

TESIS

**INTEGRASI METODE GEOLISTRIK DAN GEOKIMIA PADA SEBARAN
LOGAM BERAT DI SEDIMEN PANTAI**

Disusun dan diajukan oleh :

ASNUR AZIS

D062181003



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK- PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS
HASANUDDIN**

GOWA

2021

LEMBAR PENGESAHAN TESIS**INTEGRASI METODE GEOLISTRIK DAN GEOKIMIA PADA SEBARAN
LOGAM BERAT DI SEDIMEN PANTAI**

Disusun dan diajukan oleh

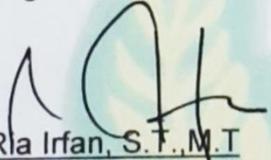
ASNUR AZIS

D062181003

Telah dipertahankan di hadapan panitia ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Sarjana Program Studi Magister Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 30 Agustus 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

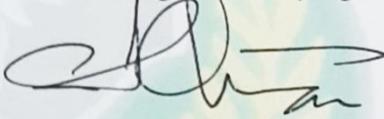
Menyetujui,

Pembimbing Utama



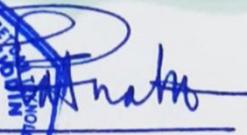
Dr. Ulva Ria Irfan, S.T., M.T
NIP. 19700606 199412 2 001

Pembimbing Pendamping



Ilham Alimuddin, S.T., MGIS., Ph.D
NIP. 19690825 199903 1 001

Ketua Program Studi
Magister Teknik Geologi,



Dr. H. Ratna Husain L, MT.
NIP. 19590202 198601 2 001



PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : ASNUR AZIS
Nomor Mahasiswa : D062181003
Program Studi : Teknik Geologi
Jenjang : S2

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**INTEGRASI METODE GEOLISTRIK DAN GEOKIMIA PADA SEBARAN LOGAM
BERAT DI SEDIMEN PANTAI**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa tesis yang saya tulis ini benar benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Tesis ini karya orang lain , maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut

Gowa, 30 Agustus 2021

Yang menyatakan;



ASNUR AZIS

NIM: D062181003

SARI BACAAN

Studi baru tentang penggunaan metode geolistrik, sampel air, dan analisis geokimia untuk delineasi dan pemetaan logam berat dalam sistem akuifer disajikan dalam penelitian ini. Sebanyak 3 jalur survei geolistrik dengan konfigurasi Wenner Schlumberger dilakukan untuk menentukan permukaan bawah permukaan. Untuk melihat kualitas sampel air dan perubahan sampel air hidrokimia di wilayah penelitian diambil satu sampel, diambil enam sampel untuk dianalisis lebih lanjut di laboratorium, terdiri dari tiga sampel air sumur bor, dua sampel air sungai dan satu sampel air laut. Analisis geokimia dilakukan pada sampel tanah yang diperoleh dari 3 lokasi terpilih. Berdasarkan hasil analisis data didapatkan konsentrasi Cd (0,94-2,42 mg / kg) lebih tinggi di bagian utara dan konsentrasi Cr (4,39-72,98 mg / kg), Ni (12,11-47,69 mg / kg) dan Co (7,19-12,86) ditemukan lebih tinggi di bagian selatan lokasi penelitian. Sedangkan sebaran logam berat di bagian utara dan selatan sebaran logam Cd, Cr, Ni dan Co relatif tinggi, sedangkan di bagian tengah pantai Galesong relatif rendah. Analisis geokimia sampel tanah menunjukkan bahwa pada zona resistivitas ($<20 \Omega\text{m}$), konsentrasi Cd dan Cr relatif tinggi. Mulai dari zona tengah hingga barat laut, nilai resistivitas lingkungan tergolong rendah. Sedangkan nilai resistivitas lebih dari $40 \Omega\text{m}$ dapat diartikan sebagai zona akuifer, sehingga dapat diabaikan bahwa zona logam berat pada sistem akuifer dapat dengan mudah digambarkan oleh distribusi resistivitas geolistrik yang disajikan dalam bentuk penampang kedalaman.

Kata kunci: Resistivitas geolistrik, Airtanah, Logam Berat, Geokimia, Sedimen pantai.

ABSTRACT

New studies on the use of geoelectrical methods, water samples, and geochemical analysis for the delineation and mapping of heavy metals in aquifer systems are presented in this research. A total of 3 geoelectrical survey lines with the Wenner Schlumberger configuration were carried out to determine the subsurface. To see the quality of water samples and changes in hydrochemical water samples in the study area, a sample was taken, six samples were taken for further analysis in the laboratory, consisting of three bores well water samples, two river water samples and one seawater samples. Geochemical analysis was carried out on soil samples obtained from 3 selected locations. Based on the results of data analysis, Cd concentration (0.94-2.42 mg / kg) was found to be higher in the northern part and the concentration of Cr (4.39-72.98 mg / kg), Ni (12.11-47.69 mg / kg) and Co (7,19-12,86) were found to be higher in the southern part of the study site. While the distribution of heavy metals in the northern and southern parts of the metal distribution of Cd, Cr, Ni and Co is relatively high, while in the middle part of Galesong beach is relatively low. Geochemical analysis of soil samples shows that in the resistivity zone ($<20 \Omega\text{m}$), the concentrations of Cd and Cr are relatively high. Starting from the middle zone to the northwest, the environmental resistivity value is low. While the resistivity value of more than $40 \Omega\text{m}$ can be interpreted as an aquifer zone, so it can be neglected that the heavy metal zone in the aquifer system can easily be described by the geoelectrical resistivity distribution presented in the form of a depth section.

Keywords: Geoelectrical resistivity, Groundwater, Heavy Metals, Geochemistry, coastal sediment.

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT atas limpahan Rahmat dan Karunia-Nya, guyuran Ilmu dan Manfaat-Nya serta segala Pertolongan dan Pengawasan-Nya, sehingga penulis senantiasa berada pada garis kesabaran dan selalu dalam naungan keikhlasan, Insya Allah. Salawat dan salam semoga senantiasa tercurahkan kepada baginda Rasulullah, Muhammad SAW, manusia dengan akhlaq paling mulia, teladan yang sebenarnya dan pemimpin dengan keadilan yang tiada duanya.

Tesis dengan judul **“INTEGRASI METODE GEOLISTRIK DAN GEOKIMIA PADA SEBARAN LOGAM BERAT DI SEDIMEN PANTAI”** dibuat sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dan sebagai cerminan sejauh mana penulis dapat mengaplikasikan ilmu yang didapatkan dari bangku kuliah serta kursi organisasi. Penyelesaian tesis ini tidak terlepas dari berbagai keterbatasan penulis, tetapi berkat bantuan dan dorongan dari berbagai pihak, akhirnya dapat di selesaikan dengan baik.

