



**ANALISIS INTRUSI AIR LAUT  
MENGUNAKAN METODE GEOLISTRIK RESISTIVITAS:  
VALIDASI METODE BADON GHYBEN-HARSBERG  
DI SEKITAR PANTAI PASEBAN JEMBER**

**SKRIPSI**

Oleh  
**Ayu Khasanis Sholehah**  
**NIM 131810201071**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2018**



**ANALISIS INTRUSI AIR LAUT  
MENGUNAKAN METODE GEOLISTRIK RESISTIVITAS:  
VALIDASI METODE BADON GHYBEN-HARSBERG  
DI SEKITAR PANTAI PASEBAN JEMBER**

**SKRIPSI**

**Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk  
menyelesaikan studi pada Program Studi Fisika (S-1)  
dan mencapai gelar Sarjana Sains**

**Oleh  
Ayu Khasanis Sholehah  
NIM 131810201071**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2018**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Ibu dan Ayah tercinta. Terimakasih atas segala dukungan. Atas cinta, do'a, kepercayaan, dan semua pengorbanan sehingga saya bisa sampai pada tahap menjadi seorang Sarjana Sains. Semoga Allah SWT membalas kebaikan Ibu dan Ayah dengan balasan yang sebaik-baiknya.
2. Semua orang yang telah menjadi guru bagi saya. Terimakasih atas segenap ilmu, cinta, dan bimbingan yang diberikan kepada saya.

**MOTTO**

*Only God can be served for Its own sake. Therefore, only God is truly loved. Love for all else ends in God. So, love a thing only for God, and seek a thing only for God, until in the end you come to God and love It for Itself*

(Jalaluddin Rumi)<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Arberry. AJ. 2000. *Discourses of Rumi (Fihi Ma Fihi)*. Ames: Omphaloskepsis

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ayu Khasanis Sholehah

NIM : 131810201071

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisis Intrusi Air Laut Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas: Validasi Metode Badon Ghyben-Harsberg di Sekitar Pantai Paseban Jember” adalah benar-benar hasil karya sendiri kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian bersama dosen dan mahasiswa dan hanya dapat dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 18 Januari 2017

Yang menyatakan,

Ayu Khasanis Sholehah

NIM. 131810201071

**SKRIPSI**

**ANALISIS INTRUSI AIR LAUT  
MENGUNAKAN METODE GEOLISTRIK RESISTIVITAS  
: VALIDASI METODE BADON GHYBEN-HARSBERG DI  
SEKITAR PANTAI PASEBAN JEMBER**

Oleh  
**Ayu Khasanis Sholehah**  
**NIM 131810201071**

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Nurul Priyantari, S.Si, M.Si.,

Dosen Pembimbing Anggota : Supriyadi, S.Si., M.Si.,

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Analisis Intrusi Air Laut Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas: Validasi Metode Badon Ghyben Harsberg di Sekitar Pantai Paseban Jember” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota I,

Nurul Priyantari, S.Si., M.Si  
NIP 197003271997022001  
Anggota II,

Supriyadi, S.Si., M.Si  
NIP 198204242006041003  
Anggota III,

Drs. Yuda Cahyoargo H, M.Sc, Ph.D  
NIP 196203111987021001

Bowo Eko Cahyono, S.Si.,M.Si.,Ph.D  
NIP 197202101998021001

Mengesahkan  
Dekan,

Drs. Sujito, Ph.D.,  
NIP 196102041987111001

## RINGKASAN

**Analisis Intrusi Air Laut Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas: Validasi Metode Badon Ghyben-Harsberg di Sekitar Pantai Paseban Jember;** Ayu Khasanis Sholehah; 131810201071; 2017; 47 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Wilayah pesisir pantai merupakan daerah yang sulit akan akses air tawar atau air bersih dikarenakan letaknya berbatasan dengan laut, sehingga air tawar di kawasan tersebut sangat riskan terhadap ancaman intrusi oleh air laut. Intrusi air laut diduga juga melanda Dusun Bulurejo Karang Anyar, Desa Paseban, Kencong, Kabupaten Jember yang terletak kurang lebih 1 km dari pantai Paseban. Dugaan tersebut berdasarkan kondisi beberapa air sumur warga yang mengalami degradasi mutu menjadi asin dan tidak dapat digunakan lagi untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari seperti memasak, minum, dan lain-lain. Intrusi air laut dapat menjadi ancaman yang cukup serius apabila tidak segera diselesaikan, dikarenakan sumber daya air tawar tergolong kebutuhan primer yang harus dipenuhi demi keberlangsungan hidup makhluk hidup di bumi ini. Untuk itu kajian mengenai intrusi sangat diperlukan agar dapat diketahui kedalaman, distribusi, serta arah aliran intrusi.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas dan metode Badon Ghyben-Harsberg. Adapun hasil yang diperoleh melalui metode geolistrik resistivitas adalah citra bawah permukaan. Citra tersebut selanjutnya dapat digunakan untuk menduga distribusi intrusi dan batas kedalaman air tanah dan air laut (nilai H) pada masing-masing lintasan pengukuran. Arah aliran intrusi dapat diduga berdasarkan nilai batas kedalaman air tanah dan air laut (nilai H). Kemudian nilai H tersebut digunakan untuk memvalidasi nilai H yang didapatkan dengan menggunakan metode Badon Ghyben Harsberg. Nilai H dari metode Badon Ghyben-Harsberg didapat melalui pengukuran beberapa variabel seperti massa jenis air sumur dan air laut, serta elevasi dan muka air sumur.

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pada ketiga lintasan pengukuran air laut mengintrusi rata-rata lebih dari 50% dari total panjang lintasan. Pada lintasan pengukuran 1 (LP-1) air laut mengintrusi sekitar 60%, LP-2 air laut mengintrusi sekitar 80%, dan LP-3 air laut mengintrusi sekitar 76% dari total panjang lintasan. Batas kedalaman air tanah dan air laut (nilai H) pada LP-1 berkisar 5.0-8.0 m dan posisi sekitar sumur berkisar 8.0 m, LP-2 berkisar 3.0-5.4 m dan posisi sekitar sumur berkisar 5.4 m, LP-3 berkisar 2.0-5.4m dan posisi sekitar sumur berkisar 5.4 m. Adapun nilai H yang diperoleh melalui metode Badon Gyben-Harsberg pada LP-1 berkisar 17.1 m, LP-2 berkisar 7.3 m, dan LP-3 berkisar 9.4 m. Setelah dilakukan validasi terkait nilai batas kedalaman air tanah dan air laut maka diketahui bahwa hasilnya memiliki perbedaan. Pada lintasan pengukuran 1 (LP-1), metode Badon Ghyben-Harsberg memiliki batas yang lebih dalam sekitar 9.1 m. Pada LP-2, metode

Badon Ghyben-Harasberg memiliki batas yang lebih dalam sekitar 1.7 m, dan pada LP-3 metode Badon Ghyben-Harsberg memiliki batas yang lebih dalam sekitar 4.0 m.



## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi yang berjudul “Analisis Intrusi Air Laut Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas : Validasi Metode Badon Ghyben-Harsberg di Sekitar Pantai Paseban Jember” ini dapat terselesaikan. Semua tidak terlepas dari bimbingan, bantuan, serta dukungan berbagai pihak. Pada kesempatan ini saya ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Nurul Priyantari, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Supriyadi, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam penyusunan skripsi ini.
2. Drs. Yuda Cahyoargo H, M.Sc, Ph.D., selaku Dosen Penguji I dan Bowo Eko Cahyono, S.Si.,M.Si.,Ph.D., selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktu untuk menguji dan memberikan kritik serta saran demi lebih baiknya skripsi ini.
3. Endhah Purwandari, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah meluangkan waktu untuk membimbing penulis selama menempuh studi di Universitas Jember.
4. Sahabat Melia, Siti, dan Kuni yang telah memberikan dukungan dan menemani segala proses.
5. Tim TA Geofisika Hari, Rifqi, Imroatus, Imama, Zilmi, Ervin, Aprizal, Jamaludin, Dewi, Darma, Yulia, Kholip yang telah membantu pengambilan data di lapangan.
6. Pemerintah dan warga Desa Paseban yang sangat terbuka mengizinkan penulis menjadikan daerahnya sebagai tempat penelitian.
7. Teman-teman *Physicscopat 13 Hz* yang telah memberikan segenap dukungan.
8. Semua pihak yang telah berkontribusi namun tidak dapat disebutkan satu per satu.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan semua pihak dengan balasan yang sebaik-baiknya. Penulis menyadari, tentu skripsi ini masih jauh dari kata ‘sempurna’.

Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi semua pembaca maupun bagi diri penulis.

