



TESIS – RE185401

**PENILAIAN PERUBAHAN KANDUNGAN KLORIDA
PADA AIR TANAH DENGAN MULTI PARAMETER
DI KAWASAN TAMBAK GARAM, KEC.PADEMAWU,
MADURA, JAWA TIMUR**

WISNU ARYA GEMILANG
NRP 03211950015003

DOSEN PEMBIMBING
Ir. Mas Agus Mardyanto., ME., PhD

DOSEN Co-PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem., MSc

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2021**



TESIS – RE185401

**PENILAIAN PERUBAHAN KANDUNGAN KLORIDA
PADA AIR TANAH DENGAN MULTI PARAMETER
DI KAWASAN TAMBAK GARAM, KEC.PADEMAWU,
MADURA, JAWA TIMUR**

WISNU ARYA GEMILANG
NRP 03211950015003

DOSEN PEMBIMBING
Ir. Mas Agus Mardyanto., ME., PhD

DOSEN Co-PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem., MSc

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2021

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



TESIS – RE185401

**ASSESSING THE ALTERATION OF CHLORIDE-CONTENTS
GROUNDWATER USING MULTI PARAMETER IN THE
SALT POND OF PADEMAWU SUBDISTRICT, MADURA,
EAST JAVA**

WISNU ARYA GEMILANG
NRP 03211950015003

SUPERVISOR

Ir. Mas Agus Mardyanto., ME., PhD

Co-SUPERVISOR

Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem., MSc

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL, PLANNING, AND GEO-ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2021

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



HALAMAN PENGESAHAN

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

WISNU ARYA GEMILANG

NRP: 03211950015003

Tanggal Ujian : 15 Maret 2021

Periode Wisuda: September 2021

disetujui oleh:

Pembimbing:

1. Ir. Mas Agus Mardyanto., ME., PhD

NIP:19620816 199003 1 004

2. Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem., MSc

NIP: 195501281 198503 2 001

Penguji:

1. Dr. Ir. Agus Slamet, MSc

NIP. 19590811 198701 1 001

2. Dr. Abdu Fadli Assomadi, SSi, MT

NIP. 19751018 200501 1 003

3. Dr. Ir. R. Irwan Bagyo S, MT

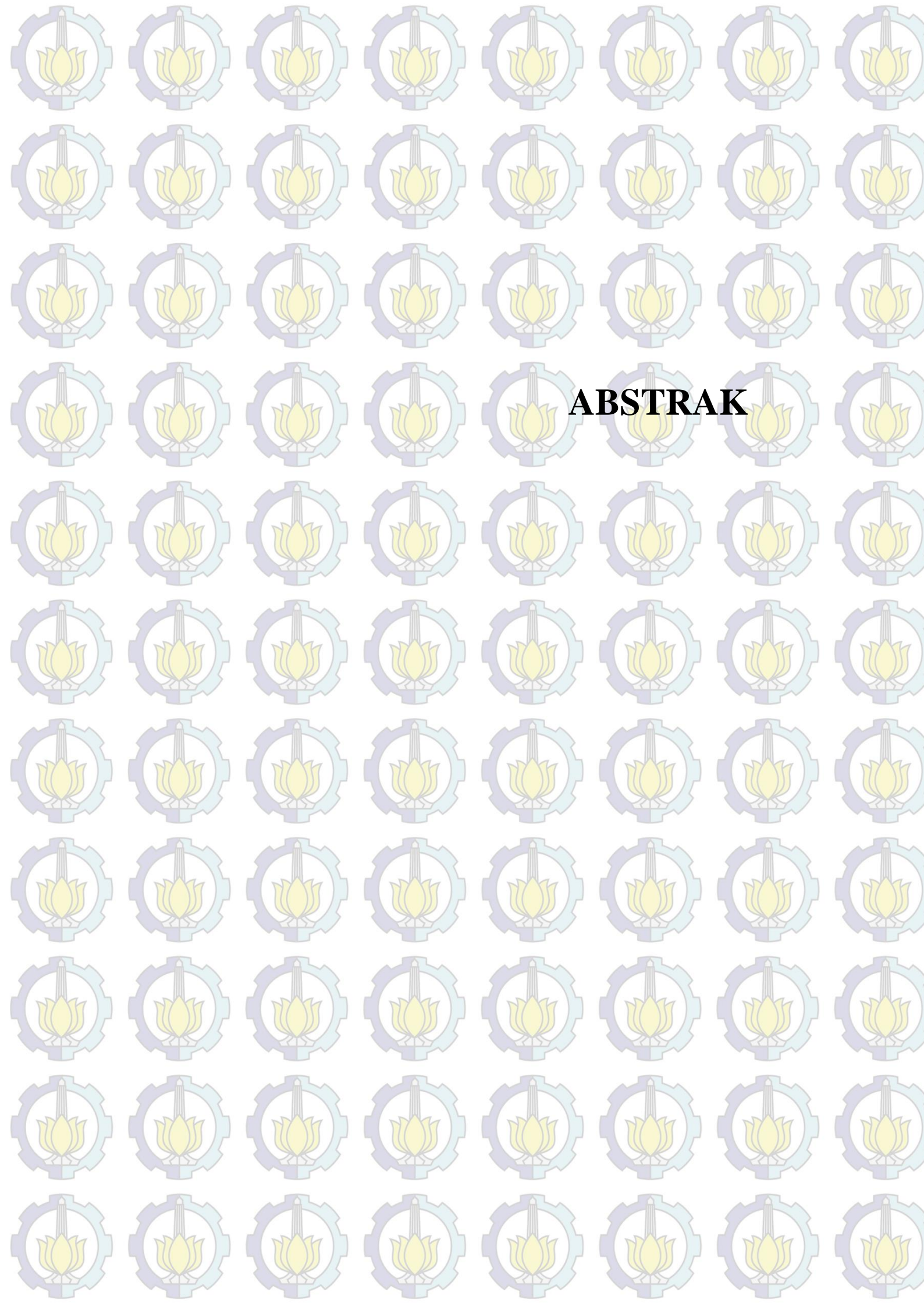
NIP. 19650508 199303 1 001

Kepala Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan

Dr. Eng. Arie Didananda Syafei, ST., MEPM

NIP: 19820119 200501 1 00

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



ABSTRAK

**Penilaian Perubahan Kandungan Klorida Pada Air Tanah Dengan Multi
Parameter Di Kawasan Tambak Garam, Kec. Pademawu,
Madura, Jawa Timur**

Nama Mahasiswa : Wisnu Arya Gemilang
NRP : 03211950015003
Pembimbing : Ir. Mas Agus Mardyanto., ME., PhD
Co-Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem., MSc

ABSTRAK

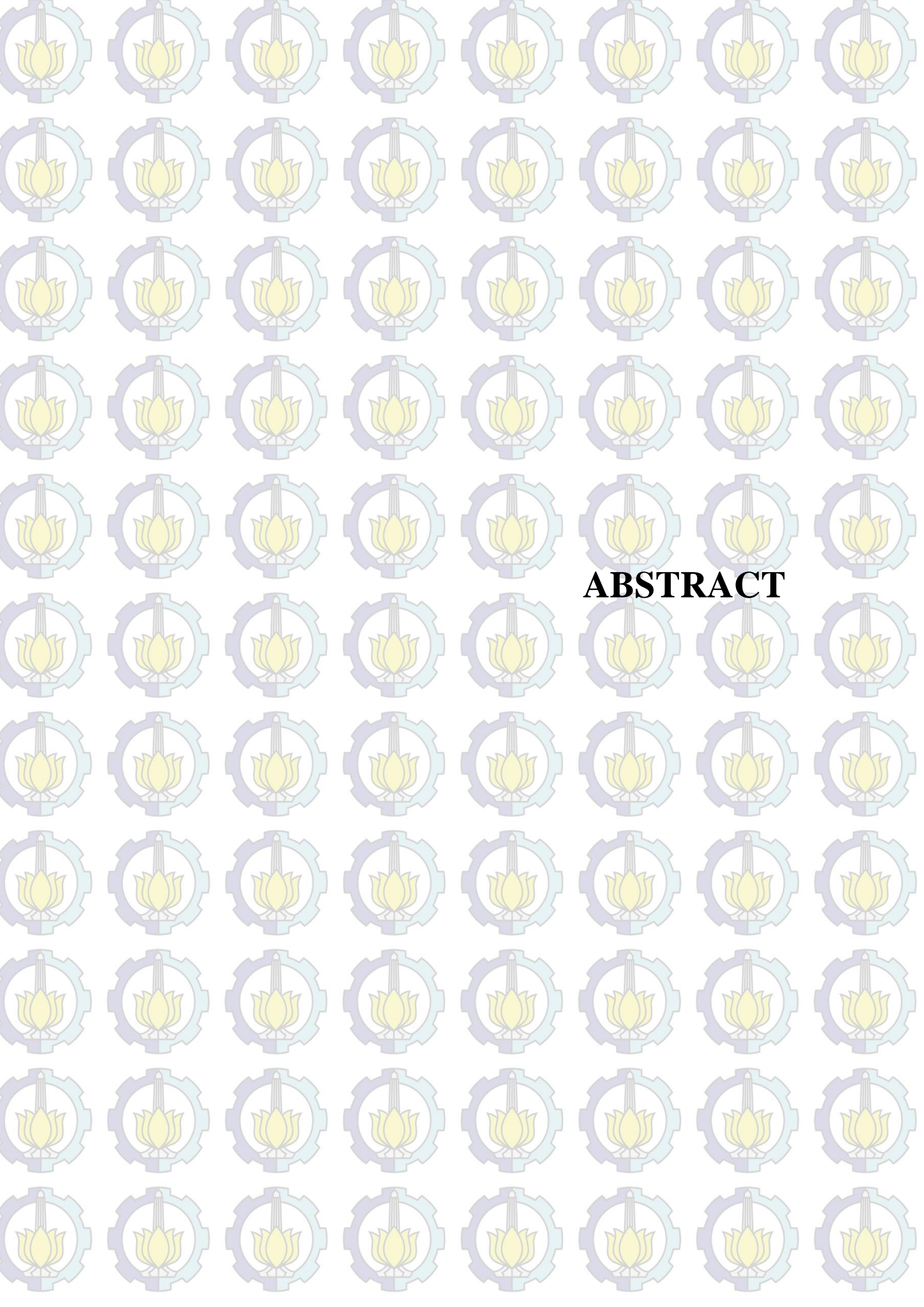
Kawasan pesisir Kecamatan Pademawu dan sekitarnya beralih fungsi menjadi pusat pertanian garam yang menimbulkan beberapa dampak negatif terhadap lingkungan, salah satunya permasalahan pencemaran air tanah. Hasil penelitian tahun 2015 diperoleh kesimpulan bahwa kategori kualitas air tanah masuk dalam kualitas buruk dan sangat buruk pada sumur warga yang berdekatan dengan kawasan pertanian garam dan garis pantai. Oleh karena itu penilaian dinamika skala perubahan tingkat pencemaran air tanah dalam kurun waktu 2015 hingga 2020 sangat dibutuhkan sebagai bentuk monitoring, evaluasi serta penentuan solusi dan kebijakan alternative yang harus diprioritaskan.

