



**STUDI INTRUSI AIR LAUT DI TEGAL - JAWA TENGAH
MENGUNAKAN METODE ISOTOP STABIL OKSIGEN-18
(¹⁸O) DAN DEUTERIUM (²H)**

NAMA : HIKMAH SETIA WATI

NPM : 15320007

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI INFORMASI
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL
JAKARTA
FEBRUARI 2019**



**STUDI INTRUSI AIR LAUT DI TEGAL - JAWA TENGAH
MENGUNAKAN METODE ISOTOP STABIL OKSIGEN-18
(¹⁸O) DAN DEUTERIUM (²H)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

NAMA : HIKMAH SETIA WATI

NPM : 15320007

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI INFORMASI
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL
JAKARTA**

FEBRUARI 2019

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Hikmah Setia Wati

NPM : 15320007

Tanggal : 8 Februari 2019



HALAMAN PERNYATAAN NON PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Hikmah Setia Wati

NPM : 15320007

Mahasiswa : Fisika

Tahun Akademik : 2018/2019

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan kegiatan plagiat dalam penulisan Skripsi yang berjudul Studi Intrusi Air Laut Di Tegal - Jawa Tengah Menggunakan Metode Isotop Stabil Oksigen-18 (^{18}O) dan Deuterium (^2H)

Apabila suatu saat nanti terbukti saya melakukan plagiat, maka saya akan menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Jakarta, 8 Februari 2019



Hikmah Setia Wati

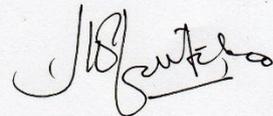
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Hikmah Setia Wati
NPM : 15320007
Program Studi : Fisika
Judul Skripsi : Studi Intrusi Air Laut Di Tegal - Jawa Tengah
Menggunakan Metode Isotop Stabil Oksigen-18
(^{18}O) dan Deuterium (^2H)

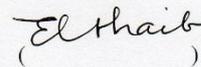
**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima
Sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi
Informasi, Institut Sains Dan Teknologi Nasional.**

DEWAN PENGUJI

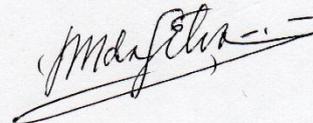
Pembimbing : Bungkus Pratikno, S.T.,M.T



Pembimbing : Elda Rayahana, Dra,M.Si



Penguji : Prof.Dr.B.E.F Da Silva MSc,DEA



Penguji : Veriah Hadi, S.Si.,M.Si



Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 12 Februari 2019

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan nikmat-Nya yang senantiasa dilimpahkan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Institut Sains dan Teknologi Nasional. Shalawat serta salam semoga selalu terlimpah curahkan kepada baginda tercinta kita yaitu Nabi Muhammad SAW yang kita nanti-nantikan syafa'atnya di akhirat nanti.

Penulisan dan penyusunan skripsi ini penulis mengalami beberapa kendala seperti pengumpulan literatur dan juga analisis data. Tapi berkat bimbingan dan motivasi dari pembimbing Bapak Bungkus Pratikno, S.T.,M.T. dan Ibu Elda Rayhana, Dra.M.Si. serta do'a dan bantuan dari berbagai pihak akhirnya dapat terselesaikan skripsi ini dengan judul **“Studi Intrusi Air Laut Di Tegal-Jawa Tengah Menggunakan Metode Isotop Stabil Oksigen-18 (^{18}O) dan Deuterium (^2H)”**.

Dengan selesainya skripsi ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Informasi ISTN Ibu Marhaeni, S.Kom, M.Kom.
2. Ketua Program Studi Fisika Ibu Elda Rayhana, Dra.M.Si.
3. Bapak Endang Iriawan, M.Si. yang membantu dan membimbing saya selama penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh Bapak/Ibu dosen, asisten beserta staf administrasi Fakultas Sains dan Teknologi Informasi ISTN.
5. Mamah dan Bapa (alm) yang tiada henti memberi kasih sayang, dukungan dan doa.
6. Kakak Tersayang Usman Efendi, Afria Viliansi, Rudi Tri Tamtomo, Adi Satrio Wibowo, Euys Setia Ningrum dan adik tersayang Samsul

Fahri yang telah banyak memberikan doa dan dukungan kepada penulis secara moril maupun materil hingga skripsi ini dapat selesai.

7. Ibu Elsa Vera Nanda, S.Pd, M.Si. dan Nia Rusdania yang telah membantu penulis untuk melakukan uji kandungan klorin.
8. Teman-temanku Ninda Aprilia, Desi Khanifah yang tiada bosan mendengar keluh kesah penulis dan memberikan dukungan tiada henti kepada penulis.
9. Teman-teman Jurusan Fisika 2015 yang telah berjuang bersama dan banyak membantu penulis disaat kesulitan. Terimakasih untuk Linda Stephani Boi, Desnia Lestari, Dalina Legitawuri, Hamdan Fadilah Rasyid, Selvia Pratiwi, Dwi Ika Ismaya, Yusuf Avianto dan Jaenudin Ridwan.
10. Teman-teman Kost Pink dan Kost Pink.Mar'atun Syukria Marasabessy, Yuyu Wiranti, Fitria Hariani, Gita Rahmalia dan Intan purnama sari. Yang telah banyak memberikan bantuan, do'a dan dukungan kepada penulis.
11. Teman-teman HIMMAFI terimakasih karena telah membuat penulis mempunyai rumah dan keluarga baru di ISTN.
12. Seluruh teman-teman ISTN. Terimakasih atas dukungan, do'a dan bantuannya.
13. Dan kepada semua pihak yang telah membantu, mendukung dan berkontribusi dalam penyelesaian skripsi ini, penulis ucapkan terimakasih.

Pada penulisan Skripsi ini masih dirasakan banyak terdapat kesalahan dan kekurangan, untuk itu dimohon dengan kerendahan hati untuk memberikan kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat baik bagi penulis, pembaca, dan semua pihak.

Jakarta, 08 Februari 2019

Penulis

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

Sebagai sivitas akademika Institut Sains Dan Teknologi Nasional, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Hikmah Setia Wati

NPM : 15320007

Program Studi : Fisika

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Institut Sains Dan Teknologi Nasional Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Studi Intrusi Air Laut Di Tegal - Jawa Tengah Menggunakan Metode Isotop Stabil Oksigen-18 (^{18}O) dan Deuterium (^2H)

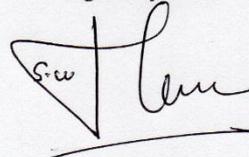
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Institut Sains Dan Teknologi Nasional berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*) *soft copy* dan *hard copy*, merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 8 Februari 2019

Yang menyatakan



(Hikmah Setia Wati)

ABSTRAK

Nama : Hikmah Setia Wati

Program Studi : Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi Informasi Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta, Indonesia

Judul : Studi Intrusi Air Laut Di Tegal-Jawa Tengah Menggunakan Metode Isotop Stabil Oksigen- 18 (^{18}O) dan Deuterium (^2H)

Telah dilakukan penelitian intrusi air laut di kota Tegal-Jawa Tengah menggunakan Metode Isotop Stabil Oksigen-18 dan Deuterium. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui kualitas air tanah seberapa jauh intrusi yang terjadi di Kota Tegal dengan analisis kandungan Oksigen-18 dan Deuterium. Dengan dukungan parameter lain berupa Kadar klorida, Konduktivitas listrik dan pH digunakan untuk memastikan kebenaran penelitian tersebut. Berdasarkan hasil analisis telah terjadi intrusi air laut pada lokasi T1 sebanyak 65,5% di Jalan sangir Kelurahan Mintragen Kecamatan Tegal Timur sejauh $\pm 420\text{m}$ dari garis pantai, lokasi T2 sebanyak 29,6% di PLN UPJ Tegal di Kelurahan Mintragen, Kecamatan Tegal Timur sejauh ± 545 dari garis pantai dan lokasi sampel T3 sebanyak 21,9% di Jalan Karimun Jawa 2, Kelurahan Mintragen Kecamatan Tegal Timur sejauh $\pm 685\text{m}$ dari garis pantai.

Kata Kunci :

oksigen-18, deuterium, konduktivitas listrik, ph, kadar klorida

ABSTRACT

Name : Hikmah Setia Wati

Study Program : Physics, Faculty of Science and Information Technology
Institute of Science and National Technology

Title : Study Of Seawater Intrusion In Tegal-Central Java Using Stable Isotope Methods Oxygen-18(^{18}O) and Deuterium (^2H)

The research about sea water intrusion in Tegal- Central Java has done, using Stable Oxygen of Isotope-18 (^{18}O) and Deuterium (^2H) Methods. The aim of this research is to know groundwater quality, how far the intrusion occurs in Tegal with content analysis Oxygen-18 and Deuterium. Supported by other parameters in the form chloride levels, electrical conductivity and pH to ensure the correctness of the study. Based on the results of the analysis there has been 65,5% in the T1 of the location on sangir street, sub-district Mintragen, East Tegal as far as $\pm 420\text{m}$ from the coastline. The T2 of the location is 29,6% in the State of Electricity Enterprise UPJ Tegal sub-district Mintragen, East Tegal as far as ± 545 from the coastline, And the T3 sample location is 21,9% on the Karimun Jawa 2 street, sub-district Mintragen, East Tegal as far as $\pm \pm 685\text{m}$ from the coastline.

Keywords :

oxygen-18, deuterium, electrical conductivity, pH, chloride level.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINAL.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN NON PLAGIAT	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMISI	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Batasan Masalah	4
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Siklus Hidrologi	5
2.2. Teknik Isotop	7
2.3. Aplikasi Isotop Stabil	9
2.3.1. Oksigen 18 dan Deuterium	9
2.3.2 Perhitungan Presentase Isotop Stabil Yang Terintrusi .	11
2.4. Fraksinasi Isotop	12
2.5. <i>Global Meteoric Water Line</i>	13

2.6.	Akuifer Air Tanah	14
2.7.	Intrusi Air Laut	18
	2.7.1. Faktor Intrusi Air Laut	19
	2.7.2. Permasalahan Dan Pencegahan Intrusi Air Laut	21
2.8	Derajat Keasaman (Ph)	24
2.9	Konduktivitas Listrik	24
2.10	Kadar Klorida	25
BAB III	METODE PENELITIAN	26
3.1.	<i>Flowchart</i> Penelitian	26
3.2.	Tempat Penelitian	27
3.3.	Penentuan Lokasi Pengambilan Sampel	27
3.4.	Waktu Pengambilan Sampel	29
3.5.	Teknis Pengambilan Sampel	29
3.6.	Preparasi dan Analisis Sampel	30
	3.6.1. Analisis keasaman (pH)	30
	3.6.1.1. Alat dan Bahan	30
	3.6.1.2. Preparasi dan Analisis	31
	3.6.2. Analisis Deuterium dan Oksigen-18	32
	3.6.2.1. Alat dan Bahan	32
	3.6.2.2. Preparasi dan Analisis	32
	3.6.3. Analisis Kadar Klorida	34
	3.6.3.1. Alat dan Bahan	34
	3.6.3.2. Preparasi dan Analisis	35
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1.	Lokasi Pengambilan Sampe Air Tanah	37
4.2.	Analisis Kandungan Deuterium dan Oksigen-18.....	37
4.3	Analisis Kandungan Klorida Air Tanah.....	42
4.4.	Analisis Konduktivias Listrik Air Tanah	46
4.5.	Analisis Keasaman Air Tanah.....	49

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	51
5.1. Kesimpulan	51
5.2. Saran	51
DAFTAR REFERENSI.....	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Siklus Hidrologi.....	5
Gambar 2.2	Penerobosan air asin pada air terkekang.....	14
Gambar 2.3	Akuifer Tertekan dan Akuifer Tidak Tertekan.....	15
Gambar 2.4	Akuifer Bocor.....	17
Gambar 2.5	Akuifer Melayang.....	17
Gambar 3.1	Pengambilan sampel di Jl.teuku umar.....	30
Gambar 3.2	Oakton Waterproof, sampel air dan Gelas ukur.....	31
Gambar 3.3	Perangkat LGR(<i>Los Gatos Research</i>) DLT-100 <i>liquid water stable isotope analyzer</i>	32
Gambar 3.4	Konfigurasi vial di dalam <i>autosampler tray</i> (kiri) dan <i>autosampler tray</i> pada PAL <i>autosampler</i> (kanan).....	33
Gambar 3.5	Penyesuaian spektrum.....	34
Gambar 3.6	Endapan merah bata pada Uji klorida.....	35
Gambar 4.1	Grafik hubungan oksigen-18 dan deuterium.....	39
Gambar 4.2	Grafik hubungan ^{18}O dan D di garis linear mixing line.....	40
Gambar 4.3	Grafik hubungan Konduktivitas Listrik dan Jarak.....	43
Gambar 4.4	Grafik hubungan Kadar ion klorida dan isotop O^{18}	49
Gambar 4.5	Grafik hubungan konduktivitas dan klor.....	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Contoh isotop alam dan karakteristiknya	8
Tabel 4.1	Kordinat lokasi pengambilan sampel.....	38
Tabel 4.2	presentase intrusi air laut menurut garis linear mixing line....	41
Tabel 4.3	Konduktivitas listrik	43
Tabel 4.4	Analisis kadar klorida.....	46
Tabel 4.5	Kadar ion klorida dan isotop O^{18}	48
Tabel 4.6	Konduktivitas terhadap klor	49

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 : Hasil Analisis Pengukuran Konduktivitas Listrik Keasaman

LAMPIRAN 2 : Perhitungan Analisis Isotop Deuterium dan ^{18}O Dalam Sampel

Air

ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang

^1H	= hidrogen
^2H	= deuterium
^3H	= tritium
^{16}O	= oksigen-16
^{17}O	= oksigen-17
^{18}O	= oksigen-18
A	= absorbansi
I_0	= Intensitas cahaya sebelum melewati sampel
I	= Intensitas cahaya setelah melewati sampel
pH	= keasaman
^{12}C	= karbon -12
^{13}C	= karbon -13
D	= deuterium
d	= Deuterium <i>Excess</i> (DE)
δ	= deviasi isotop
‰	= permil
%	= persen
f	= fraksi isotop
ρ	= berat jenis air laut
ρ_0	= berat jenis air tawar
Cl	= klorida
°C	= derajat celcius
μS	= mikroSiemens
cm	= centimeter
H	= kedalaman <i>interface</i> di bawah muka air laut (m)

h	= elevasi muka air tanah di atas muka air laut (m)
m	= meter
g	= gram
km	= kilometer
S	= lintang selatan (South)
E	= bujur timur (East)
ml	= milliliter
In	= logaritma natural
Ag	= perak (Argentum)
N	= Normalitas
K	= kalium
Cr	= kromat
Mr	= massa relative

Singkatan

Batan	= Badan Tenaga Nuklir Indonesia
PATIR	= Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi
SMOW	= <i>Standard Mean Ocean Water</i>
dpl	= di atas permukaan laut
ppm	= part per million
GMWL	= <i>Global Meteoric Water Line</i>
LMWL	= <i>Local Meteoric Water Line</i>
LGR	= <i>Los Gatos Research</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Air tanah adalah air yang terdapat dalam lapisan tanah atau bebatuan di bawah permukaan tanah. Kedalaman air tanah tidak sama pada setiap tempat. Hal itu tergantung pada tebal tipisnya lapisan permukaan di atasnya dan kedudukan lapisan air tanah tersebut. Air tanah merupakan salah satu sumber daya air selain air sungai dan air hujan, air tanah juga mempunyai peranan yang sangat penting terutama dalam menjaga keseimbangan dan ketersediaan bahan baku air. Kegunaan air meliputi penggunaan di bidang pertanian, industri, rumah tangga, rekreasi dan aktivitas lingkungan. Kebutuhan air tanah selalu meningkat sesuai dengan meningkatnya populasi dan aktivitas manusia. Hal ini menunjukkan bahwa kebutuhan air tanah harus digunakan dengan bijaksana.

Kota Tegal terletak diantara $109^{\circ}08'$ - $109^{\circ}10'$ Bujur Timur dan $6^{\circ}50'$ - $6^{\circ}53'$ Lintang Selatan, dengan wilayah seluas 39,68 Km² atau kurang lebih 3.968 hektar. Kota Tegal berada di Wilayah pantai utara, dari peta orientasi Provinsi Jawa Tengah berada di Wilayah Barat dengan bentang terjauh Utara ke Selatan 6,7 Km dan Barat ke Timur 9,7 Km. Dilihat dari Letak Geografis, Posisi Kota Tegal sangat strategis sebagai penghubung jalur perekonomian lintas nasional dan regional di wilayah Pantai Utara Jawa (Pantura) yaitu dari barat ke timur (Jakarta-Tegal-Semarang-Surabaya) dengan wilayah tengah dan selatan Pulau Jawa (Jakarta-Tegal-Purwokerto-Yogyakarta-Surabaya) dan sebaliknya. (Pemkot Tegal, 2014)

Oleh karena itu banyak terdapat industri disekitar kawasan pantai utara Kota Tegal. Keberadaan industri-industri besar yang berlokasi di sekitar pantai utara, pemukiman warga yang semakin padat, kawasan perkantoran di sepanjang kota tegal dalam memenuhi kebutuhan air bersih umumnya berasal

dari sumur bor, hal ini jelas meningkatkan penggunaan sumur bor dan menyebabkan semakin banyak dan sulit di deteksi keberadaanya.