Jember, Januari 2018

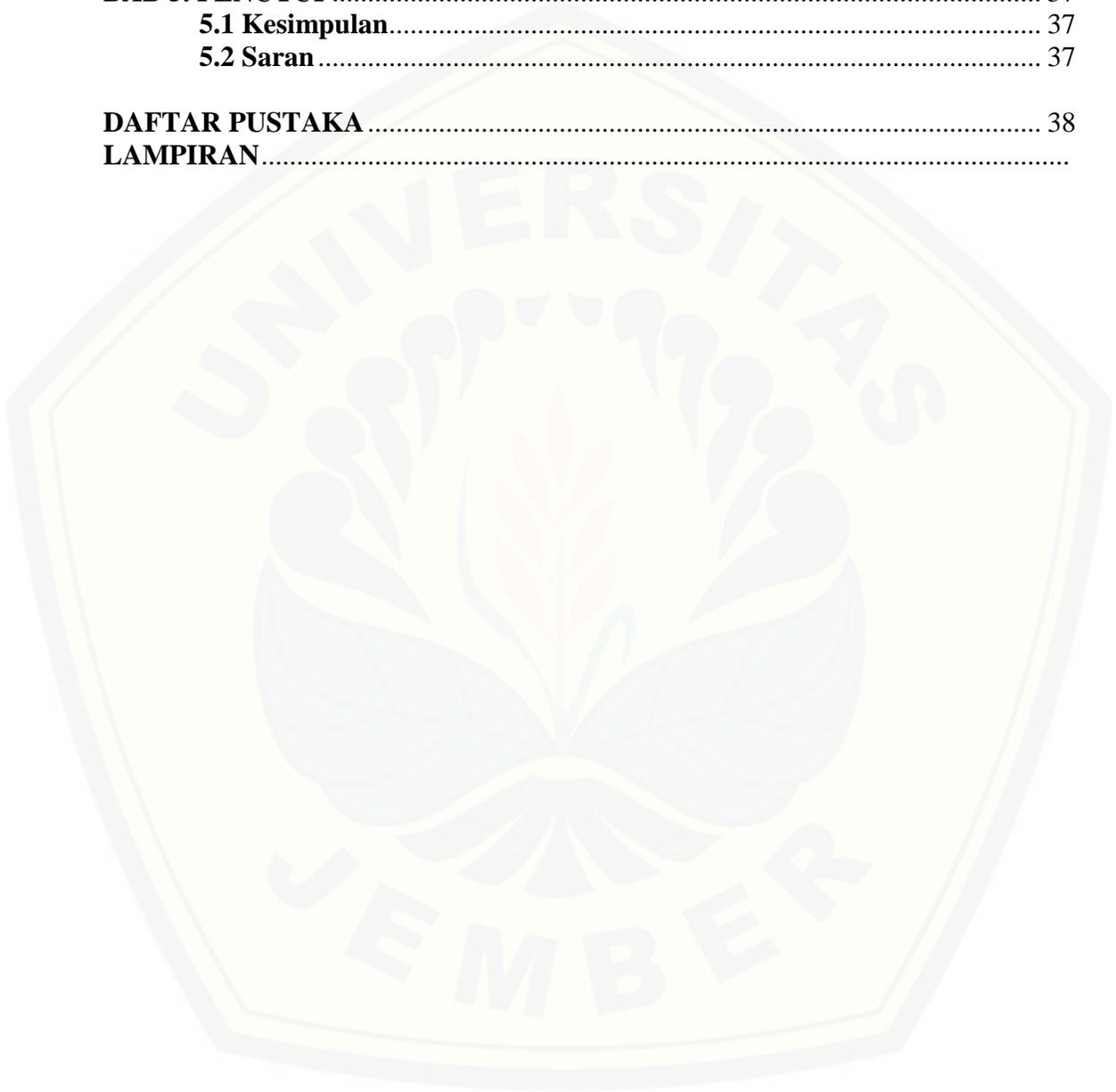
Penulis,



DAFTAR ISI

|  | <b>Halaman</b> |
|--|----------------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b> .....   | ii             |
| <b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....   | iii            |
| <b>HALAMAN MOTTO</b> .....   | iv             |
| <b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....  | v              |
| <b>HALAMAN PEMBIMBINGAN</b> .....  | vi             |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....  | vii            |
| <b>RINGKASAN</b> .....   | viii           |
| <b>PRAKATA</b> .....   | x              |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....  | xii            |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....  | xv             |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....   | xvi            |
| <br>   |                |
| <b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....  | 1              |
| <b>1.1 Latar Belakang</b> .....  | 1              |
| <b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....   | 5              |
| <b>1.3 Tujuan Penelitian</b> .....   | 5              |
| <b>1.4 Manfaat Penelitian</b> .....  | 6              |
| <b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....                                       | 7              |
| <b>2.1 Air Laut</b> .....  | 7              |
| <b>2.2 Air Tanah</b> .....   | 7              |
| <b>2.4 Interaksi Antara Air Tanah dan Air Laut di Akuifer Pantai</b> ..... | 8              |
| <b>2.5 Intrusi Air Laut</b> .....  | 9              |
| <b>2.6 Metode Badon Ghyben-Harsberg</b> .....                              | 10             |
| <b>2.7 Geolistrik</b> .....  | 11             |
| 2.7.1 Prinsip Metode Geolistrik Resistivitas .....                         | 12             |
| 2.7.2 Aliran Listrik dalam Bumi.....                                       | 13             |
| 2.7.3 Resistivitas Semu ( <i>Apparent Resistivity</i> ).....               | 18             |
| 2.7.4 Konfigurasi Wenner-Schlumberger.....                                 | 19             |
| 2.7.5 Resistivitas Batuan .....  | 19             |
| <b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....                                      | 21             |
| <b>3.1 Rancangan Penelitian</b> .....                                      | 21             |
| 3.1.1 Kajian Pustaka (Studi Literatur) .....                               | 21             |
| 3.1.2 Survei Lokasi .....  | 22             |
| 3.1.3 Penentuan Lintasan.....  | 22             |
| 3.1.4 Akuisisi Data .....  | 26             |
| 3.1.5 Pengolahan Data .....  | 27             |
| 3.1.6 Interpretasi Data .....  | 30             |
| 3.1.7 Analisis Data Penelitian.....  | 30             |
| 3.1.8 Penarikan Kesimpulan .....   | 31             |

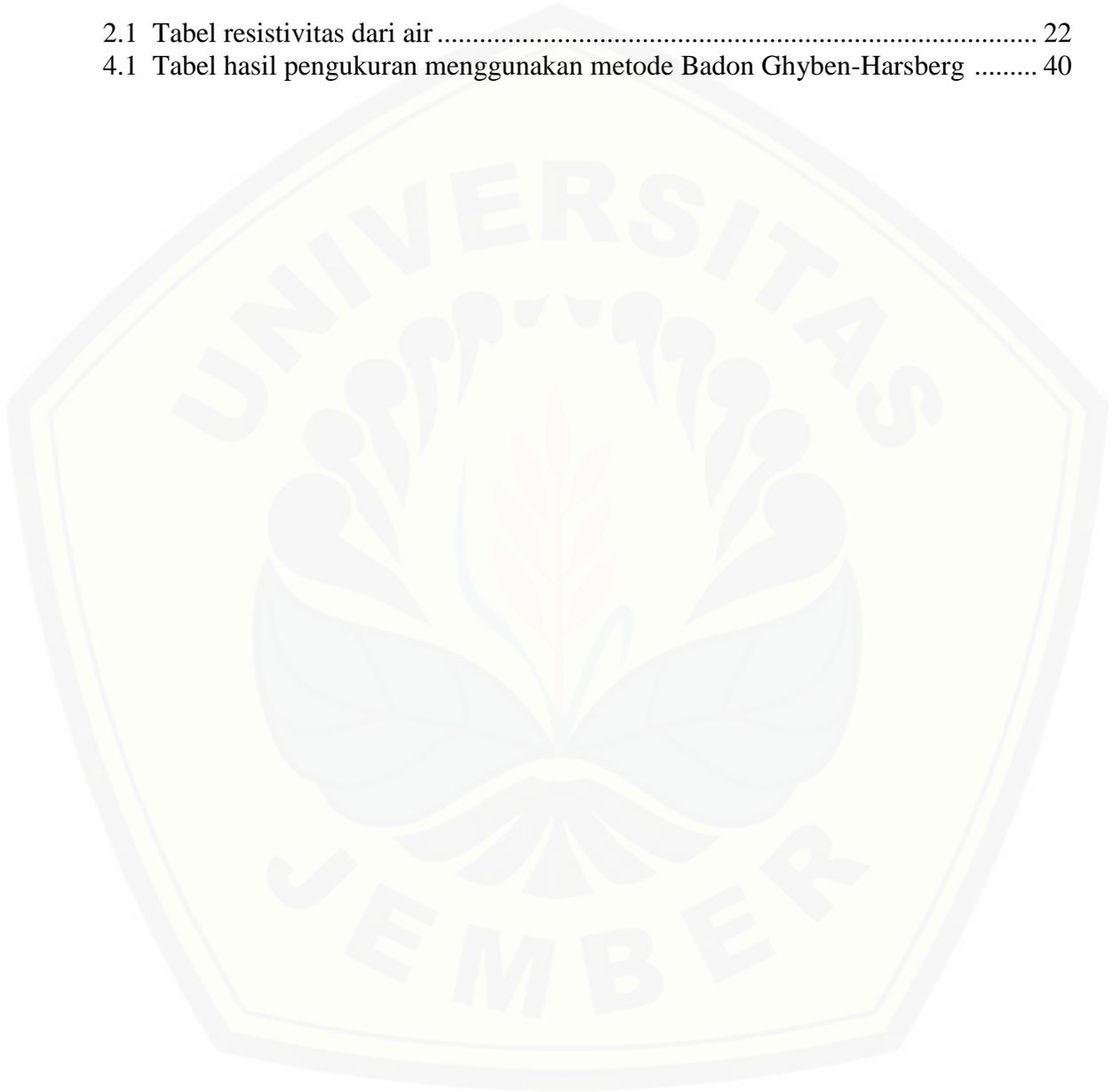
|  |                              |
|--|------------------------------|
| 3.2 Jenis dan Sumber Data .....          | 31                           |
| 3.3 Kerangka Pemecahan Masalah .....     | Error! Bookmark not defined. |
| <b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b> | <b>32</b>                    |
| <b>BAB 5. PENUTUP .....</b>              | <b>37</b>                    |
| <b>5.1 Kesimpulan .....</b>              | <b>37</b>                    |
| <b>5.2 Saran .....</b>                   | <b>37</b>                    |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>              | <b>38</b>                    |
| <b>LAMPIRAN .....</b>                    | <b>.....</b>                 |





**DAFTAR TABEL**

|   | Halaman |
|---|---------|
| 2.1 Tabel resistivitas dari air .....                                     | 22      |
| 4.1 Tabel hasil pengukuran menggunakan metode Badon Ghyben-Harsberg ..... | 40      |

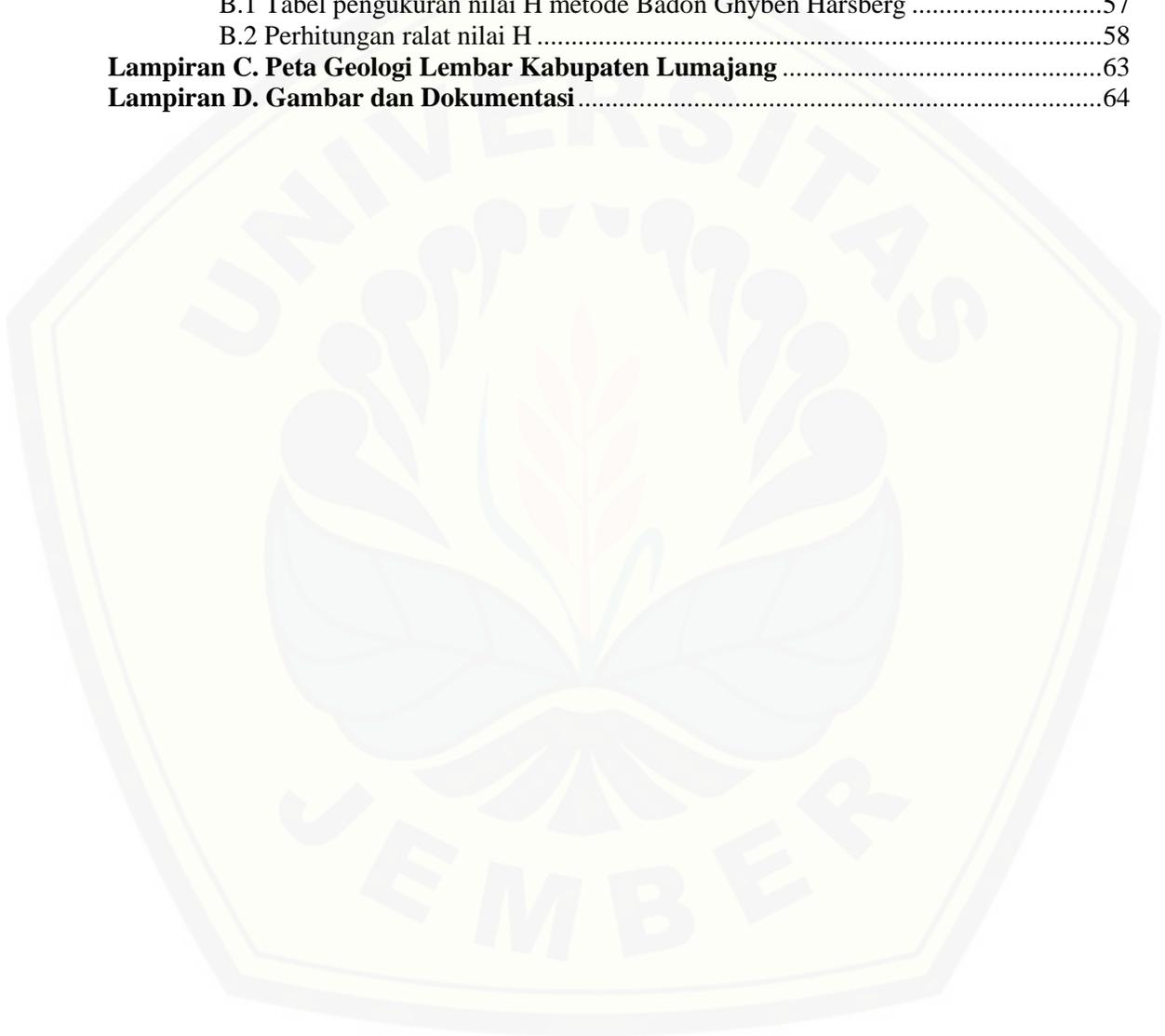


DAFTAR GAMBAR

|  | Halaman |
|--|---------|
| 2.1 Zona Air Tanah .....   | 8       |
| 2.2 Hubungan interaksi air tanah dan air laut .....  | 9       |
| 2.3 Intrusi air laut .....   | 10      |
| 2.4 Hubungan antara air asin dan air tawar pada akuifer bebas di daerah pantai ...   | 12      |
| 2.5 Kawat yang dialiri arus .....  | 13      |
| 2.6 Aliran arus dan bidang ekuipotensial oleh satu titik sumber pada permukaan bumi homogen .....                              | 17      |
| 2.7 Dua pasang elektroda arus dan elektroda potensial pada permukaan medium homogen isotropis dengan resistivitas $\rho$ ..... | 18      |
| 2.8 Konsep reseistivitas semu pada medium berlapis .....   | 20      |
| 2.9 Susunan konfigurasi Wenner-Schlumberger .....  | 21      |
| 3.1 Rancangan Penelitian .....   | 24      |
| 3.2 Posisi zona penelitian dari pantai terletak kurang lebih 1 km.....   | 26      |
| 3.3 Skema lintasan pengukuran secara umum .....  | 26      |
| 3.4 Lintasan pengukuran 1 (LP-1) membentang sepanjang 100m menuju arah pantai .....  | 27      |
| 3.5 Lintasan pengukuran 2 (LP-2) membentang sepanjang 60 m menuju arah pantai .....  | 28      |
| 3.6 Lintasan Pengukuran 3 (LP-3) membentang sepanjang 80 m menuju arah pantai .....  | 28      |
| 3.7 Skema susunan elektroda geolistrik konfigurasi Wenner- Schlumberger .....  | 29      |
| 3.8 Contoh <i>script</i> data yang akan diolah menggunakan <i>software Res2DInv</i> .....                                      | 31      |
| 3.9 Langkah pengolahan data dengan <i>software Res2DInv</i> .....  | 32      |
| 3.10 Skema kerangka pemecahan masalah secara umum .....  | 35      |
| 4.1 Citra bawah permukaan LP-1.....  | 36      |
| 4.2 Citra bawah permukaan LP-2 .....   | 38      |
| 4.3 Citra bawah permukaan LP-3 .....   | 39      |
| 4.4 Sketsa Perbedaan Batas Kedalaman metode geolistrik dan Badon Ghyben Harsberg .....   | 45      |

