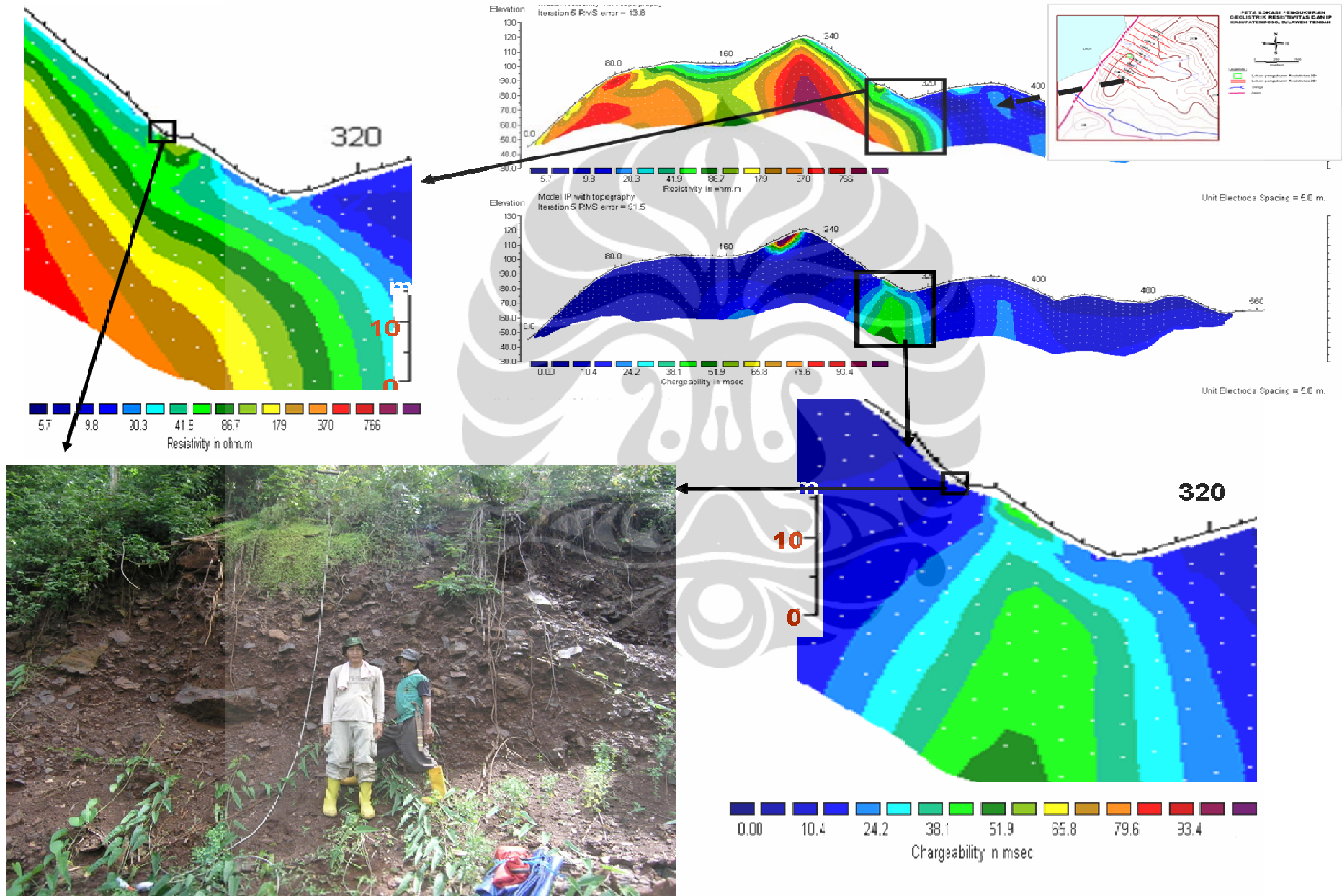
Fotomikrograf sayatan poles dari kromit dan magnetit massif berongga.