Penilaian dinamika tingkat pencemaran air tanah di Kec.Pademawu dan sekitarnya dilakukan pada 66 titik pengamatan dan pengukuran in-situ, serta pengambilan 11 sampel untuk mengetahui beberapa unsur kimia air tanah sebagai dasar analisis hidro geokimia dan *water quality indeks*. Penentuan indeks kerentanan pencemaran air tanah menggunakan metode pendekatan model DRASTIC dan GALDIT dengan penilaian beberapa parameter hidrogeologi yang kemudian ditentukan peringkat dan bobot serta dilakukan perhitungan kemudian dianalisis secara spasial menggunakan *software ArcGIS 10.3* sehingga didapatkan peta indeks kerentanan pencemaran air tanah.

Dinamika parameter fisik air tanah nilai DHL dengan rata-rata selisih penurunan nilai DHL air tanah tahun 2015 terhadap 2020 mencapai 2779,94 $\mu\text{S}/\text{cm}$, nilai salinitas juga mengalami penurunan hingga 0,119%. Selain itu nilai pH juga mengalami penurunan dengan nilai rata-rata penurunan 0,33. Konsentrasi maksimum ion Cl ditemukan di sepanjang pesisir Kec.Pademawu, yang mengindikasikan proses infiltrasi endapan air garam ke dalam tanah. Nilai rasio Na/Cl dan Cl/HCO₃ menunjukkan bahwa air tanah daerah penelitian telah terjadi proses pencampuran air laut ke dalam akuifer dengan kategori penyusupan air laut sedikit hingga agak tinggi. Zonasi kerentanan air tanah DRASTIC dan GALDIT 2015 terhadap 2020, tidak memperlihatkan adanya peningkatan maupun penurunan yang signifikan. Faktor utama yang berperan pada tingginya tingkat kerentanan air tanah adalah kedalaman air tanah dan curah hujan.

Kata kunci: air tanah, dinamika, klorida, madura, pencemaran, tambak garam

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



ABSTRACT

**Assessing the Alteration of Chloride-contents Groundwater Using Multi
Parameter in the Salt Pond of Pademawu Subdistrict,
Madura, East Java**

Wisnu Arya Gemilang
03211950015003

Ir. Mas Agus Mardyanto., ME., PhD
Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem., MSc

ABSTRACT

The coastal area of Pademawu Subdistrict and its surroundings has transformed, becoming the centre of salt agriculture, resulting in negative impacts on the environment. One of which is groundwater pollution. The previous survey in 2015 concluded that the groundwater quality was categorized to poor and inferior quality observed in the artesian well near the salt pond and coastline. However, the assessment of polluted groundwater alteration between 2015 and 2020 is essential to monitor, to evaluate and determine the solution and to result in alternative policy-making that should be prioritized.

The assessment of groundwater pollution dynamics in the Pademawu Subdistrict and surroundings has been conducted at 66 observation points and by in situ measurements. Also, sampling of 11 samples to analyse chemical elements of groundwater as a basis for geochemical and water quality index analyses. The two model approaches, DRASTIC and GALDIT, were employed to determine the groundwater vulnerability index by assessing several hydrogeological parameters. These measured parameters were then ranked and scored analytically. The map of groundwater vulnerability index has been created by several calculations and spatial analysis supported by ArcGIS 10.3 software.

The dynamics of physical parameters of groundwater have been determined. Overall, the difference in DHL value over five years (2015-2020) reached 277.94 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Moreover, the salinity decreased around 0.119%. The pH value declined to an average of 0.33. The concentration of chloride ions found along the Pademawu coastline indicated the infiltration process of saltwater deposit within groundwater. The ratio of Na/Cl and Cl/HCO_3 showed that the groundwater in the study area was mixed by seawater within the aquifer which the seawater absorption was categorized to moderate and slightly high absorption. The groundwater vulnerability zoning based on DRASTIC and GALDIT between 2015 and 2020 did not significantly increase or decrease. The main factors that play a role in the high level of groundwater vulnerability are groundwater depth and rainfall.

Keywords: *groundwater, dynamics, chloride, Madura, pollution, salt pond*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, berkah, dan hidayah-Nya sehingga tesis ini dapat terselesaikan. Tesis “Penilaian Perubahan Kandungan Klorida Pada Air Tanah Dengan Multi Parameter Di Kawasan Tambak Garam, Kec. Pademawu, Madura, Jawa Timur” ini dibuat dalam rangka memenuhi salah satu prasyarat tesis program magister Teknik Lingkungan ITS. Dalam penulisan tesis ini, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu penulis antara lain:

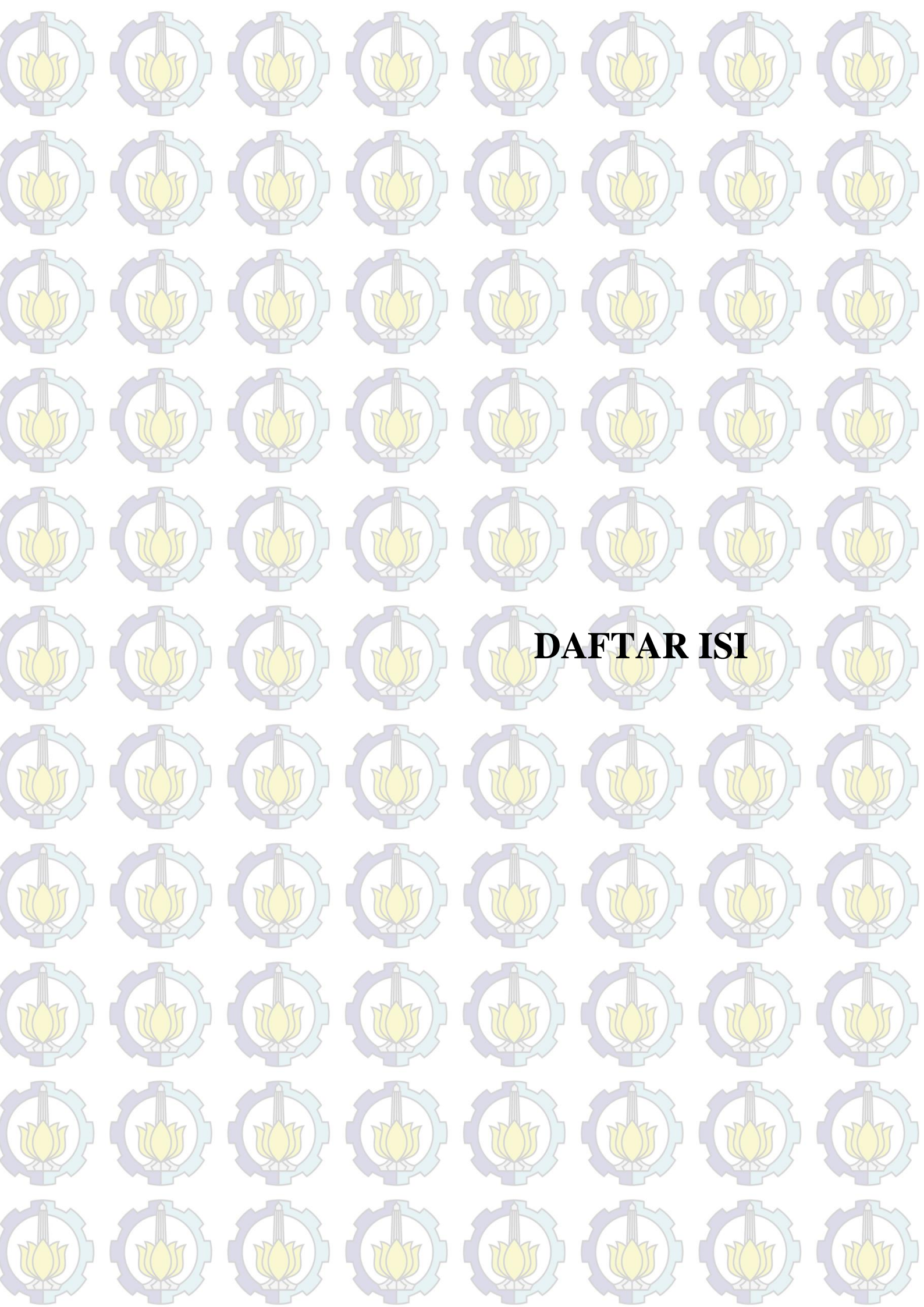
1. Dosen pembimbing tesis, Ir. Mas Agus Mardyanto., ME., PhD dan Co-Pembimbing Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem., MSc, terima kasih atas ilmu, nasihat, arahan serta kesabarannya dalam membimbing penulis.
2. Bapak Dr. Ir. Agus Slamet, MSc., Bapak Abdu Fadli Assomadi, S.Si, MT dan Bapak Dr. Ir. Irwan Bagyo S, MT. selaku Dosen Penguji yang memberikan arahan, saran dan kritik yang membangun.
3. Bapak Dr. Eng. Arie Dipareza Syafe’i, ST, MEPM selaku Kepala Departemen Teknik Lingkungan.
4. BRSDM-KP Kementerian Kelautan dan Perikanan yang memberikan dana kegiatan riset.
5. Kedua orang tua yang selalu mengingatkan, menyemangati dan mendoakan penulis sehingga tesis ini dapat terselesaikan dengan baik.
6. Teman-teman S2 Teknik Lingkungan ITS yang saling menyemangati dan memberikan masukan untuk pengerjaan tesis ini.