Segala bentuk saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan penulis untuk meningkatkan kualitas pada penulisan karya-karya berikutnya. Seuntai kata terima kasih atas bantuan dari berbagai pihak adalah satu-satunya ungkapan terindah yang dapat penulis sampaikan. Penghargaan yang setinggi – tingginya penulis haturkan

kepada kedua orang tua tercinta, ibunda **Hj. Nurjaya** dan ayahanda **Alm.Azis Tahir** Serta **Istri Dahlia dan Anakku Hanif Ibrahim Azis** yang senantiasa mendoakan, mendukung dan memberikan dorongan, semangat, cinta dan kasih sayang kepada penulis hingga menjadi seperti sekarang ini. Tak lupa penulis berterima kasih kepada **Asriana Azis, Faizal Azis,** dan **Asnita Azis** saudara kakak dan adik yang selalu memberikan motivasi dan selalu membuat penulis berusaha menjadi yang terbaik.

Dalam penulisan tesis ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah berperan dan membantu dalam penyelesaian tesis ini, antara lain kepada:

1. Ibu **Dr. Ulva Ria Irfan, ST.,MT** selaku pembimbing pertama dan bapak **Ilham Alimuddin, ST.,M.GIS.,Ph.D** selaku pembimbing kedua yang telah memberikan perhatian, bimbingan, nasihat dan masukan-masukan kepada penulis dalam menyelesaikan tesis ini.
2. Ibu **Dr. Ir. Hj. Rohaya Langkoke, MT**, bapak **Dr. Eng. Hendra Pachri, ST.,M.Eng**, dan bapak **Dr. Sultan, ST., MT** selaku penguji yang telah memberikan koreksi dan masukan dalam penulisan tesis ini.
3. Ibu **Dr. Ir. Hj. Ratna Husain L, M.T** sebagai Ketua Prodi Magister Geologi, serta seluruh staf dosen pengajar dan pegawai Prodi Magister Geologi Fakultas Teknik Unhas yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama penulis menjalani studi hingga menyelesaikan tesis ini.

4. Teman seperjuangan teman –teman Magister Geologi angkatan 2018

Semoga tesis ini bermanfaat bagi pembaca maupun penulis. Penulis telah mengerahkan segala kemampuan dalam menyelesaikan tesis ini, namun sebagai manusia yang memiliki kekurangan, penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan masih jauh dari kesempurnaan karena sesungguhnya kesempurnaan hanyalah milik Allah SWT. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun dari Anda sangat penulis harapkan. Semoga Allah senantiasa melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya. Amin.

Wassalamu Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
SARI BACAAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
A. Geologi Regional	5
A.1. Geologi Regional Daerah Penelitian	5
A.2. Geomorfologi Regional Daerah Penelitian	6
B. Logam Berat	6
B.1. Kadmium (Cd)	8
B.2. Kromium (Cr)	9
B.3 Nikel (Ni)	10
B.4. Kobalt (Co)	10
C. Pencemaran Logam Berat	11
D. Konsep Dasar Metode Resistivitas.....	14
E. Potensial di Sekitar Titik Arus	15
F. Konfigurasi Elektroda	18
G. Hubungan Logam Berat dan Nilai Resistivitas	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	28
A. Jenis Penelitian	28
B. Lokasi dan Waktu Penelitian	28
C. Tahap Penelitian	29

1. Tahap Pengumpulan Data	29
2. Tahap Kajian Pustaka	29
3. Tahap Pengambilan Sampel	30
4. Tahap Pengolahan Data	30
5. Tahap Interpretasi	31
D. Bagan Alir Penelitian	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
A. Stratigrafi Daerah Penelitian	33
B. Penampang Nilai Resistivitas	34
B.1. Lintasan 1	36
B.2. Lintasan 2	37
B.3. Lintasan 3	39
C. Korelasi Penampang Resistivitas dan Sampel Air	40
C.1. Stasiun 1	42
C.2. Stasiun 2	44
C.3. Stasiun 3	46
C.4. Korelasi Penampang Resistivitas dan Unsur Air	48
D. Korelasi Penampang Resistivitas dan Geokimia	50
D.1. Konsentrasi Logam Berat dalam Sedimen	50
D.2. Korelasi Logam Berat dalam Air Sumur Bor	51
D.3. Korelasi Logam Berat dan Penampang Resistivitas	51
BAB V PENUTUP	58
A. Kesimpulan	58
B. Saran	59
DAFTAR PUSTAKA.....	61
LAMPIRAN	64

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pencemaran logam berat telah menyebar keseluruh belahan dunia sejalan dengan perkembangan industri (Singh, 2001). Hal ini juga menyebabkan limbah yang dihasilkan meningkat dan karakteristik limbah semakin kompleks. Sifat nondegradable dari logam berat menyebabkan sulitnya dilakukan degradasi secara alami. Kurangnya sistem pengamanan pembuangan limbah industri ke dalam lingkungan mengakibatkan efek toksisitas terhadap tumbuhan, hewan, dan manusia (USDA NRCS, 2000).

Limbah logam berat yang dihasilkan oleh industri diklasifikasikan sebagai limbah B3 (Peraturan Pemerintah No18/1999 dan 85/1999 tentang Pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun). Secara umum, limbah logam berat yang dihasilkan oleh industri adalah Pb, Cr, Cu, Ni, Zn, Cd dan Hg (Gottsching dan Pakarinen, 2000). Telah diketahui secara umum limbah logam berat ini sangat toksik bagi kehidupan manusia. Logam berat yang mencemari perairan akan terakumulasi pada tubuh organisme perairan seperti ikan. Dengan mengkonsumsi ikan dari perairan itu, maka logam berat masuk ke dalam tubuh manusia dari konsumsi melalui proses akumulasi secara biologi (bioakumulasi), proses perpindahan secara biologi (biotransfer), dan pembesaran secara biologi (biomagnifikasi) (Yasuda *et al*, 2000).

Masuknya limbah kesuatu lokasi maka akan mengakibatkan terjadinya perubahan pada lokasi itu (Suin, 1994). Hal ini juga akan terjadi bila limbah logam dibuang kedalam perairan sehingga menyebabkan kematian ikan dan biota air lainnya karena adanya keracunan laten dalam rantai makanan yang tidak dapat ditransformasi di alam (Notodarmojo, 2005). Daya toksik yang tinggi dari logam berat mendorong adanya suatu terobosan pemikiran untuk menyelesaikan permasalahan pencemaran logam berat secara ramah lingkungan dan tidak menimbulkan efek negatif kepada lingkungan (Islmai, 2018).