Dalam melakukan eksploitasi air tanah tidak boleh terlalu berlebihan dan harus mempertimbangkan keseimbangan. Akibat dari pengambilan air tanah berlebih akan mengakibatkan pori-pori dan celah didalam tanah yang seharusnya terisi air menjadi kosong, sehingga terjadi penurunan muka tanah dan jika lokasi berdekatan dengan pantai, maka akan terjadi intrusi air laut.

Intrusi air laut terjadi bila keseimbangan air tanah terganggu. Proses intrusi makin panjang apabila dilakukan pengambilan air tanah dalam jumlah yang berlebihan. Adanya intrusi ini merupakan permasalahan pada pemanfaatan air bawah tanah di daerah pantai, karena berakibat langsung pada mutu air bawah tanah. Air bawah tanah yang sebelumnya layak digunakan untuk air minum, dan kebutuhan sehari-hari. Karena adanya intrusi air laut, maka terjadi penurunan mutu air tanah, sehingga tidak layak lagi digunakan untuk air minum dan kebutuhan sehari-hari.

Maka dari itu perlu dilakukan penelitian kualitas air tanah dan seberapa jauh intrusi air laut sudah menyusup ke dataran pantai Kota Tegal. Untuk mengetahui intrusi air laut yang sudah menyusup ke dataran pantai Kota Tegal dengan menggunakan isotop stabil yaitu dengan melakukan analisis oksigen-18 dan deuterium pada air tanah yang ada di sekitar pantai Kabupaten Tegal ke arah Utara Kota Tegal. Jika kandungan oksigen-18 dan deuterium pada lokasi penelitian mendekati kandungan isotop air laut atau melebihi kandungan isotop pada air normal maka dapat dipastikan bahwa lokasi tersebut sudah terjadi intrusi air laut. Adapun analisis ini didukung indikator lain yaitu kadar klorida air tanah, derajat keasaman dan konduktivitas listrik. Setelah dilakukan analisis maka kita dapat mengetahui kualitas air tanah di lokasi tersebut dan dapat mengetahui intrusi air laut yang menyusup ke dataran pantai sekitar Kota Tegal.

1.2.Rumusan Masalah

1. Bagaimana komposisi isotop stabil (oksigen-18 dan deuterium), derajat keasaman, kadar klorida dan nilai konduktivitas listrik sebagai indikator dalam penentuan intrusi air laut di dataran pantai Kota Tegal?
2. Bagaimana pengaruh tingkat intrusi air laut terhadap dataran pantai Kota Tegal?

1.3.Tujuan Penelitian

1. Mengetahui komposisi isotop stabil (oksigen-18 dan deuterium), derajat keasaman, kadar klorida dan nilai konduktivitas listrik sebagai indikator dalam penentuan intrusi air laut di dataran pantai Kota Tegal.
2. Mengetahui tingkat intrusi air laut yang menyusup ke dataran pantai Kota Tegal.

1.4.Manfaat Penelitian

2. Memberikan informasi kepada pemerintah daerah Tegal tentang kondisi air tanah dan intrusi air laut yang terjadi pada dataran pantai kota Tegal.
3. Memberikan pengetahuan tentang aplikasi dari teknologi nuklir pada bidang hidrologi untuk pelestarian sumber daya air.
4. Memberikan pengetahuan agar tidak menggunakan air tanah secara berlebihan khususnya di dataran pantai agar tidak menyebabkan intrusi lebih banyak.
5. Memberikan informasi kepada dinas kesehatan dan masyarakat Kota Tegal tentang bahaya akibat intrusi air laut pada kesehatan masyarakat Kota Tegal yang wilayahnya terintrusi oleh air laut.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini yaitu :

1. Sumur air yang diteliti adalah Kelurahan mintragen, kelurahan tegalsari, kelurahan dampyak, kelurahan panggung, kelurahan mangkukusuman, kelurahan kejambon, kelurahan kramat, dan kelurahan kajen.
2. Metode penentuan intrusi air laut adalah dengan menggunakan metode isotop stabil, yaitu dengan menganalisis kadar oksigen-18 (^{18}O) dan deuterium (^2H).
3. Indikator yang mendukung dalam menentukan intrusi air laut yaitu derajat keasaman, konduktivitas listrik dan kadar ion klorida.

1.6. Sistematika Penulisan

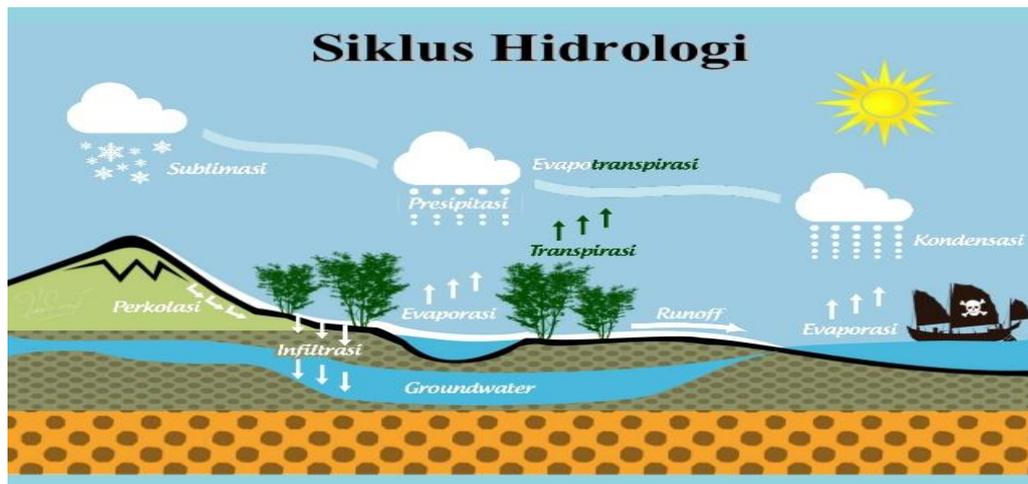
Sistematika penulisan skripsi ini meliputi 5 BAB. BAB I menjelaskan mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan skripsi. BAB II membahas mengenai teori dasar siklus hidrologi, teknik isotop, aplikasi isotop stabil, fraksinasi isotop, *Local Meteoric Water Line*, akuifer air tanah, intrusi air laut, derajat keasaman (pH), konduktivitas listrik dan kadar klorida. BAB III berisi metode atau cara yang dibutuhkan untuk mengerjakan penelitian, serta cara menganalisisnya. BAB IV berisi hasil penelitian yang berisikan analisis konduktivitas listrik air tanah dan air laut, analisis keasaman air tanah dan air laut, analisis kandungan klorida air tanah dan air laut, dan analisis kandungan deuterium dan oksigen-18. BAB V berisi kesimpulan hasil penelitian yang telah dilakukan, serta saran-saran yang berkaitan dengan hasil kesimpulan dari penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Siklus Hidrologi

Air merupakan sumber daya yang sangat penting untuk semua makhluk hidup di bumi. Air tidak hanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan cairan tubuh, air juga banyak digunakan untuk kepentingan dalam kehidupan manusia yang sangat membutuhkan air, mulai dari mandi , memasak, mencuci baju, kebutuhan industri dan lain sebagainya. Air masuk dalam kategori sumber daya alam yang bisa diperbaharui. Jadi untuk bisa memperoleh air, manusia tidak perlu menunggu lama layaknya sumber daya alam yang tidak bisa diperbaharui. Sebagai sumber daya alam, air mengalami siklus. Inilah yang kemudian dikenal dengan sebutan siklus hidrologi. Siklus hidrologi berlangsung terus menerus sehingga air tidak akan pernah habis meskipun digunakan sampai kapanpun. Siklus ini sangat berkaitan dengan keseimbangan ekosistem sehingga harus selalu terjaga.



Gambar 2.1 Siklus Hidrologi

Sumber (<http://www.lingkungan.org/2018/06/apa-itu-ilmu-hidrologi.html>)

Pada **Gambar 2.1** diatas menjelaskan siklus hidrologi yang berawal dari evapotranspirasi yang merupakan penggabungan dari evaporasi,transpirasi dan sublimasi. Energi panas matahari akan menyebabkan air laut, sungai, saluran dan danau atau waduk berubah bentuk menjadi uap air. Proses perubahan ini disebut evaporasi. Sebagian besar air yang terevaporasi dari lautan akan kembali ke lautan secara langsung. Sebagian lagi akan terangkut di atas permukaan tanah sebelum menjadi hujan. Lalu uap air mungkin akan terkondensasi berubah kembali menjadi air, dan selanjutnya melepaskan panas pendam yang berubah menjadi panas sensibel yang menghangatkan udara di sekelilingnya. Udara panas ini akan terangkat ke atas dan mengalami proses pendinginan. Proses ini disebut kondensasi yang menghasilkan tetesan air. Tetesan air saling menyatu menjadi tetesan yang lebih besar sampai mencapai ukuran yang cukup besar untuk jatuh ke permukaan bumi sebagai hujan.

Ketika hujan mencapai permukaan, sebagian akan tertahan oleh tumbuh-tumbuhan dan sebagian lagi akan jatuh langsung ke permukaan tanah. Air hujan yang terkumpul di daun atau batang tumbuh-tumbuhan disebut intersepsi. Air tertahan di permukaan daun sampai hal ini menetes ke bawah sebagai jatuh tidak kedap atau mengalir ke bawah melalui batang daun yang akhirnya mencapai permukaan tanah sebagai aliran batang. Sebagian air yang tertahan akan menguap kembali ke atmosfer, dan disebut kehilangan intersepsi. Setelah mencapai tanah, sebagian air akan menyusup ke dalam tanah ke dalam zona air tanah. Proses ini disebut infiltrasi. Sebagian lagi mungkin akan mengalir di atas permukaan sebagai air limpasan. Proses infiltrasi dipengaruhi oleh tekstur tanah. Tekstur tanah kasar akan terisi lebih cepat dibandingkan dengan tekstur tanah halus kerana ruang pori yang lebih kecil dalam satu unit volume tanah. Oleh karena itu air limpasan akan terjadi lebih cepat pada tekstur tanah halus. Akar tanaman menjadikan air dapat masuk ke dalam tanah dengan lebih mudah. Daun dan sampah di atas permukaan mengurangi impak hujan yang jatuh, sehingga efek erosi permukaan tanah dapat berkurang. Faktor lain yang mempengaruhi infiltrasi adalah intensitas hujan, kemiringan lahan dan kadar kelembaban tanah. Semakin besar intensitas hujan, semakin besar pula infiltrasi yang mungkin terjadi. Ketika terjadi hujan yang

cukup besar, tanah mungkin menjadi jenuh (*saturated*), dan penambahan hujan akan menyebabkan air tidak dapat masuk secara efektif ke dalam tanah lagi. Air limpasan permukaan akan mengalir secara cepat ke saluran atau sungai, sehingga meningkatkan debit aliran. Sebagian air yang menyusup ke dalam tanah akan mengalir secara mendatar sebagai aliran antara. Air ini mengalir perlahan-lahan menerusi akuifer ke dalam sungai atau langsung menuju ke laut. Air yang menyusup juga menghidupkan tumbuhan, sehingga proses transpirasi daun-daun, batang dan ranting tumbuhan terjadi. Aliran limpasan permukaan dan aliran antara dikenal sebagai air limpasan langsung, dan bergerak dari kawasan tadahan ke saluran keluar.

Permukaan air sungai dan danau juga menguap, oleh karena itu kehilangan air masih banyak lagi terjadi di sini. Akhirnya, air yang tidak terinfiltrasi atau teruap, akan mengalir kembali ke laut mengikuti saluran sungai. Di kawasan perkotaan, siklus hidrologi yang terjadi lebih pendek kerana infiltrasi terlalu kecil atau bahkan hampir tidak ada. Kawasan perkotaan adalah suatu kawasan yang menjadi pusat aktivitas manusia, yang dicirikan dengan kawasan yang kedap air dan adanya badan air buatan. Pertumbuhan kawasan perkotaan memberikan perubahan yang signifikan dalam sifat fisik permukaan tanah, yaitu peningkatan luasan lapisan tanah kedap air. Lapisan tanah kedap air tersebut akan menyebabkan rantai siklus hidrologi ke bawah permukaan tanah menjadi terganggu. Akibatnya sebagian besar air hujan yang jatuh ke permukaan akan menjadi air limpasan permukaan yang akan meningkatkan volume air limpasan permukaan. Fenomena ini akan membebani saluran atau sungai yang ada. Apabila saluran atau sungai tersebut tidak memiliki kemampuan untuk menampung seluruh aliran, situasi ini akan menyebabkan terjadinya banjir. (Santoso Budi, 2006)

2.2. Teknik Isotop

Isotop adalah unsur yang memiliki nomor atom sama tetapi nomor massanya berbeda. Nomor atom sama karena unsur tersebut sama. Perbedaan nomor massa di karenakan jumlah neutron dalam satu jenis atom tersebut bisa

berbeda-beda. Hampir semua unsur mempunyai isotopnya di alam. Dari isotop suatu atom dan persentase kelimpahannya di alam kita bisa menentukan masa atom relatifnya.

Teknologi isotop secara umum dapat dibagi dua yaitu, yang didasarkan pada variasi komposisi isotop alami, dan dengan menggunakan radioisotop buatan.

Isotop alam adalah isotop dari unsur kimia yang terdapat secara alamiah di alam. Baik stabil maupun radioaktif yang terdapat di lingkungan dengan konsentrasi yang berubah-ubah tergantung pada kondisi lingkungan yang mempengaruhinya. Berdasarkan sifatnya isotop alam dibagi dua yakni :

stabil (misalnya: ^2H , ^{18}O , ^{13}C)

radioaktif (misalnya: ^3H , dan ^{14}C)

Tabel 2.1. Contoh isotop alam dan karakteristiknya (Nicholas,1983)

No	Unsur	Lambang	Massa isotop (sma)	Keimpahan isotop (%)
1	Hidrogen	^1H	1,00783	99,985
		^2H	2,01410	0,015
		^3H	-	-
2	Oksigen	^{16}O	15,99491	99,759
		^{17}O	16,99914	0,037
		^{18}O	17,99915	0,204
3	Karbon	^{12}C	12,00000	98,892
		^{13}C	13,00335	1,108

Sebaliknya isotop buatan adalah isotop yang diinjeksikan ke dalam sistem untuk mengikuti pergerakan air dan komponennya, contohnya adalah ^{51}Cr , ^{60}Co , ^{131}I , ^{82}Br , ^{22}Na , dan ^{198}Au . (Paston, 2012)

2.3 Aplikasi Isotop Stabil

Aplikasi isotop alam dalam hidrologi meliputi pemanfaatan deuterium dan oksigen-18. Isotop alam ^{18}O dan ^2H merupakan isotop stabil yang membentuk molekul H_2O bersamaan dengan isotop lain yang lebih melimpah yaitu ^{16}O dan ^1H . Rasio isotop $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ dan $^2\text{H}/^1\text{H}$ akan mengalami fraksinasi ketika terjadi perubahan fisik pada molekul air dalam siklus hidrologi karena adanya perbedaan massa isotop. Proses seperti penguapan dan kondensasi akan mempengaruhi rasio isotop alam tersebut. Demikian pula dengan air hujan yang turun di ketinggian elevasi berbeda akan memiliki rasio yang berbeda dimana semakin tinggi elevasi suatu tempat, komposisi isotop akan semakin habis. (Rasi dan Satrio, 2015)

Aplikasi ini telah banyak dimanfaatkan untuk penelitian, beberapa pemanfaatan aplikasi ini adalah penentuan genesis air tanah, penentuan pola aliran air tanah dan penentuan intrusi air laut.

2.3.1. Oksigen-18 dan Deuterium (^2H)

Isotop oksigen-18 (^{18}O) dan deuterium (^2H) merupakan isotop alam yang telah banyak digunakan dalam pemecahan masalah sumber daya air tanah. Isotop ini umumnya digunakan sebagai parameter tambahan apabila parameter kimia belum mampu menjawab masalah air tanah. Hal ini disebabkan adanya proses yang lebih rinci dalam senyawa kimia yaitu fraksinasi isotop antara isotop lebih ringan (^{16}O dan ^1H) dan isotop lebih berat (^{18}O dan ^2H). Efek fraksinasi isotop ini memberikan komposisi perbandingan isotop berat terhadap isotop ringan yang khas pada senyawa air (H_2O). Kelimpahan relatif kedua isotop ini terhadap suatu standar dinyatakan dengan nilai $\delta^{18}\text{O}$ untuk oksigen dan $\delta^2\text{H}$ untuk hidrogen dalam satuan permil.