Semoga penelitian ini dapat memberikan sumbangsih bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan bermanfaat bagi masyarakat.

Surabaya, Maret 2021

Wisnu Arya Gemilang

“Halaman ini sengaja dikosongkan

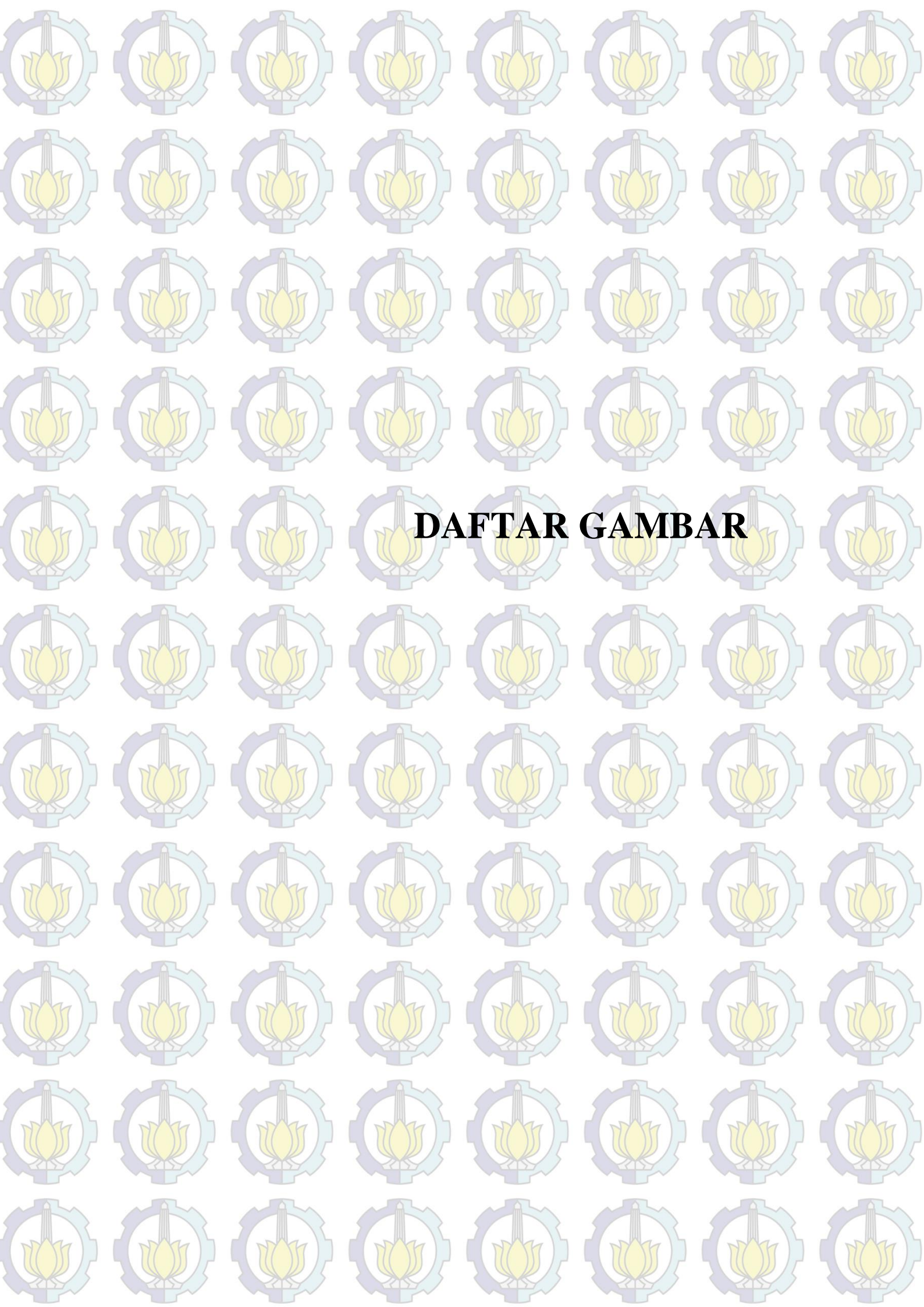


DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TESIS	iv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	iii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Ruang Lingkup	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	9
2.1 Lokasi Penelitian.....	9
2.2 Kondisi Geologi.....	10
2.2.1 Topografi dan Kemiringan Lereng	10
2.2.2 Batuan penyusun dan Struktur Geologi.....	11
2.2.3 Hidrogeologi.....	14
2.3 Sumber Daya Air di Wilayah Pesisir	15
2.4 Siklus Hidrologi.....	17
2.5 Model Kerentanan Air tanah (Metode DRASTIC).....	19
2.6 Model Kerentanan Air tanah (Metode GALDIT).....	25
2.7 Hidro geokimia dan <i>Water Quality Index</i> (WQI)	31
2.7.1 Hidro geokimia.....	31
2.7.2 <i>Water Quality Index</i> (WQI).....	32
2.8 Validasi kualitas hasil analisis laboratorium dan model DRASTIC dan GALDIT.....	34
2.8.1 Perhitungan Charge Balance Error (CBE).....	34
BAB III METODE PENELITIAN	38
3.1 Deskripsi Umum	38
3.2 Tahap Penelitian.....	39
3.3 Kerangka Penelitian	42
3.4 Jenis dan Sumber Data	42
3.5 Persiapan Alat dan Bahan Penelitian	44

3.6	Teknik Pengumpulan Data.....	44
3.6.1	Pengukuran kualitas air tanah	44
3.6.2	Pengambilan Sampel Air tanah.....	46
3.6.3	Analisis Laboratorium.....	47
3.6.4	Analisa Data dan Pembahasan	47
3.6.5	Tahap Pemodelan DRASTIC dan GALDIT dalam software ArcGIS	
10.3	47	
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		54
4.1	Karakteristik Air tanah Lokasi Penelitian	54
4.1.1	Karakteristik Fisik Air tanah.....	54
4.1.2	Hidro geokimia Air Tanah	59
4.1.3	Fasies Hidro geokimia Air Tanah	65
4.1.4	Klasifikasi Kualitas Air Tanah.....	67
4.2	Dinamika Kerentanan Air Tanah Model DRASTIC dan GALDIT	69
4.2.1	Dinamika zonasi kerentanan air tanah (Tahun 2015 terhadap 2020) pendekatan model DRASTIC	69
4.2.2	Dinamika zonasi kerentanan air tanah (Tahun 2015 terhadap 2020) pendekatan model GALDIT	73
4.2.3	Model penilaian kinerja model DRASTIC dan GALDIT menggunakan ukuran evaluasi statistik	76
4.3	Isu strategis kerentanan air tanah lokasi penelitian	80
4.3.1	Perubahan tata guna lahan tambak garam	81
4.3.2	Hasil model <i>forecast</i> kerentanan air tanah hingga 2030	87
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		94
DAFTAR PUSTAKA		99