Kawasan pesisir merupakan lingkungan yang dinamis, unik, dan rentan terhadap perubahan lingkungan. Berbagai macam aktivitas manusia yang dilakukan baik di daratan maupun di lautan mendorong terjadinya perubahan lingkungan di kawasan pesisir. Wilayah pesisir bagian barat Kabupaten Takalar, Provinsi Sulawesi Selatan merupakan wilayah pesisir yang berbatasan dengan Selat Makassar yang memiliki pengaruh terhadap besarnya gelombang dan kecepatan arus pada pesisir bagian barat Kabupaten Takalar. Wilayah pesisir bagian barat Kabupaten Takalar, Provinsi Sulawesi Selatan juga merupakan salah satu wilayah pesisir dengan laju pemanfaatan sumber daya yang cukup intensif. Aktivitas manusia dalam kegiatan penambangan pasir laut di perairan pesisir, pemanfaatan wilayah sebagai pelabuhan perikanan, tambak perikanan dan tempat wisata serta mulai padatnya pemukiman penduduk yang dapat mempengaruhi kontribusi logam berat dalam sedimen pada

wilayah tersebut dimana logam berat merupakan salah satu jenis zat yang dapat menjadi polutan di lingkungan apabila kandungan atau jumlahnya telah melampaui ambang batas. Hal tersebut diduga dapat menjadi salah satu sumber logam berat (Cd, Cr, Ni dan Co) yang diketahui sebagai kontaminan yang tingkat konsentrasinya dapat dipengaruhi oleh limbah-limbah hasil aktivitas manusia (Hajrah, 2016).

Metode geolistrik resistivitas adalah alternatif untuk memperoleh informasi bawah permukaan. Beberapa publikasi untuk studi air tanah termasuk penggambaran pencemarannya menggunakan metode geofisika. (Casado,et.,al, 2010) menggunakan pencitraan resistivitas geolistrik dua dimensi untuk menyelidiki migrasi bawah permukaan lindi di daerah rekahan. Korelasi antara air tanah yang tercemar dan resistivitas listrik yang rendah di bawah permukaan memungkinkan penentuan rute migrasi anomali

Nilai resistivitas yang relatif rendah pada zona akuifer dengan kadar air payau memungkinkan metode ini untuk digunakan dalam pendugaan batas air payau tawar. Kajian komprehensif tentang pendeteksian dan evaluasi nitrat pada akuifer dangkal menggunakan resistivitas geolistrik telah dilakukan (Islami,2010).

Untuk melakukan pemetaan sebaran logam berat, pada penelitian ini menggunakan tiga metode, yaitu metode geolistrik resistivitas, geokimia sampel sedimen, dan hidrogeokimia.

B. Rumusan masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana sebaran logam berat daerah penelitian.
2. Bagaimana megkorelasikan metode geosfika dan geokimia dalam penentuan sebaran logam berat.

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini, yaitu:

1. Mengidentifikasi keberadaan logam berat dalam zona akuifer berdasarkan metode geolistrik.
2. Mengkorelasikan metode geolistrik, geokimia sampel sedimen, dan hidrogeokimia dalam pemetaan sebaran logam berat.

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini, yaitu:

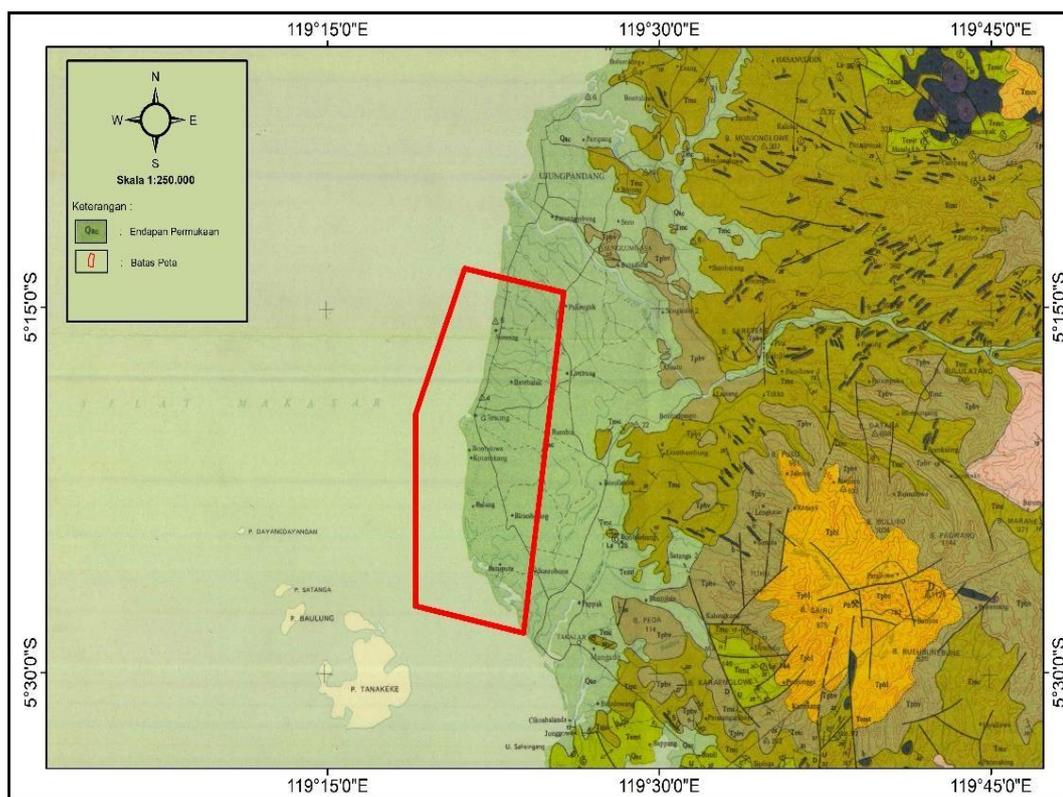
1. Penelitian ini diharapkan dapat menyediakan informasi sebaran logam berat secara spasial dengan metode yang lebih cepat dan efisien.
2. Dengan adanya penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pemerintah setempat tentang dampak geokimia lingkungan yang ditimbulkan pada unsur logam berat.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Geologi Regional

A.1 Geologi Regional Daerah Penelitian



Gambar 2.1 Peta Geologi Regional lembar Ujung Pandang, Benteng dan Sinjai

Geologi regional daerah penelitian tercakup dalam peta geologi lembar Ujung Pandang, Benteng, dan Sinjai skala 1: 250.000 (Sukamto & Supriatna, 1982). Geologi di Kabupaten Takalar termasuk dalam Mandala Sulawesi bagian barat.

A.2 Geomorfologi Regional Daerah Penelitian

Daerah penelitian terletak pada bagian barat peta, yaitu daerah pesisir barat yang merupakan daratan rendah yang sebagian besar terdiri dari daerah rawa dan daerah pasang-surut. Beberapa sungai besar membentuk daerah banjir di dataran ini. Pantainya berkelok-kelok membentuk beberapa teluk, yang mudah dibedakan dari pantai di daerah lain pada lembar ini (Rab Sukamto dan Sam Supriatna, 1982).

B. Logam Berat

Logam berat masih termasuk golongan logam dengan kriteria-kriteria yang sama dengan logam-logam lain. Perbedaanya terletak pada pengaruh yang dihasilkan bila logam berat ini berikatan dan atau masuk ke dalam tubuh organisme hidup. Misalnya, bila unsur logam besi (Fe) masuk ke dalam tubuh, meski dalam jumlah agak berlebihan, biasanya tidaklah menimbulkan pengaruh yang buruk terhadap tubuh. Karena unsur logam besi (Fe) dibutuhkan untuk mengikat oksigen dalam darah (Palar, 2004).