**DAFTAR LAMPIRAN**

|   |    |
|---|----|
| <b>Lampiran A. Tabel Pengukuran Metode Geolistrik Resistivitas</b> .....  | 51 |
| A.1 Tabel pengukuran resistivitas semu lintasan pengukuran 1 (LP-1) ..... | 51 |
| A.2 Tabel pengukuran resistivitas semu lintasan pengukuran 2 (LP-2) ..... | 54 |
| A.3 Tabel pengukuran resistivitas semu lintasan pengukuran 3 (LP-3) ..... | 55 |
| <b>Lampiran B. Tabel Pengukuran Metode Badon Ghyben Harsberg</b> .....    | 57 |
| B.1 Tabel pengukuran nilai H metode Badon Ghyben Harsberg .....           | 57 |
| B.2 Perhitungan ralat nilai H .....                                       | 58 |
| <b>Lampiran C. Peta Geologi Lembar Kabupaten Lumajang</b> .....           | 63 |
| <b>Lampiran D. Gambar dan Dokumentasi</b> .....                           | 64 |



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sekitar 97.5% air di bumi adalah air laut dan air payau yang tidak dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari seperti memasak, minum, dan lain-lain. Sisanya 2.5% adalah air tawar. Dari sisa 2.5% tersebut yang dapat digunakan oleh manusia hanyalah 0.003% saja, karena sebagian besar air tawar di bumi tersimpan dalam bentuk es dan gletser atau endapan salju. Wilayah pesisir pantai merupakan daerah yang sulit akan akses air tawar atau air bersih dikarenakan letaknya berbatasan dengan laut, sehingga air tawar di kawasan tersebut sangat riskan terhadap ancaman intrusi oleh air laut. Masalah sulitnya akses air tawar atau air bersih di kawasan pesisir seakan sudah menjadi masalah yang sangat klasik. Hal tersebut tidak hanya melanda beberapa daerah, namun hampir merata di semua daerah. Kota besar seperti Jakarta merupakan contoh buruknya akses air tawar tidak hanya di kawasan pesisir. Berdasarkan data dari Lembaga Ilmu Penelitian Indonesia (LIPI), pada tahun 2010 intrusi air laut di permukaan Jakarta sudah mencapai 3 km, sedangkan di bagian tanah dalam sudah lebih dari 10 km ke daratan. Untuk itu masyarakat yang berada pada wilayah cakupan intrusi dalam kurun waktu yang cukup lama tidak dapat menggunakan air sumurnya untuk kebutuhan konsumsi sehari-hari. Sehingga untuk mencukupi kebutuhan akan air tawar atau air bersih masyarakat mengandalkan suplai air dari PDAM yang biasanya berharga cukup mahal.

Disisi lain yang lebih krusial, intrusi air laut mempunyai dampak yang dapat mengancam beberapa aspek kehidupan manusia seperti kesehatan, ekonomi, maupun konstruksi bangunan. Penggunaan air payau untuk kebutuhan konsumsi maupun kebutuhan lain seperti mandi, dapat mengganggu kesehatan tubuh dikarenakan air payau mengandung NaCl (*Natrium Chloride*) tinggi yang dapat mengganggu proses metabolisme pada tubuh manusia. Apabila digunakan dalam jangka panjang, bukan tidak mungkin dapat menyebabkan gangguan penyakit yang lebih serius. Bukan hanya itu, tingginya salinitas air juga dapat berpengaruh terhadap metabolisme yang

terjadi pada tubuh tumbuhan, sehingga dapat menyebabkan tumbuhan mati, terkecuali pada tumbuhan seperti bakau. Oleh karena itu, apabila air laut mendesak cukup jauh hingga ke lahan pertanian maka akan berakibat pada defisit pendapatan para petani. Pada konstruksi bangunan, kadar salinitas tinggi dapat menyebabkan pelapukan tanah di sekitar bangunan. Apabila bangunan memiliki dasar berupa beton, agresivitas air payau dengan kandungan klorida yang cukup tinggi dapat mengkorosi besi tulangan, sehingga konstruksi beton tidak mempunyai kekuatan yang optimum. Intrusi air laut dapat menjadi ancaman yang cukup serius apabila tidak segera diselesaikan, dikarenakan sumber daya air tawar tergolong kebutuhan primer yang harus dipenuhi demi keberlangsungan hidup makhluk hidup di bumi ini.

Menurut Hendrayana (2002), pada hakikatnya intrusi air laut adalah pergerakan air laut ke akuifer tawar di daratan dikarenakan air laut mempunyai kadar mineral yang lebih tinggi, sehingga air laut memiliki massa jenis dan tekanan yang lebih tinggi daripada air tawar di daratan. Oleh karena itu, air laut mempunyai kecenderungan untuk bergerak menuju air tawar. Pada kondisi alami, air tawar akan mengalir secara terus menerus ke laut. Air tawar pada akuifer di daratan mempunyai tekanan piezometrik yang lebih tinggi dari air laut, sehingga tekanan air laut ke daratan dapat dinetralisir. Diantara keduanya kemudian tercipta sebuah keseimbangan yang disebut dengan keseimbangan hidrostatik.

Intrusi air laut akan terjadi ketika keseimbangan hidrostatik terganggu. Ada beberapa aktivitas yang dapat menyebabkan intrusi terjadi seperti eksploitasi air tanah yang masif, jaringan kanal dan drainase, aktivitas pertambangan di sekitar akuifer pantai, dan lain-lain. Eksploitasi air tanah yang masif menyebabkan tekanan air tanah berkurang dan menjadi relatif lebih kecil dibandingkan tekanan dari air laut sehingga air laut dapat mendesak ke daratan. Jaringan drainase yang dibangun untuk mengalirkan air dari wilayah pemukiman pinggir pantai dapat memicu intrusi karena menurunkan tinggi air tawar serta menyediakan celah bagi air asin untuk menuju daratan, seperti kasus yang terjadi di Florida, Amerika Serikat (Barlow *et al*, 2010), intrusi air laut dalam skala besar terjadi akibat kanal drainase yang dibangun pada

tahun 1903-1980 untuk mengeringkan Everglades demi pemukiman dan kawasan pertanian. Di sisi lain, karakteristik pantai yang terdiri atas lapisan tidak kedap air (*permeable*), fluktuasi muka air laut, serta kondisi topografi yang cenderung landai dapat mempermudah terjadinya intrusi air laut.

Intrusi air laut diduga juga melanda Dusun Bulurejo Karang Anyar, Desa Paseban, Kencong, Kabupaten Jember yang terletak kurang lebih 1 km dari pantai Paseban. Dugaan tersebut berdasarkan kondisi beberapa air sumur warga yang mengalami degradasi mutu menjadi asin dan tidak dapat lagi digunakan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari seperti memasak, minum, dan lain-lain. Akibatnya, warga harus mengambil air tawar bersih dari sumur di daerah lain yang tidak terkena dampak intrusi. Sepengetahuan peneliti, berdasarkan informasi dari pemerintah desa setempat, sejauh ini belum ada penelitian yang dilakukan untuk menyelidiki dugaan intrusi tersebut. Oleh karena itu, permasalahan intrusi tersebut menarik untuk dikaji lebih dalam melalui serangkaian penelitian, sehingga dapat diketahui kedalaman, distribusi, serta arah aliran intrusi pada zona penelitian.

Penelitian mengenai intrusi air laut telah banyak dilakukan. Beberapa diantaranya menggunakan metode anomali *gravity* antar waktu, survei DHL (Daya Hantar Listrik), atau metode Badon Ghyben-Harsberg. Iswoko (2011) menganalisis terjadinya intrusi air laut berdasarkan survei DHL air sumur di Kecamatan Puger, Kabupaten Jember. Widada (2007) memetakan distribusi intrusi air laut berdasarkan survei DHL di daerah Pantai Kota Pekalongan. Agus dan Ferrina (2015) menganalisis terjadinya intrusi menggunakan metode anomali *gravity* mikro antar waktu di DKI Jakarta. Susiyanti (tanpa tahun) menduga terjadinya intrusi air laut menggunakan metode geolistrik resistivitas yang divalidasi dengan metode Badon Ghyben-Harsberg di akuifer pantai kelurahan Ploso dan Sidoharjo, Kabupaten Pacitan. Survei lapang menggunakan metode DHL (Daya Hantar Listrik) untuk menduga keberadaan intrusi air laut tidak memberikan informasi keberadaan air laut yang sesungguhnya di bawah permukaan tanah. Penggunaan metode anomali *gravity* antar waktu untuk menduga intrusi air laut membutuhkan waktu penelitian yang cukup panjang dikarenakan

penelitian bersifat monitoring. Sedangkan menggunakan metode Badon Ghyben-Harsberg untuk menduga intrusi air laut hanya memberikan informasi mengenai batas kedalaman antara air tanah tawar dan air laut di bawah permukaan tanah.

Oleh karena itu diperlukan suatu metode yang diharapkan memiliki tingkat keberhasilan yang cukup tinggi untuk melengkapi informasi-informasi terkait intrusi air laut, diantaranya adalah kondisi topografi, citra bawah permukaan, serta arah aliran. Salah satu metode tersebut adalah metode geolistrik resistivitas. Menurut Rahmawati (2009), metode geolistrik resistivitas banyak digunakan untuk pencarian air tanah, monitoring pencemaran air tanah seperti intrusi, eksplorasi geotermal, aplikasi geoteknik, pencarian bahan tambang, dan penyelidikan di bidang arkeologi. Penelitian menggunakan metode geolistrik resistivitas untuk menyelidiki dugaan intrusi air laut telah berhasil dilakukan. Beberapa diantaranya adalah Hasibuan (2013) menyelidiki dugaan terjadinya intrusi menggunakan metode geolistrik resistivitas di Kecamatan Pantai Cermin, Sumatera Utara. Minarto (2011) menduga pola sebaran intrusi air laut menggunakan metode geolistrik resistivitas di pesisir Pantai Batakan, Kalimantan Selatan. Nisa (2012) menentukan zona intrusi air laut menggunakan metode geolistrik resistivitas di Kecamatan Genuk, Semarang. Asfiainnisa (2015) menentukan titik intrusi air laut untuk persiapan pengeboran sumur dalam menggunakan metode geolistrik resistivitas di Desa Keting, Kecamatan Jombang, Kabupaten Jember. Rozikin (2012) menduga terjadinya intrusi air laut menggunakan metode geolistrik resistivitas di daerah Pantai Payangan Jember.