DAFTAR GAMBAR

“Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Peta lokasi pengukuran dan pengambilan sampel lab	Error!
Bookmark not defined.	
Gambar 2. 1 Peta lokasi kegiatan penelitian.....	10
Gambar 2. 2 Peta geologi regional daerah penelitian	11
Gambar 2. 3 Litologi penyusun endapan alluvial (Qa)	12
Gambar 2. 4 Singkapan litologi formasi Pamekasan (Qpp)	12
Gambar 2. 5 Singkapan litologi formasi Madura (Tpm)	13
Gambar 2. 6 Skema distribusi air bawah permukaan (Todd, 1980).....	17
Gambar 2. 7 Siklus hidrologi secara umum (Durack et al., 2012)	18
Gambar 2. 8 Diagram alir yang menggambarkan metodologi DRASTIC	21
Gambar 2. 9 Panjang air laut mengintrusi akuifer di pesisir (Kardan et al., 2017)	27
Gambar 2. 10 Analisis kerentanan air tanah dengan DRASTIC model dalam GIS	30
Gambar 2. 11 Diagram Piper	32
Gambar 3. 1 Kerangka Pikir Penelitian	41
Gambar 3. 2 Alat Multi-Parameter Water Quality Meter model WM-22EP	45
Gambar 3. 3 Peta lokasi titik pengamatan, pengukuran dan pengambilan sampel	45
Gambar 3. 4 Kegiatan pengukuran dan pengamatan hidrogeologi	46
Gambar 3. 5 Proses model DRASTIC.....	49
Gambar 3. 6 Proses model GALDIT	50
Gambar 4. 1 Grafik kedalaman air tanah tahun 2015 terhadap tahun 2020	55
Gambar 4. 2 Sebaran kedalaman air tanah tahun 2015 dan 2020 secara spasial.	56
Gambar 4. 3 Penampang geologi kondisi air tanah terhadap elevasi dan jarak laut	56
Gambar 4. 5 Sebaran nilai DHL secara spasial data tahun 2015 terhadap 2020.	58
Gambar 4. 6 Grafik Hubungan TDS dengan HCO ₃ , Cl dan Na dengan Cl.....	62
Gambar 4. 7 Grafik rasio	64
Gambar 4. 8 Diagram piper fasies air tanah daerah penelitian.....	66

Gambar 4. 9b Gibbs rasio II untuk anion.....	67
Gambar 4. 10 Klasifikasi WQI daerah penelitian	68
Gambar 4. 11 Model DRASTIC zonasi kerentanan air tanah tahun 2015.....	70
Gambar 4. 12 Model DRASTIC zonasi kerentanan air tanah Tahun 2020	71
Gambar 4. 13 Grafik nilai indeks kerentanan DRASTIC tahun 2015 terhadap 2020	72
Gambar 4. 14 Model GALDIT zonasi kerentanan air tanah Tahun 2015.....	74
Gambar 4. 15 Model GALDIT zonasi kerentanan air tanah Tahun 2020.....	75
Gambar 4. 16 Grafik nilai indeks kerentanan GALDIT tahun 2015 terhadap 2020	76
Gambar 4. 17 Distribusi konsentrasi TDS daerah penelitian.....	78
Gambar 4. 18 Hasil sensitivitas analisis untuk metode DRASTIC.....	79
Gambar 4. 19 Hasil sensitivitas analisis untuk metode GALDIT	79
Gambar 4. 20 Peta tumpang tindih area tambak garam tahun 2015 terhadap 2020	82
Gambar 4. 21 Peta overlay nilai DHL terhadap area tambak garam	84
Gambar 4. 22 Peta nilai TDS terhadap area tambak garam tahun 2015	85
Gambar 4. 23 Peta nilai TDS terhadap area tambak garam tahun 2015 dan 2020	86
Gambar 4. 24 Model kerentanan air tanah (GALDIT) 2015, 2020 dan 2030.....	88
Gambar 4. 25 Model kerentanan air tanah (DRASTIC) 2015, 2020 dan 203	90

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

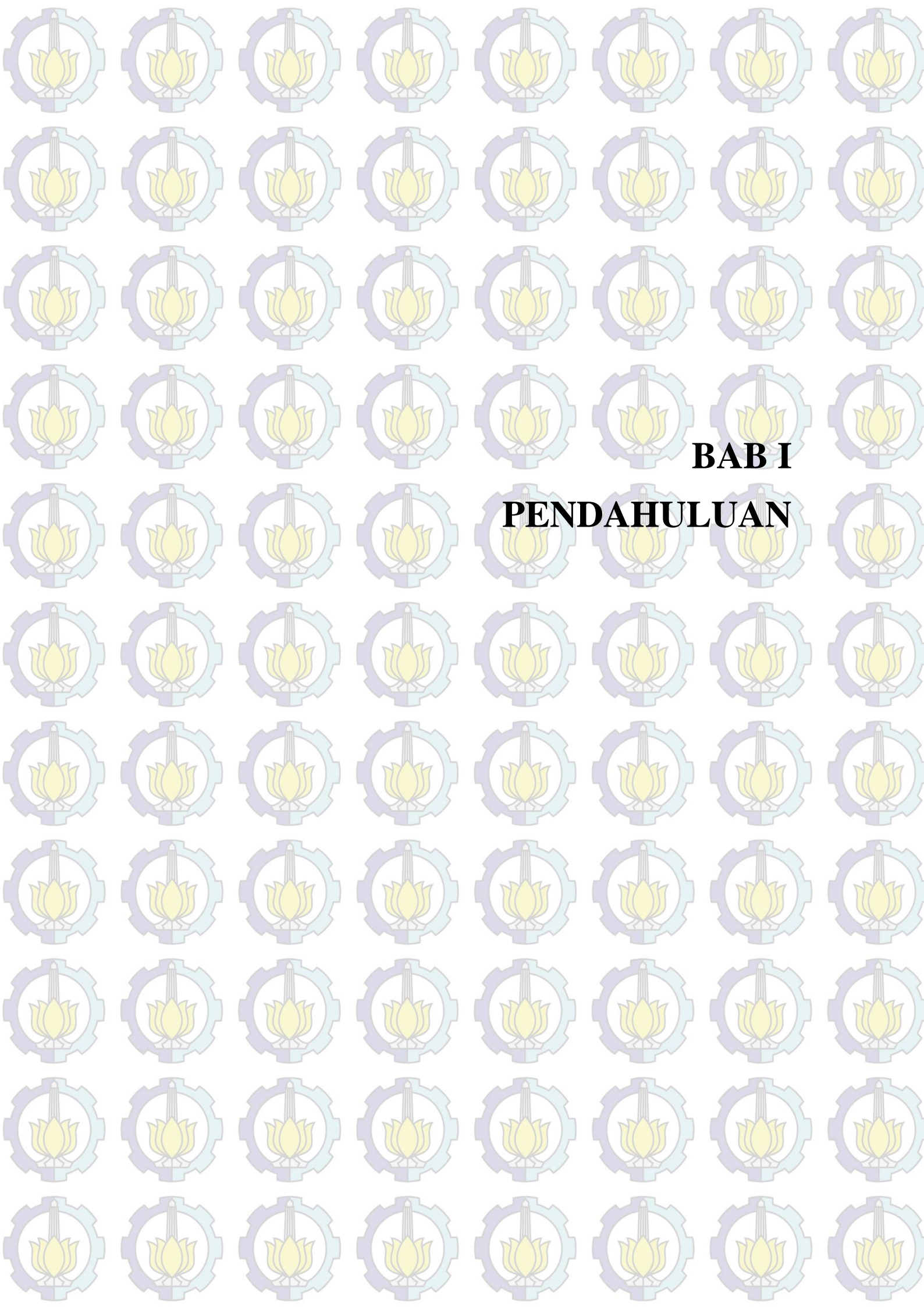


DAFTAR TABEL

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Nama sungai, Panjang sungai dan muara.....	14
Tabel 2. 2 Kisaran Nilai Pembobotan Parameter Kerentanan (DRASTIC, Aller et al., 1987).....	24
Tabel 2. 3 Kriteria tingkat kerentanan pencemaran.....	25
Tabel 2. 4 Model parameter GALDIT.....	25
Tabel 2. 5 Klasifikasi indeks kerentanan GALDIT.....	26
Tabel 2. 6 Bobot (w_i) dan bobot relatif (W_i) setiap parameter kimia	33
Tabel 2. 7 Klasifikasi kualitas air tanah berdasarkan nilai WQI.....	34
Tabel 3. 1 Parameter dan sumber data DRASTIC dan GALDIT	43
Tabel 4. 1 Statistik parameter fisika kimia air tanah	60
Tabel 4. 2 Koefisien korelasi parameter kualitas dengan parameter GALDIT....	77

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BAB I

PENDAHULUAN

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air tanah merupakan sumber daya alam yang vital. Air tanah berdasarkan pada penggunaan dan konsumsinya itu bisa menjadi sumber daya yang dapat diperbarui dan tidak dapat diperbarui. Diperkirakan sekitar sepertiga penduduk dunia menggunakan air tanah untuk minum (Abu-alnaeem et al., 2018a). Air tanah merupakan sumber pasokan air yang penting di seluruh dunia. Di antara berbagai alasan, yang paling penting adalah tidak tersedianya air permukaan yang bisa diminum (Mohana and Velmurugan, 2020). Kuantitas dan kualitas air tanah merupakan faktor yang sama-sama penting dalam sistem pengelolaan air secara modern. Kualitas air terutama dipengaruhi oleh pencemaran yang berasal dari sumber yang berbeda (Kumar et al., 2014).

Air tanah sumber daya penting, terlebih air tanah tawar dan berkualitas bagi masyarakat pesisir di dunia (Huizer et al., 2018). Namun, sumber daya air tanah tawar di pesisir semakin banyak dipengaruhi oleh intrusi air laut terutama disebabkan oleh ekstraksi air tanah yang berlebihan dan kenaikan permukaan air laut (Ferguson and Gleeson, 2012). Zona pesisir menggambarkan area yang kompleks dan dinamis antara daratan dan laut (Michael et al., 2017). Air tanah di daerah pesisir memiliki kerentanan terhadap salinisasi oleh perkembangan alami dan faktor antropogenik. Intrusi air laut menjadi perhatian utama terhadap penggunaan air tanah yang aman (Gopinath et al., 2018).