Saat infiltrasi dari dalam tanah hingga ke daerah yang dilepaskan kandungan oksigen-18 dan deuterium akan tetap selama siklus yang terjadi adalah siklus pendek dan pada temperatur rendah. Deuterium adalah isotop dari hidrogen yang tersusun dari 1 neutron dan 1 proton. Banyaknya deuterium di alam sebesar 0,015% dari kesleuruhan isotop hidrogen. Oksigen-18 merupakan isotop stabil

dari oksigen, selain oksigen-16 dan oksigen-17. Banyaknya oksigen-18 yang ada di alam adalah sebesar 0,2% (Tsoufanidis dan Nicholas,1983)

Komposisi isotop dalam molekul air dapat didefinisikan dengan membandingkan rasio isotop terhadap komposisi isotop dalam air laut. Komposisi isotop dalam air laut sudah ditentukan dan disepakati secara internasional disebut *Standard Mean Ocean Water (SMOW)* (Emanuel Mazor,1997)

Komposisi isotop dalam molekul air dituliskan δD untuk deuterium dan $\delta^{18}O$ untuk Okisgen-18 dengan penentuan persamaan sebagai berikut :

$$\delta = \frac{RS-RST}{RST} \times 1000\text{‰} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\delta D\text{‰} = \frac{(D/H)_{SAMPSEL} - (D/H)_{SMOW}}{(D/H)_{SMOW}} \times 1000\dots\dots\dots(2.2)$$

$$\delta^{18}O\text{‰} = \frac{(^{18}O/^{16}O)_{SAMPSEL} - (^{18}O/^{16}O)_{SMOW}}{(^{18}O/^{16}O)_{SMOW}} \times 1000\dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan :

δ = nilai komposisi, dinyatakan dalam per mill ‰

Rs = radio isotop

Rst = ratio isotop stabil

Jika nilai δ pada sampel menunjukkan nilai negatif maka komposisi isotop sampel lebih kecil dari standar. Sedangkan nilai positif maka komposisi isotop lebih besar dari standar.

Pada isotop–isotop hidrogen dan oksigen sebagian besar terkandung dalam air dalam bentuk molekul-molekul seperti 1H_2 $H^{16}O$, 1H_2 ^{18}O , H_2 $H^{16}O$ dan 1H_2 ^{16}O . Komposisi isotop molekul air yang berbeda akan menyebabkan air memiliki sifat kimia yang sama tetapi sifat fisiknya berbeda. Oleh karena itu ketika isotop alam mengikuti siklus hidrologi dan komposisinya akan tetap selama siklus yang terjadi pendek dan temperatur rendah (kecuali pada *iritium* yang mengalami

peluruhan), sehingga isotop–isotop ini sangat tepat untuk penelitian hidrologi. (Kharisma et al , 2015)

Dari komposisi isotop air dapat menentukan genesis air tanah dan pada penentuan pola air tanah dapat ditentukan dengan menggunakan genesis air tanah, jika nilai δD dan $\delta^{18}O$ pada dua titik adalah sama atau hampir sama. Maka dapat disimpulkan bahwa air tanah pada kedua titik tersebut berasal dari sumber yang sama atau berada di satu aliran yang sama. Sebaliknya jika nilai pada kedua titik tidak sama maka air tanah pada kedua titik tersebut berada pada aliran yang berbeda. (Agus Budhie Wijatna, 1996)

2.3.2 Perhitungan Presentase Isotop Stabil Yang Terintrusi

Aplikasi isotop stabil dalam penentuan terjadinya intrusi air laut yaitu dengan membandingkan nilai δD dan $\delta^{18}O$ pada sampel air yang diambil pada lokasi yang dihipotesiskan terjadi intrusi, lokasi yang jauh dari pantai yang tidak terjadi intrusi dan air laut pada daerah tersebut (Ahmad Pramudi, 2013)

Jika nilai δD dan $\delta^{18}O$ pada titik acuan terjadi pengkayaan, maka dapat disimpulkan bahwa titik yang ditentukan telah terjadi intrusi air laut. Tetapi jika titik yang telah ditentukan tidak terjadi pengkayaan dan nilai δD dan $\delta^{18}O$ berbeda jauh dengan air laut, maka tidak terjadi intrusi air laut (Bungkus Pratikno et al , 2009)

Pada penelitian mengenai intrusi air laut, estimasi komposisi isotop alam dari air yang telah terintrusi air laut dilakukan dengan menggunakan formulasi pencampuran (*mixing*) antara dua reservoir. Jika air laut pada reservoir 1 dengan komposisi isotop δ_1 dan fraksi f_1 mengintrusi air tanah pada reservoir 2 dengan isotop δ_2 dan fraksi f_2 maka besarnya komposisi isotop *mixing* dinyatakan dengan:

$$\delta_m = \delta_1 f_1 + \delta_2 f_2 \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan : δ_m = komposisi isotop campuran

δ_1 = komposisi isotop air laut

δ_2 = komposisi isotop air tanah

f_1 = fraksi isotop air laut

f_2 = fraksi isotop air tanah

dengan memasukan nilai $\delta^{18}\text{O}$ dengan δD dari masing-masing sampel air didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$\delta_m^{18}\text{O} = \delta_1^{18}\text{O} f_1 + \delta_2^{18}\text{O} f_2 \dots \dots \dots (2.5)$$

$$\delta_m\text{D} = \delta_1\text{D}f_1 + \delta_2\text{D}f_2 \dots \dots \dots (2.6)$$

Melalui eliminasi persamaan diatas maka dapat diketahui besarnya fraksi f_1 dan fraksi f_2 , sehingga dapat diketahui presentase air laut yang terintrusi ke dalam tanah. (Ahmad Pramudi, 2013)

2.4. Fraksinasi Isotop

Pada siklus hidrologi pada saat proses evaporasi dan kondensasi dapat menyebabkan terjadinya fraksinasi isotop. Penyebab terjadinya fraksinasi isotop adalah perbedaan suhu tekanan uap, kecepatan dan berat molekul dari senyawa. Namun penyebab utamanya adalah faktor suhu, semakin rendah suhu maka akan semakin besar fraksinasi isotopnya. Tingkat fraksinasi isotop berbanding terbalik dengan suhu karena perbedaan pada berat molekulnya. Pada suhu yang tinggi isotop berat maupun ringan memiliki kemungkinan yang sama untuk menguap sehingga tingkat fraksinasinya kecil. (Ahmad Pramudi, 2013)

Air hujan di pantai relatif mempunyai konsentrasi lebih banyak bila dibandingkan dengan di pegunungan. Perbedaan konsentrasi keduanya disebabkan oleh proses kondensasi dan fraksinasi isotop. Demikian pula konsentrasi isotop air laut mempunyai nilai tertinggi yaitu sekitar 0‰ bila dibandingkan dengan konsentrasi jenis air yang lainnya, hal tersebut disebabkan oleh proses penguapan. Dengan adanya perbedaan isotop ^{18}O dan ^2H yang signifikan di antara jenis air tersebut maka kedua isotop tersebut dapat digunakan untuk menentukan asal-usul air. Demikian pula adanya proses intrusi air laut (percampuran air laut dan air

tanah) dapat diidentifikasi dengan perubahan nilai isotop ^{18}O dan ^2H di dalam air tanah.

Isotop ^{18}O dan ^2H air hujan pada berbagai ketinggian mempunyai konsentrasi berbeda beda tergantung dari sifat geografi setempat. Konsentrasinya dipengaruhi oleh adanya efek perbedaan ketinggian, jumlah curah hujan, garis lintang dan daratan (*in land*).

2.5. Global Meteoric Water Line

Global Meteoric Water Line adalah persamaan yang didefinisikan oleh ahli geokimia Harmon Craig yang menyatakan hubungan rata-rata antara $\delta^{18}\text{O}$ dan δD pada air hujan yang terjadi dalam skala global. Pada setiap daerah memiliki konsentrasi deuterium dan oksigen-18 yang berbeda-beda. Rasio isotop δD dan $\delta^{18}\text{O}$ pada air hujan bervariasi pada fungsi elevasi, jumlah curah hujan dan jarak tertentu. Variasi komposisi isotop dapat dikarakterisasikan dengan menggunakan garis *meteoric* lokal (LMWL) pada suatu wilayah. sehingga memungkinkan sebagai perunut daerah resapan. Sehingga persamaan GMWL menjadi :

$$\delta\text{D} = 8. \delta^{18}\text{O} + d \dots\dots\dots(2.7)$$

Craig(1961) melakukan penelitian, dengan nilai rerata d untuk seluruh dunia adalah +10‰, nilai tersebut didapat dari analisis komposisi isotop alam dari 91 stasiun penadah hujan diseluruh dunia. Sehingga persamaan GMWL menjadi

$$\delta\text{D} = 8. \delta^{18}\text{O} + 10 \dots\dots\dots(2.8)$$

Sedangkan penelitian yang dilakukan di area Gunung Sibolangitn, garis meteorik lokal yang didapatkan dari komposisi rasio isotop $\delta^{18}\text{O}$ terhadap komposisi rasio isotop δD yang terkandung dalam air hujan lokal di area penelitian, dan diambil dari air hujan bulanan selama dua musim. Dari penelitian tersebut ditemukan bahwa nilai d rerata adalah +14‰, sehingga persamaanya adalah :

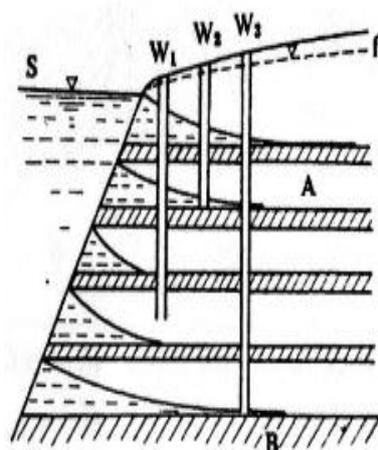
$$\delta\text{D} = 8 \delta^{18}\text{O} + 14 \dots\dots\dots(2.9)$$

Penentuan genesis air tanah dapat dilihat melalui kesamaan nilai δD dan $\delta^{18}O$. Rasio isotop dari sampel kemudian di plot dalam grafik δD vs $\delta^{18}O$ dan disandingkan dengan garis meteorik lokal dan global. Jika nilai dari δD dan $\delta^{18}O$ dari dua atau lebih titik sampel memiliki nilai yang sama, maka dapat disimpulkan air tanah berasal dari sumber yang sama (memiliki genesis yang sama) atau berada dalam pola aliran yang sama. (Agus,1998)

Tingginya kelembaban pada suatu daerah akan menyebabkan suhu menjadi rendah sehingga pada proses evaporasi isotop deuterium yang masanya lebih ringan lebih mudah menguap dibandingkan isotop oksigen-18 yang massanya lebih tinggi.

2.6. Akuifer Air Tanah

Akuifer merupakan lapisan bawah tanah yang mengandung air dan dapat mengalirkan air. Melalui akuifer inilah air tanah dapat diambil. Penelitian aliran air di akuifer dan karakterisasi akuifer disebut hidrogeologi. Air tanah mengalir dari tempat yang tinggi menuju ke tempat yang lebih rendah karena faktor gravitasi. Air masuk kedalam tanah mengisi celah celah batuan yang berada di zona aerasi dan zona saturasi.



- A: Akuifer air terkekang
- f: Permukaan air bebas
- W₁: Sumur yang tidak dimasuki air asin.
- W₂, W₃: Sumur-sumur yang dimasuki air asin
- S: Permukaan air laut
- B: Lapisan impermeabel

Gambar 2.2. Penerobosan air asin pada air terkekang(Sasrodarsono dan Takeda, 1993)

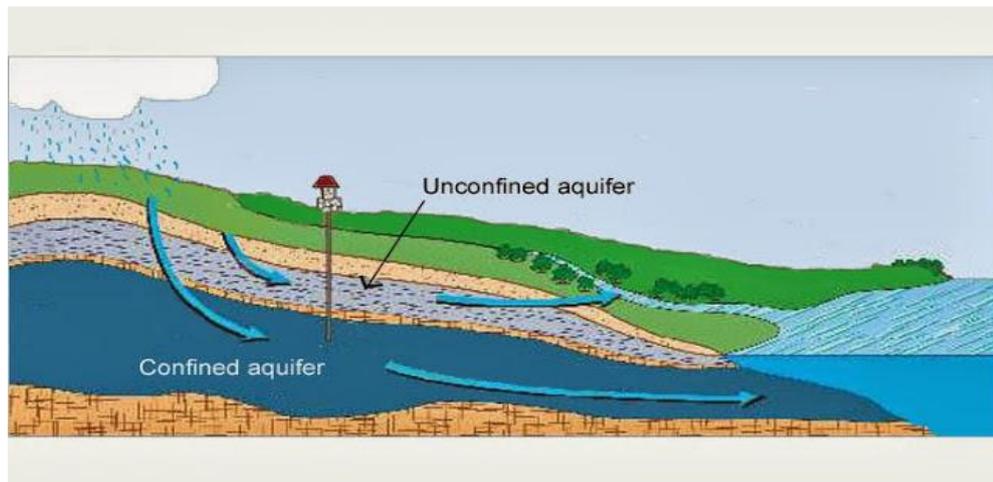
Air masuk ke dalam tanah melalui pori-pori, celah dan tempat lain sampai mencapai zona kejenuhan di mana semua ruang diisi dengan air (bukan udara). Zona kejenuhan terjadi karena infiltrasi air tanah mencapai lapisan batuan kedap air sehingga tidak mampu menembus lebih jauh ke dalam bumi (lapisan kedap air yang dikenal sebagai “akuitar” atau “akiklud”). Air yang dihasilkan di akuifer ini dikenal sebagai air tanah.

Struktur geologi sangat berpengaruh terhadap arah gerakan air tanah, tipe dan potensi akuifer. Stratigrafi yang tersusun atas beberapa lapisan batuan akan berpengaruh terhadap akuifer, kedalaman dan ketebalan akuifer, serta kedudukan air tanah. Jenis dan umur batuan juga berpengaruh terhadap daya hantar listrik, dan dapat menentukan kualitas air tanah. Pada mulanya air memasuki akuifer melewati daerah tangkapan (*recharge area*) yang berada lebih tinggi daripada daerah buangan (*discharge area*).

Daerah tangkapan biasanya terletak di gunung atau pegunungan dan daerah buangan terletak di daerah pantai. Air tersebut kemudian mengalir kebawah karena pengaruh gaya gravitasi melalui pori-pori akuifer. Air yang berada dibagian bawah akuifer mendapat tekanan yang besar oleh berat air di atasnya, tekanan ini tidak dapat hilang atau berpindah karena akuifer terisolasi oleh akiklud diatas dan dibawahnya, yaitu lapisan yang kedap dengan konduktivitas hidrolis sangat kecil sehingga tidak memungkinkan air melewatinya. Jika sumur di bor hingga *confined aquifer*, maka air akan memancar ke atas melawan gaya gravitasi bahkan hingga mencapai permukaan tanah. Sumur yang airnya memancar keatas karena tekanannya sendiri di sebut sumur artesis (Wuryantoro, 2007).

Berdasarkan litologinya, akuifer dapat dibedakan menjadi 4 macam, yaitu:

1. Akuifer bebas atau akuifer tidak tertekan (Unconfined Aquifer)



Gambar 2.3 Akuifer Tertekan Dan Akuifer Tidak Tertekan

Sumber : (<http://tambangunp.blogspot.com/2013/10/jenis-jenis-akuifer.html>)

Akuifer bebas atau akuifer tak tertekan adalah air tanah dalam akuifer tertutup lapisan impermeable, dan merupakan akuifer yang mempunyai muka air tanah. *Unconfined aquifer* adalah akuifer jenuh air. Lapisan pembatasnya yang merupakan aquitard, hanya pada bagian bawahnya dan tidak ada pembatas aquitard di lapisan atasnya, batas di lapisan atas berupa muka air tanah. Permukaan air tanah di sumur dan air tanah bebas adalah permukaan air bebas, jadi permukaan air tanah bebas adalah batas antara zona yang jenuh dengan air tanah dan zona yang tak jenuh di atas zona yang jenuh. Akuifer jenuh disebut juga sebagai *phriatic aquifer*, *non artesian aquifer* atau *free aquifer*. (Wuryantoro, 2007)

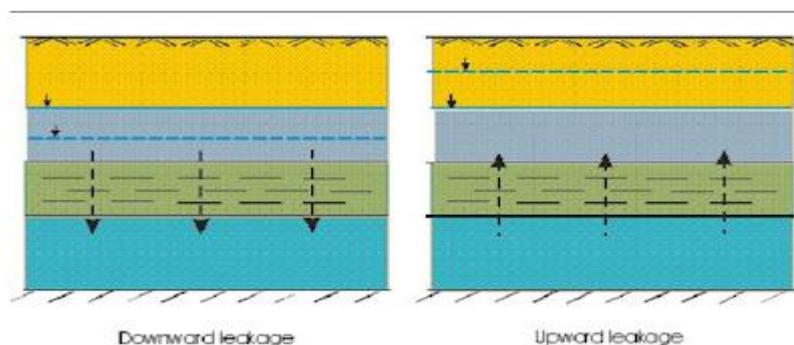
Air tanah ini banyak dimanfaatkan oleh penduduk untuk berbagai keperluan dengan kedalaman sumur umumnya antara 1–25 meter. Air tanah bebas masih merupakan sumber utama air bersih bagi sebagian besar penduduk dalam memenuhi kebutuhan sehari-hari. Pemanfaatannya dilakukan dengan cara pembuatan sumur gali dan sumur pantek pada kedalaman kurang dari 20 meter di bawah permukaan, umumnya terdapat pada lapisan pasir, pasir kerikilan, tufa pasiran dan pasir lanau. Air tanah bebas di dataran aluvial terdapat dalam lapisan pasir, pasir kerikilan dan pasir lempungan.