Atas dasar penjelasan di atas, penelitian ini menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi Wenner-Schlumberger. Pemilihan konfigurasi Wenner-Schlumberger didasarkan pada efektivitas, efisiensi, dan sensitivitasnya. Untuk kebutuhan survei intrusi air laut, konfigurasi Wenner-Schlumberger sangat cocok digunakan karena sensitif terhadap perubahan vertikal, sehingga konfigurasi ini baik digunakan untuk penyelidikan yang cukup dalam. Hasil yang diperoleh dari metode geolistrik resistivitas berupa citra bawah permukaan. Berdasarkan citra tersebut dapat diketahui distribusi intrusi dan batas kedalaman air tanah dengan air laut (nilai H)

pada masing-masing lintasan pengukuran. Berdasarkan perbedaan nilai batas kedalaman air tanah dan air laut, arah aliran intrusi dapat diduga.

Adapun hasil yang diperoleh menggunakan metode geolistrik resistivitas khususnya terkait dengan batas kedalaman air tanah dan air laut (nilai H) akan digunakan untuk memvalidasi nilai H yang diperoleh menggunakan metode Badon Ghyben-Harsberg yang selama ini telah secara luas digunakan untuk menentukan nilai H. Nilai H pada metode Badon Gyben Harsberg didapatkan melalui pengukuran beberapa variabel, seperti massa jenis air sumur, massa jenis air laut, dan muka air tanah (h).

Implikasi penelitian ini pada isu yang berkaitan dengan intrusi air laut adalah dapat memberikan informasi mengenai fenomena intrusi di bawah permukaan tanah, distribusi intrusi, arah aliran intrusi, serta beberapa faktor yang diduga menjadi penyebab intrusi tersebut dapat terjadi. Penelitian ini diharapkan dapat dijadikan referensi pendahuluan untuk menyelesaikan permasalahan yang diakibatkan oleh intrusi air laut.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian permasalahan diatas, maka rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimanakah distribusi intrusi, serta berapa batas kedalaman air laut dan air tawar berdasarkan metode geolistrik resistivitas pada setiap lintasan pengukuran?
2. Berapakah batas kedalaman air laut dan air tawar berdasarkan metode Badon Ghyben-Harsberg pada setiap lintasan pengukuran?
3. Bagaimanakah hasil validasi nilai H metode Badon Ghyben-Harsberg dengan metode geolistrik resistivitas?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui distribusi intrusi serta batas kedalaman air laut dan air tawar berdasarkan metode geolistrik resistivitas pada setiap lintasan pengukuran
2. Mengetahui batas kedalaman air laut dan air tawar berdasarkan metode Badon Ghyben-Harsberg pada setiap lintasan pengukuran.
3. Mengetahui hasil validasi nilai H metode Badon Ghyben-Harsberg dengan metode geolistrik resistivitas.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah diharapkan dapat memberikan informasi yang jelas mengenai intrusi air laut yang terjadi pada zona penelitian, seperti distribusi, batas kedalamannya dengan air tanah, serta arah aliran intrusi. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan pengetahuan yang lebih luas lagi di bidang eksplorasi geofisika dan sebagai referensi untuk penelitian lebih lanjut.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

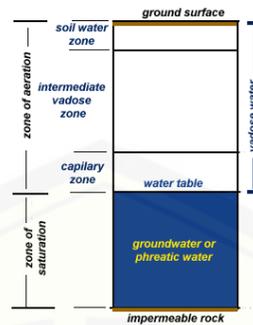
### 2.1 Air Laut

Air laut adalah air dari laut atau samudera. Air laut memiliki kadar garam rata-rata 3,5%. Artinya dalam 1 liter (1000 mL) air laut terdapat 35 gram garam. Diperkirakan hampir 48.000 triliun ton garam yang larut dalam air laut. Garam-garaman tersebut terdiri atas sodium klorida, sulfat, magnesium, potasium, dan bromide. Sedangkan klorida merupakan zat yang paling banyak terkandung dalam air laut (Zain, 2012).

Air laut memiliki kadar salinitas yang berbeda-beda, meskipun kebanyakan berkisar 3.5%. Pada laut-laut yang berhubungan biasanya memiliki salinitas yang sama, namun pada laut-laut yang terpisah biasanya memiliki kadar salinitas yang cukup berbeda. Kadar salinitas dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya adalah penguapan, curah hujan, air sungai, letak dan ukuran laut, arus laut, dan angin. Penguapan yang besar, curah hujan yang kecil, sedikitnya air sungai yang bermuara ke laut, laut yang dipengaruhi arus panas, dan kelembapan udara di atasnya menyebabkan kadar salinitas air laut menjadi tinggi. Air laut yang paling asin adalah air laut di Laut Merah, karena tidak ada sungai yang bermuara ke laut dan curah hujan yang relatif kecil. Sedangkan air laut yang paling tawar adalah di timur Teluk Finlandia dan di utara Teluk Bothnia, keduanya bagian dari Laut Baltik (Zain, 2012).

### 2.2 Air Tanah

Air tanah merupakan semua air yang terdapat di bawah permukaan tanah pada lajur atau zona jenuh air (*zone of saturation*). Air tanah berasal dari air hujan dan air permukaan yang meresap (infiltrasi) mula-mula ke zona tak jenuh air (*zone of aeration*) dan kemudian meresap makin dalam (perkolasi) hingga mencapai zona jenuh air, lalu terkumpul dalam reservoir alam yaitu akuifer dan kemudian menjadi air tanah (Gambar 2.1).



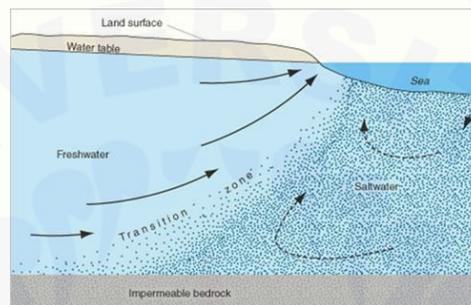
Gambar 2.1 . Zona air tanah (Kodoatie, 1996)

Air tanah secara alami pergerakannya dipengaruhi oleh hidrologi dan geologi setempat. Muka air tanah biasanya terbentuk mengikuti kontur bentang daratan di atas muka air tanah tersebut. Ketinggian dan tingkat kelerengan suatu wilayah mempengaruhi munculnya air tanah ke permukaan. Sementara itu, faktor geologi yang mempengaruhi ketersediaan air tanah antara lain bentuk dan besar butir, penyebaran lapisan batuan dan perbedaan komposisi litologi batuan dan tingkat kelulusannya. Produktivitas akuifer yang menekan berpengaruh secara hidrologi terhadap kelulusannya dalam mengalirkan air tanah. Aliran air tanah yang muncul ke permukaan tanah membentuk mata air secara alami, sementara itu karena budidaya manusia akan membentuk sumur-sumur gali. Sumber- sumber itu terjadi karena kondisi topografi dan geologi (Kodoatie, 1996).

#### 2.4 Interaksi Antara Air Tanah dan Air Laut di Akuifer Pantai

Terjadinya suatu kegaraman pada air tanah maupun air permukaan merupakan suatu fenomena alam untuk daerah yang terletak berbatasan dengan pantai. Hal ini dapat terjadi karena massa jenis air laut yang lebih besar dari pada air tawar sehingga mampu mendesak air tawar. Secara umum lapisan pembawa air di daerah pantai dikenal dengan istilah akuifer pantai. Pada akuifer pantai, air tanah mempunyai gradien hidrolika ke arah laut sehingga terjadi aliran air tanah dari darat ke laut secara kontinu, sedangkan dari laut terjadi tekanan air laut ke darat. Inilah yang dinamakan dengan keseimbangan hidrostatik (Bear, 1979).

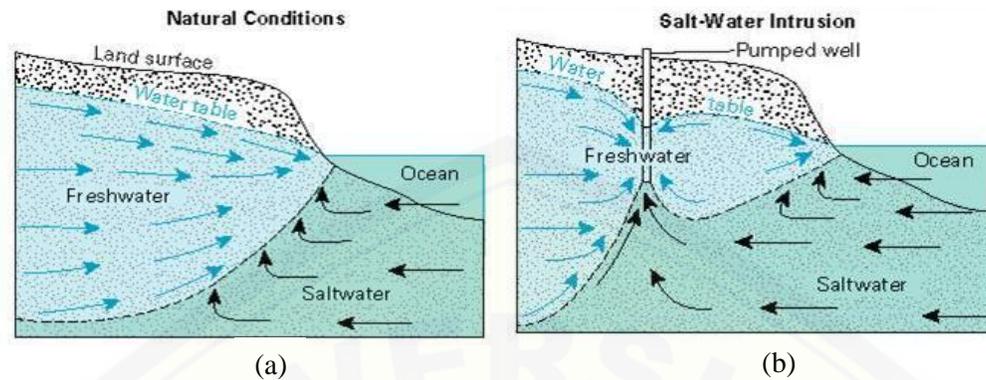
Pertemuan air tanah dan air laut membentuk bidang kontak yang dikenal dengan istilah zona transisi atau *interface* (Gambar 2.2). Massa jenis air bervariasi dari air laut ke air tanah menurut variasi kedalaman dan jarak titik amat ke garis pantai. Di alam lebar zona dispersi lebih kecil daripada tebal akuifer, sehingga banyak ahli hidrogeologi mengasumsikan kontak tersebut sebagai bidang tegas (Bear, 1979).



Gambar 2.2. Hubungan interaksi air tanah dan air laut (Barlow, 2003)

## 2.5 Intrusi Air Laut

Intrusi atau penyusupan air laut ke dalam akuifer di daratan pada dasarnya adalah proses masuknya air laut di bawah permukaan tanah melalui akuifer di daratan atau daerah pantai. Dengan pengertian lain, yaitu proses terdesaknya air bawah tanah tawar oleh air asin atau air laut di dalam akuifer pada daerah pantai. Apabila keseimbangan hidrostatik antara air bawah tanah tawar dan air asin di daerah pantai terganggu, maka akan terjadi pergerakan air asin atau air laut ke arah darat dan terjadilah intrusi air laut (Hendrayana, 2002).

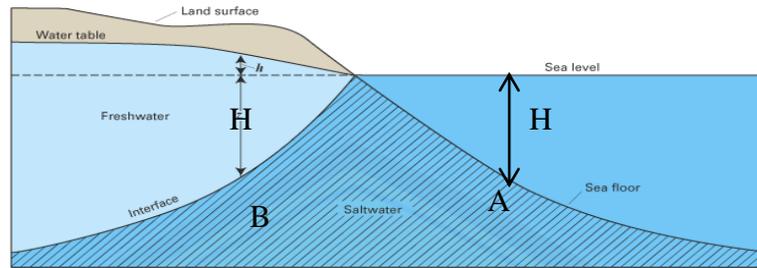


Gambar 2.3 Intrusi air laut, (a) kondisi sebelum intrusi terjadi dan (b) kondisi sesudah intrusi terjadi (Barlow, 2003)

Pada kondisi alam tidak terganggu, kedudukan bidang *interface* tidak berubah. Pemompaan air tanah akan mengakibatkan penurunan tinggi potensial dan gradien hidrolika air tanah, sehingga bidang *interface* mengalami gangguan kesetimbangan dan akan bergerak ke kondisi kesetimbangan baru. Ketika ada pengambilan air tanah dan sumur pengeboran maka akan terjadi gangguan kesetimbangan, air laut akan mendesak lebih ke hulu seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3 (b).