Masalah salinisasi dan pencemaran air tanah adalah masalah kritis yang umum terjadi pada lingkungan dan sosial ekonomi terutama di daerah padat penduduk (Abu-alnaeem et al., 2018b). Masalah ini dapat disebabkan oleh faktor alam sebagai bentuk interaksi air dengan batuan, kondisi hidro dinamik, dampak dari akuifer yang berdekatan dan intrusi air laut (Mohammed et al., 2012). Proses alam seperti intrusi air laut, interaksi air tanah dengan batuan dan aliran lateral air sungai, selain itu aktifitas antropogenik seperti kegiatan industrialisasi, intrusi sistem pembuangan air dan pencemaran oleh aktifitas pertanian merupakan dua factor utama untuk proses evaluasi kimia air tanah (Huang et al., 2013).

Kesehatan manusia erat kaitannya dengan kualitas air tanah dan terancam oleh buruknya kualitas air tanah yang disebabkan oleh penggunaan pupuk yang berlebihan dan kondisi sanitasi yang tidak sehat. Urbanisasi yang cepat menyebabkan pencemaran air tanah telah mempengaruhi ketersediaan dan kualitas air tanah karena eksploitasi berlebihan dan pembuangan limbah yang tidak benar (Pei-yue et al., 2010). Di daerah pesisir penyebab utama terjadinya pencemaran air tanah adalah intrusi air laut. Eksploitasi air tanah yang berlebihan juga memberikan permasalahan yang mempengaruhi kesesuaian air yang dapat dikonsumsi (Selvakumar et al., 2017).

Produksi garam di pesisir selatan Kabupaten Pamekasan terkonsentrasi di 3 (tiga) kecamatan (Galis, Pademawu, dan Tlanakan). Kondisi tersebut didasarkan pada kenyataan bahwa 3 kecamatan tersebut berbatasan langsung dengan pantai dan relatif datar sehingga memudahkan dalam pengelolaan tambak dan proses pemasukan air laut ke tambak garam melalui mekanisme pasang surut (Efendy et al., 2014). Permasalahan yang ada pada 3 kecamatan tersebut yaitu pola pembentukan tata ruang dengan letak tambak yang cenderung mengelilingi pemukiman (Citrayati et al., 2008).

Lahan pertanian garam yang berdampingan dengan kawasan pemukiman di Kecamatan Pademawu dapat menimbulkan beberapa ancaman pencemaran lingkungan. Hal ini ditunjukkan dengan semakin bertambahnya sumur penduduk yang berubah menjadi payau (Gemilang and Kusumah, 2016). Penilaian kualitas air pada akuifer pesisir dapat menggunakan beberapa metode yang berbeda. Metode yang umum digunakan untuk mengetahui kualitas air pada akuifer yaitu metode hidro geokimia (Mustapha et al., 2012). Studi pemantauan air tanah yang komprehensif didasarkan pada implementasi kebijakan yang dibutuhkan di setiap area yang akan digunakan sebagai sumber air minum (Saeedi et al., 2010).

Kawasan pesisir Pademawu yang beralih fungsi menjadi pusat pertanian garam dengan luas 740,96 ha yang merupakan terluas kedua di Pamekasan. Kondisi tersebut menimbulkan beberapa dampak negatif salah satunya adalah permasalahan kerentanan sumber daya air tanah. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir (LRSDKP)

tahun 2015 menunjukkan beberapa kesimpulan diantaranya, beberapa sumur gali milik penduduk sudah berubah menjadi payau hingga asin. Lokasi dengan kategori kualitas air buruk dan kualitas air sangat buruk berada di sumur gali penduduk yang berdekatan dengan garis pantai dan tambak garam (Gemilang et al., 2019). Hasil perhitungan sensitivitas analisis terhadap setiap parameter indeks kerentanan metode GALDIT menunjukkan bahwa parameter jarak air tanah terhadap garis pantai (D) bernilai 74% menjadi faktor utama penyebab tingginya tingkat kerentanan air tanah di Kec.Pademawu dan sekitarnya. Kondisi tersebut diinterpretasikan bahwa jarak akuifer air tanah terhadap garis pantai sangat mempengaruhi tingkat kerentanan air tanah mengalami proses perubahan kualitas air tanah (Gemilang et al., 2017). Nilai tahanan jenis batuan bawah permukaan bervariasi antara 0,1–300 Ω m yang umum dimiliki pada kawasan pesisir atau alluvial. Nilai tahanan jenis rendah berasosiasi dengan litologi alluvial yang terdiri atas air payau atau air asin yang diduga hasil infiltrasi dari air tambak garam (Gemilang et al., 2019). Tipe air tanah didominasi oleh tipe klorida (Na-Cl) dan karbonat (Na-HCO₃, Ca-HCO₃), hasil perhitungan rasio unsur kimia air tanah menunjukkan adanya pengaruh infiltrasi air tambak garam ke dalam akuifer air tanah (Gemilang & Bakti, 2019).

Penelitian terhadap perubahan kondisi intrusi air laut di sekitar Kec. Pademawu dan sekitarnya dengan membandingkan data tahun 2015 terhadap data tahun 2020 sangat penting dilakukan. Penentuan seberapa jauh perubahan kondisi pencemaran air tanah terhadap pencemaran Cl dengan menggunakan metode GALDIT, DRASTIC dan hidro geokimia. Metode GALDIT dan DRASTIC merupakan metode penilaian dengan parameter hidrogeologi untuk mengetahui skala intrusi air laut terhadap air tanah yang berhubungan dengan kawasan pesisir. Sedangkan hidro geokimia merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui kualitas air tanah pada akuifer dengan menggabungkan factor kimia air tanah terhadap parameter hidrogeologi. Beberapa metode pendekatan dan penilaian tersebut diharapkan dapat mengetahui seberapa besar skala perubahan tingkat pencemaran air tanah oleh Cl dari tahun 2015 hingga 2020.

1.2 Rumusan Masalah

Pesisir Kecamatan Pademawu yang beralih fungsi menjadi pusat pertanian garam menimbulkan beberapa dampak negatif salah satunya permasalahan kerentanan sumber daya air tanah. Lahan pertanian garam di Kecamatan Pademawu yang berdekatan dengan kawasan pemukiman menimbulkan beberapa ancaman pencemaran lingkungan salah satunya yaitu pencemaran air tanah. Hal ini ditunjukkan dengan semakin bertambahnya sumur penduduk yang berubah menjadi payau.

Hasil penelitian yang dilakukan pada tahun 2015 di kawasan pemukiman tersebut menunjukkan bahwa kondisi air tanah pada sumur gali milik penduduk sudah berubah menjadi payau hingga asin. Lokasi dengan kategori kualitas air tanah buruk dan kualitas air tanah sangat buruk berada di sumur gali penduduk yang berdekatan dengan garis pantai dan tambak garam. Selain itu hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa parameter jarak sumber akuifer air tanah terhadap garis pantai bernilai diinterpretasikan sangat mempengaruhi tingkat kerentanan air tanah terhadap pencemaran Cl. Oleh karena itu untuk mengetahui dan menentukan seberapa besar skala perubahan tingkat pencemaran air tanah oleh Cl tahun 2015 hingga 2020 menggunakan berbagai pendekatan dengan metode GALDIT, DRASTIC dan hidro geokimia menjadi hal terpenting untuk diketahui sehingga dapat menentukan arah kebijakan pengelolaan lingkungan. Permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah:

1. Apakah kondisi air tanah di berbagai sumur pada lokasi pengukuran tahun 2015 mengalami perubahan sifat fisik kimia air tanah?
2. Apakah parameter hidrogeologi yang sangat mempengaruhi pencemaran air tanah di Kec.Pademawu masih sama dengan hasil analisis 2015?
3. Bagaimana dinamika skala perubahan pencemaran air tanah di Kawasan Kecamatan Pademawu?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan tujuan:

1. Menentukan karakteristik fisik-kimia kualitas air tanah pada tahun 2020 yang dibandingkan terhadap data tahun 2015
2. Menentukan parameter hidrogeologi yang memberikan pengaruh utama terhadap perubahan kandungan klorida air tanah di Kawasan Pademawu berdasarkan hasil pendekatan menggunakan metode analisis (DRASTIC, GALDIT dan Hidro geokimia).
3. Menentukan skala dinamika penurunan atau peningkatan zona kerentanan air tanah di Kawasan Pademawu secara spasial dengan membandingkan data tahun 2015 terhadap data 2020.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian diharapkan dapat digunakan sebagai bahan rekomendasi dan kebijakan terhadap pemerintah pusat maupun setempat dalam penentuan zonasi tata kelola tambak garam yang ada di sekitar pemukiman Kec.Pademawu dan sekitarnya agar tidak menimbulkan pencemaran terhadap air tanah warga serta agar tidak semakin meluas zonasi tingkat pencemaran air tanah oleh Cl.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian yang dilakukan adalah:

1. Pengukuran parameter fisik-kimia air tanah secara *in-situ* pada lokasi pengukuran yang sama di tahun 2015 (sumur bor, sumur gali dan sumur PDAM).
2. Pengambilan sampel air tanah pada lokasi pengambilan yang sama di tahun 2015 untuk dilakukan analisis beberapa parameter kimia.
3. Analisis kerentanan air tanah kawasan pesisir dengan metode DRASTIC, GALDIT dan Hidro geokimia pada area Kec. Pademawu dan sekitarnya untuk mengetahui parameter hidrogeologi yang mempengaruhi pencemaran air tanah.