Elemen kimia yang memiliki berat massa atom sebesar 5gr/cm³ atau lebih dikelompokkan ke dalam logam berat. Kelompok inorganik metal di perairan alami sangat rendah. Kelompok ini termasuk logam berat yang bersifat esensial (Cr, Ni, Cu, Zn) dan yang bersifat non esensial (As, Cd, Pb, Hg). Elemen yang bersifat esensial dibutuhkan dalam proses kehidupan biotik akuatik. Kelompok elemen esensial maupun non esensial

Menurut Nordberg dkk. (2007) logam berat jika sudah terserap ke dalam tubuh maka tidak dapat dihancurkan tetapi akan tetap tinggal di dalamnya hingga nantinya dibuang melalui proses ekskresi. Hal serupa juga terjadi apabila suatu lingkungan terutama di perairan telah terkontaminasi (tercemar) logam berat maka proses pembersihannya akan sulit sekali dilakukan. Kontaminasi logam berat ini dapat berasal dari faktor alam seperti kegiatan gunung berapi dan kebakaran hutan atau faktor manusia seperti pembakaran minyak bumi, pertambangan, peleburan, proses industri, kegiatan pertanian, peternakan dan kehutanan, serta limbah buangan termasuk sampah rumah tangga. Selain bersifat racun, logam berat juga terakumulasi dalam sedimen dan biota melalui proses biokonsentrasi, bioakumulasi dan biomagnifikasi oleh biota laut. Logam-logam berat yang masuk ke dalam tubuh hewan umumnya tidak dikeluarkan lagi dari tubuh mereka. Karena itu logam-logam cenderung untuk menumpuk dalam tubuh mereka. Sebagai akibatnya, logam-logam ini akan terus ada di sepanjang rantai makanan. Hal ini disebabkan karena predator pada satu trofik level makan mangsa mereka dari trofik level yang lebih rendah yang telah tercemar.

B.1 Kadmium (Cd)

Logam kadmium mempunyai berat atom 112,41 titik cair 3210C dan massa jenis 8,65 gr/ml. Keberadaan kadmium di alam berhubungan erat dengan hadirnya logam Pb dan Zn. Dalam industri pertambangan Pb dan Zn, proses pemurninya akan selalu memperoleh hasil samping kadmium

yang terbuang dalam lingkungan, kadmium digunakan sebagai pigmen dalam pembuatan keramik (Palar, 2004). Secara global sumber utama Cd adalah dari deposisi atmosferik, proses smelting dan refining dari logam non ferrous, proses industri terkait produksi 10 bahan kimia dan metalurgi, serta air buangan limbah domestik. Hanya 15% saja dari deposisi atmosferi yang berasal dari sumber-sumber alamiah. Diperkirakan 1000 ton Cd dilepaskan per tahun ke atmosfer dari smelters dan pabrik-pabrik yang mengolah Cd. Pelepasan Cd ke dalam perairan alamiah sebagian besar berasal dari industri galvanik, sumber lain polusi Cd adalah industri batrei, pupuk dan fungisida yang mengandung Cd dan Zn juga merupakan sumber potensial polusi kedua logam ini (Allen, dkk., 1998).

Logam berat Cd terlarut dalam air akan mengalami proses adsorpsi oleh partikel tersuspensi dan mengendap di sedimen. Proses adsorpsi akan diikuti oleh proses desorpsi yang mengembalikan Cd dalam bentuk terlarut dalam badan air (Sanusi, 2006).

Kadmium (Cd) merupakan logam yang bersifat kronis dan pada manusia biasanya terakumulasi dalam ginjal. Keracunan Cd dalam waktu yang lama membahayakan kesehatan paru-paru, tulang, hati, kelenjar reproduksi dan ginjal. Logam ini juga bersifat neurotoksin yang menimbulkan dampak rusaknya indera penciuman (Anwar, 1996).

B.2 Kromium (Cr)

Logam Cr murni tidak pernah ditemukan di alam. Logam ini di alam ditemukan dalam bentuk persenyawaan padat atau mineral dengan unsur-

unsur lain. Dalam badan perairan Cr dapat masuk melalui dua cara, yaitu secara alamiah dan non alamiah. Secara alamiah dapat terjadi disebabkan oleh beberapa faktor fisika seperti erosi (pengikisan) yang terjadi pada batuan mineral. Secara non alamiah berasal dari aktivitas yang dilakukan oleh manusia dapat berupa limbah atau buangan industri sampai buangan rumah tangga (Palar, 2004).

B.3 Nikel (Ni)

Kadar nikel pada kerak bumi sekitar 75 mg/kg (Moore, 1991). Pada proses pelapukan nikel, membentuk mineral hidrolisat yang tidak larut. Pada perairan, nikel ditemukan dalam bentuk koloid akan tetapi garam-garam nikel seperti nikel ammonium sulfat, nikel nitrat dan klorida bersifat larut dalam air. Nikel banyak dipergunakan dalam industri metalurgi, pelapisan logam, industri kimia, pembakaran minyak dan pembakaran limbah (Palar, 2004).

B.4 Kobalt (Co)

Elemen ini biasanya hanya ditemukan dalam bentuk campuran di alam. Elemen bebasnya, diproduksi dari peleburan reduktif, adalah logam berwarna abu-abu perak yang keras dan berkilau. Ketersediaan unsur kimia kobalt tersedia di dalam banyak formulasi yang mencakup kertas perak, potongan, bedak, tangkai, dan kawat. Keberadaan di alam kobalt terdapat dalam bentuk senyawa, seperti mineral kobalt glans (CoAsS), linalit (Co_3S_4), dan smaltit (CoAs_2) dan eritrit. Sering terdapat bersamaan dengan nikel, perak, timbal, tembaga dan bijih besi. Logam

kobalt banyak digunakan dalam industri sebagai bahan campuran untuk pembuatan mesin pesawat, magnet, alat pemotong atau penggiling, serta untuk pewarna kaca, keramik, dan cat. Kobalt menetap di udara selama beberapa hari. Kobalt menetap bertahun-tahun dalam air dan tanah, sehingga dapat bergerak dari tanah ke air bawah tanah (Palar, 2004).

C. Pencemaran Logam Berat

Pencemaran logam telah meningkat pesat dalam beberapa dekade terakhir. Banyak faktor seperti bahan induk yang diperkaya logam, kegiatan pertambangan atau industri, dan penggunaan bahan yang diperkaya logam, termasuk pupuk kimia, pupuk kandang, lumpur limbah, dan irigasi air limbah, dapat berkontribusi kontaminasi ini (Zhenli et.,al, 2005).

Menurut Undang-undang No. 32 tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup pasal 1 ayat (14) menyebutkan bahwa, pencemaran lingkungan hidup adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan (Santosa, 2013).