## 2.6 Metode Badon Ghyben-Harsberg

Menurut Hendrayana (2002), hubungan antara air laut dengan air bawah tanah tawar pada akuifer pantai dapat diterangkan dengan hukum Badon Ghyben-Hersberg. Dengan adanya perbedaan massa jenis antara air laut dengan air bawah tanah tawar, maka bidang batas (*interface*) tergantung pada keseimbangan keduanya. Hubungan antara air asin dengan air bawah tanah tawar pada akuifer bebas di daerah pantai seperti ditunjukkan pada gambar 2.4



Gambar 2.4 Hubungan antara air asin dan air tawar pada akuifer bebas di daerah pantai (Hendrayana, 2002)

Tekanan hidrostatik di titik  $A = B$

$$P_A = P_B \quad (2.1)$$

$$\rho_s \cdot g \cdot H = \rho_f \cdot g \cdot h + \rho_f \cdot g \cdot H \quad (2.2)$$

$$H = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h \quad (2.3)$$

Dengan menganggap bahwa massa jenis air laut pada suhu 20°C sebesar 1020 g/cm<sup>3</sup>, dan massa jenis air tawar sebesar 1000 gr/cm<sup>3</sup>, maka batas air tawar dan air laut di bawah permukaan laut rata-rata adalah sebesar 40 head.

$$H = 40h \quad (2.4)$$

Dimana:

$\rho_s$  : massa jenis air laut (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_f$  : massa jenis air bawah tanah tawar (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  : percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

$H$  : kedalaman muka air laut dari titik A (m)

$h$  : muka air tanah (m)

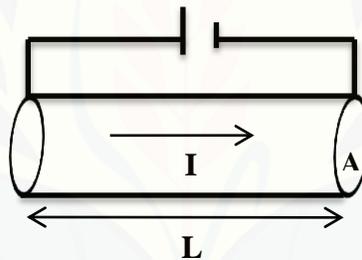
## 2.7 Geolistrik

Menurut Rahmawati (2009), geolistrik adalah salah satu metode dalam geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi. Pendeteksian di atas permukaan meliputi pengukuran medan potensial, arus, dan elektromagnetik yang terjadi baik secara alamiah maupun akibat penginjeksian arus ke dalam bumi.

Menurut Radulescu *et al* (2007) dalam jurnal yang ditulis oleh Trisdayanto (tanpa tahun), metode geolistrik merupakan metode geofisika yang digunakan untuk menyelidiki batuan dan formasi geologi bawah permukaan dengan mempelajari sifat aliran listrik dalam lapisan tanah. Dalam metode geolistrik besaran yang digunakan adalah resistivitas batuan. Besar resistivitas dapat diketahui melalui informasi kuat arus dan beda potensial yang terdeteksi pada saat pengukuran. Besar resistivitas ini berkaitan dengan kemampuan batuan dan lapisan tanah dalam menghantarkan listrik.

### 2.7.1 Prinsip Metode Geolistrik Resistivitas

Prinsip metode geolistrik secara sederhana dapat dianalogikan dengan rangkaian listrik. Jika arus dari suatu sumber dialirkan pada sebuah beban listrik misalkan kawat seperti terlihat pada Gambar 2.5 maka besar hambatannya dapat diketahui berdasarkan potensial terukur dan arus yang mengalir.



Gambar 2. 5. Kawat yang dialiri arus (Telford *et al*, 1990)

Kawat dialiri oleh arus  $I$  yang mengalir dengan panjang  $L$  dan memiliki luas penampang  $A$ , maka resistansi kawat tembaga pada Gambar 2.5 secara matematis dapat dirumuskan (Telford *et al*, 1990).

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.5)$$

Dimana :

$R$  : Resistansi ( $\Omega$ )

$\rho$  : Resistivitas ( $\Omega.m$ )

$A$  : Luas Penampang Kawat Konduktor ( $m^2$ )

$L$  : Panjang Kawat Konduktor (m)

Dengan demikian bila persamaan (2.5) disubstitusikan pada hukum ohm sebagai berikut:

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.6)$$

maka persamaan akan menjadi:

$$\rho = \frac{V A}{I L} \quad (2.7)$$

Jika terdapat elektroda yang mengalirkan arus ( $I$ ) berada pada luasan dengan medium homogen isotropik maka potensial di sembarang titik dengan luas permukaan bola yang memiliki jari-jari  $r$  (Telford *et al*, 1990).

### 2.7.2 Aliran Listrik dalam Bumi

#### a) Potensial dalam media homogen

Menurut Telford *et al* (1990), arus dianggap terus menerus mengalir dalam sebuah medium isotropik yang homogen. (Analisis ini juga diaplikasikan ke AC jika frekuensinya cukup rendah yang perpindahan arusnya tidak signifikan). Jika  $\delta A$  adalah sebuah elemen permukaan dan  $J$  adalah rapat arus dalam  $A/m^2$  yang arusnya melalui  $\delta A$  adalah  $J \cdot \delta A$ . Rapat arus  $J$  dan medan listrik  $E$ , dihubungkan melalui hukum Ohms :

$$V = IR \quad (2.8)$$

Ditinjau hubungan antara rapat arus  $\vec{J}$ , medan listrik  $\vec{E}$ , dan potensial listrik  $\vec{V}$ , dalam notasi skalar  $V = r \cdot \vec{E}$  sehingga

$$I = \frac{V}{R} = \frac{r}{R} \vec{E} \quad (2.9)$$

dengan rapat arus

$$\vec{J} = \frac{r}{R \cdot A} \vec{E} \quad (2.10)$$

Besaran  $\frac{r}{R.A}$  merupakan besaran yang menunjukkan karakteristik suatu bahan penghantar. Besaran ini adalah besaran skalar yang biasa disebut sebagai konduktivitas listrik bahan.

$$\sigma = \frac{r}{R.A} \quad (2.11)$$

maka,

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{R.A}{r} \quad (2.12)$$

dengan satuan Ohm meter, maka dapat dituliskan sebagai berikut

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} = \frac{1}{\rho} \vec{E} \quad (2.13)$$

dimana:

$J$  = rapat arus ( $A/m^2$ )

$E$  = medan listrik ( $V/m$ )

$\sigma$  = konduktivitas ( $S/m$ )

$\rho$  = resistivitas ( $ohm\ m$ )

Medan listrik sebagai medan konservatif dapat dinyatakan sebagai gradien dari potensial skalar.

$$E = -\nabla V \quad (2.14)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (2.13) dan (2.14) maka diperoleh

$$J = -\sigma \nabla V \quad (2.15)$$

Apabila tidak ada muatan sumber, maka  $\nabla \cdot J = 0$ , maka

$$\nabla \cdot (\sigma \nabla V) = 0 \quad (2.16)$$

Dengan menggunakan teorema vektor  $\nabla \cdot (\phi A) = \nabla \phi \cdot A + \phi \nabla \cdot A$  maka didapatkan

$$\nabla \sigma \cdot \nabla V + \sigma \nabla^2 \cdot V = 0 \quad (2.17)$$

Karena medium dianggap homogen isotropis maka nilai konduktivitas medium  $\sigma$  konstan, sehingga suku pertama akan hilang dan akan didapatkan persamaan Laplace dalam bentuk potensial harmonik:

$$\nabla^2 V = 0 \quad (2.18)$$

Diasumsikan bumi bersifat homogen isotropis, maka persamaan di atas dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\nabla^2 V = \frac{d^2 V}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dV}{dr} = 0 \quad (2.19)$$

Persamaan (2.7) dikalian dengan  $r^2$  dan kemudian diintegalkan, maka didapatkan:

$$\frac{dV}{dr} = \frac{A}{r^2} \quad (2.20)$$

dimana  $A$  = konstanta integrasi. Persamaan di atas diintegalkan terhadap  $r$ , maka didapatkan

$$V(r) = -\frac{A}{r} + B \quad (2.21)$$

Dimana  $A$  dan  $B$  adalah konstanta yang nilainya didapatkan dengan menerapkan syarat batas yang harus dipenuhi potensial  $V(r)$ . Pada saat  $r = \infty$ , maka nilai  $V$  akan bernilai nol dan juga akan didapatkan nilai  $B = 0$ , sehingga persamaan di atas menjadi:

$$V(r) = -\frac{A}{r} \quad (2.22)$$

b) Elektroda arus tunggal di permukaan bumi

Apabila sebuah elektroda tunggal yang dialiri arus listrik diinjeksikan pada permukaan bumi yang homogen isotropis, maka akan terjadi aliran arus listrik menyebar dalam tanah secara radial dan jika udara di atasnya dianggap mempunyai konduktivitas nol, maka garis potensialnya akan berbentuk setengah bola. Elektroda tersebut terangkai dengan elektroda lain yang berada pada titik yang sangat jauh. Arus yang mengalir melalui permukaan setengah bola yang mempunyai luas  $2\pi r^2$  adalah:

$$I = 2\pi r^2 \vec{j} = -2\pi r^2 \sigma \frac{dV}{dr} = 2\pi \sigma A \quad (2.23)$$

Untuk konstanta integrasi  $A$  dalam setengah bola yaitu:

$$A = -\frac{\rho I}{2\pi r} \quad (2.24)$$

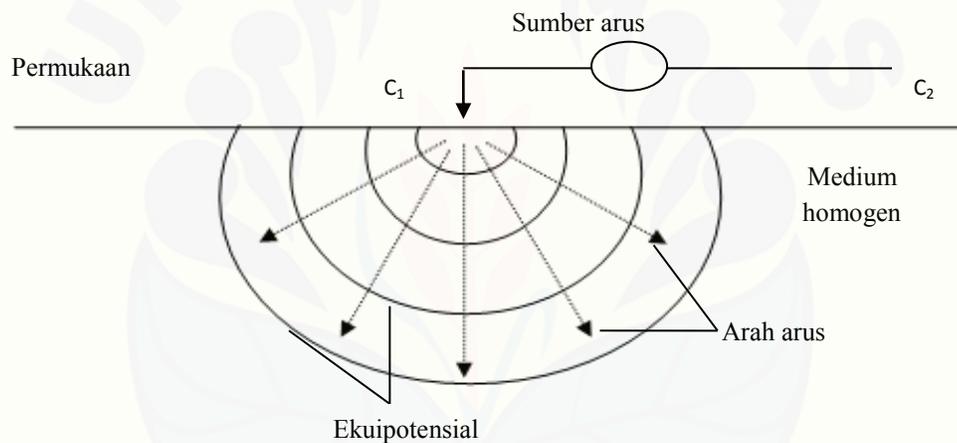
Sehingga didapatkan:

$$V = -\frac{A}{r} = \left(\frac{\rho I}{2\pi}\right) \frac{1}{r} \quad (2.25)$$

Dengan demikian harga resistivitas listrik yang diberikan oleh medium:

$$\rho = 2\pi r \frac{V}{I} \quad (2.26)$$

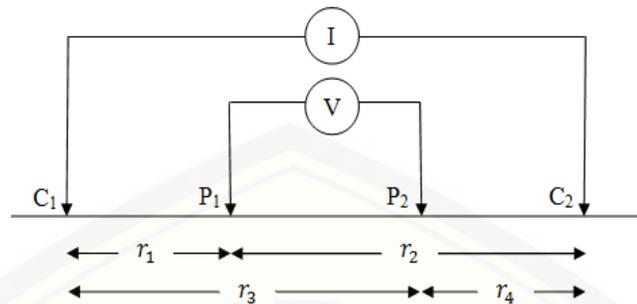
Persamaan di atas ( $\rho$ ) merupakan ekuipotensial permukaan setengah bola yang berada di bawah permukaan tanah seperti pada gambar 2.6 di bawah ini.



Gambar 2.6 Aliran arus dan bidang ekuipotensial oleh satu titik sumber pada permukaan bumi homogen (Telford *et al*, 1990).

c) Dua elektroda arus pada permukaan

Apabila terdapat elektroda arus  $C_1$  yang terletak pada permukaan suatu medium homogen, terangkai dengan elektroda arus  $C_2$  dan diantaranya terdapat dua elektroda potensial  $P_1$  dan  $P_2$  yang dibuat dengan jarak tertentu seperti gambar 2.7.



Gambar 2.7 Dua pasang elektroda arus dan elektroda potensial pada permukaan medium homogen isotropis dengan resistivitas  $\rho$  (Telford *et al*, 1990).