4. Penentuan kualitas dan pengambilan sampel dilakukan pada kondisi musim dan iklim yang sama saat penelitian tahun 2015 yaitu di bulan September hingga Oktober.
5. Lokasi pengambilan sampel air tanah untuk analisis laboratorium sebanyak 11 sampel sedangkan pengukuran fisik-kimia air tanah secara *in-situ* sebanyak 66 titik pengamatan, yang dilakukan di titik pengamatan seperti pada saat penelitian tahun 2015.



BAB 2
KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

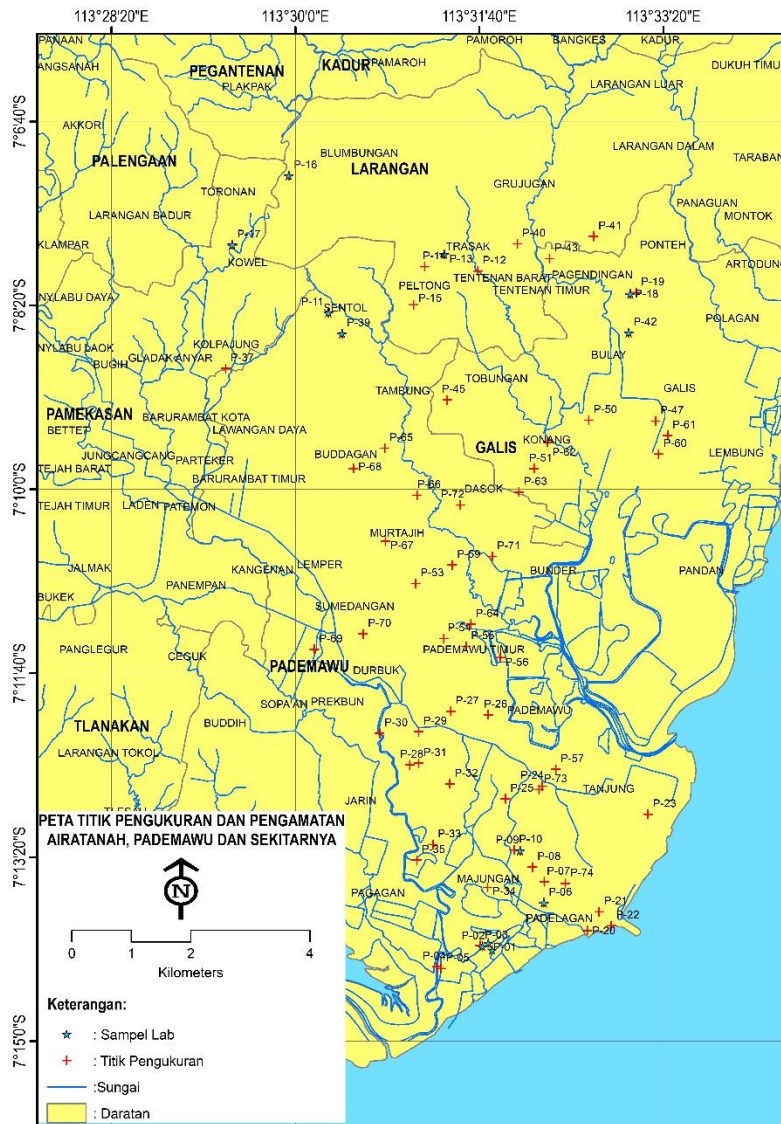
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian masuk dalam kawasan pesisir Kecamatan Pademawu, Kabupaten Pamekasan, Madura dan berbatasan dengan beberapa Kecamatan lainnya diantaranya Kec. Galis, Tlanakan dan Larangan (Gambar 1.1). Area fokus penelitian berada di kawasan pemukiman yang berbatasan dengan area tambak garam rakyat Kecamatan Pademawu dan sekitarnya. Secara administratif lokasi penelitian berada pada koordinat $7^{\circ} 14' 18,0''$ LS dan $113^{\circ} 31' 48,5''$ BT. Wilayah penelitian masuk dalam kawasan dengan kemiringan lereng 0° - 15° dengan luasan 7.189 ha. Kawasan pesisir Kecamatan Pademawu masuk dalam Kabupaten Pamekasan, Madura dan berbatasan dengan beberapa Kecamatan lainnya diantaranya Kec. Galis, Tlanakan, Larangan dan Pamekasan (Gambar 2.1). Beberapa lokasi pengamatan dan pengukuran juga dilakukan di Kecamatan Galis, Larangan dan Pamekasan. Pengukuran dan pengamatan di Kecamatan lain tersebut bertujuan untuk dijadikan sebagai data pembanding, sehingga dapat diketahui karakteristik air tanah di beberapa Kecamatan tersebut.

Keadaan umum geografis Kecamatan Pademawu dengan luas wilayah $71,90 \text{ km}^2$ dan memiliki batasan wilayah sebagai berikut (BPS, 2018):

- a. Sebelah Utara : Kecamatan Galis dan Larangan
- b. Sebelah Selatan : Selat Madura
- c. Sebelah Barat : Kecamatan. Tlanakan dan Pamekasan
- d. Sebelah Timur : Kecamatan Galis dan Kabupaten Sumenep



Gambar 2. 1 Peta lokasi kegiatan penelitian

2.2 Kondisi Geologi

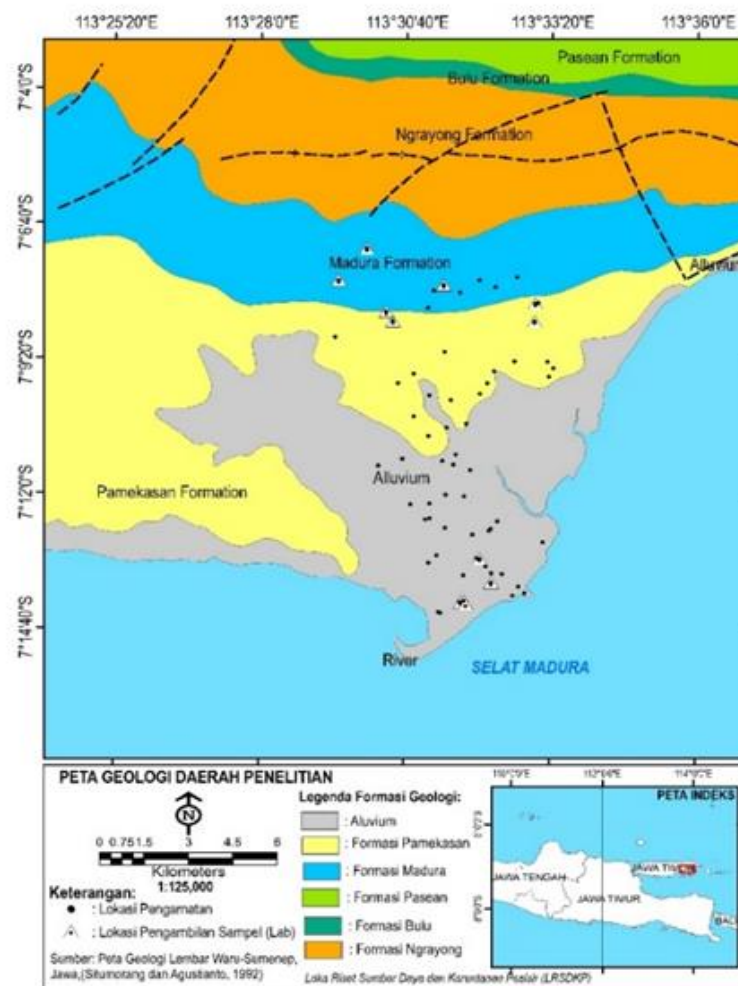
2.2.1 Topografi dan Kemiringan Lereng

Wilayah penelitian khususnya desa Padelegan, Kecamatan Pademawu hampir seluruhnya adalah kawasan dataran alluvial, yang berbatasan langsung dengan laut. Secara geomorfologi, pada umumnya memperlihatkan gambaran bentuk morfologi berelief datar berdasarkan data BPS Kab. Pamekasan wilayah kecamatan Pademawu masuk dalam kawasan dengan kemiringan lereng 0° - 15° dengan luas wilayah $71,90 \text{ km}^2$ (BPS,

2018). Ketinggian wilayah studi hampir seragam dan dapat diklasifikasikan sebagai daerah dataran alluvial atau pesisir dengan ketinggian berkisar 0 – 50m di atas permukaan laut.

2.2.2 Batuan penyusun dan Struktur Geologi

Berdasarkan peta geologi regional lembar Waru-Sumeneh dan Tanjung Bumi-Pamekasan skala 1:100.000 (Situmorang et al., 1992), litologi penyusun daerah penelitian yang mencakup daerah Padelegan dan Sekitarnya, Kabupaten Pamekasan terdiri atas beberapa satuan batuan yang berada dalam bagian satuan formasi batuan yaitu dari termuda endapan alluvial (Qa), Formasi Pamekasan (Qpp), Formasi Madura (Tpm) dan Formasi Ngrayong (Tmtn) (Gambar 2.2).