Pencemaran logam berat terhadap alam lingkungan merupakan suatu proses yang erat hubungannya dengan penggunaan logam tersebut oleh manusia. Pada awal digunakannya logam sebagai alat, belum diketahui pengaruh pencemaran pada lingkungan. Proses oksidasi dari

logam yang menyebabkan perkaratan sebetulnya merupakan tanda-tanda adanya hal tersebut di atas. Tahun demi tahun ilmu kimia berkembang dengan cepat dan dengan mulai ditemukannya garam logam (HgNO_3 , PbNO_3 , HgCl , CdCl_2), karena diperjual-belikannya garam tersebut untuk industri, maka tanda-tanda pencemaran lingkungan mulai timbul (Darmono, 1995).

C.1 Logam berat dalam sedimen

Sedimen merupakan tempat pengendapan sementara logam di lingkungan perairan. Bahan organik dan bahan inorganik mengendap dari kolom air ke dalam sedimen, membawa logam-logam, flokulasi dan kemudian presipitasi juga mengambil logam yang terlarut dan yang berbentuk koloid. Didalam sedimen, logam dibagi menjadi beberapa tempat pengendapan, pembagian ini akan bergantung pada variable fisika kimia secara alami dan konsentrasi ligan pada water ambien, keadaan alami dan konsentrasi substrat padat, pH dan potensial redox

Melalui kejadian alami maupun antropogenik, logam-logam terakumulasi ke tingkat yang lebih tinggi di sedimen dan berhubungan dengan biota juga menaikkan perubahan logam yang terus menerus ke dalam rantai makanan. Bagaimanapun hal ini menjadi kenaikan yang tampak biokumulasi dan perpindahan rantai makanan merupakan proses yang kompleks yang dipengaruhi oleh keadaan alami geokimia di lingkungan dan fisiologi dan biokimiawi alami organisme. Logam-logam

dan metaloid seperti As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Ag dan Zn merupakan logam yang diyakini sebagai “very toxic and relatively accessible” dalam konteks di lingkungan, yang secara signifikan dalam daur geokimia secara global dipengaruhi oleh aktivitas antropogenik (Galloway, dkk., 1982 dalam Campbell, dkk., 1988).

Pada saat keberadaannya berlebih, logam yang esensial ini (Co, Cu dan Zn) berubah menjadi toksik. Namun, tidak demikian dengan logam lain (Cd, Pb, dan Hg) yang tidak dibutuhkan dan dapat merusak meskipun saat keberadaan biologinya sangat rendah. Pentingnya logam berat tergantung dari kemampuannya berinteraksi dengan molekul organik yang ada pada organisme. Pada tingkat yang berlebih, logam dapat juga mengganti logam yang ada dalam senyawaan organometalik atau berkombinasi dengan senyawa organik. Kasus yang lain perubahan bentuk senyawa mempengaruhi metabolisme organisme, namun bagaimanapun hal ini hanya dapat terjadi setelah mengambil logam, baik secara langsung dari lingkungan maupun melalui makanan. Pada kenyataannya, suatu organisme logam kemungkinan mengalami tiga keberadaan/nasib yaitu berpartisipasi dalam beberapa proses metabolisme, kembali ke lingkungan, membentuk asosiasi yang menyimpan atau mengehentikan, kemudian mereduksi efeknya ke organisme (Campbell, dkk., 1988).

D. Penentuan Satus Mutu

Penilaian untuk sedimen dilakukan dengan menggunakan NAB (nilai ambang batas) yang ditetapkan oleh Canadian Council of Ministers for the Environment (CCME, 2000) dan Kelas Deviasi Konsentrasi Logam Berat pada Sedimen (mg/kg, berat kering) menurut Swedish Environmental Protection Agency (SEPA, 2000). Prediksi pengayaan sedimen oleh unsur logam dapat terjadi dengan berbagai cara, salah satu cara yang umum adalah dengan menggunakan indek geoakumulasi (Geoaccumulation Index, Igeo) dan indek beban pencemaran (Pollution Load Index, PLI). Igeo telah digunakan secara luas sebagai suatu ukuran dari pencemaran sedimen, sedangkan PLI menyatakan berapa kali konsentrasi logam berat telah melebihi konsentrasinya, dan memberikan suatu indikasi jumlah dari level keseluruhan dari toksisitas logam berat dalam suatu contoh tertentu (Prinju et al., 2006). Tingkat pencemaran logam berat dalam sedimen ditentukan dengan menggunakan faktor kontaminasi (Cf), indeks geoakumulasi (Igeo), faktor risiko ekologis (Er), derajat kontaminasi (Cd), indeks risiko ekologi potensial (Ri) dan indeks beban pencemaran (PLI) (Parizanganeh, dkk., 2012).

Tabel 2.1 Baku mutu logam berat pada sedimen (mg/kg, berat kering)
Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME, 2000)

Heavy Metals	ISQG/TEL
Arsenic (As)	7,24
Cadmium (Cd)	0,68
Chromium (Cr)	52,3
Copper (Cu)	18,7
Mercury (Hg)	0,13
Nickel (Ni)	15,9
Lead (Pb)	30,2
Zinc (Zn)	124

ISQG (Interim Sediment Quality Guidelines); TEL (Threshold Effect Level)

E. Oseanografi Pantai di Kabupaten Takalar

Gelombang merupakan salah satu parameter oseanografi fisika yang sangat mempengaruhi kondisi pantai. Data hasil pengukuran di lokasi survey pada wilayah pesisir Galesong Selatan yaitu kecepatan gelombang berkisar antara 5,63 m/det – 20,25 m/det. Pengukuran arah dan kecepatan arus pada daerah survey pantai dimaksudkan untuk memperoleh informasi lebih jauh tentang dampak hembusan angin. Di samping itu untuk mengetahui kemungkinan arus turbulensi dan pola arus menyebabkan proses sedimentasi pada daerah tersebut. Hasil pengukuran arus pada wilayah survey tersebut yaitu antara 0,13 – 0,93 m/det dengan arah 200-310, sedangkan arus yang terjadi dipantai umumnya adalah arus susur pantai (Hajrah, 2016).

Menurut Sakka, dkk (2014), sebaran kenaikan muka air laut relatif di perairan Kabupaten Takalar memiliki kisaran yang tidak jauh berbeda

dengan kenaikan sebesar 6 – 6.5 mm/tahun. Kenaikan air laut pada perairan Takalar ini tergolong tinggi dibandingkan dengan perairan Jawa yang mencapai 4 – 5 mm/tahun. Kenaikan muka air laut relatif di sepanjang pantai Galesong berkisar antara 6.203 – 6.274 mm/tahun. Pada pantai sebelah selatan Takalar yaitu Kecamatan Mappakasunggu – Mangarabombang memiliki kenaikan muka air laut relatif yang lebih tinggi dibandingkan pantai sebelah utara Kabupaten Takalar. Nilai Indeks Kerentanan indikator kenaikan muka air laut relatif disepanjang pantai Takalar dominan berada pada nilai sangat tidak rentan yaitu sekitar 13 km pada perairan Kecamatan Galesong Utara. Nilai rentan sekitar 12 km pada perairan Desa Cilallang – Parialau Kecamatan Mappakasunggu, Desa Kajang – Punaga Kecamatan Galesong Utara. Nilai rentan sekitar 12 km pada perairan Desa Cilallang – Parialau Kecamatan Mappakasunggu, Desa Kajang – Punaga Kecamatan Mangarabombang. Nilai sangat rentan sekitar 12 km pada perairan Desa Malilaya – Talakaya Mangarabombang. Nilai tinggi sekitar 24 km pada perairan di Kecamatan Mangarabombang. Nilai tidak rentan sekitar 10 km pada perairan Kecamatan Galesong Selatan. Nilai sedang sekitar 9 km pada perairan Kecamatan Mappakasunggu Nilai indeks kerentanan indikator rata-rata kisaran pasang surut di sepanjang pantai Kabupaten Takalar dominan berada pada nilai sangat rentan yaitu sekitar 14 km pada perairan Desa Bontocinde - Talakaya Kecamatan Mangarabombang. Nilai sangat tidak rentan sekitar 13 km pada perairan Kecamatan Galesong Utara. Nilai tidak