Mutu air tanah bebas bervariasi dari baik hingga jelek, asin rasa airnya hingga tawar, berwarna keruh hingga jernih. Kesadahanannya berkisar antara 8,5–16,7 pH sekitar 6,7–11,2 sisa kering 353–580, sisa pijar 252–420, kadar kandungan ion klorida berkisar 25,5–6.685 mg/l, SO₄ antara 40,5–246,9 mg/l. Khususnya untuk keperluan rumah tangga sehari-hari, kandungan air tanah bebas di dataran aluvial terkecuali daerah-daerah sekitar pantai, pemanfaatannya masih dapat dikembangkan. Sedangkan untuk daerah-daerah yang terletak sekitar 1–3 km dari garis pantai, penggunaan air tanah bebasnya sangat terbatas sekali disebabkan asin hingga payau rasa airnya.

2. Akuifer tertekan (*Confined Aquifer*)

Akuifer tertekan adalah suatu akuifer dimana air tanah terletak di bawah lapisan kedap air dan mempunyai tekanan lebih besar daripada tekanan atmosfer. Air yang mengalir pada lapisan pembatasnya, karena *confined aquifer* merupakan akuifer yang jenuh air yang dibatasi oleh lapisan atas dan bawahnya.

3. Akuifer bocor (*Leakage Aquifer*)

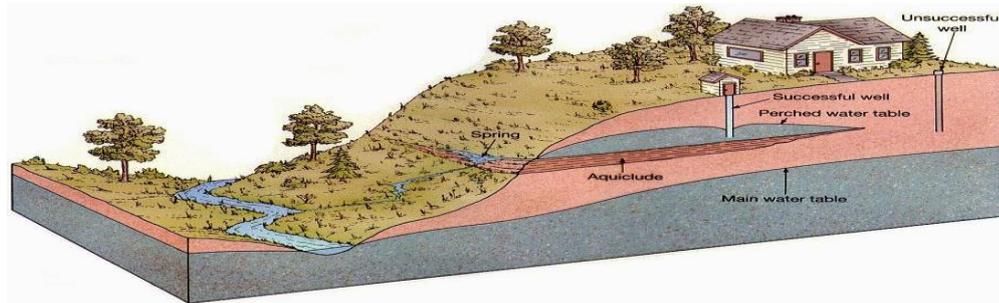


Gambar 2.4 Akuifer Bocor

Sumber : (<http://tambangunp.blogspot.com/2013/10/jenis-jenis-akuifer.html>)

Akuifer bocor dapat didefinisikan suatu akuifer dimana air tanah terkekang di bawah lapisan yang setengah kedap air sehingga akuifer di sini terletak antara akuifer bebas dan akuifer terkekang.

4. Akuifer melayang (*Perched Aquifer*)



Gambar 2.5 Akuifer Melayang

Sumber : (<http://tambangunp.blogspot.com/2013/10/jenis-jenis-akuifer.html>)

Akuifer yang disebut akuifer melayang jika di dalam zona aerasi terbentuk sebuah akuifer yang terbentuk di atas lapisan kedap air. Akuifer melayang ini tidak dapat dijadikan sebagai suatu usaha pengembangan air tanah, karena mempunyai variasi permukaan air dan volumenya yang besar.

2.7. Intrusi Air Laut

Intrusi atau penyusupan air asin 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 laut di dalam akuifer pada daerah pantai (Hendrayana, 2002)

Air laut memiliki berat jenis yang lebih besar dari pada air tawar akibatnya air laut akan mudah mendesak airtanah semakin masuk. Secara alamiah air laut tidak dapat masuk jauh ke daratan sebab airtanah memiliki piezometric yang menekan lebih kuat dari pada air laut, sehingga terbentuklah *interface* sebagai batas antara air tanah dengan air laut. Keadaan tersebut merupakan keadaan kesetimbangan antara air laut dan air tanah.

Intrusi air laut terjadi bila keseimbangan terganggu. Aktivitas yang menyebabkan intrusi air laut diantaranya pemompaan yang berlebihan, karakteristik pantai dan batuan penyusun, kekuatan airtanah ke laut, serta fluktuasi

airtanah di daerah pantai. Proses intrusi makin panjang bisa dilakukan pengambilan air tanah dalam jumlah berlebihan. Bila intrusi sudah masuk pada sumur, maka sumur akan menjadi asing sehingga tidak dapat lagi dipakai untuk keperluan sehari-hari. Leboeuf (2000) mengemukakan bahwa proses intrusi air laut terjadi melalui beberapa cara yaitu :

1. Pergeseran batas air laut dan air tawar (*interface*) di daerah pantai. Pergeseran ini terjadi karena pengambilan air tanah berlebihan sehingga menurunkan muka air tanah.
2. Pemompaan air tanah yang berlebihan di daratan. Akibat pemompaan yang berlebihan air yang tersedot bukan air tawar lagi tetapi air asin. Akibatnya air asin yang tersedot akan menyebar dan mencemari air tanah bebas di sekitar pemompaan. Adanya pori-pori tanah yang berlubang, menyebabkan air laut masuk ke daratan. Hal itu terjadi karena air tanah yang dipompa keluar terlalu besar dan ruang kosong atau pori-pori ini diisi oleh air laut. Dampaknya, air di daratan yang selama ini tawar menjadi payau.
3. Intrusi melalui muara sungai. Intrusi air laut pada air sungai menyebabkan air berkadar garam tinggi ini bergerak dan mengisi air tanah disekitarnya. Akibatnya air tanah di sekitar sungai berkadar garam tinggi juga.

2.7.1. Faktor Intrusi Air Laut

Intrusi air laut dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu :

1. Aktivitas manusia

Aktivitas manusia terhadap lahan maupun sumber daya air tanpa mempertimbangkan kelestarian alam tentunya dapat menimbulkan banyak dampak lingkungan. Bentuk aktivitas manusia yang berdampak pada sumberdaya air terutama intrusi air laut adalah pemompaan air tanah (*pumping well*) yang berlebihan dan keberadaannya dekat dengan pantai.

2. Faktor batuan

Batuan penyusun akuifer pada suatu tempat berbeda dengan tempat yang lain, apabila batuan penyusun berupa pasir akan menyebabkan air laut lebih mudah masuk ke dalam airtanah. Kondisi ini diimbangi dengan kemudahan pengendalian intrusi air laut dengan banyak metode. Sifat yang sulit untuk melepas air adalah lempung sehingga intrusi air laut yang telah terjadi akan sulit untuk dikendalikan atau diatasi.

3. Karakteristik pantai

Pantai berbatu memiliki pori-pori antar batuan yang lebih besar dan bervariasi sehingga mempermudah air laut masuk ke dalam airtanah. Pengendalian air laut membutuhkan biaya yang besar sebab beberapa metode sulit dilakukan pada pantai berbatu. Metode yang mungkin dilakukan hanya *Injection Well* pada pesisir yang letaknya agak jauh dari pantai, dan tentunya materialnya berupa pasir. Pantai berpasir memiliki tekstur pasir yang sifatnya lebih porus. Pengendalian intrusi air laut lebih mudah dilakukan sebab segala metode pengendalian memungkinkan untuk dilakukan. Pantai berterumbu karang/mangrove akan sulit mengalami intrusi air laut sebab mangrove dapat mengurangi intrusi air laut. Kawasan pantai memiliki fungsi sebagai sistem penyangga kehidupan. Kawasan pantai sebagai daerah pengontrol siklus air dan proses intrusi air laut, memiliki vegetasi yang keberadaannya akan menjaga ketersediaan cadangan air permukaan yang mampu menghambat terjadinya intrusi air laut ke arah daratan. Kerapatan jenis vegetasi di sempadan pantai dapat mengontrol pergerakan material pasir akibat pergerakan arus setiap musimnya. Kerapatan jenis vegetasi dapat menghambat kecepatan dan memecah tekanan terpaan angin yang menuju ke permukiman penduduk.

4. Fluktuasi airtanah di daerah pantai

Apabila fluktuasi air tanah tinggi maka kemungkinan intrusi air laut lebih mudah terjadi pada kondisi air tanah berkurang. Rongga yang terbentuk akibat air tanah rendah maka air laut akan mudah untuk menekan airtanah dan mengisi cekungan/rongga air tanah. Apabila fluktuasinya tetap maka secara

alami akan membentuk *interface* yang keberadaannya tetap. Intrusi air laut merupakan bentuk degradasi sumberdaya air terutama oleh aktivitas manusia pada kawasan pantai. Hal ini perlu diperhatikan sehingga segala bentuk aktivitas manusia pada daerah tersebut perlu dibatasi dan dikendalikan sebagai wujud kepedulian terhadap lingkungan.

2.7.2. Permasalahan Dan Pencegahan Intrusi Air Laut

Permasalahan yang timbul dengan adanya intrusi air laut adalah Rusaknya air tanah yang tawar dan berganti menjadi asin. Penggunaan air tanah yang telah mengalami intrusi untuk dikonsumsi maupun kegiatan lain seperti mandi, dapat mengganggu kesehatan. Karena air ini telah mengandung NaCl (Natrium Chloride) yang tinggi dan dapat mengganggu metabolisme yang terjadi di dalam tubuh manusia. Penggunaan air payau untuk dikonsumsi dapat menyebabkan seseorang terkena penyakit diare. Sedangkan bila digunakan untuk mandi, dapat memicu munculnya penyakit kulit, seperti gatal-gatal. Untuk jangka panjang, bukan tidak mungkin orang yang mengkonsumsi air payau tersebut akan mengalami gangguan penyakit serius karena metabolismenya terganggu dan sensitivitas tubuhnya untuk menerima air payau yang mengandung garam tersebut. Hasil Survei Kesehatan Rumah Tangga (SKRT) yang dilaksanakan tahun 2002 penyakit infeksi merupakan penyebab kematian terbanyak ketiga yang erat kaitannya dengan kondisi sanitasi perumahan yang tidak sehat. Penyediaan air bersih dan sanitasi lingkungan yang tidak memenuhi syarat menjadi faktor risiko terhadap penyakit diare sebagai penyebab kematian urutan nomor empat (Ditjen PPM dan PL, 2002).

Pada sungai-sungai yang telah terjadi intrusi, dapat menyebabkan hilangnya jenis-jenis biota tertentu, karena mengalami kematian atau bermigrasi ke daerah hulu karena tidak mampu beradaptasi dengan perubahan kadar garam yang tinggi

Pengendalian intrusi air laut pada akuifer pantai Menurut Hendrayana (2002), Pengendalian intrusi air laut pada akuifer pantai dapat dilakukan dengan berbagai cara antara lain :

1. Mengurangi pemompaan di daerah pantai.

Pemompaan air bawah tanah yang berlebihan akan mengganggu kesetimbangan, sehingga muka air bawah tanah atau bidang pisometrik akan turun dan dengan mudah air laut mengisi kekosongan yang ditinggalkan oleh air bawah tanah tawar, maka dapat terjadi penyusupan tersebut.

2. Membuat pengisian air bawah tanah secara buatan.

Pengisian air bawah tanah secara buatan dilakukan dengan cara memasukkan kembali air yang ada di permukaan ke dalam akuifer dengan melalui beberapa metoda, antara lain dengan cara :

- a. *Spreading*

Cara *Spreading* adalah cara pengisian air bawah tanah secara buatan yang dilakukan dengan cara menyebarkan kelebihan air permukaan melalui parit-parit yang dibuat di daerah pantai, sehingga melalui parit tersebut terjadi penambahan air bawah tanah

- b. Sumur pengisian atau sumur injeksi

Cara sumur injeksi adalah cara pengisian air bawah tanah secara buatan dengan membuat sumur dalam yang menembus akuifer dan menginjeksi atau memasukkan air permukaan ke dalam akuifer tersebut.

3. Memompa air laut yang terletak pada akuifer pantai. Dilakukan dengan cara pemboran di daerah pantai dan pada akuifer yang berisi air asin dikonstruksi/dipasang pipa saringan seperti halnya konstruksi sumur produksi biasa. Bedanya, pada kasus ini yang dipompa adalah air asin, dengan keluarnya air asin, maka air bawah tanah tawar akan mengisi kekosongan yang ditinggalkan oleh air asin, akibatnya bidang batas antara air asin dan air bawah tanah tawar pada akuifer tersebut bergeser ke arah laut.
4. Membuat Penghalang di bawah tanah di daerah pantai. Penghalang yang dibuat dengan tujuan untuk menjaga tekanan pematang air bawah tanah yang dekat atau sejajar dengan pantai, tetap berada di atas muka laut, sehingga tidak terjadi

pendesakan air bawah tanah tawar oleh air asin. Penghalang ini dapat dibuat dengan :

- a. Menyebarkan air tawar di permukaan dan air tersebut akan meresap ke dalam tanah, sehingga di bawah tempat penyebaran air tawar tersebut akan menjadi tinggi seolah-olah seperti penghalang.
 - b. Menginjeksi air tawar ke dalam akuifer di tepi pantai.
5. Pengendalian penggunaan air tanah dengan melaksanakan penghematan atau membatasi penggunaan airtanah.
 6. Pemantauan terhadap penggunaan air tanah harus dilakukan oleh semua pihak yang terkait baik masyarakat, dunia usaha dan pemerintah, sehingga semuanya menyadari pentingnya fungsi, peran dan keberadaan air tanah.
 7. Penetapan zona konservasi air tanah dengan membagi wilayah-wilayah yang boleh, boleh tetapi dengan perlakuan khusus, dan tidak boleh dimanfaatkan air tanahnya, merupakan suatu langkah yang sangat tepat, tetapi dalam pelaksanaannya perlu dibarengi dengan disiplin, sanksi dan peraturan yang mengikat semua pihak dan aspek kehidupan.
 8. Pengalihan fungsi lahan terbuka hijau atau lahan-lahan yang berfungsi sebagai daerah resapan air hendaknya tidak terjadi lagi, karena selain dapat menghambat proses peresapan air ke dalam tanah, juga dapat meningkatkan penguapan air dan memperbesar air larian.
 9. Penyuluhan akan pentingnya arti dan peran keberadaan airtanah sebagai bagian dari siklus hidrologi, sehingga penggunaannya harus dihemat, efektif dan efisien dapat dilakukan melalui lembaga-lembaga sosial masyarakat, sekolah, ulama, dan pertemuan-pertemuan yang sifatnya informal yang dilakukan oleh tokoh-tokoh masyarakat setempat.

Jika suatu daerah terintrusi air laut maka daerah tersebut tidak lagi menjadi produktif karena sumber air tanah menjadi asin. Ada beberapa indikator yang dapat digunakan dalam menentukan terjadinya intrusi air laut, yaitu kandungan isotop deuterium dan oksigen-18, derajat keasaman (pH), konduktivitas listrik, dan kadar klorida. (Ahmad Pramudi,2013)

2.8 Derajat Keasaman (Ph)

PH merupakan istilah yang digunakan untuk menyatakan intensitas keadaan asam atau basa suatu larutan. Air murni bersifat netral yaitu pada suhu 25°C memiliki pH 7,0. Dalam air murni yang tidak bersifat asam jumlah ion hidrogenya dan jumlah ion hidroksilnya sama. Jika air kelebihan hidrogen maka air itu bersifat asam dan jika kelebihan ion hidroksil akan bersifat basa. Pengaruh yang menyangkut aspek kesehatan pada penyimpangan standar kualitas air minum dalam hal pH yakni bahwa pH yang lebih kecil dari 7 dan lebih besar dari 9 akan dapat menyebabkan korosi pada pipa-pipa, dan dapat menyebabkan senyawa kimia berubah menjadi racun yang mengganggu kesehatan. pH air laut umumnya berkisar antara 7,6 - 8,3. Air yang layak dikonsumsi menurut standar pemerintah Republik Indonesia berdasarkan peraturan menteri kesehatan nomor 416/Menkes/IX/1990 kadar pH minimum dan maksimum yang diperbolehkan adalah 6,5 – 8,5. (Peraturan Menteri Kesehatan, 1990)

2.9 Konduktivitas Listrik

Konduktivitas listrik pada media air dapat digunakan untuk mengukur banyaknya ion-ion yang terlarut dalam air dengan arus listrik sebesar $1\mu\text{volt}$ pada bidang lapisan seluas 1cm^2 . Untuk menghantarkan arus listrik, ion-ion bergerak di dalam larutan memindahkan muatan listriknya yang bergantung pada ukuran dan interaksi antar ion dalam larutan. Jika air tanah terintrusi air laut akan memberikan nilai konduktivitas listrik yang tinggi. Kualitas air yang layak dikonsumsi dan air bersih memiliki sifat konduktivitas pada taraf wajar. (Lean Wijaya et al,2009)

Menurut standar pemerintah republik indonesia berdasarkan peraturan menteri kesehatan nomor 416/Menkes/IX/1990 Batas ambang sifat konduktivitas yang wajar untuk kualitas air minum $1000\ \mu\text{s}/\text{cm}$ dan $1500\ \mu\text{s}/\text{cm}$ untuk kualitas air bersih.