Gambar 2. 2 Peta geologi regional daerah penelitian

Daerah penelitian didominasi oleh endapan sedimen alluvium (Qa) yang terdiri atas material lepas pasir kuarsa, lempung kerikil dan kerakal, satuan ini tersebar pada bagian selatan daerah penelitian yang berbatasan dengan laut. Hasil pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa lapisan aluvium pada permukaan di sepanjang pantai dan menuju arah utara penelitian didominasi oleh endapan pasir, sedangkan pada daerah muara yang berbatasan dengan laut didominasi oleh material lumpur berukuran lanau hingga lempung (Gambar 2.3).



Gambar 2. 3 Litologi penyusun endapan alluvial (Qa)

Lapisan alluvium ini terbentuk menutupi lapisan batuan Formasi Pamekasan (Qpp) dengan simbol warna kuning tersusun atas konglomerat, air tanah, batu lempung dan batu gamping litologi formasi Pamekasan yang berbatasan langsung dengan satuan endapan alluvial pada bagian selatan daerah penelitian. dapat tersingkap jelas di bagian tebing Pantai Jumiang terletak pada bagian Selatan daerah penelitian (Gambar 2.4).



Gambar 2. 4 Singkapan litologi formasi Pamekasan (Qpp)

Formasi Pamekasan ini terutama menyebar hampir di seluruh bagian selatan daerah Sampang-Pamekasan. Satuan batuan formasi ini didominasi oleh lempung pasiran, tidak berlapis, ada cangkang moluska dan banyak mengandung nodul-nodul gamping (Koesoemadinata, 1978). Umur formasi ini yaitu dari N21 sampai N22 (Pliosen Atas). Pada masa Pliosen Atas ini terjadi penurunan yang cepat sekali di selatan daerah Sampang-Pamekasan di Sub-Cekungan Madura yang ditandai oleh tebalnya sedimen lempung dan napal dari Formasi Pamekasan tersebut yang menutupi batas ketidakselarasan lapisan batu gamping Globigerina dan Formasi Klampis di Madura. Pada masa Pliosen Atas di utara Pulau Madura diendapkan Formasi Madura (N22-N23) yang mempunyai hubungan menjari dengan Formasi Pamekasan (Situmorang, Agustianto and Suparman, 1992). Formasi Madura pada daerah penelitian tersusun atas batu gamping terumbu yang mengandung cangkang-cangkang moluska (Gambar 2.5). Ketebalan berkisar antara 35m – 340m. Nama lain Formasi Madura adalah batu gamping Karren (Van Bemmelen, 1949).



Gambar 2. 5 Singkapan litologi formasi Madura (Tpm)

Daerah penelitian berdasarkan morfologi regional kawasan Kabupaten Pamekasan yang terletak di Kepulauan Madura, secara regional berada pada zona Bagian taji timur Pulau Jawa dan Pulau Madura merupakan perpanjangan ke arah timur dari zona anticlinorium Rembang di Utara dan Zona Kendeng di Selatan (van Bemmelen, 1949). Daerah penelitian morfologi didominasi oleh dataran alluvial karena didominasi

oleh endapan alluvial dan masuk dalam wilayah pesisir yang berbatasan dengan laut, sedangkan morfologi pada bagian utara merupakan bagian morfologi perbukitan bergelombang yang merupakan bagian dari bentukan sistem *anticlinorium* pulau Madura. Berdasarkan hasil penelitian (Situmorang et al., 1992) di daerah Sampang – Pamekasan dan sekitarnya menafsirkan bahwa pola sesar dan lipatan di Pulau Madura ini disebabkan oleh suatu sesar mendatar (*wrench faulting*) yang tidak seluruhnya sejajar yang diakibatkan oleh gerak geser yang konvergen. Sehingga morfologi bagian utara daerah penelitian yang berupa perbukitan bagian dari *anticlinorium* tersebut tidak lepas hasil pembentukan dari sistem tektonik yang ada di Pulau Madura.

2.2.3 Hidrogeologi

Wilayah penelitian merupakan kawasan dari Kabupaten Pamekasan yang memiliki 12 sungai besar yang memiliki panjang antara 1km hingga 16 km. Sungai terpendek adalah Sungai Lembung Bunter yang terletak di Kecamatan Pamekasan. Keberadaan sungai-sungai sangat penting bagi kehidupan masyarakat sekitar karena fungsi bagi masyarakat di sekitarnya seperti fungsi pengairan lahan pertanian dan fungsi ekonomis lainnya (Tabel 2.1).

Tabel 2. 1 Nama sungai, Panjang sungai dan muara

No	Nama sungai	Kecamatan	Panjang sungai (km)	Muara
1	Kloang	Pamekasan	6	Sungai Semajid
2	Lembung Bunter	Pamekasan	1	Sungai Semajid
3	Sumber Payung	Pamekasan	10	Sungai Semajid
4	Jombang	Pamekasan	4	Sungai Semajid
5	Semajid	Pamekasan	16	Selat Madura
6	Tambak Ponten	Larangan/Galis	9	Selat Madura
7	Pendi	Larangan/Galis	9	Selat Madura
8	Egrang	Larangan/Galis	8	Selat Madura
9	Berlanjang	Waru	5	Laut Jawa
10	Lesong	Batumarmar	6	Laut Jawa
11	Tamberu	Batumarmar	5	Laut Jawa
12	Angsokah	Pasean	6	Laut Jawa

Sumber: Kabupaten Pamekasan dalam angka 2013

Tabel di atas memperlihatkan bahwa wilayah Kecamatan Pademawu, khususnya Padelegan yang menjadi fokus penelitian ini tidak dilalui oleh sungai-sungai yang merupakan salah satu sumber daya air permukaan. Wilayah penelitian merupakan bagian dari pesisir laut yang kontak langsung dengan laut, sehingga banyak beberapa sungai terkontaminasi oleh air laut. Namun berdasarkan pengamatan di lapangan, daerah penelitian hanya memiliki anak-anak sungai, namun hampir tidak di alirkan oleh air, karena kondisi wilayah tersebut beriklim kering dengan curah hujan yang sangat rendah.

Berdasarkan data hidrogeologi Lembar VIII Surabaya, sebagian Pulau Madura (Poespowardoyo, 1986), hidrologi daerah penelitian termasuk daerah air tanah atau akuifer produktif kecil, umumnya rendah sampai sangat rendah setempat air tanah dalam jumlah terbatas dapat diperoleh terutama pada daerah lembah atau zona pelapukan batuan padu. Daerah penelitian tersusun oleh batuan endapan alluvial terdiri dari per selingan endapan lempung dan pasir, setempat mengandung bahan organik atau batu gamping koral dengan kelulusan kecil hingga sedang.

2.3 Sumber Daya Air di Wilayah Pesisir

Wilayah pesisir berdasarkan hasil penggabungan pertimbangan-pertimbangan demografi, fungsi, dan geografi yang diambil dari lokakarya (Clark, 1972) untuk wilayah pesisir (*coastal zone*) adalah jalur tanah darat/kering yang berdampingan dengan laut, dimana lingkungan dan tata guna lahan mempengaruhi secara langsung lingkungan ruang bagian laut, dan sebaliknya. Daerah pesisir adalah jalur yang membatasi daratan dengan laut atau danau dengan lebar bervariasi. Secara fungsi, merupakan peralihan yang luas antara tanah dan air dimana produksi, konsumsi, dan proses pertukaran terjadi pada tingkat intensitas yang tinggi. Secara ekologi, merupakan daerah dengan aktivitas bio geokimia yang dinamis, tetapi memiliki kemampuan terbatas untuk berbagai bentuk pemanfaatan oleh manusia.

Dari sisi tata air, wilayah pesisir di Indonesia dapat dibedakan menjadi dua tipe ekosistem, yaitu pesisir yang terendam air baik secara berkala maupun permanen dan pesisir yang tidak terendam air. Pesisir yang terendam air dapat dibedakan lagi menjadi hutan payau, vegetasi rawa payau (*salt marsh*), hutan rawa air tawar (rapak), dan hutan rawa gambut. Adapun pesisir yang tidak terendam meliputi wilayah dengan formasi tumbuhan *Pescarpae* (kangkung laut) dan *Barringtonia* (vegetasi yang membentuk tutupan ekosistem pantai berpasir) serta daratan pantai. Pesisir yang tidak terendam air kecuali pada daerah shore zone adalah berupa pantai pasir dangkal dan pantai batu.

Sumber daya air di wilayah pesisir terdiri dari tiga jenis sumber daya air, yaitu air atmosferik (hujan), air permukaan, dan air tanah. Jumlah sumber daya air berasal dari air hujan akan sangat tergantung pada musim yang sedang berlangsung. Pada musim hujan air tersedia dalam jumlah yang banyak, dan kondisi sebaliknya ditemui pada musim kemarau. Sumber daya air permukaan terdiri dari air sungai, saluran irigasi, danau alam, danau buatan (waduk), dan genangan air rawa. Namun yang paling banyak dan biasanya digunakan untuk pemenuhan kebutuhan air di wilayah pesisir adalah air sungai dan saluran irigasi karena kualitas dan kuantitasnya relative lebih baik dan terjamin.