rentan sekitar 11 km pada perairan Kecamatan Galesong Selatan. Nilai sedang sekitar 9 km pada perairan Desa Mangandara Kecamatan Galesong Selatan dan Desa Tandalana – Cilallang Kecamatan Mappakasunggu. Nilai rentan sekitar 9 km pada perairan Desa Cilallang – Parialau Kecamatan Mappakasunggu, Desa Kajang – Punaga Kecamatan Mangarabombang.

Tinggi Gelombang Signifikan Pola tinggi gelombang signifikan di perairan Kabupaten Takalar dari hasil perata-rataan antara tahun 2002-2012 dengan menggunakan data 1 jam-an dari ECMWF untuk perairan sekitar Kabupaten Takalar sebesar 0,498 m. Nilai indeks kerentanan indikator tinggi gelombang signifikan rata-rata di sepanjang pantai Kabupaten Takalar dominan berada pada nilai rentan yaitu sekitar 25 km pada perairan Desa Boddia – Mandi Kecamatan Galesong Selatan, Desa Cilallang – Parialau Kecamatan Mappakasunggu, Desa Kajang – Punaga, Salamba - Tompobalang Kecamatan Mangarabombang. Nilai sangat rentan pada perairan Desa Mandi – Mangandara Kecamatan Galesong Selatan, Desa Tandalana – Maccinibaji Kecamatan Mappakasunggu, Desa Malilaya Kecamatan Mangarabombang. Nilai sedang sekitar 8 km pada perairan Desa Tamasongo Kecamatan Galesong Utara, Desa Kampungberu – Manjalling Kecamatan Galesong Selatan, Desa Bontomanai – Talakaya Kecamatan Mangarabombang. Nilai tidak rentan sekitar 6 km pada perairan Desa Jamarang – Taipanaronang Kecamatan

Galesong Utara. Nilai sangat tidak rentan sekitar 4 km pada perairan Desa Ujungkassi – Soreang Kecamatan Galesong Utara

F. Konsep Dasar Metode Resistivitas

Aliran arus listrik di dalam batuan dan mineral dapat terjadi jika batuan atau mineral mempunyai banyak elektron bebas sehingga arus listrik di alirkan dalam batuan atau mineral oleh elektron-elektron bebas tersebut. Aliran listrik ini juga di pengaruhi oleh sifat atau karakteristik masing-masing batuan yang di lewatinya. Salah satu sifat atau karakteristik batuan tersebut adalah resistivitas. Resistivitas atau biasa disebut juga hambatan jenis merupakan parameter yang menunjukkan daya hambat suatu medium dalam mengalirkan arus listrik.

Apabila sebuah medium homogen isotropik dialiri arus listrik, dimana δA adalah elemen permukaan dan J adalah rapat arus (A/m^2), maka arus yang terus masuk pada δA adalah $\vec{j} \cdot \vec{\delta A}$. Rapat arus J dan medan listrik E akan berlaku hubungan berdasarkan hukum Ohm (Telford, *et.al.*,1990) :

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} \quad (2.1)$$

Dimana E medan listrik dalam volt/meter dan σ adalah konduktivitas medium dalam siemens per meter (S/m). Medan listrik merupakan gradien dari potensial skalar:

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V \quad (2.2)$$

Sehingga didapatkan:

$$\vec{j} = -\sigma \vec{\nabla} V \quad (2.3)$$

Apabila arusnya stasioner maka akan menjadi:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{j} = 0 \quad (2.4)$$

Maka,

$$\begin{aligned} \vec{\nabla} (\sigma \cdot \vec{\nabla} V) &= 0 \\ \vec{\nabla} \sigma \cdot \vec{\nabla} V + \sigma \vec{\nabla}^2 V &= 0 \end{aligned} \quad (2.5)$$

Jika σ adalah koefisien konstan, maka suku pertama pada persamaan (2.5) akan hilang dan memenuhi persamaan Laplace yang disebut potensial harmonik:

$$\vec{\nabla}^2 V = 0 \quad (2.6)$$

Persamaan Laplace yang berhubungan dengan kondisi ini yaitu dalam koordinat bola, karena simetri bola, potensial hanya sebagai fungsi jarak r dari sumber, selanjutnya persamaan dapat dinyatakan sebagai,

$$\frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dv}{dr} \right) = 0 \quad (2.7)$$

Penyelesaian persamaan tersebut dapat dilakukan dengan mengalikan r^2 dan integral maka dapat diperoleh:

$$V = -\frac{A}{r} + B \quad (2.8)$$

dimana A dan B adalah konstanta integral yang nilainya bergantung pada syarat batas. Oleh karena itu $V = 0$ pada maka diperoleh $B = 0$, jadi potensial listrik mempunyai nilai berbanding terbalik dengan jarak dari titik sumber.

G. Potensial di Sekitar Titik Arus

G.1 Potensial di Sekitar Titik Arus di dalam Bumi

Dalam model bumi yang homogen isotropis, sebuah elektroda C di dalam bumi yang terangkai dengan elektroda lain di permukaan dengan jarak cukup jauh. Elektroda C dapat dipandang sebagai titik sumber yang memancarkan arus listrik ke segala arah di dalam bumi dengan hambatan jenis. Equipotensial di setiap titik di dalam bumi membentuk permukaan bola dengan jari-jari r , sehingga jumlah arus yang keluar melalui permukaan bola A dengan jari-jari r adalah (Telford, *et.al*, 1990):

$$I = 4\pi r^2 J = -4\pi r^2 \sigma \frac{dv}{dr} = -4\pi \sigma A \quad (2.9)$$

dari persamaan (2.9) dapat di tulis,

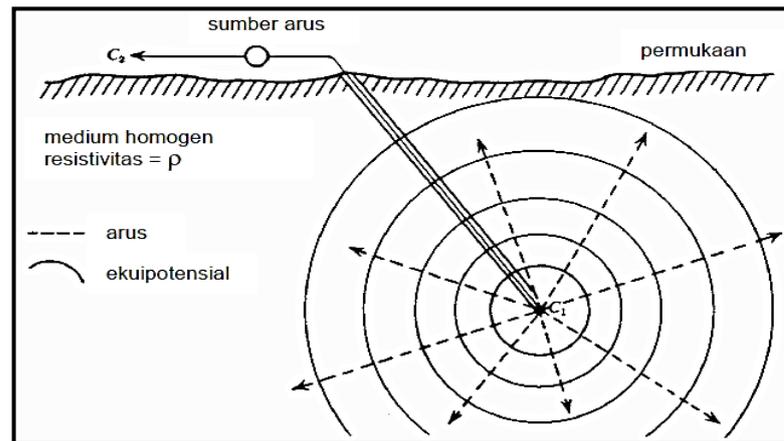
$$A = -\frac{I\rho}{4\pi} \quad (2.10)$$

Sehinggah diperoleh,

$$V = \left(\frac{I\rho}{4\pi}\right) \frac{1}{r} \quad (2.11)$$

$$\rho = 4\pi r \frac{V}{I} \quad (2.12)$$

Dengan ρ adalah tahanan jenis dengan satuan Ohm.meter



Gambar 2.3 Potensial titik arus di dalam bumi (Telford, *et.al.*, 1990).