2.10 Kadar Klorida

Batas maksimal konsentrasi klorida dalam air yang ditetapkan sebagai standar persyaratan oleh Depkes RI adalah 200 mg/l. Konsentrasi klorida dalam air dapat meningkat dengan tiba-tiba dengan adanya kontak dengan air bekas. (Rendi et al, 2014)

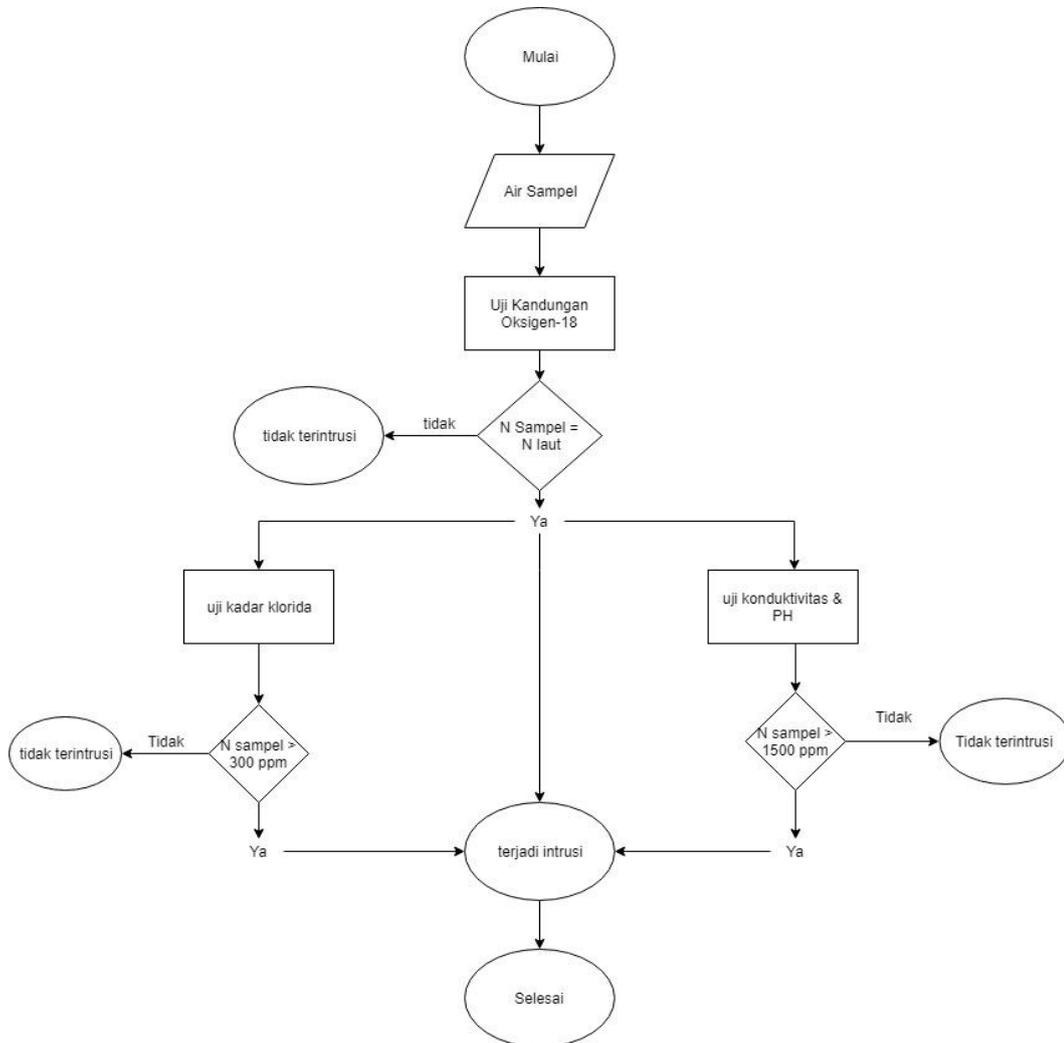
Air laut mengandung klorida sekitar 19.300 mg/l, kadar klorida tinggi pada air laut diikuti oleh kadar kalsium dan magnesium yang tinggi dapat meningkatkan korosivitas air. Perairan demikian mengakibatkan terjadinya perkaratan peralatan yang terbuat dari logam. Perairan yang diperuntukkan bagi keperluan domestik, termasuk air minum, pertanian, dan industri, sebaiknya memiliki kadar klorida lebih kecil dari 100 mg/l. (Effendi, 2003)

Sebagian besar komponen air laut adalah garam-garam yang beraneka ragam. Jumlah masing-masing garam yang terkandung di dalam air laut berbeda-beda. Bahkan, komposisi garam antara air laut di daerah satu dengan daerah lainnya pun berbeda. Garam-garaman utama yang terdapat dalam air laut adalah klorida (55%), natrium (31%), sulfat (8%), magnesium (4%), kalsium (1%), potasium (1%), dan sisanya (kurang dari 1%) terdiri dari bikarbonat, bromida, asam borak, strontium dan florida.

Kandungan klorida yang begitu besar di air laut dapat dijadikan indikator dalam menentukan adanya intrusi air laut. Dalam menentukan kadar klorida dapat dilakukan dengan cara titrasi argentometri. Menurut standar pemerintah republik indonesia berdasarkan peraturan menteri kesehatan nomor 416/Menkes/IX/1990 batas ambang kandungan klorida untuk kualitas air bersih adalah 600 ppm dan untuk air minum 300 ppm.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Flowchart Alur Penelitian



Gambar 3.1. Flowchart Alur Penelitian

Dari alur *flowchart* di atas nilai konduktivitas semua sampel di uji menggunakan parameter uji kandungan Oksigen-18 dan Deuterium, Uji kadar klorida dan uji konduktivitas. Apabila nilai sampel lebih kecil dari nilai acuan maka di sampel tersebut tidak terintrusi intrusi air laut, begitu pula sebaliknya.

3.2.Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di dua tempat, yaitu :

1. Laboratorium Industri dan Lingkungan, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR),BATAN, Jakarta Selatan

Di laboratorium ini dilakukan proses pengambilan data dan proses analisis kandungan pH, konduktivitas listrik, analisis deuterium dan oksigen-18.

2. Laboratorium Analis Kimia Institut Sains dan Teknologi Nasional

Dilaboratorium ini dilakukan pengambilan data dan proses analisis klorida.

3.3.Penentuan Lokasi Pengambilan Sampel

Dalam penelitian ini lokasi pengambilan sampel ditentukan di dataran pantai kota Tegal, Kecamatan Tegal Barat, Kecamatan Tegal Timur, Kecamatan Tegal Utara, Kecamatan Tegal Selatan dan Kecamatan Tegal Tengah. Lokasi penelitian ini berada pada $6^{\circ}45'41''S$ dan $109^{\circ}09'44''E$ hingga $7^{\circ}02'24''S$ dan $109^{\circ}08'47''E$. Daerah tersebut dipilih karena terdapat banyaknya proyek yang sedang dibangun, banyaknya indsutri dan banyaknya penduduk yang mengambil air tanah secara berlebihan seingga memungkinkan terjadinya intrusi air laut. Penentuan titik sampel air tanah yang diambil dalam penelitian ini dari daratan pantai ke arah utara Kota Tegal, untuk mnegetahui sejauh mana intrusi air laut yang terjadi.

Tabel 3.1. Kordinat lokasi pengambilan sampel (menggunakan Google Earth)

Nomor Tempat	Garis Lintang (Barat)	Garis Bujur (Timur)	Lokasi
Laut	6°45'41"S	109°09'44"E	Laut Tegal
Sungai	6°51'34"S	109°09'11"E	Kali ketiwon
T1	6°51'06"S	109°08'38"E	Jl.Sangir
T2	6°51'19"S	109°08'19"E	PLN tegal UPJ (Jl. Yos sudarso)
T3	6°51'13"S	109°08'37"E	Jl karimun jawa 2
T4	6°51'27"S	109°07'47"E	Sanggar pramuka (jl hang buah)
T5	6°51'22"S	109°08'46"E	Komplek AL (jl seram)
T6	6°51'29"S	109°08'58"E	rumah warga depan SD panggung 8(jl serayu martoloyo)
T7	6°51'30"S	109°08'14"E	Yayasan tri darma tegal(jl gurami no .2-4)
T8	6°51'24"S	109°09'11"E	Warung nasi Jl dampyak(samping kali ketiwon)
T9	6°51'59"S	109°08'14"E	Masjid agung tegal
T10	6°52'19"S	109°07'26"E	Jl. Kumpul suprapto
T11	6°52'57"S	109°08'36"E	Rumah warga Depan Smp ihsaniyah jl sumbrodo
T12	6°53'00"S	109°07'38"E	SD Debong Tengah 1 (jl.teuku umar)
T13	6°53'11"S	109°08'55"E	Rumah Warga dseapn SPBU MejasemBarat
T14	7°02'24"S	109°08'47"E	Desa Kajen Lebaksiu



Gambar 3.2. Lokasi pengambilan sampel

3.4. Waktu Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan 3 kali pada tanggal 20 Agustus 2018, 21 Agustus 2018 dan 24 Agustus 2018 saat keadaan cuaca cerah. Jika kondisi cuaca sedang musim penghujan waktu pengambilan sampel diusahakan 3 hari setelah terjadinya hujan, hal ini bertujuan untuk menghindari kontaminasi air hujan yang mempengaruhi pengukuran kandungan isotop.

3.5. Teknis Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel air laut dan air tanah untuk analisis deuterium dan oksigen-18 menggunakan botol berukuran 100 ml dan untuk analisis kadar klorida menggunakan botol berukuran 500 ml. Pengambilan air laut harus dimungkinkan untuk mengambil pada tengah pantai lepas, karena jika pada tepi pantai masih tercemar dengan lingkungan. Sedangkan Pengambilan sampe air tanah harus dimungkinkan untuk pengambilan air yang berada di dasar sumur dan tidak berada pada penampungan air

ataupun bak mandi, karena belum mengalami penguapan yang akan mempengaruhi hasil dari kandungan isotop. Air tanah yang berupa sumur pengambilan air dilakukan dengan cara menimba dan untuk sumur bor dilakukan dengan cara mengambil air dari kran yang airnya berasal langsung dari sumur bor.

Teknis pengambilan sampel air untuk analisis kadar klorida cukup diambil sampel air yang akan dianalisis, berbeda untuk sampel air yang akan dianalisis dengan deuterium dan oksigen -18 diperlakukan beberapa perlakuan khusus dalam pengambilan sampel yaitu :

1. Botol dicuci dengan air sampel kurang lebih 2 kali, agar menghindari kontaminasi isotop lain yang akan mempengaruhi hasil.
2. Proses pengisian sampel ke dalam botol dilakukan di dalam badan air dan tutup botol di bawah permukaan air, bertujuan untuk mengurangi gelembung udara yang terjebak di dalam botol.
3. Pengambilan pada air kran, biarkan beberapa menit agar air yang masih di dalam pipa keluar, sebelum diambil sampel airnya. Bertujuan untuk menghindari kontaminasi air yang masih di dalam pipa.

3.6.Preparasi dan Analisis Sampel

3.6.1. Analisis keasaman (pH)

3.6.1.1. Alat dan Bahan

Alat dan Bahan yang dibutuhkan dalam pengukuran keasaman (pH) yaitu :

1. Sampel air tanah.
2. Sampel air laut.
3. Gelas ukur, untuk menampung sampel air yang akan dianalisis.
4. *Tissue*, untuk mengeringkan *probe* yang basah.
5. Air aquadest, untuk menetralkan dan membersihkan *probe* dari sampel air yang sudah dianalisis sebelumnya.

3.6.1.2. Preparasi dan Analisis

Oakton *Waterproof 300 series* adalah alat yang memiliki akurasi untuk keasaman $\pm 1\%$ dan untuk konduktivitas listrik adalah $\pm 1\%$ total skala. Cara pengukuran konduktivitas listrik dan keasaman (pH) yaitu :

1. Siapkan sampel air yang sudah dimasukan ke dalam gelas ukur
2. Nyalakan *instrument* Oakton *Waterproof 300 Series* yang sebelumnya sudah dikalibrasi.
3. Masukkan *probe* ke dalam air sampel.
4. Untuk mengukur nilai konduktivitas listrik, pilih mode pengukuran konduktivitas kemudian tunggu beberapa detik sampai indikator terbaca “*ready*”, kemudian catat hasil pengukuran dan suhu yang terukur.
5. Untuk mengukur nilai keasaman, pilih mode keasaman (pH) caranya sama dengan pengukuran konduktivitas. Catat hasil pengukuran dan suhu yang terukur.
6. Untuk mengukur nilai TTS, pilih mode TTS caranya sama dengan pengukuran konduktivitas. Catat hasil pengukuran dan suhu yang terukur.
7. Setelah selesai digunakan bersihkan *probe* dengan air *aquadest* dan keringkan dengan tisu.



Gambar 3.3. Oakton Waterproof, sampel air dan Gelas ukur

3.6.2. Analisis Deuterium dan Oksigen-18

3.6.2.1. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan untuk menganalisis kandungan isotop alam deuterium dan oksigen -18 adalah sebagai berikut :

1. Sampel air dalam botol 100 ml
2. Vial dengan volume 1 ml
3. Pipet ukur
4. Larutan standar yang sudah diketahui komposisi deuterium dan oksigen-18
5. LGR(*Los Gatos Research*) DLT-100 *liquid water stable isotope analyzer*



Gambar 3.4. Perangkat LGR(*Los Gatos Research*) DLT-100 *liquid water stable isotope analyzer*

3.6.2.2. Preparasi dan Analisis

LGR DLT-100 adalah instrument yang dapat menyeleksi molekul-molekul gas berdasarkan intensitas kemampuan molekul menyerap cahaya dengan menggunakan sinar laser untuk menentukan rasio tertentu dari suatu sampel. Terjadinya penyerapan cahaya ditunjukkan oleh perbedaan pada pengukuran intensitas cahaya sebelum dan sesudah melewati sampel

yang dikenal dengan istilah absorbansi. Nilai absorbansi sebanding dengan berat molekul yang terkandung dalam isotop pada sampel air.

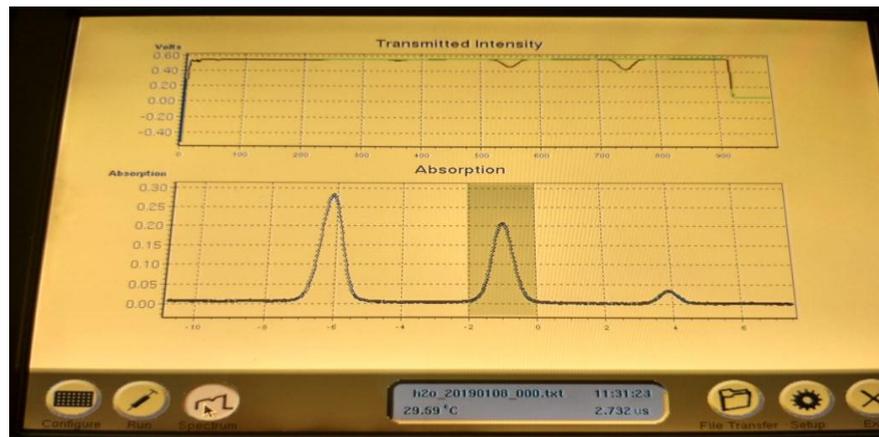
Preparasi dan pengukuran komposisi deuterium dan oksigen-18 yaitu :

1. Pemeriksaan *instrument* spektroskopi laser (*liquid water stable isotope analyzer*) LGR DLT-100.
2. Menyalakan LGR DLT-100 kemudian memanaskan *spektrum housing* pada PAL autosampler mencapai suhu 80°C untuk menguapkan sampel.
3. Memindahkan masing-masing sampel air dalam botol sample 20 ml ke dalam vial dengan volume 1 ml dengan pipet ukur kemudian tutup vial dengan benar.
4. Meletakkan vial (botol kecil) yang berisi air dan sampel standar ke dalam *autosampler tray* pada PAL *autosampler*. Sampel standar dimasukkan untuk kalibrasi.



Gambar 3.5. Konfigurasi vial di dalam *autosampler tray* (kiri) dan *autosampler tray* pada PAL *autosampler* (kanan)

5. Penyesuaian konfigurasi vial (botol kecil) pada *autosampler tray* dengan layar konfigurasi perangkat LGR DLT-100.
6. Jalankan perangkat dengan sampel *dummy* dan lihat spektrum yang tampak, pastikan puncak spektrum bergeser ke kanan sekurang-kurnagnya $\frac{1}{2}$ *division* (0,25 GHz) dan lengkung spektrum melebihi *plot area* maka lakukan penyesuaian laser seperti pada buku panduan prosedur manual LGR DLT-100.



Gambar 3.6. Penyesuaian spektrum

7. Jika penyesuaian spektrum sudah benar kemudian perangkat diaktifkan dan secara otomatis pada masing masing botol akan diinjeksi $1,2\mu\text{l}$ sebanyak 6 kali dan dilakukan pengukuran, masing masing membutuhkan waktu 5 menit.
8. Hasil pengukuran dipindahkan ke dalam komputer menggunakan USB yang kemudian diolah dengan software excel dan didapatkan nilai δD dan $\delta^{18}\text{O}$, serta grafik GMWL.

3.6.3. Analisis Kadar Klorida

3.6.3.1. Alat dan Bahan

Bahan yang diperlukan adalah sebagai berikut :

1. Sampel air
2. Larutan standar AgNO_3
3. Larutan $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$
4. Aquades

Peralatan yang diperlukan adalah sebagai berikut :

1. Batang pengaduk
2. Neraca analitik
3. Buret dengan ketelitian 100 ml
4. Pipet tetes 10ml
5. Neraca O haus

6. Labu ukur 100 ml
7. Gelas ukur
8. Statif dan Klem
9. Erlenmeyer

3.6.3.2. Preparasi dan Analisis

Titration argentometri ialah titration dengan menggunakan perak nitrat sebagai titran dimana akan terbentuk garam perak yang sukar larut. Metode argentometri disebut juga sebagai metode pengendapan karena pada argentometri memerlukan pembentukan senyawa yang relative tidak larut atau endapan.