Drill Hole Number	Actual Depth (m)	Lithology	Description of lithology	Depth of intersection	Fe	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Ni	Cr	CaO	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	P	S	TiO ₂	As	Zn	LOI		
					(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
DH-3	10	Soil, limonite, redish brown, clay	0.00 to 2.20																		
			2.20 to 3.70	42.66	12.76	8.28	0.50	0.52							0.02	0.06	0.23	0.0035	0.08		
		Iron ore, grey-black, masive	3.70 to 4.70	47.45	11.00	4.15	0.58	0.60							0.01	0.06	0.20	0.0032	0.12		
			4.70 to 6.50	43.76	11.75	7.08	1.00	0.46							0.02	0.06	0.15	0.0011	0.05		
		Weathered Ultramafic-mafic, grey purplish, soft	6.50 to 10.0																		
DH-7	7.25	Soil, limonite, redish brown, clay	0.00 to 0.65																		
			0.65 to 1.40	43.7	13.3	10.95	0.643	1.755	0.25	0.014	1.62	0.08	0.01	0.01	0.25					6.68	
		Iron ore, grey-black, masive	1.40 to 2.40	44.6	12.4	9.41	0.412	1.67	0.47	0.033	1.11	0.1	0.01	0.18	0.35						8.3
			2.40 to 3.40	49.1	11.7	5.17	0.883	1.84	0.2	0.004	0.77	0.03	0.01	0.09	0.23						6.8
			3.40 to 4.00	50.3	9.89	5.55	0.696	1.525	0.31	0.006	0.78	0.04	0.01	0.11	0.2						6.5
			4.00 to 5.20	39.9	14.55	13.05	1.01	1.505	0.18	0.016	2.59	0.06	0	0.02	0.26						7.44
			5.20 to 5.70	29.5	7.81	26.4	1.155	1.17	0.39	0.03	8.44	0.09	0.01	0	0.18						10.2
			5.70 to 6.60	12.6	3.24	37.9	1.575	0.492	0.28	0.018	25.6	0.09	0	0.01	0.05						11.5
6.60 to 7.25	12.6	4.13	39.9	0.958	0.528	0.77	0.029	23.8	0.13	<0.001	0.01	0.07						10.8			
DH-9	12	Soil, limonite, redish brown, clay	0.00 to 3.10																		
			3.10 to 3.90	33.7	15.75	19.1	0.423	1.545	0.45	0.045	2.95	0.1	0.02	0.01	0.35						9.14
		Iron ore, grey-black, masive	3.90 to 4.80	45.1	11.9	4.34	0.774	1.735	2.29	0.006	2.08	0.07	0	0.03	0.22						9.7
			4.80 to 5.20	48.7	12.1	5.75	0.717	2.1	0.14	0.014	0.76	0.05	0	0.14	0.26						6.26
			5.20 to 6.35	44.4	14.45	8.87	1.085	2.25	0.1	0.017	0.73	0.03	0	0.1	0.23						6.62
			6.35 to 7.15	25.2	22.2	21.5	1.25	0.669	0.15	0.008	7.12	0.07	0	0.02	0.49						9.08
			7.15 to 8.11	32.7	9.98	19.45	1.27	1.365	0.51	0.011	11.3	0.07	0	0.01	0.15						7.77
			8.11 to 9.30	27.4	8.11	25.2	1.205	1.26	2.54	0.019	10.6	0.09	0	0.01	0.12						10.1
		Weathered Ultramafic-mafic, grey purplish, soft	9.30 to 12.0																		