G. 2 Potensial Listrik Arus Tunggal di Dalam Bumi

Misalkan titik elektroda C terletak di permukaan bumi homogen isotropis dan udara di atasnya dianggap memiliki konduktivitas nol. Kembali lagi seperti kasus sebelumnya bahwa elektroda tersebut terangkai dengan elektroda lain yang berada pada titik yang cukup jauh. Dari titik elektroda C diinjeksikan arus I ke dalam bumi, dalam hal ini arus mengalir melalui permukaan setengah bola menjadi (Telford, *et.al.*, 1990):

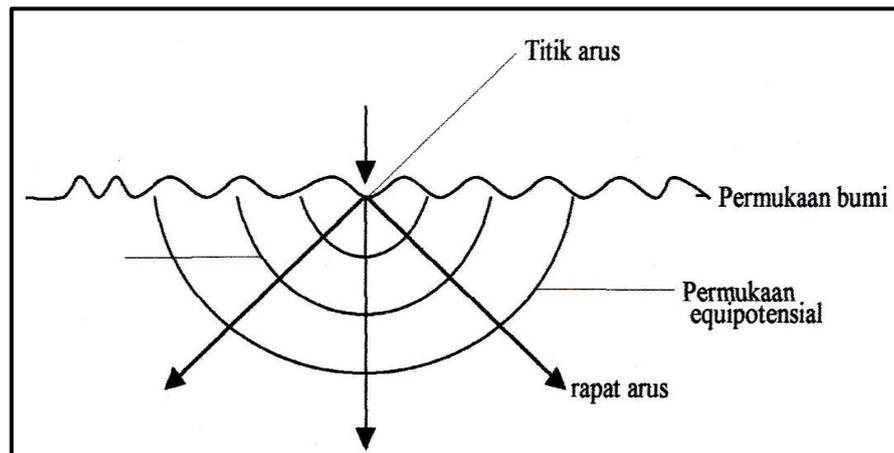
$$I = 2\pi r^2 J = -2\pi r^2 \sigma \frac{dv}{dr} = -2\pi \sigma A \quad (2.13)$$

Dengan demikian konstanta integrasi A untuk setengah bola adalah:

$$A = -\frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.14)$$

Sehingga diperoleh,

$$V = \left(\frac{I\rho}{2\pi}\right) \frac{1}{r} \text{ atau } \rho = 2\pi r \frac{V}{I} \quad (2.15)$$



Gambar 2.4 Potensial listrik arus tunggal di permukaan bumi (Hendrajaya dan Arif, 1988).

G.3 Potensial Listrik oleh dua Sumber Arus di dalam Bumi

Ketika jarak antara 2 elektroda arus ditentukan (gambar 2.6), besarnya potensial di titik P_1 akibat sumber arus C_1 dan C_2 (Telford, *et.al.*, 1990):

$$V_1 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.16)$$

Dengan aturan yang sama, potensial di titik P_2 akibat sumber arus C_1 dan C_2 adalah:

$$V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (2.17)$$

Sehingga beda potensial antara titik P_1 dan P_2 adalah sebagai berikut:

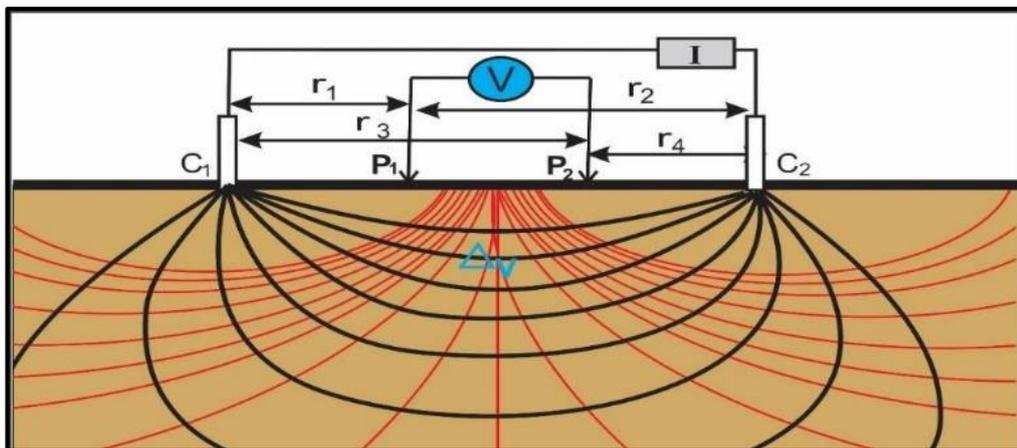
$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right] \quad (2.18)$$

Keterangan:

ΔV = beda potensial antara P_1 dan P_2 (Volt),

I = kuat arus yang melalui elektroda arus C_1 C_2 (Ampere),

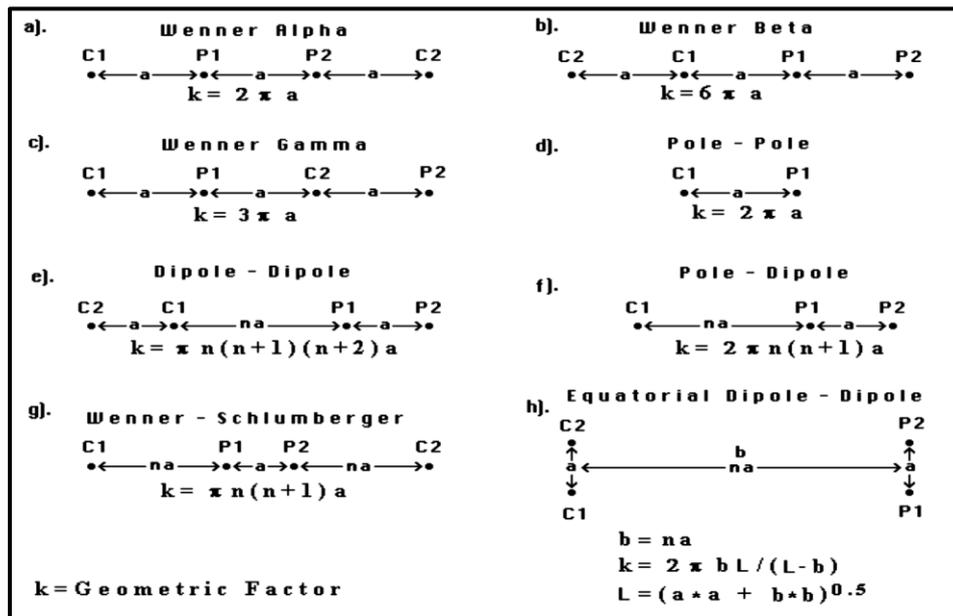
- r_1 = jarak antara C_1 dan P_1 (meter),
- r_2 = jarak antara C_2 dan P_1 (meter),
- r_3 = jarak antara C_1 dan P_2 (meter),
- r_4 = jarak antara C_2 dan P_2 (meter).