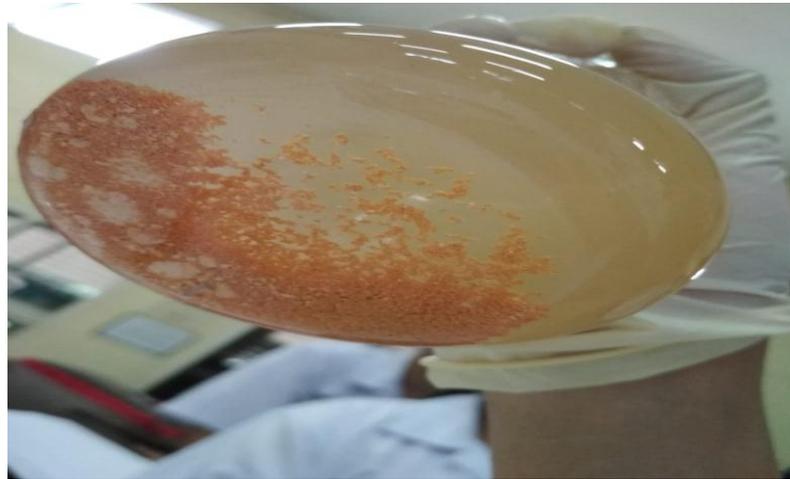
Argentometri merupakan metode umum untuk menetapkan kadar halogenida dan senyawa-senyawa lain yang membentuk endapan dengan perak nitrat (AgNO_3) pada suasana tertentu. Berdasarkan pada indikator yang digunakan, argentometri dapat dibedakan atas :

- a. Metode Mohr (pembentukan dari sebuah endapan berwarna)
- b. Metode Volhard (pembentukan kompleks berwarna)
- c. Metode Fajans (Penggunaan indikator adsorpsi) pada percobaan ini, digunakan metode mohr. Persis seperti asam-basa bisa dipergunakan sebagai indikator untuk sebuah titration asam-basa, pembentukan satu endapan lain dapat dipergunakan untuk mengindikasikan selesainya sebuah titration pengendapan. Contoh percobaan yang sering dilakukan ialah yang disebut titration mohr klorida dengan ion perak, di mana ion kromat dipergunakan sebagai indikator. (Underwood, 1999: 227)

Tujuan dari titration ini yaitu untuk menentukan kadar ion klorida dalam air laut dengan cara menstandarisasi larutan air laut dengan larutan standar AgNO_3 .

Cara Kerja :

1. Larutkan 5,00 mL sampel air laut dengan aquades \pm 25 mL didalam erlenmeyer 250 mL
2. Tambahkan 1,0 mL larutan K_2CrO_4 2% sebagai indikator
3. Titrasi dengan larutan standar $AgNO_3$ sampai pertama kali terbentuk warna merah bata.



Gambar 3.7. Endapan merah bata pada Uji klorida

4. Percobaan diulang 3 kali
5. Hitung molaritas (M) ion klorida dalam air laut

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Lokasi Pengambilan Sampel Air Tanah

Lokasi pengambilan sampel air tanah dilakukan di lima Kecamatan yang ada di kabupaten Tegal. Yaitu Kecamatan Tegal Barat, Kecamatan Tegal Timur, Kecamatan Tegal Selatan, Kecamatan Kramat dan Kecamatan Lebaksiu. Penentuan lokasi ini berdasarkan padatnya penduduk, banyaknya industri yang memungkinkan pengambilan air tanah berlebihan sehingga menyebabkan terganggunya keseimbangan air tanah di dataran pantai yang menyebabkan terjadinya intrusi air laut. Adapun lokasi sampel air tanah yang menjadi titik acuan adalah jl. Sangir Kelurahan Mintragen, Kecamatan Tegal Timur dan Desa Kajen Kecamatan Lebaksiu. Dengan asumsi bahwa jl. Sangir Kelurahan Mintragen, Kecamatan Tegal Timur terintrusi karena lokasinya paling dekat dengan pantai dan desa kajen tidak terintrusi oleh air laut karena lokasinya sangat jauh dari pantai.

Penentuan rentang jarak pengambilan air untuk masing-masing lokasi sampel adalah 0,2 km–17 km. Semakin dekat jarak antar masing masing lokasi sampel maka hasilnya akan semakin baik, namun membutuhkan banyak waktu dan biaya mahal untuk analisis di laboratorium maka jumlah pengambilan sampel dibatasi hanya 16 sampel.

4.2. Analisis Kandungan Deuterium dan Oksigen-18

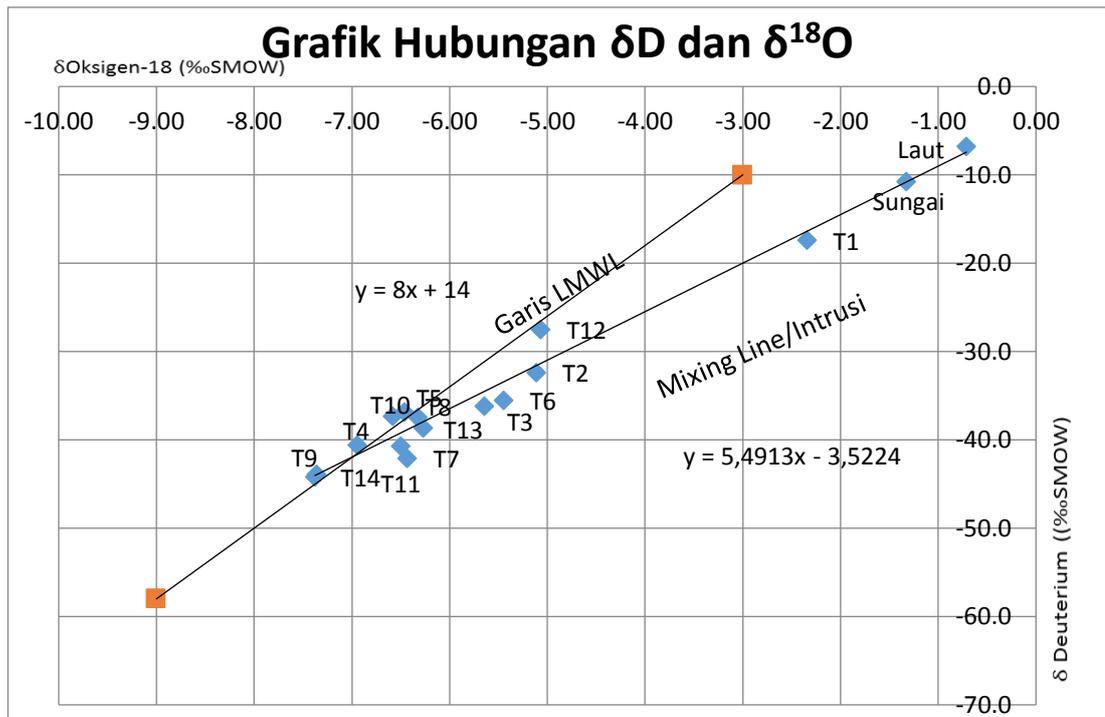
Dari hasil analisis Laboratorium Industri dan Lingkungan, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR), BATAN, Jakarta Selatan. Telah didapatkan hasil komposisi isotop deuterium dan oksigen-18 yang terdapat di dalam sampel air tanah ditunjukkan pada **Tabel 4.1.** sebagai berikut.

Tabel 4.1. Hasil analisis komposisi isotop deuterium dan oksigen-18

Kode Sampel	Garis Bujur (Timur)	Garis Lintang (Barat)	Jarak (\pm m)	D(‰) _{SMOW}	¹⁸ O(‰) _{SMOW}
Laut	6°45'41"S	109°09'44"E	0	-6,8 \pm 0,0	-0,71 \pm 0,41
Sungai	6°51'34"S	109°09'11"E	1.288	-10,8 \pm 1,2	-1,33 \pm 0,07
T1	6°51'06"S	109°08'38"E	420	-17,4 \pm 0,1	-2,34 \pm 0,13
T2	6°51'19"S	109°08'19"E	545	-32,4 \pm 5,0	-5,11 \pm 0,25
T3	6°51'13"S	109°08'37"E	685	-36,2 \pm 0,1	-5,64 \pm 0,01
T4	6°51'27"S	109°07'47"E	747	-40,6 \pm 2,9	-6,95 \pm 0,19
T5	6°51'22"S	109°08'46"E	964	-36,8 \pm 0,8	-6,46 \pm 0,03
T6	6°51'29"S	109°08'58"E	1.265	-35,5 \pm 0,5	-5,45 \pm 0,19
T7	6°51'30"S	109°08'14"E	1.283	-42,1 \pm 2,0	-6,43 \pm 0,26
T8	6°51'24"S	109°09'11"E	1.343	-38,6 \pm 2,7	-6,27 \pm 0,21
T9	6°51'59"S	109°08'14"E	1.970	-43,9 \pm 0,4	-7,36 \pm 0,02
T10	6°52'19"S	109°07'26"E	2.608	-37,3 \pm 0,3	-6,58 \pm 0,14
T11	6°52'57"S	109°08'36"E	3.850	-40,7 \pm 0,1	-6,50 \pm 0,01
T12	6°53'00"S	109°07'38"E	3.860	-27,5 \pm 0,2	-5,07 \pm 0,02
T13	6°53'11"S	109°08'55"E	4.270	-37,5 \pm 0,0	-6,33 \pm 0,09
T14	7°02'24"S	109°08'47"E	21.300	-44,2 \pm 0,0	-7,38 \pm 0,01

Dari hasil komposisi isotop air tanah di dataran pantai Kota Tegal, jika dilihat dari nilai sampel yang dijadikan acuan yang tidak terintrusi yaitu -7,38 ‰ untuk oksigen dan -44,2 ‰ untuk deuterium. Sedangkan untuk nilai sampel yang dijadikan acuan yang terintrusi yaitu -2,34 ‰ untuk oksigen dan -17,4‰ untuk deuterium.

Grafik hubungan komposisi isotop oksigen-18 dengan deuterium dari sampel yang mengalami pencampuran air laut ke dalam akuifer air tanah dapat dilihat pada **Gambar 4.1.** sebagai berikut.



Gambar 4.1. Grafik hubungan oksigen-18 dan deuterium

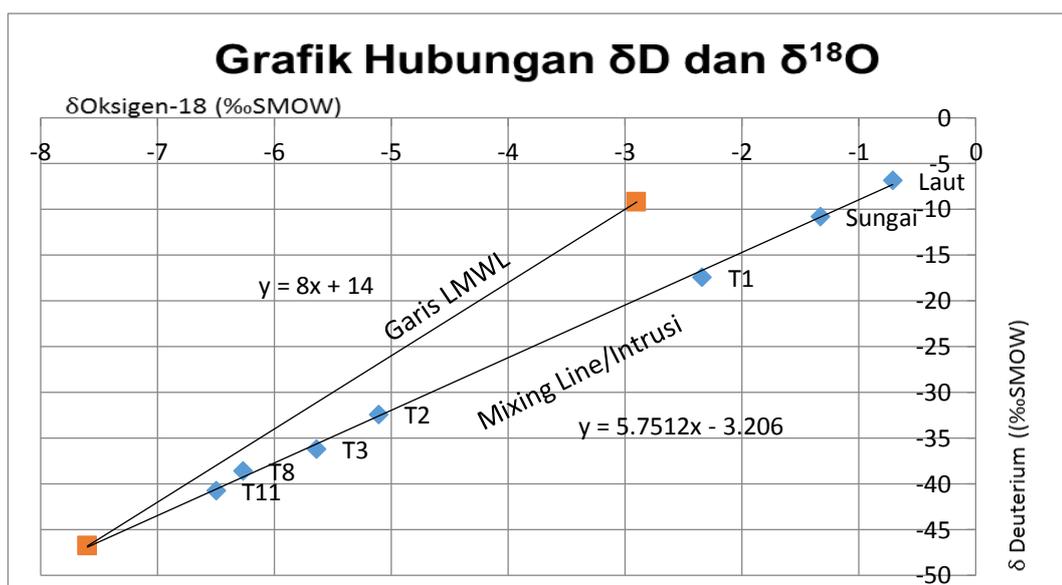
Grafik hasil analisis deuterium dan oksigen-18 dengan menggunakan LGR DT-100. Hasil perhitungan digambarkan dalam grafik $\delta^{18}O$ dengan δD , kemudian dibandingkan dengan LMWL.

Nilai negatif oksigen-18 dan Deuterium terhadap SMOW pada lokasi sampel air tanah menunjukkan komposisi isotop pada sampel lebih rendah dari standar. Hal ini menunjukkan setelah air hujan di daerah resapan masuk ke dalam tanah (*infiltrasi*) kemudian secara alami terjadi proses evaporasi dan fraksinasi isotop pada air tanah.

Pada Gambar 4.1. menunjukkan bahwa gradien garis pada lokasi sampel air tanah memiliki kemiringan yang lebih rendah dari LMWL yaitu 5,913. Nilai deuterium *Excess* juga lebih rendah yaitu -3,224. Hal ini menunjukkan bahwa lokasi pengambilan sampel memiliki kelembaban yang lebih tinggi dari kelembaban rata-rata lokal. Kelembaban yang tinggi membuat suhu menjadi rendah sehingga perubahan komposisi penyusun isotop berat dan penyusun molekul air ringan. Hal ini disebabkan oleh tingkat difusitas $DH^{16}O$ lebih tinggi dari pada $H_2^{18}O$, karena perbedaan masa berat ^{18}O lebih tinggi daripada deuterium

yang mengakibatkan probabilitas ^{18}O pada proses evaporasi lebih rendah daripada deuterium.

Dari **Gambar 4.1.** diduga lokasi sampel yang terintrusi air laut berada di sejajar garis mixing line, karna kalau jauh dari garis *linear mixing line* percampuran air lautnya semakin rendah, dan jika ada lokasi sampel yang berada di garis LMWL menandakan lokasi sampel tersebut sumber airnya murni dari air hujan. Oleh karena itu gambar grafik hubungan oksigen-18 dan deuterium yang berada di sepanjang garis linear mixing line dapat dilihat pada **Gambar 4.2.**



Gambar 4.2. Grafik hubungan ^{18}O dan D di garis linear mixing line

Dari **Gambar 4.2.** grafik hubungan oksigen-18 dan deuterium di garis linear mixing line dapat dilihat presentase besarnya air laut yang mengintrusi air tanah pada lokasi sampel tersebut. Jika dibuat *trendline* garis komposisi isotop dari air tanah melalui titik komposisi air laut akan didapatkan persamaan garis $y = 5,7512x - 3,206$. Persamaan garis tersebut adalah garis percampuran air laut yang menyusup kedalam akuifer air tanah dangkal memotong garis meteorik lokal di titik $(-7,651 ; -47,209)$. Koordinat titik potong ini adalah komposisi awal isotop air tanah (*fresh water*) sebelum mengalami intrusi dan dinyatakan $(\delta_2^{18}\text{O} ; \delta_2\text{D})$ dengan fraksi $(^{18}\text{O}_{f_2} ; \text{D}_{f_2})$. Sedangkan komposisi isotop air laut yang mengintrusi adalah $(\delta_1^{18}\text{O} ; \delta_1\text{D})$ dengan fraksi $(^{18}\text{O}_{f_1} ; \text{D}_{f_1})$, dan untuk masing-masing sampel

($\delta_m^{18}\text{O}$; $\delta_m\text{D}$), dengan memasukan variabel-variabel komposisi isotop tersebut pada persamaan 2.5. dan 2.6. akan didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$\delta_m^{18}\text{O} = \delta_1^{18}\text{O} + \delta_m^{18}\text{O} f_2 \dots\dots\dots(4.1)$$

$$\delta_m\text{D} = \delta_1\text{D}f_1 + \delta_2\text{D}f_2 \dots\dots\dots (4.2)$$

Berdasarkan persamaan 4.1 dan 4.2 dengan memasukan hasil analisis komposisi isotop pada tabel 4.1., maka sampel air tanah di lokasi sampel T1 di dapatkan persamaan :

$$-2,34 = -0,71f_1 + (-7,651) f_2 \dots\dots\dots(4.3)$$

$$-17,4 = -6,87f_1 + (-47,209) f_2 \dots\dots\dots(4.4)$$

Melalui metode eliminasi persamaan 4.3 dan 4.4, dapat diketahui besarnya fraksi air laut (f_1) yang mengintrusi air tanah di lokasi sampel T1 yaitu 109,474 % dan (f_2) 52,959 %. Dengan perhitungan yang sama akan di dapatkan fraksi air laut (f_1) dan (f_2) dari masing masing sampel. Hasil perhitungan diperlihatkan pada **Tabel 4.2.**

Tabel 4.2. presentase intrusi air laut menurut garis linear mixing line

Kode Sampel	D(‰) SMOW	^{18}O (‰)SMOW	f_1 (%)	f_2 (%)
Laut	-6,8 ± 0,0	-0,71 ± 0,41	100	0
sungai	-10,8 ± 1,2	-1,33 ± 0,07	79,6	20,4
T1	-17,4 ± 0,1	-2,34 ± 0,13	65,5	34,5
T2	-32,4 ± 5,0	-5,11 ± 0,25	29,6	70,4
T3	-36,2 ± 0,1	-5,64 ± 0,01	21,9	78,1
T8	-38,6 ± 2,7	-6,27 ± 0,21	14,6	85,4
T11	-40,7 ± 0,1	-6,50 ± 0,01	10,9	89,1

Jika dilihat dari **Tabel 4.2.** intrusi air laut menurut garis linear mixing line presentase air laut yang tinggi di lokasi sampel Sungai sebanyak 79,6%, T1 sebanyak 65,5%, dan terendah di lokasi T11 sebanyak 10,9%. Penyebab terjadinya pengkayaan komposisi isotop ^{18}O dan deuterium air tanah adalah

karena adanya penyusupan air laut ke dalam akuifer air tanah. Namun indikasi adanya intrusi air laut juga harus didukung dengan parameter lain, yaitu hasil kadar klorida tinggi pada sampel, pengukuran konduktivitas listrik dan pH.