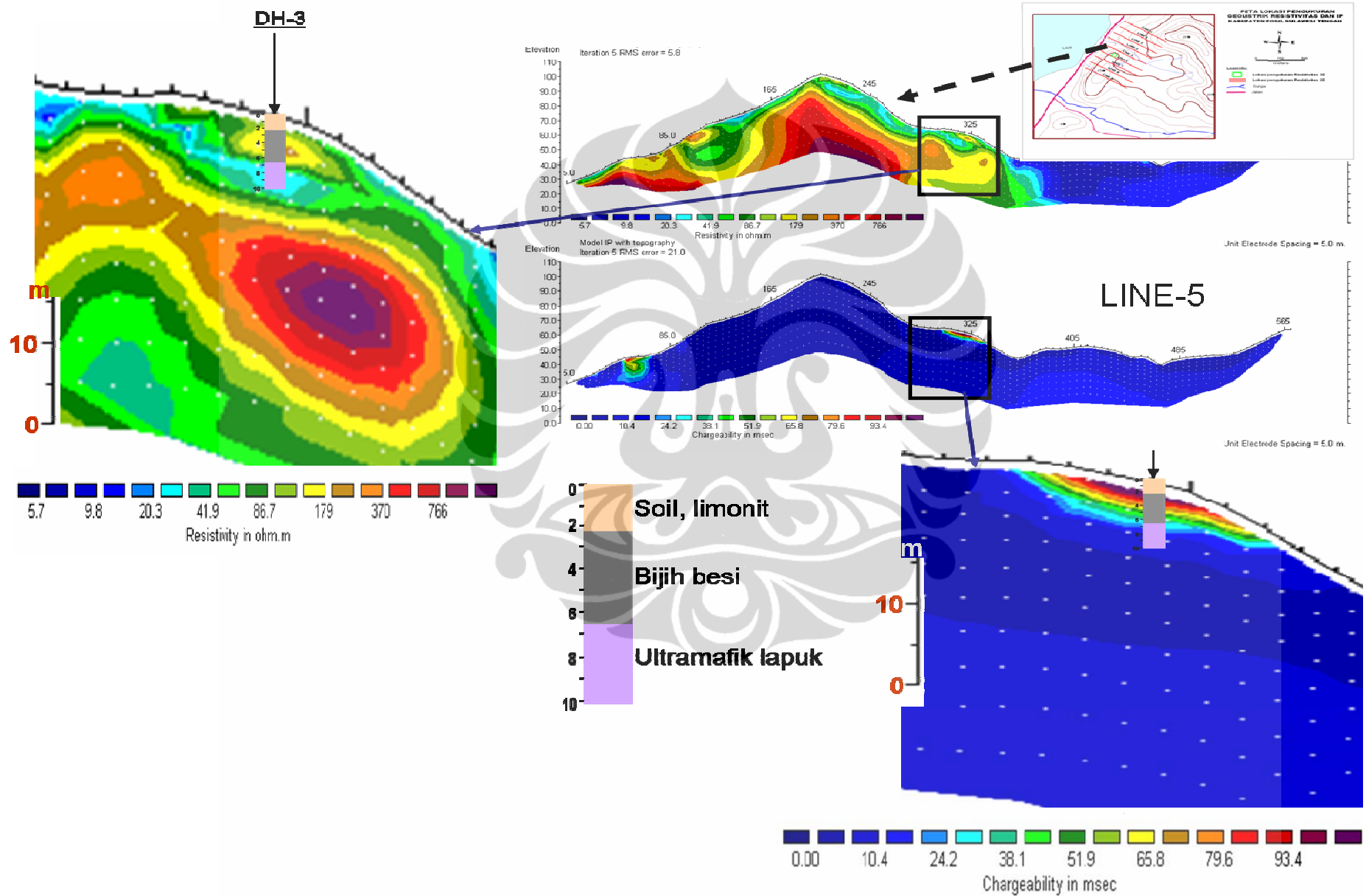
Lampiran 8 : Korelasi Singkapan Batuan Ultramafik-mafik dengan Profil Resistivity dan IP 2D Line-5



Lampiran 9 : Korelasi Singkapan Endapan Laterit dengan Profil Resistivity dan IP 2D Line-9



Lampiran 10 : Korelasi Data Bor DH-3 dengan Profil Resistivity dan IP 2D Line-5



Lampiran 11 : Korelasi Data Bor DH-7 dengan Profil Resistivity dan IP 2D Line-9