Pada Gambar 2.7 besarnya potensial yang berada di dekat titik elektroda dapat dipengaruhi oleh kedua elektroda arus, oleh karena itu potensial P<sub>1</sub> yang disebabkan arus di C<sub>1</sub> adalah:

$$V_1 = -\frac{A_1}{r_1} \quad (2.27)$$

dimana

$$A_1 = -\frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.28)$$

maka

$$V_1 = \left(\frac{I\rho}{2\pi}\right) \frac{1}{r_1} \quad (2.29)$$

potensial di titik P<sub>1</sub> akibat pengaruh arus listrik oleh C<sub>2</sub> adalah:

$$V_2 = -\frac{A_2}{r_2} \quad (2.30)$$

dimana

$$A_2 = \frac{I\rho}{2\pi} = -A_1 \quad (2.31)$$

maka

$$V_2 = -\left(\frac{I\rho}{2\pi}\right) \frac{1}{r_2} \quad (2.32)$$

Sehingga potensial total pada titik P<sub>1</sub> oleh C<sub>1</sub> dan C<sub>2</sub> dapat dituliskan sebagai berikut:

$$V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.33)$$

Dengan cara yang sama diperoleh potensial di titik P<sub>2</sub> yaitu:

$$V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (2.34)$$

Sehingga didapatkan beda potensial diantara titik P<sub>1</sub> dan P<sub>2</sub> yaitu:

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left[ \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right] \quad (2.35)$$

Susunan seperti ini berkaitan dengan 4 elektroda yang terbentang secara normal digunakan dalam pekerjaan medan potensial (Telford *et al*, 1990).

### 2.7.3 Resistivitas Semu (*Apparent Resistivity*)

Menurut Telford, *et al* (1990) bumi dianggap sebagai medium yang homogen dan isotropis sehingga nilai resistivitas yang terukur merupakan resistivitas sebenarnya ( $\rho$ ). Namun pada kenyataannya bumi terdiri atas lapisan-lapisan dengan resistivitas yang berbeda-beda (Gambar 2.8), sehingga potensial yang terukur dipengaruhi oleh lapisan-lapisan tersebut. Oleh karena itu, apabila dilakukan pengukuran dipermukaan bumi, maka nilai resistivitas yang terukur merupakan resistivitas semu ( $\rho_a$ ). Menurut Reynolds (1997) resistivitas semu yang terukur adalah:

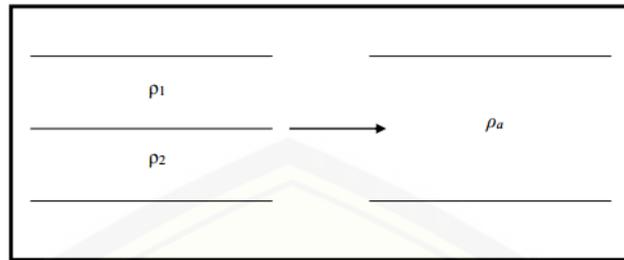
$$\rho = 2\pi \left[ \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]^{-1} \frac{\Delta V}{I} \quad (2.36)$$

atau

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.37)$$

Dengan  $K = 2\pi \left[ \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]^{-1}$ , dimana  $K$  merupakan faktor geometri.

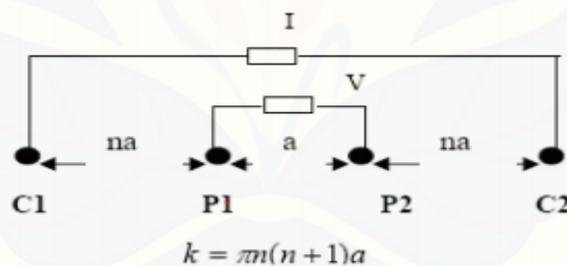
Faktor geometri merupakan besaran koreksi letak kedua elektroda potensial terhadap letak kedua elektroda arus.



Gambar 2.8. Konsep resistivitas semu pada medium berlapis (Reynolds, 1997)

#### 2.7.4 Konfigurasi Wenner-Schlumberger

Menurut Sakka (2001), konfigurasi Wenner-Schlumberger adalah konfigurasi dengan sistem aturan spasi yang konstan dengan catatan faktor “n” untuk konfigurasi ini adalah perbandingan jarak antara elektroda  $C_1$ - $P_1$  (atau  $C_2$ - $P_2$ ) dengan spasi antara  $P_1$ - $P_2$  seperti pada Gambar 2.9. Jika jarak antar elektroda potensial ( $P_1$  dan  $P_2$ ) adalah  $a$  maka jarak antar elektroda arus ( $C_1$  dan  $C_2$ ) adalah  $2na + a$ . Proses penentuan resistivitas menggunakan 4 buah elektroda yang diletakkan dalam sebuah garis lurus.



Gambar 2. 9 Susunan konfigurasi Wenner-Schlumberger (Sakka, 2001)

Terlihat bahwa faktor geometri bergantung pada letak elektroda potensial dan elektroda arus (Loke, 1999).

#### 2.7.5 Resistivitas Batuan

Menurut Telford *et al* (1990) dari semua sifat fisika batuan dan mineral, resistivitas memperlihatkan variasi harga yang sangat banyak. Pada mineral-mineral logam, harganya berkisar pada  $10^{-8} \Omega\text{m}$  hingga  $10^7 \Omega\text{m}$ . Begitu juga pada batuan-batuan lain, dengan komposisi yang bermacam-macam akan menghasilkan

rentang resistivitas yang bervariasi pula. Rentang resistivitas maksimum yang mungkin adalah dari  $1,6 \times 10^{-8}$  (perak asli) hingga  $10^{16} \Omega\text{m}$  (belerang murni). Konduktor biasanya didefinisikan sebagai bahan yang memiliki resistivitas kurang dari  $10^{-8} \Omega\text{m}$ , sedangkan isolator memiliki resistivitas lebih dari  $10^7 \Omega\text{m}$ , dan diantara keduanya adalah bahan semikonduktor

Secara umum berdasarkan harga resistivitas listriknya, batuan dan dikelompokkan menjadi tiga, yaitu :

1. Konduktor baik :  $10^{-8} < \rho < 1 \Omega\text{m}^2$ .
2. Konduktor pertengahan :  $1 < \rho < 10^7 \Omega\text{m}$
3. Isolator :  $\rho > 10^7 \Omega\text{m}$

Air tanah secara umum berisi campuran terlarut yang dapat menambah kemampuannya untuk menghantar listrik, meskipun air tanah bukan konduktor yang baik. Menurut Zohdy *et al* (1993), resistivitas dari air dan lapisan penyusunnya diklasifikasikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Resistivitas dari Air dan Lapisan Penyusun

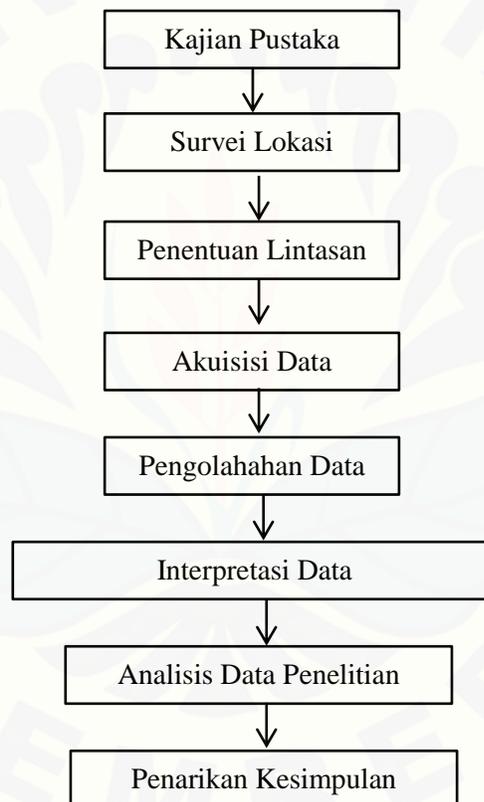
| Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ ) | Lapisan Penyusun                                | Keterangan   |
|-----------------------------------|---|--|
| 0.5-2.0                           | Tanah dengan butiran sedikit atau lempung jenuh | Air laut atau air yang sangat asin, TDS sekitar 20000 mg/L |
| 2.0-4.5                           | Butiran pasir atau lempung jenuh                | Air asin, TDS 10000 mg/L                                   |
| 4.5-10                            | Tanah kepasiran atau lempung berpasir           | Air payau keasinan, TDS sekitar 10000-1500 mg/L            |
| 10-15                             | Pasir, kerikil, dan terdapat lempung            | Air payau, TDS sekitar 5000-1500 mg/L                      |
| 15-30                             | Pasir, kerikil, dan sedikit lempung             | Air tanah berkualitas rendah, TDS sekitar 1500-700 mg/L    |
| 30-70                             | Pasir, kerikil, sangat sedikit lempung          | Air tanah berkualitas menengah, TDS sekitar 100 mg/L       |
| 70-100                            | Pasir, kerikil, tidak berlempung                | Air tanah kualitas bagus, TDS sangat kecil                 |
| Lebih dari 100                    | Pasir kasar, kerikil, tidak berlempung          | Air tanah berkualitas sangat bagus, TDS sangat kecil       |

Sumber: (Zohdy *et al*, 1993)

## BAB 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian merupakan sebuah desain operasional yang dapat digunakan sebagai pedoman teknis dalam melaksanakan rangkaian kegiatan penelitian. Adapun rancangan penelitian pada penelitian ini digambarkan oleh diagram (*flow chart*) Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Rancangan Penelitian

#### 3.1.1 Kajian Pustaka (Studi Literatur)

Penelitian dimulai dengan kajian pustaka atau studi literatur yakni pencarian referensi dalam bentuk jurnal (nasional maupun internasional), buku, skripsi, tesis, disertasi, artikel ilmiah, proseding, dan lain-lain yang berkaitan dengan tema

penelitian yakni intrusi air laut. Selanjutnya bisa ditentukan metode yang digunakan dalam proses akuisisi, pengolahan data, dan cara-cara penarikan kesimpulan berdasarkan referensi yang ada.

### 3.1.2 Survei Lokasi

Survei lokasi tahap awal dilakukan untuk mendapatkan gambaran secara umum lokasi penelitian dan permasalahan yang ada pada lokasi tersebut. Ada 2 jenis survei yang dilakukan pada penelitian ini yaitu:

#### a) Survei kedalaman sumur

Survei kedalaman sumur dilakukan untuk perkiraan panjang bentangan lintasan dan spasi elektroda yang mungkin. Sehingga ketika proses akuisisi data penetrasi oleh elektroda dapat menjangkau lapisan target.

#### b) Survei beberapa sumur warga yang diduga terimbas intrusi

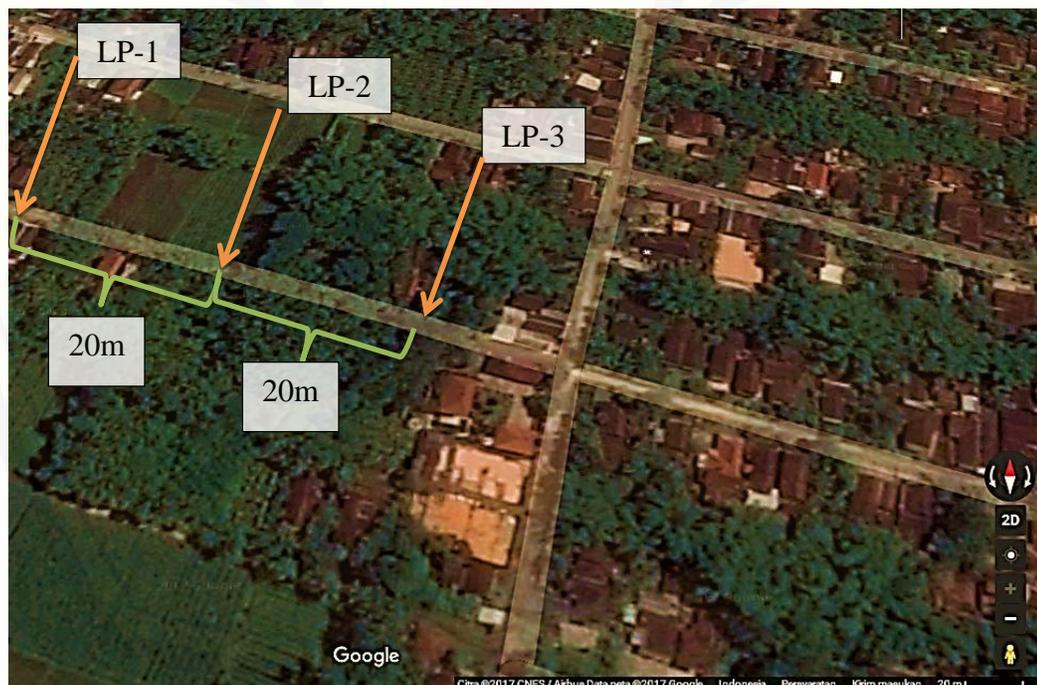
Survei ini dilakukan untuk mendapatkan gambaran secara kasar sejauh mana intrusi terjadi pada daerah tersebut. Sehingga dapat diketahui letak penempatan bentangan lintasan yang mungkin.