4.3. Analisis Kandungan Klorida Air Tanah

Klorida didalam air ada dalam bentuk terikat atau bebas sebagai ion Cl^- . Penetapan klorida sangat penting untuk penetapan zat organik selain itu kandungan klorida yang tinggi didalam air dapat menyebabkan rasa asin dan endapan korosif pada peralatan masak dan dapat merusak pipa-pipa air juga dapat mematikan tanaman. Pada umumnya air buangan mengandung klorida lebih tinggi dibandingkan dengan air tanah karena sudah terkontaminasi, konsentrasi klorida maksimum menurut SNI 06-6989.22-2004 adalah 300 ppm. Ketentuan ini hanyalah untuk mencegah perubahan rasa air dan bukan sebagai pencegah bahaya fisik.

Penentuan lokasi sampel untuk acuan data kadar klorida yang terintrusi yaitu dengan pengambilan sampel mundur sejauh 420 m dari pantai dan lokasi pengambilan sampel berada di kelurahan mintragen. Sedangkan penentuan lokasi sampel untuk acuan data kadar klorida yang tidak terintrusi yaitu dengan mengambil sampel air yang jauh dari pantai dan di dataran tinggi. Lokasi pengambilan sampel tersebut diambil di Kelurahan Kajen Lebaksu yang memiliki elevasi ± 135 m dpl dan jaraknya 21,3 km dari pantai.

Dari hasil uji Laboratorium Fitokimia di Fakultas Farmasi ISTN, didapatkan kadar klorida rata-rata paling besar terdapat pada lokasi sampel T1 (1578,33 ppm) di Kelurahan Mintragen dan kadar klorida rata-rata yang terkecil pada lokasi sampel T14 (53,96 ppm) di Kelurahan Kajen Lebaksu.

Kandungan klorida yang begitu besar di air laut dapat dijadikan indikator dalam menentukan adanya intrusi air laut. Menurut standar pemerintah republik indonesia berdasarkan peraturan menteri kesehatan nomor 416/Menkes/IX/1990 batas ambang kandungan klorida untuk kualitas air bersih adalah 600 ppm dan

untuk air minum 300 ppm. Maka dari hasil uji penelitian lokasi sampe sungai (11965,6 ppm), T1 (1578,33 ppm) dan lokasi sampel T2 (728,46 ppm) kualitas air nya kurang bersih dan airnya tidak layak untuk konsumsi air minum, karena nilai klorida diatas batas ambang kandungan klorida kualitas air bersih yaitu 600 ppm. Sedangkan untuk batas ambang air minum lokasi sampel T3 (491,04 ppm) dan lokasi sampel T12 (315,67 ppm) tidak termasuk dalam kategori untuk konsumsi air minum karena kandungan klor nya diatas batas 300 ppm. Jadi jika air tersebut digunakan untuk kebutuhan sehari-hari dalam jangka panjang akan menimbulkan penyakit kulit karna tingginya salinitas dan untuk kebutuhan minum tidak baik untuk dikonsumsi dalam jangka panjang karna akan menimbulkan penyakit seperti diare dan penyakit pencernaan lainnya.

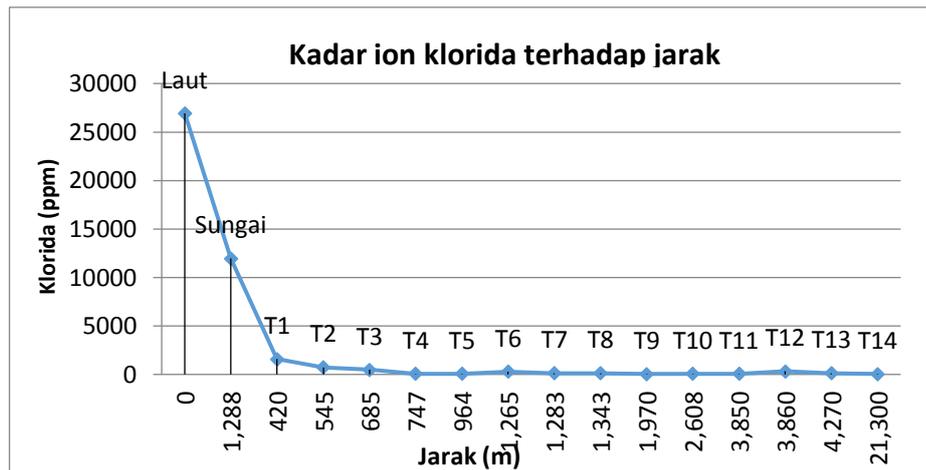
Tabel 4.3. Analisis kadar klorida

Kode Sampel	Parameter	Jarak (m)	Hasil Pengukuran (ppm)			Rerata (ppm)	Standar Deviasi
			I	II	III		
Laut	Cl ⁻	0	27114,9	26143,6	27519,6	26926,0	707,164
Sungai	Cl ⁻	1.288	10926,9	12545,7	12424,3	11965,6	901,613
T1	Cl ⁻	420	1821,15	1416,45	1497,39	1578,33	214,147
T2	Cl ⁻	545	647,52	809,4	728,46	728,46	80,94
T3	Cl ⁻	685	445,17	518,16	509,22	491,04	39,927
T4	Cl ⁻	747	40,47	80,94	72,846	64,75	17,485
T5	Cl ⁻	964	80,94	80,94	72,856	78,24	4,673
T6	Cl ⁻	1.265	323,76	242,82	283,29	283,29	40,47
T7	Cl ⁻	1.283	145,692	121,41	129,504	132,2	10,095
T8	Cl ⁻	1.343	161,88	121,41	121,41	134,9	19,077
T9	Cl ⁻	1.970	48,564	40,47	64,752	51,26	10,095
T10	Cl ⁻	2.608	72,846	40,47	64,752	59,36	16,849
T11	Cl ⁻	3.850	80,94	64,752	64,752	70,15	7,631
T12	Cl ⁻	3.860	307,572	315,666	323,76	315,67	8,094
T13	Cl ⁻	4.270	145,692	121,41	121,41	129,5	14,019
T14	Cl ⁻	21.300	80,94	40,47	40,47	53,96	19,077

Ditinjau dari kadar klorida pada kode sampel acuan yang terintrusi menurut SNI 06-6989.22-2004, yang masih dalam rentang terintrusi ada pada lokasi sampel T1, T2, T3 dan T12. Hal ini menunjukkan bahwa intrusi oleh air laut terjadi pada analisis kadar klorida terjadi sejauh ± 420 m pada kode lokasi T1, ± 545 m pada kode lokasi T2, ± 685 m pada kode lokasi T3, ± 3.860 km pada kode lokasi T12. Lokasi sampel T1, T2, T3 berada di Kelurahan Mintragen, dan lokasi sampel T12 berada di Kelurahan Debong Tengah.

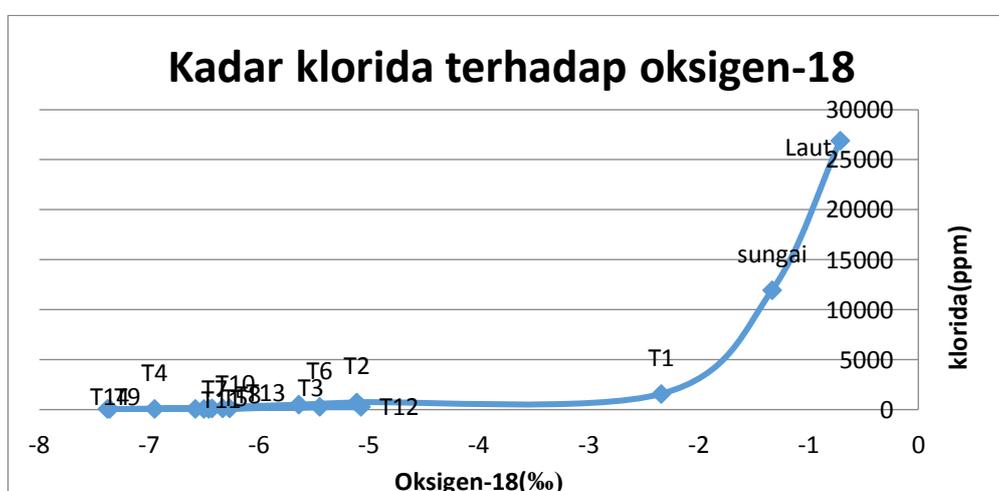
Tabel 4.4. Jarak, Kadar Ion Klorida dan Isotop O^{18}

Kode Sampel	Jarak dari pantai (m)	Cl^- (ppm)	^{18}O (‰)
Laut	0	26926,0	-0,71
Sungai	1.288	11965,6	-1,33
T1	420	1578,33	-2,34
T2	545	728,46	-5,11
T3	685	491,04	-5,64
T4	747	64,75	-6,95
T5	964	78,24	-6,46
T6	1.265	283,29	-5,45
T7	1.283	132,2	-6,43
T8	1.343	134,9	-6,27
T9	1.970	51,26	-7,36
T10	2.608	59,36	-6,58
T11	3.850	70,15	-6,50
T12	3.860	315,67	-5,07
T13	4.270	129,5	-6,33
T14	21.300	53,96	-7,38



Gambar 4.3. Grafik hubungan ion kolrida terhadap jarak

Lokasi sampel T1 dan lokasi sampel T3 berdekatan, akan tetapi kadar klorida sampel T1 (1578,33 ppm) lebih besar dari sampel T3 (491,04 ppm) dan kadar klorida pada lokasi sampel T4 (64,75 ppm) lebih tinggi daripada lokasi sampel T12 (315,67 ppm) sedangkan lokasi sampel T12 lebih jauh dari lokasi sampel T4. Perbatasan antara air asin dan air tawar dalam akuifer terkekang ditentukan oleh dalamnya akuifer, permeabilitas, besar tekanan dan lain-lain. Jadi meskipun sumur itu dalam dan terletak di tepi pantai, tidak akan terdapat pencampuran air asin. Tetapi kadang-kadang pencampuran itu dapat terjadi meskipun sumur itu dangkal dan cukup jauh di tepi pantai. Hal itu dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.



Gambar 4.4. Grafik hubungan ion klroida terhadap oksigen-18

Terdapat hubungan antara oksigen-18 dan kadar klorida yang terdapat pada sampel. Nilai kadar ion klorida dan oksigen-18 berbanding terbalik terhadap jarak pengambilan sampel garis pantai. Semakin dekat jarak pengambilan sampel dari garis pantai maka nilai kadar oksigen-18 dan ion klorida bertambah. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin dekat jarak pengambilan sampel dengan air laut, maka komposisi dari isotop oksigen-18 mengalami pengkayaan yang disebabkan oleh intrusi air laut. Namun pada sampel lokasi T13 terdapat anomali yang terjadi, bahwa jarak semakin menjauh dari laut tetapi komposisi ion klorida tinggi dan isotop oksigen-18 mengalami rendah. Hal ini terjadi akibat kesalahan pada saat pengambilan sampel air terjadi proses penguapan pada sampling.

4.4. Analisis Konduktivitas Listrik Air Tanah

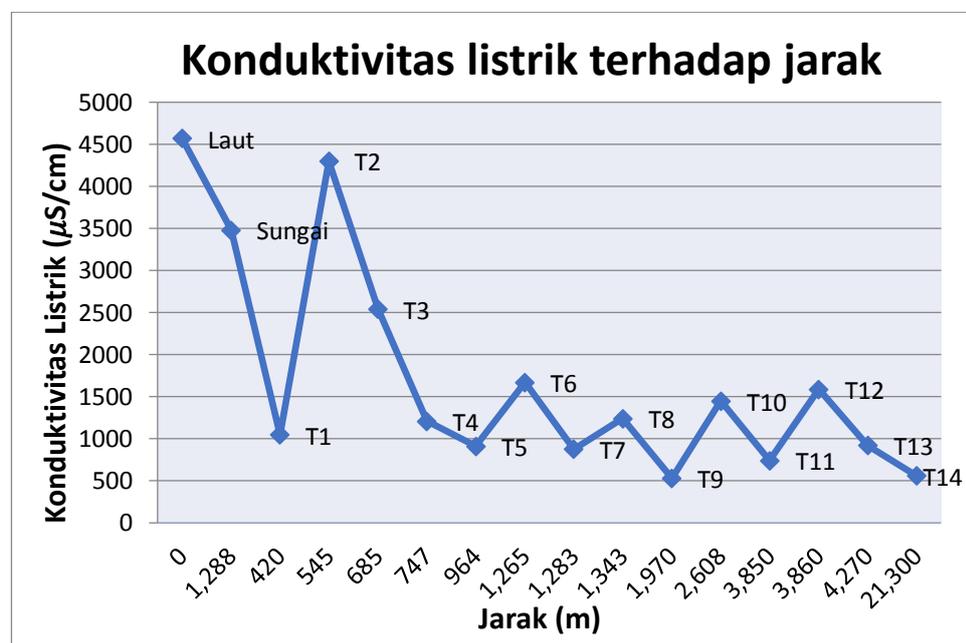
Konduktivitas listrik pada media air dapat digunakan untuk mengukur banyaknya ion-ion yang terlarut dalam air dengan arus listrik sebesar $1\mu\text{volt}$ pada bidang lapisan seluas 1cm^2 . Untuk menghantarkan arus listrik, ion-ion bergerak di dalam larutan memindahkan muatan listriknya yang bergantung pada ukuran dan interaksi antar ion dalam larutan. Jika air tanah terintrusi air laut akan memberikan nilai konduktivitas listrik yang tinggi. Kualitas air yang layak dikonsumsi dan air bersih memiliki sifat konduktivitas pada taraf wajar.

Menurut standar pemerintah republik indonesia berdasarkan peraturan menteri kesehatan nomor 416/Menkes/IX/1990 Batas ambang sifat konduktivitas yang wajar untuk kualitas air minum $1000\ \mu\text{S}/\text{cm}$ dan $1500\ \mu\text{S}/\text{cm}$ untuk kualitas air bersih.

Nilai konduktivitas listrik merupakan fungsi temperatur, jenis ion-ion terlarut, dan konsentrasi ion terlarut. Dari hasil awal pengukuran sampel untuk nilai konduktivitas listrik, suhu dan pH dapat digunakan sebagai indikasi awal apakah sampel air di lokasi tersebut sudah terintrusi air laut atau masih dalam keadaan normal.

Tabel 4.5. Konduktivitas listrik terhadap jarak

Lokasi	Jarak dari pantai (m)	Konduktivitas Listrik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Laut	0	4570
Sungai	1.288	3480
T1	420	1048
T2	545	4300
T3	685	2540
T4	747	1208
T5	964	912
T6	1.265	1670
T7	1.283	877
T8	1.343	1241
T9	1.970	531
T10	2.608	1449
T11	3.850	741
T12	3.860	1588
T13	4.270	921
T14	21.300	561

**Gambar 4.5.** Grafik hubungan Konduktivitas Listrik terhadap Jarak

Pada **Gambar 4.5.** Grafik hubungan konduktivitas listrik dengan jarak memperlihatkan bahwa semakin jauh jarak dari garis pantai nilai konduktivitasnya semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa adanya faktor arah dan kecepatan

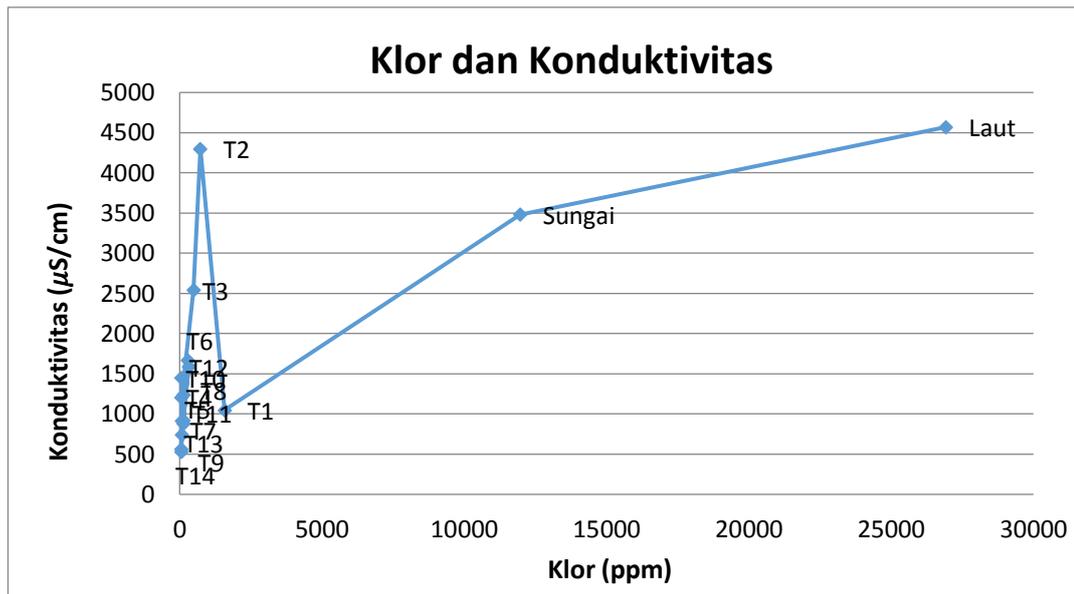
pergerakan air tanah yang menyebabkan air laut akan terhambat meneruskan alirannya ke dataran karena gaya hidrostatik air.