Gambar 2.5 Potensial Listrik oleh dua Sumber Arus di dalam Bumi
(Kearaey, et., al, 2002)

H. Konfigurasi Elektroda

Berdasarkan susunan penempatan elektroda pengukuran terdapat berbagai jenis konfigurasi diantaranya konfigurasi *Wenner Alpha*, *Wenner Beta*, *Wenner Gamma*, *Pole-Pole*, *Dipole-Dipole*, *Pole-Dipole*, *Wenner-Schlumberger*, dan *Equatorial Dipole-Dipole*.



Gambar 2.6 Konfigurasi Elektroda dan Faktor Geometri (Loke, 2004).

Gambar 2.6 menunjukkan masing-masing konfigurasi memiliki karakteristik tersendiri, sehingga setiap konfigurasi memiliki kelebihan dan kekurangan. Setiap konfigurasi tersebut menghasilkan faktor geometri yang berbeda-beda. Dimana faktor geometri merupakan besaran yang berubah terhadap jarak pisah (spasi) elektroda dan bergantung pada susunan elektroda yang dirumuskan (Loke, 2004):

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4}} \quad (2.19)$$

K merupakan faktor geometri yang tergantung susunan dari 4 elektroda. Dengan mensubstitusi faktor geometri dengan persamaan (2.18), dapat disederhanakan menjadi:

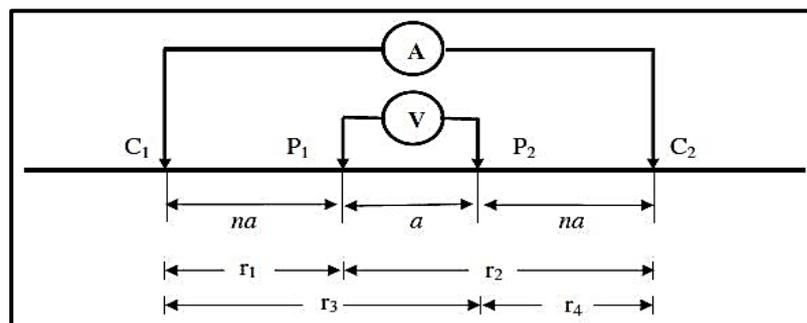
$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.20)$$

ρ merupakan resistivitas semu dengan satuan Ohm.meter.

Suatu permasalahan lebih baik dilakukan dengan satu macam konfigurasi elektroda, tetapi belum tentu permasalahan tersebut dapat dipecahkan jika digunakan macam konfigurasi yang lainnya. Oleh karena itu, sebelum melakukan pengukuran, harus diketahui dengan jelas tujuannya sehingga dapat memilih jenis konfigurasi yang mana untuk digunakan (William, 2003).

H.1 Konfigurasi Wenner Schlumberger

Konfigurasi Wenner Schlumberger yang digunakan ketika melakukan pengukuran di lapangan, dengan C_1 dan C_2 adalah elektroda-elektroda arus, P_1 dan P_2 adalah elektroda-elektroda potensial, a adalah spasi elektroda, n adalah perbandingan jarak antara elektroda C_1 dan P_1 dengan spasi a seperti diilustrasikan pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 konfigurasi Wenner Schlumberger (Loke, 2004).

Sehingga untuk konfigurasi Wenner Schlumberger, rumus untuk menghitung faktor geometrinya menjadi (Loke, 2004):

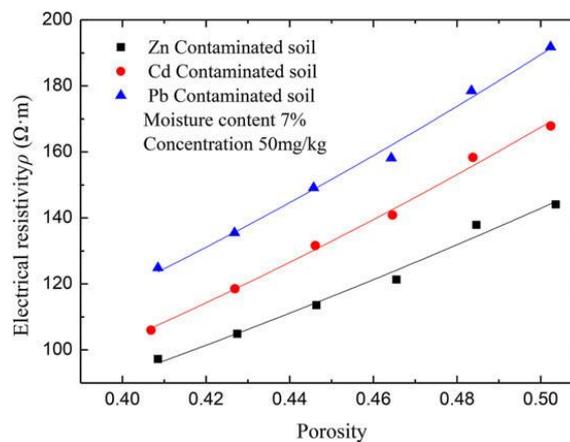
$$K = \pi n (n + 1) a \quad (2.21)$$

Dengan K merupakan faktor geometri yang nilainya bervariasi bergantung pada jarak dari “a”. Kemudian dengan mensubstitusi nilai K dengan persamaan 2.18, maka dapat dihitung nilai resistivitas semu untuk tiap kedalaman, yaitu (Loke, 2004) :

$$\rho = \pi n(n + 1)a \frac{\Delta V}{I} \quad (2.22)$$

I. Hubungan logam berat dan nilai resistivitas

Variasi resistivitas dengan porositas pada konsentrasi logam berat 50 mg / kg sampel tanah disajikan pada Gambar 2.8. Kurva yang paling sesuai diperoleh dengan regresi polinomial orde dua. Tahanan tanah meningkat dengan meningkatnya porositas untuk semua sampel tanah.



Gambar 2.8 Perubahan resistivitas dengan porositas

Karena porositas tanah jauh berbeda pada kadar air yang konstan; ada perbedaan yang mencolok dalam variasi resistivitas untuk semua tanah. Variasi resistivitas tanah dengan kontaminan logam berat yang berbeda (Zn^{2+} , Pb^{2+} and Cd^{2+}) menunjukkan kecenderungan yang sama,

artinya tidak banyak variasi nilai resistivitas pada kation identik. Teridentifikasi bahwa peningkatan resistivitas berkisar antara 100 hingga 200 Ωm antara 0,4 dan 0,5 porositas dalam sampel tanah. Namun resistivitas tanah meningkat dengan laju rata-rata 0,51 $\Omega\text{m} / (\text{kN} / \text{m}^3)$ untuk selanjutnya meningkatkan porositas pada konsentrasi 50 mg / kg. Oleh karena itu resistivitas tanah akan menurun dengan meningkatnya porositas. Persamaan ini memberikan kesesuaian yang baik dengan data eksperimen kasus yang tidak terkontaminasi dan terkontaminasi, sebagaimana dibuktikan dengan koefisien determinasi yang tinggi (Chu,2019).