### 3.1.3 Penentuan Lintasan

Setelah dilakukan survei awal dan didapatkan gambaran kondisi zona penelitian secara umum, maka selanjutnya adalah menentukan letak bentangan lintasan sebagai batas zona penelitian. Zona penelitian terletak kurang lebih 1 km dari pantai Paseban (Gambar 3.2). Adapun lintasan pengukuran terdiri atas 3 buah lintasan yang terletak sejajar dengan jarak sekitar 20 m satu sama lain. Desain lintasan pada penelitian ini secara umum seperti Gambar 3.3.



Gambar 3.2 Posisi zona penelitian dari pantai terletak kurang lebih 1 km

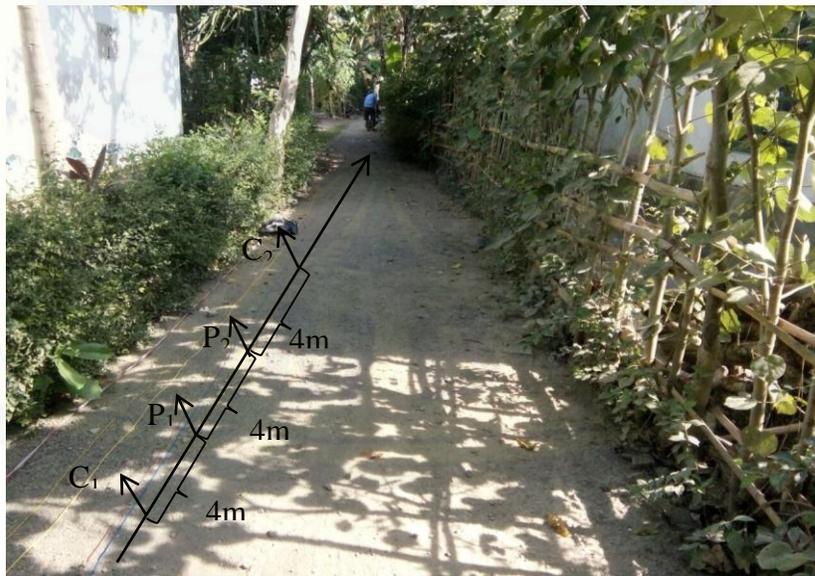


Gambar 3.3 Skema lintasan pengukuran secara umum

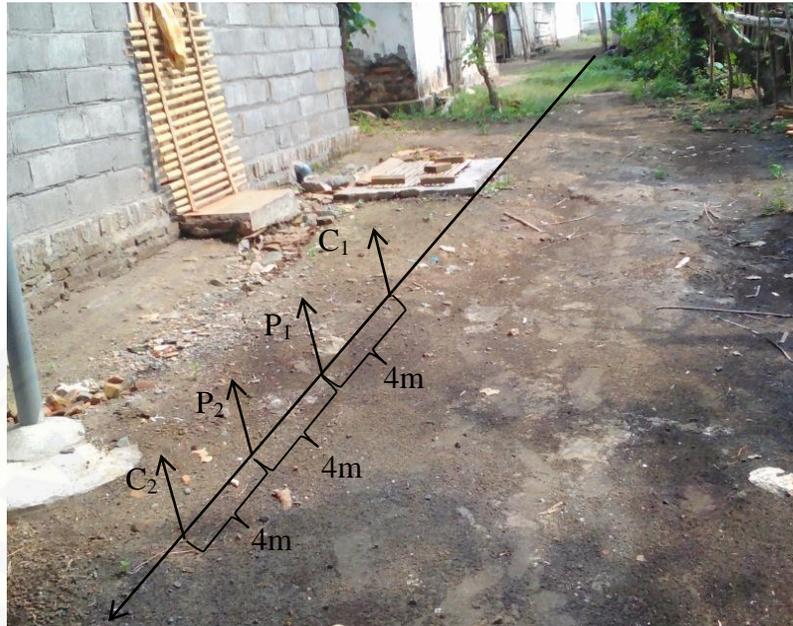
Semua lintasan pengukuran pada penelitian ini berada pada cakupan wilayah yang diduga terkena dampak intrusi air laut. Lintasan pengukuran 1 (LP-1)

membentang tegak lurus pantai sepanjang 100 m (Gambar 3.4), lintasan pengukuran 2 (LP-2) membentang tegak lurus pantai sepanjang 60 m (Gambar 3.5), dan lintasan pengukuran 3 (LP-3) membentang tegak lurus pantai sepanjang 80 m (Gambar 3.6). Ketiga lintasan tersebut posisinya sejajar satu sama lain. Adapun perbedaan panjang lintasan dikarenakan kondisi yang tidak memungkinkan di lapangan untuk membentangkan lintasan dengan panjang yang sama akibat terdapatnya genangan air.

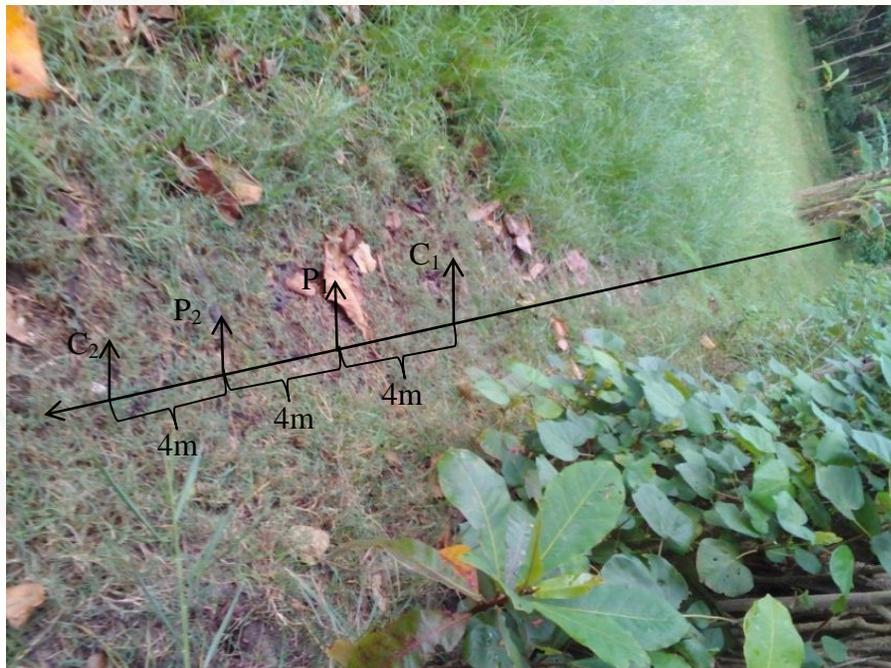
Panjang bentangan lintasan dan spasi elektroda yang digunakan telah diperhitungkan dapat menjangkau lapisan target sedalam kurang lebih 6.0 m. Karena berdasarkan survei awal, rata-rata sumur warga dengan kedalaman sekitar 4.0-6.0 m memiliki rasa yang payau diduga telah terimbas oleh intrusi air laut. Perhitungan tersebut berdasarkan tabel dugaan penetrasi yang dibuat oleh Loke (2004). Bahwa dengan panjang lintasan 100 m dan spasi elektroda 4.0 m, akan menjangkau kedalaman minimal berkisar 16.06 m dan maksimal berkisar 19.1 m. Sedangkan untuk panjang lintasan 60 m dan 80 m akan menjangkau kedalaman minimal berkisar 11.45 m dan 14.52m, dan kedalaman maksimal berkisar 11.46m dan 15.28m.



Gambar 3.4 Lintasan pengukuran 1 (LP-1) membentang sepanjang 100 m menuju posisi pantai



Gambar 3.5 Lintasan pengukuran 2 (LP-2) membentang sepanjang 60 m menuju posisi pantai



Gambar 3.6 Lintasan Pengukuran 3 (LP-3) membentang sepanjang 80 m menuju posisi pantai

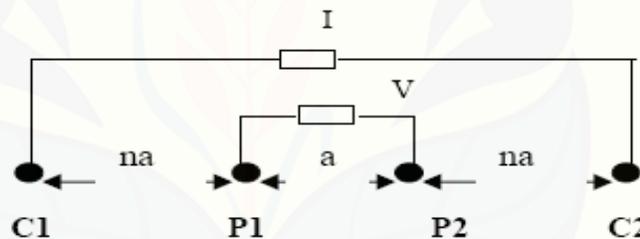
### 3.1.4 Akuisisi Data

Ada dua jenis akuisisi data yang dilakukan pada penelitian ini yakni akuisisi data menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi Wenner-Schlumberger dan metode Badon Ghyben-Harsberg.

#### a) Akuisisi data menggunakan metode geolistrik resistivitas

Adapun langkah kerja akuisisi data menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi Wenner-schlumberger adalah sebagai berikut:

- (1) Sebelum pengambilan data dilakukan preparasi alat dan bahan yang dibutuhkan yaitu: Set resistivimeter, meteran, elektroda, kabel, palu, alat tulis, komputer, dan lain-lain.
- (2) Membentangkan lintasan dan menyusun elektroda sesuai konfigurasi yang digunakan. Dalam penelitian ini digunakan konfigurasi Wenner-Schlumberger sehingga formasi elektroda sesuai dengan gambar 3.7 berikut.



Gambar 3.7 Skema susunan elektroda geolistrik konfigurasi Wenner- schlumberger (Loke,1999)

Adapun spasi ( $a$ ) yang digunakan pada penelitian ini sebesar 4.0 m. Nilai  $n$  diperbesar secara gradual mulai  $n= 1,2,3...$  dan seterusnya.

- (3) Menyusun rangkaian alat resistivimeter dan menghubungkan kabel dengan elektroda.
- (4) Setelah semua siap, dilakukan injeksi arus listrik ke dalam bumi. Kemudian dicatat nilai beda potensial ( $V$ ) dan kuat arus ( $I$ ). Penginjeksian arus melalui dua elektroda arus  $C_1$  dan  $C_2$ . Dengan adanya aliran arus listrik tersebut maka akan menimbulkan potensial di dalam tanah. Beda potensial yang terjadi di

permukaan tanah diukur dengan menggunakan multimeter yang terhubung melalui dua buah elektroda potensial  $P_1$  dan  $P_2$ .

(5) Pengukuran dilakukan berulang-ulang hingga n terakhir.

b) Akuisisi data untuk metode Badon Ghyben-Harsberg

Adapun langkah kerja akuisisi data menggunakan metode Badon Ghyben-Harsberg adalah sebagai berikut:

- (1) Mengukur kedalaman beberapa sumur lokasi penelitian dan ketinggiannya dari permukaan laut (elevasi) untuk mendapatkan nilai muka air tanah ( $h$ ). Nilai  $h$  diperoleh dengan menghitung selisih elevasi dan muka air pada tiap sumur. Muka air diukur menggunakan meteran yang dijulurkan dari muka sumur.
- (2) Mengambil sampel air sumur untuk mendapatkan nilai massa jenis dan dicatat sebagai  $\rho_f$ . Pengukuran massa jenis dilakukan pertama dengan menimbang gelas ukur kosong, dan dicatat massanya ( $m_1$ ). Kedua mengisi gelas kosong tersebut dengan air sumur (volume ditentukan), kemudian ditimbang kembali dan dicatat sebagai  $m_2$ . Selisih masa dicatat sebagai  $m$ . Massa jenis dihitung berdasarkan persamaan berikut

$$\rho_{s,f} = \frac{m}{V} \quad (3.1)$$

- (3) Mengambil sampel air laut untuk mendapatkan nilai massa jenisnya (mengulang langkah 2) dan dicatat sebagai  $\rho_s$ .