Pengamatan lapangan menunjukkan bahwa aliran air tanah di Kota Tegal mengarah ke arah laut, aliran dari hulu ke hilir yaitu dari tempat yang lebih tinggi ketempat yang lebih rendah. Hal ini mengakibatkan daerah pantai merupakan tempat akumulasi ion-ion yang terbawa aliran tanah dari daerah hulu, dengan tingginya kadar ion dalam air, konduktivitas air tanah akan semakin meningkat. Tingginya nilai konduktivitas bisa juga disebabkan karena akumulasi dari ion disekitar lokasi sampling. Hal ini terjadi di lokasi sampel T6, T10 dan T12 meskipun jaraknya jauh dari garis pantai nilai konduktivitas listriknya lebih tinggi dari lokasi sampel T1, T4, T5 yang jaraknya lebih dekat dari garis pantai.

Oleh karena itu diperlukan uji laboratorium untuk penentuan kadar klorida (Cl) untuk mendukung indikator konduktivitas listrik dalam penentuan intrusi air laut. Hasil analisis konduktivitas listrik dapat dilihat di **Lampiran 1**.

Tabel 4.6. Konduktivitas terhadap klor

Kode Sampel	Konduktivitas ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Klor (ppm)
Laut	4570	26926,0
Sungai	3480	11965,6
T1	1048	1578,33
T2	4300	728,46
T3	2540	491,04
T4	1208	64,75
T5	912	78,24
T6	1670	283,29
T7	877	132,2
T8	1241	134,9
T9	531	51,26
T10	1449	59,36
T11	741	70,15
T12	1588	315,67
T13	921	129,5
T14	561	53,96



Gambar 4.6. Grafik hubungan konduktivitas dan klor

Pada **Gambar 4.6.** Nilai kadar klorida dan konduktivitas listrik memberikan pemahaman yang sama yaitu semakin dekat jarak dataran pantai dari garis pantai nilai klorida konduktivitasnya semakin tinggi, dan begitu pula sebaliknya.. Namun terdapat anomali pada sampel T1 konduktivitas lebih rendah dari sampel lokasi T2 namun klor sampel T1 lebih tinggi dari sampel T2. Hal ini terjadi karena tingginya nilai konduktivitas bisa disebabkan oleh akumulasi dari ion disekitar lokasi sampling.

4.5. Analisis Keasaman Air Tanah

Sifat kimia air tanah sangat berpengaruh pada batuan akuifernya. Hasil analisis keasaman air tanah pada wilayah Tegal dapat dilihat di **Lampiran 1.** Dari hasil pengukuran tingkat keasaman yang bersifat basa yaitu terkecil 7,09 dan tertinggi 8,90 sedangkan pada pengukuran yang bersifat asam yaitu terkecil 6,82 dan tertinggi 6,99. Jika terindikasi adanya intrusi air laut seharusnya tingkat keasaman bersifat basa karena alkalinitas air laut.

Tinggi rendahnya pH bisa disebabkan oleh lingkungan sekitar. Kepadatan penduduk bisa menjadi faktor utama tinggi rendah pH karena limbah rumah tangga yang dibuang ke lingkungan, adapun lokasi sampel yang dekat dengan laut

menjadi faktor utama tingginya pH karena tingkat keasaman air laut bersifat basa karena alkalinitas air laut. Dari hasil uji laboratorium nilai kadar klorida dan pH memberikan hasil yang sesuai, yaitu pada sampel terjadi penambahan pH yang diikuti dengan adanya penambahan kadar klorida. Tetapi ada perbedaan pada lokasi sampel T4, T5, T8, T9, T11 dan T13 nilai pH tidak menunjukkan adanya penambahan ion klorida. Hal ini nilai pH pada lokasi sampel T4, T5, T8, T9, T11 dan T13 dipengaruhi oleh lingkungan sehingga memberikan hasil yang berbeda. Kelemahan penentuan intrusi air laut menggunakan indikator kadar klorida yaitu belum diketahui secara pasti asal klorida itu berasal dari kepadatan penduduk, limbah industri, kontaminasi air dangkal, proses pencucian atau berasal dari laut.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Metode isotop stabil dapat dikatakan sebagai metode alternatif digunakan untuk menentukan Intrusi air laut di suatu daerah dengan di dukung kandungan klor dan konduktivitas.
2. Dari hasil analisis Oksigen-18(¹⁸O) dan Deuterium (²H) intrusi air laut di Kabupaten Tegal-Jawa Tengah telah terjadi intrusi air laut sejauh lokasi sampel T1 di Jalan Sangir Kelurahan Mintragen Kecamatan Tegal Timur sejauh ±420m dari garis pantai dengan presentase air laut sebanyak 65,5% di dukung dengan parameter lain, yaitu klorida sebesar 1578,33 ppm, konduktivitas sebesar 1048 μS/cm, dan pH 8,25. Sampel T2 di PLN UPJ Tegal di Kelurahan Mintragen, Kecamatan Tegal Timur sejauh ±545 dari garis pantai dengan presentase air laut sebanyak 29,6% di dukung dengan parameter lain, yaitu klorida sebesar 728,46 ppm, konduktivitas sebesar 4300 μS/cm, dan pH 7,93 Dan lokasi sampel T3 di Jalan Karimun Jawa 2, Kelurahan Mintragen Kecamatan Tegal Timur sejauh ±685m dari garis pantai dengan presentase air laut sebanyak 21,9% di dukung dengan parameter lain, yaitu klorida sebesar 491,04 ppm, konduktivitas sebesar 2540 μS/cm, dan pH 8,28. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas air tanah pada lokasi sampel T1, T2 dan T3 sudah tercemar oleh air laut.

5.2. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan tinjauan geologi agar dapat diketahui struktur batuanya dan dengan parameter yang lebih komplit, seperti anion dan kation.

2. Perlu dilakukan penelitian pada sumur dalam dan dengan jumlah sampel yang lebih banyak.
3. Pelaksanaan sampling menggunakan botol yang memenuhi standar agar tidak terjadi penguapan.
4. Perlu dilakukan kebijakan dalam penggunaan air tanah di dataran pantai kota tegal agar pencemaran tidak semakin luas
5. Perlu dilakukan penyuluhan tentang pentingnya air bersih kepada warga disekitar dataran pantai kota tegal, agar kesehatan tidak terganggu akibat kurangnya pengetahuan tentang pentingnya penggunaan air bersih.

DAFTAR REFERENSI

Craig H. “*Isotopic Variations in Natural Waters*”. *Journal of science*.133:1702-1703, 1961.

Ditjen PPM dan PL. 2002. Keputusan Menteri Pemukiman dan Prasarana Wilayah No: 403/KPTS/M/2002 tentang Pedoman Teknis Pembangunan Rumah Sederhana Sehat (Rssehat). Jakarta: Menteri Dalam Negeri.

Effendi, H. (2003). “*Telaah kualitas air*”. Kanisius. Yogyakarta.

Gambar Akuifer Air Tanah. Diakses dari <https://ilmugeografi.com/ilmu-bumi/tanah/akuifer> pada 15 Oktober 2018, 08:23:40

Gambar Akuifer Bocor. Diakses dari <http://tambangunp.blogspot.com/2013/10/jenis-jenis-akuifer.html> pada 15 Oktober 2018, 20:11:32

Gambar Akuifer Melayang. Diakses dari <http://tambangunp.blogspot.com/2013/10/jenis-jenis-akuifer.html> : pada 15 Oktober 2018, 20:52:01

Gambar isotop alam dalam siklus air. Diakses dari <https://geochemist.wordpress.com/2009/02/16/isotop-alam-dalam-siklus-air-2/> pada 15 Oktober 2018, 06:19:09

Gambar Akuifer Tertekan Dan Akuifer Tidak Tertekan. Diakses dari <http://tambangunp.blogspot.com/2013/10/jenis-jenis-akuifer.html> pada 15 Oktober 2018, 08:59:15

Gambar siklus hidrologi. Diakses dari <http://www.lingkungan.org/2018/06/apa-itu-ilmu-hidrologi.html> : Pada 13 Oktober 2018, 23:45:05

Hendrayana H. (2002).“ *Intrusi Air Asin ke Dalam Akuifer Daratan*”, Jurusan Teknik Geologi FT UGM, Yogyakarta.

Kondisi geografis kota Tegal. Diakses dari

<http://www.tegalkota.go.id/v2/index.php/kami/profil-kota/kondisi-geografis>, pada 13 Oktober 2018, 23:29:07.

Mazor, Emanuel. (1997). *“Chemical and isotopic ground water hydrology”*. Second edition, revised and expanded, marcel dekker, Inc., New York.

Peraturan Menteri Kesehatan No.416/MEN.KES/PER/IX/1990. *Syarat-syarat dan pengawasan kualitas air*. Indonesia : s.n. 1990.

Pramudi Ahmad. (2013). *“STUDI INTRUSI AIR LAUT DI KOTA SEMARANG DENGAN METODE APLIKASI ISOTOP ALAM”*. Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

Pratikno Bungkus, Zainal Abidin, Paston Sidauruk, dan Satrio.(2009). *“Aplikasi Isotop Alam ^{18}O , 2H , Dan ^{14}C Untuk Studi Air Tanah di Kepulauan Seribu” A Scientific Journal For The Applications Of Isotopes And Radiation*, 5:68-82.

Rasi Prasetio, Satrio.(2015). *“APLIKASI TEKNIK ISOTOP ALAM ^{18}O DAN 2H UNTUK STUDI AIR TANAH PADA CEKUNGAN AIRTANAH SEMARANG”*, JAWA TENGAH Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi – BATAN, Jl. Lebak Bulus Raya no. 49 Jakarta Selatan.

Rejekiningrum, popi.(2009). *“PELUANG PEMANFAATAN AIR TANAH UNTUK KEBERLANJUTAN SUMBER DAYA AIR”*. Jurnal Sumberdaya Lahan Vol. 3 No. 2.

Rendi Novi Indriastoni , Dra. Indiah Kustini, MT. (2014). *“Intrusi air laut terhadap kualitas air tanah dangkal dari pantai kota Surabaya”*. *Rekayasa Teknik Sipil Vol 3 Nomer 3/rekat/14 (2014) : 228 – 232*.Surabaya.

Santoso Budi.(2006). *“Karakteristik Hujan Kota Semarang: Pembangunan Kurva Intensitas-Durasi-Frekwensi (Idf)”*. Universitas Katolik Soegijapranata – Semarang.

Sidauruk, Paston. (2012). *“Tinjauan Teknik Isotop dan Radiasi Dalam Penyelidikan Potensi Sumber Daya Air”*. *A Scientific Journal for The Applications of Isotopes and Radiation* Vol. 8 No. 2.

Tsoulfanisidis, Nicholas. (1983). *“Measurement and detection of radiaton”*. *Hemisphere publishsing corporation, new york*.

Wijaya Lean, Budi Legowo, dan Ari Handono Ramelan. (2009). *“Identifikasi Pencemaran Air Tanah dengan Metode Geolistrik di Wilayah Ngringo Jaten Karanganyar”*. *Prosding Seminar Nasional Ke-15 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir*, Hal.234-240, Surakarta.

Wuryantoro. (2007). *“ Aplikasi Metode Geolistrik Tahanan Jenis untuk Menentukan Letak dan Kedalaman Aquifer Air Tanah”*. (Skripsi). Unnes. Semarang

Lampiran 1

Hasil Analisis Pengukuran Konduktivitas Listrik dan Keasaman

Kode Sampel	pH	Konduktivitas (μS)	TDS (ppm)
Laut	8,90 pH 20,3 °C	4570 μS 20,3 °C	22800 ppm 20,3 °C
Sungai	8,00 pH 21,7 °C	3480 μS 21,7 °C	17300 ppm 21,7 °C
T1	8,25 pH 20,7 °C	10480 μS 20,7 °C	5190 ppm 20,7 °C
T2	7,93 pH 21,9 °C	4300 μS 21,9 °C	2150 ppm 21,9 °C
T3	8,28 pH 20,5 °C	2540 μS 20,5 °C	1260 ppm 20,5 °C
T4	7,98 pH 22,1 °C	1208 μS 22,1 °C	606 ppm 22,1 °C
T5	8,25 pH 21,2 °C	912 μS 21,2 °C	455 ppm 21,2 °C
T6	7,77 pH 21,7 °C	1670 μS 21,7 °C	834 ppm 21,7 °C
T7	6,82 pH 20,8 °C	877 μS 20,8 °C	443 ppm 20,8 °C
T8	8,73 pH 21,2 °C	1241 μS 21,2 °C	617 ppm 21,2 °C
T9	7,95 pH 20,6 °C	531 μS 20,6 °C	265 ppm 20,6 °C
T10	7,09 pH 20,4 °C	1449 μS 20,4 °C	668 ppm 20,4 °C
T11	7,97 pH 21,7 °C	741 μS 21,7 °C	372 ppm 21,7 °C
T12	7,88 pH 22,8 °C	1588 μS 22,8 °C	795 ppm 22,8 °C
T13	8,43 pH 22,1 °C	921 μS 22,1 °C	461 ppm 22,1 °C
T14	6,99 pH 22,7 °C	561 μS 22,6 °C	280 ppm 22,7 °C

LAMPIRAN 2

PERHITUNGAN ANALISIS ISOTOP D DAN ¹⁸ O DALAM SAMPEL AIR									
		average meas		actual					
		D/H	¹⁸ O/ ¹⁶ O	D/H	¹⁸ O/ ¹⁶ O	δD permil	δ ¹⁸ O permil	Sdev δD	Sdev δ ¹⁸ O
04 Februari 2019	Std1	1,50E-004	2,14E-003	1,54E-004	2,00E-003	-10,04	-1,86	0,5	0,08
	Std2	1,47E-004	2,13E-003	1,51E-004	2,00E-003	-32,11	-4,55	0,1	0,06
	Std3	1,43E-004	2,12E-003	1,46E-004	1,99E-003	-63,16	-6,86	0,2	0,19

D/H ¹⁸O/¹⁶O

slope =	1,250072786	0,592003796
intercept=	-3,31E-05	7,37E-04
R =	1,000	1,000

Kode sampel	No	D/H	¹⁸ O/ ¹⁶ O	D/H	¹⁸ O/ ¹⁶ O	δD permil	δ ¹⁸ O permil	Sdev δD	Sdev δ ¹⁸ O
Air laut Tegal	1	1,51E-04	2,14E-03	0,00015471	0,00200377	-6,8	-0,71	0,0	0,41
Jln Sangir	2	1,49E-04	2,13E-03	0,00015305	0,00200050	-17,4	-2,34	0,1	0,13
PLN	3	1,47E-04	2,12E-03	0,00015072	0,00199495	-32,4	-5,11	5,0	0,25
sanggar pramuka hang tuah	4	1,46E-04	2,12E-03	0,00014944	0,00199127	-40,6	-6,95	2,9	0,19
jl. Seram	5	1,47E-04	2,12E-03	0,00015002	0,00199188	-36,8	-6,64	0,8	0,03
jl. Dampyak	6	1,47E-04	2,12E-03	0,00014974	0,00199263	-38,6	-6,27	2,7	0,21
yayasan tridarma tegal	7	1,46E-04	2,12E-03	0,00014920	0,00199230	-42,1	-6,43	2,0	0,26

SD Panggung 8	8	1,47E-04	2,12E-03	0,00015023	0,00199428	-35,5	-5,45	0,5	0,19
Masjid Agung	9	1,46E-04	2,12E-03	0,00014892	0,00199043	-43,9	-7,36	0,4	0,02
Jln Karimun Jawa	10	1,47E-04	2,12E-03	0,00015012	0,00199388	-36,2	-5,64	0,1	0,01
rumah warga depan smp ihsaniyah	11	1,46E-04	2,12E-03	0,00014942	0,00199217	-40,7	-6,50	0,1	0,01
desa kajen lebaksiu	12	1,46E-04	2,12E-03	0,00014888	0,00199041	-44,2	-7,38	0,0	0,01
Jln. Suprpto	13	1,46E-04	2,12E-03	0,00014995	0,00199200	-37,3	-6,58	0,3	0,14
Debong Tengah 1	14	7	1,48E-04	2,12E-03	0,00015148	0,00199504	-27,5	-5,07	0,2
rumah warga depan spbu mejasem barat	15	8	1,46E-04	2,12E-03	0,00014992	0,00199251	-37,5	-6,33	0,0
Kali Ketiwon	16	1,50E-04	2,14E-03	0,00015408	0,00200253	-10,8	-1,33	1,2	0,07