### 3.1.5 Pengolahan Data

Adapun pengolahan data pada penelitian ini terdiri atas tiga jenis yakni sebagai berikut:

a) Pengolahan data metode geolistrik resistivitas

Setelah didapatkan data kuantitatif berupa nilai beda potensial  $V$ , kuat arus  $I$ , spasi elektroda ( $a$ ), faktor pengali ( $n$ ), selanjutnya dilakukan pengolahan data pada *microsoft excel* untuk mendapatkan nilai resistivitas semu yang sudah dikoreksi

dengan faktor geometri ( $k$ ). Setelah itu dilakukan pemodelan dengan *Res2Dinv* untuk mendapatkan citra bawah permukaan bumi.

Adapun tahapan pemodelan pada *Res2Dinv* mula-mula adalah menyiapkan skrip dalam notepad yang berisi beberapa kode, nilai datum, spasi elektroda ( $a$ ), faktor pengali ( $n$ ), resistivitas semu ( $\rho_a$ ) dan disimpan dalam format dat. Adapun contoh skrip yang digunakan untuk pemodelan pada *Res2Dinv* adalah seperti gambar 3.8.

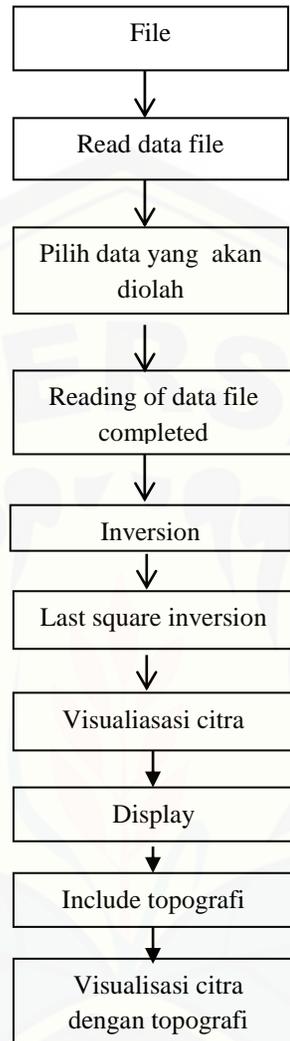
```

LP-2 fix.dat - Notepad
File Edit Format View Help
Lintasan Pengukuran 2 (LP-2)
4.0000
7
23
0
0
0.0000, 4.0000, 1.000000, 11.1784
8.0000, 4.0000, 1.000000, 5.4789
12.0000, 4.0000, 1.000000, 5.4008
16.0000, 4.0000, 1.000000, 7.7950
28.0000, 4.0000, 1.000000, 11.9087
48.0000, 4.0000, 1.000000, 8.6664
4.0000, 4.0000, 2.000000, 8.4651
12.0000, 4.0000, 2.000000, 7.9326
16.0000, 4.0000, 2.000000, 8.2687
28.0000, 4.0000, 2.000000, 5.4807
32.0000, 4.0000, 2.000000, 5.7628
4.0000, 4.0000, 3.000000, 15.0720
8.0000, 4.0000, 3.000000, 13.7614
16.0000, 4.0000, 3.000000, 14.2890
20.0000, 4.0000, 3.000000, 20.6740
32.0000, 4.0000, 3.000000, 86.1257
2
7
0.0000, 10.0000,
10.0000, 10.0000,
20.0000, 5.0000,
30.0000, 10.0000,
40.0000, 10.0000,
50.0000, 10.0000,
60.0000, 9.0000,
1
0
0
0
0
0
0

```

Gambar 3.8 Skrip data yang akan diolah menggunakan *software Res2Dinv* dengan koreksi topografi

Adapun diagram (Gambar 3.9) berikut merupakan langkah pengolahan data untuk memunculkan citra resistivitas bawah permukaan bumi menggunakan *Res2Dinv*.



Gambar 3.9 Langkah pengolahan data menggunakan *software Res2Dinv* dengan koreksi topografi

b) Pengolahan data untuk metode Badon Ghyben-Harsberg

Berdasarkan data yang diperoleh pada tahap akuisisi yakni data  $\rho_f$  (massa jenis air tawar pada sumur),  $\rho_s$  ( massa jenis air laut),  $h$  (muka air tanah) kemudian diolah untuk menentukan batas kedalaman air tanah dan air laut berdasarkan persamaan 2.4. Untuk mengetahui keakuratan hasil pengukuran, maka dilakukan perhitungan nilai ralat dengan persamaan sebagai berikut.

$$\Delta H = \sqrt{\left(\frac{\partial H}{\partial \rho_f}\right)^2 (\Delta \rho_f)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial \rho_s}\right)^2 (\Delta \rho_s)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial h}\right)^2 (0.68 \Delta h)^2} \quad (3.2)$$

### 3.1.6 Interpretasi Data

Setelah dilakukan pemodelan pada *Res2Dinv* maka didapatkan hasil berupa citra bawah permukaan. Citra tersebut terdiri atas gradasi warna berdasarkan nilai resistivitasnya. Tiap warna mengindikasikan lapisan tertentu atau keberadaan anomali tertentu. Kemudian dilakukan interpretasi pada citra tersebut. Langkah awal melakukan interpretasi adalah mengidentifikasi nilai resistivitasnya. Kemudian nilai tersebut dibandingkan dengan literatur (Tabel 2.1). Lapisan yang diduga terintrusi air laut memiliki nilai resistivitas yang cukup kecil berkisar 0.5-15.0  $\Omega\text{m}$ . Apabila pada citra terindikasi kisaran nilai resistivitas tersebut maka dapat diketahui bahwa intrusi air laut telah terjadi pada zona penelitian.

### 3.1.7 Analisis Data Penelitian

Susiyanti (tanpa tahun) melakukan penelitian untuk menyelidiki dugaan terjadinya intrusi air laut menggunakan konfigurasi Wenner. Setelah dilakukan interpretasi data, maka diketahui bahwa lapisan dengan nilai resistivitas berkisar antara 4.18- 13.9  $\Omega\text{m}$  yang dicitrakan oleh warna biru tua hingga hijau muda telah terintrusi air laut. Sedangkan lapisan dengan nilai resistivitas berkisar 20.8-69.2  $\Omega\text{m}$  diduga terindikasi keberadaan air tanah. Oleh karena itu pada citra tersebut diketahui batas kedalaman air tanah dan air laut (nilai H) berkisar pada kedalaman 12.8-24.9 m.

Pada penelitian ini, berdasarkan metode geolistrik resistivitas dihasilkan citra bawah permukaan. Dari citra tersebut dapat diketahui kisaran batas kedalaman air tanah dan air laut (nilai H), distribusi intrusi, serta arah aliran intrusi. Disisi lain, akuisisi data dengan metode Badon Ghyben-Harsberg juga akan menghasilkan batas kedalaman air tanah dan air laut (nilai H). Sehingga nilai H yang dihasilkan oleh kedua metode tersebut untuk selanjutnya dilakukan validasi.

### 3.1.8 Penarikan Kesimpulan

Setelah keseluruhan tahap dilakukan maka tahap terakhir adalah melakukan penarikan kesimpulan. Penarikan kesimpulan adalah menarik benang merah pada hasil penelitian yang telah didapatkan meliputi distribusi intrusi, batas kedalaman air tanah dan air tawar, arah aliran intrusi berdasarkan topografi, serta hasil validasi metode geolistrik resistivitas dengan metode Badon Ghyben-Harsberg.

### 3.2 Jenis dan Sumber Data

Jenis data yang diperoleh pada penelitian ini merupakan data kuantitatif primer. Data diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan. Akuisisi data menggunakan metode geolistrik resistivitas akan didapatkan data berupa nilai beda potensial ( $V$ ), kuat arus ( $I$ ), resistivitas semu ( $\rho_a$ ), dan spasi elektroda ( $a$ ). Akuisisi data menggunakan metode Badon Ghyben-Harsberg akan didapatkan data berupa nilai massa jenis air sumur ( $\rho_f$ ), massa jenis air laut ( $\rho_s$ ), elevasi sumur, dan muka air sumur.

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh maka dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Secara umum air laut pada ketiga lintasan pengukuran mengintrusi lebih dari 50% dari total panjang lintasan. Pada lintasan pengukuran 1 (LP-1) air laut mengintrusi sekitar 60%, LP-2 sekitar 80%, dan LP-3 sekitar 76% dari total panjang lintasan. Sedangkan berdasarkan nilai batas kedalaman air tanah dan air laut (nilai H), secara umum pada ketiga lintasan pengukuran air laut mengintrusi lapisan yang cukup dangkal yakni sekitar 2.0-8.0 m.
2. Berdasarkan metode Badon Ghyben Harsberg, batas kedalaman air tanah dan air laut pada ketiga lokasi pengukuran sekitar 7.3-17.1 m.
3. Setelah dilakukan perbandingan, nilai batas kedalaman air tanah dan air laut (nilai H) pada metode geolistrik resistivitas dan metode Badon Ghyben-Harsberg memiliki perbedaan. Pada lintasan pengukuran 1 (LP-1), metode Badon Ghyben-Harsberg memiliki batas yang lebih dalam sekitar 9.1 m. Pada LP-2, metode Badon Ghyben-Harsberg memiliki batas yang lebih dalam sekitar 1.7 m, dan pada LP-3 metode Badon Ghyben-Harsberg memiliki batas yang lebih dalam sekitar 4.0 m.

### 5.2 Saran

Hasil batas kedalaman air tanah dan air laut (nilai H) pada metode geolistrik resistivitas dan metode Badon Ghyben Harsberg memiliki perbedaan kemungkinan akibat penggunaan GPS Garmin 64s dengan akurasi +/- 3.65 m untuk pengukuran elevasi. Oleh karena itu, untuk pengukuran elevasi perlu digunakan alat dengan ketelitian yang lebih tinggi.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Agus RN dan Ferrina Q. 2015. Analisis Potensi Intrusi Air Asin Menggunakan Metode Anomali Gravity Mikro Antar Waktu (Studi Kasus: DKI Jakarta). *Proseding Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya*. Tangerang Selatan: STMKG.
- Asfiainnisa'. 2015. Pendugaan Intrusi Air Laut dalam Persiapan Pengeboran Sumur Dalam dengan Metode Geolistrik 2D Konfigurasi Wenner di Desa Keting Kecamatan Jombang Kabupaten Jember. *Jurnal Pendidikan Fisika*. Jember : Jurusan Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Jember, Vol 3 No 4, hal 390-396.
- Barlow MP. 2003. Ground Water in Freshwater-Saltwater Environments of the Atlantic Coast. <https://pubs.usgs.gov/circ/2003/circ1262/>. USGS. [Diakses tanggal 10 Mei 2017].
- Barlow MP, Reichard, dan Eric G. 2010. Saltwater Intrusion in Coastal Regions of North America. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/70003372>. USGS. [Diakses tanggal 20 April 2017].
- Bear, J. 1979. *Hydraulics of Groundwater*. New York : Mc. Graw Hill Book Company.
- Garmin Ltd. 2016. *Garmin 64 Owner's manual*. Olathe, Kansas
- Hasibuan F. 2013. Studi Intrusi Air Laut dengan Menggunakan Metode Resistivitas Listrik Konfigurasi Wenner Schlumberger di Kawasan Desa Pantai Cermin Kiri Kecamatan Cermin. *Skripsi*. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- Hendrayana, H. 2002. *Intrusi Air Asin ke Dalam Akuifer Daratan*. Yogyakarta: Fakultas Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada.
- Iswoko, D. 2011. Kajian Intrusi Air Laut di Wilayah Kecamatan Puger Kabupaten Jember. *Skripsi*. Jember: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember.
- Kodoatie, R.J. 1996. *Penghantar Hidrogeologi*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Kusnandar H. 2012. Prediksi Potensi Cadangan Air Tanah Menggunakan Persamaan Darcy di Kota Tangerang Selatan Provinsi Banten. *Skripsi*. Bogor: Jurusan

**Lampiran D. Gambar dan Dokumentasi**



Gambar D.1 Dokumentasi pengambilan data metode geolistrik resistivitas



Gambar D.2 Dokumentasi Lintasan Pengukuran 1 (LP-1)



Gambar D.3 Dokumentasi lintasan pengukuran 2 (LP-2)