Air tanah di wilayah pesisir Indonesia umumnya tersedia dalam jumlah banyak dan melimpah, yang keberadaannya dan cara pengambilannya sangat tergantung pada kondisi geologi daerah setempat. Secara lateral pelampiran akuifer di wilayah pesisir dapat menerus jauh hingga ke daratan atau terputus, suatu hal yang sangat berhubungan dengan sistem dan lingkungan pengendapannya. Akuifer yang terdapat di wilayah pesisir sangat berkaitan dengan bentuk lahan serta mulai jadi lingkungan pengendapannya sehingga akan berbeda di tiap-tiap wilayah pesisir. Secara genetic akuifer batuan sedimen bisa dibentuk di lingkungan fluviale, fluvio-marine, fluvio-vulkanik atau lingkungan laut dangkal. Di Indonesia yang mempunyai rangkaian pegunungan di kawasan hulunya (hinterland), maka akuifer yang baik didominasi oleh tipe endapan fluviale dan fluvio-vulkanik. Sementara di daerah dataran rendah yang luas, akuifer didominasi oleh tipe fluviale dan fluvio-marine.

2.4 Siklus Hidrologi

Terminologi air tanah berasal dari kata “*groundwater*”, yaitu air di bawah permukaan tanah yang termasuk dalam zona jenuh air (*saturated zone*). Zona jenuh dibatasi oleh muka air tanah di bagian atasnya (Gambar 2.6). Sedangkan air bawah tanah secara umum adalah seluruh air yang terdapat di bawah permukaan tanah, termasuk di dalamnya adalah air pori yang terdapat pada zona tidak jenuh (*unsaturated zone*) (Pinder, 2011).

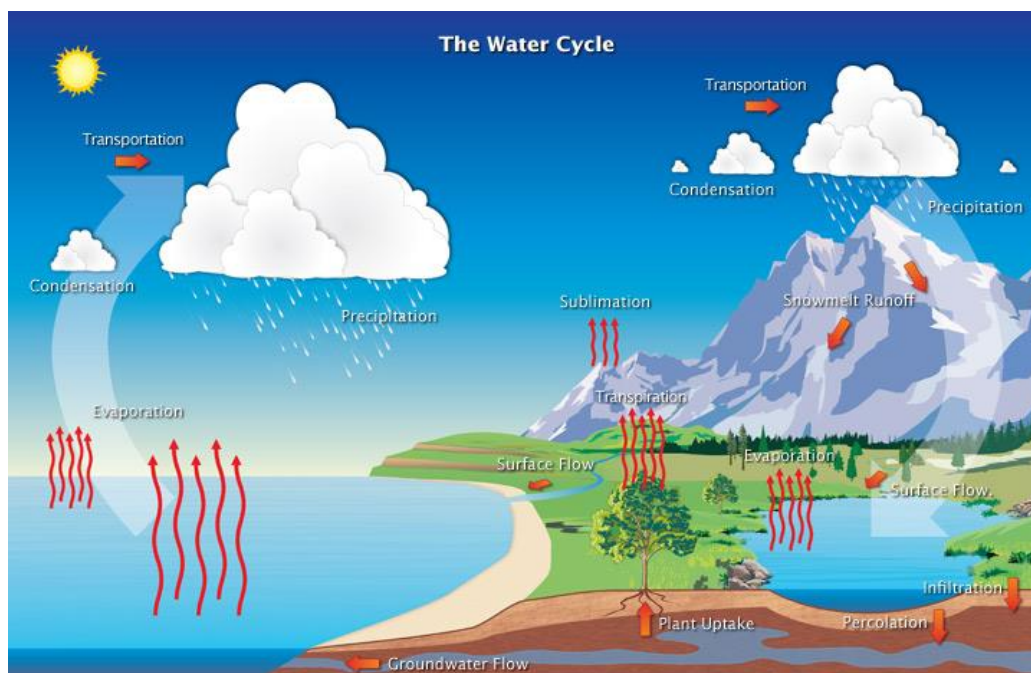
Hidrogeologi terdiri dari dua kata yang terkait dengan bidang ilmu yang luas, yaitu hidrologi dan geologi. Hidrogeologi merupakan ilmu yang mempelajari tentang air, meliputi distribusi, pergerakan, proses dan kandungan kimia air di bumi. Hidrogeologi merupakan ilmu yang mempelajari tentang hubungan antara material-material penyusun bumi dengan proses-proses air atau ilmu yang mempelajari keterdapatannya, penyebaran dan pergerakan air yang ada di bawah permukaan bumi dengan penekanan kaitannya terhadap kondisi geologi.



Gambar 2. 6 Skema distribusi air bawah permukaan (Pinder, 2011)

Air di bumi ini mengalami siklus yang berulang-ulang dan terjadi secara terus-menerus, sirkulasi ini dinamakan siklus hidrologi. Siklus ini dapat berlangsung akibat panas dari radiasi matahari. Air menguap udara dari permukaan

tanah dan laut, berubah menjadi awan sesudah melalui beberapa proses dan kemudian jatuh sebagai hujan atau salju ke permukaan laut dan daratan (Gambar 2.7). Sebelum tiba ke permukaan bumi sebagian langsung menguap ke udara dan sebagian tiba ke permukaan bumi. Tidak semua bagian hujan yang jatuh ke permukaan bumi mencapai permukaan tanah. Sebagian akan tertahan oleh tumbuh-tumbuhan dimana sebagian akan menguap dan sebagian lagi akan jatuh atau mengalir melalui dahan-dahan ke permukaan bumi.



Gambar 2. 7 Siklus hidrologi secara umum (Durack et al., 2012)

Sebagian air hujan yang tiba ke permukaan tanah akan masuk ke dalam tanah (infiltrasi). Bagian lain yang merupakan kelebihan akan mengisi lekuk-lekuk permukaan tanah, kemudian mengalir ke daerah-daerah yang rendah, masuk ke sungai-sungai dan akhirnya ke laut. Tidak semua butiran butir air mengalir akan tiba ke laut. Dalam perjalanannya ke laut sebagian akan menguap kembali ke udara. Sebagian air yang masuk ke dalam tanah keluar kembali segera ke sungai-sungai (disebut aliran intra= *interflow*). Tetapi sebagian besar akan tersimpan sebagai air tanah (*groundwater*) yang akan keluar sedikit demi sedikit dalam jangka waktu yang lama ke permukaan tanah di daerah-daerah yang rendah (disebut *groundwater runoff* = limpasan air tanah).

Hujan sebagai salah satu faktor iklim merupakan penentu terpenting terhadap ketersediaan air tawar di wilayah pulau kecil. Apabila jumlah air masuk lebih besar daripada air keluar maka persediaan air tawar di lokasi tersebut akan bertambah, sedangkan apabila air masuk lebih sedikit dari air keluar maka persediaan akan berkurang hingga tidak ada. Curah hujan lokal sangat berpengaruh terhadap jumlah dan kualitas air permukaan dan air tanah dangkal.

Sungai itu mengumpulkan 3 jenis limpasan, yakni limpasan permukaan (*surface runoff*) aliran intra (*interflow*) dan limpasan air tanah (*groundwater runoff*) yang akhirnya akan mengalir ke laut. Singkatnya ialah: uap dari laut dihembuskan ke atas daratan (kecuali bagian yang telah jatuh sebagai presipitasi ke laut), jatuh ke daratan sebagai presipitasi (sebagian jatuh langsung ke sungai-sungai dan mengalir langsung ke laut). Sebagian dari hujan atau salju yang jatuh di daratan menguap dan meningkatkan kadar uap di atas daratan. Bagian yang lain mengalir ke sungai dan akhirnya ke laut.

Seperti telah dikemukakan diatas, sirkulasi yang kontinyu antara air laut dan air daratan berlangsung terus-menerus. Sirkulasi air (Gambar 2.7) ini disebut siklus hidrologi. Tetapi sirkulasi air ini tidak merata, karena adanya perbedaan besar presipitasi dari tahun ke tahun, dari musim ke musim yang berikut dan juga dari wilayah ke wilayah yang lain. Sirkulasi air ini dipengaruhi oleh kondisi meteorology (suhu, tekanan, atmosfer, angin dan lain-lain) dan kondisi topografi; kondisi meteorology adalah faktor-faktor yang menentukan.

Air permukaan tanah dan air tanah yang dibutuhkan untuk kehidupan dan produksi adalah air yang terdapat dalam proses sirkulasi ini. Jadi jika sirkulasi ini tidak merata, maka akan terjadi bermacam-macam kesulitan. Jika terjadi sirkulasi yang kurang, maka kekurangan air ini harus ditambah dalam suatu usaha pemanfaatan maupun rekayasa sumberdaya air tawar.

2.5 Model Kerentanan Air tanah (Metode DRASTIC)

Dibandingkan dengan pemantauan dan pengambilan sampel air tanah, Pemodelan air tanah tidak kompleks dan mahal, dan memungkinkan evaluasi bidang yang luas. Pemodelan air tanah dapat digunakan untuk memilih jumlah

optimal lokasi pemantauan dan distribusinya untuk mendeteksi pencemaran pada akuifer air tanah dan dapat berguna untuk menilai kualitas serta memberikan panduan untuk mengelola air tanah secara efisien (Jang et al., 2017). Namun, teknik Pemodelan air tanah dengan memperkirakan kualitas dan kuantitas air tanah secara tidak langsung tidak dapat divalidasi oleh karena itu pemantauan dan pengukuran secara langsung juga dibutuhkan setelah mengidentifikasi daerah yang paling rentan dengan Pemodelan tersebut (Fienen et al., 2011). Beberapa metode Pemodelan pencemaran air tanah telah banyak dikembangkan untuk mengetahui tingkatan kerentanan pencemaran pada suatu daerah. Salah satu metode model penilaian tingkat kerentanan pencemaran air tanah yaitu metode DRASTIC.

Model DRASTIC merupakan singkatan dari beberapa parameter penilaian tingkat kerentanan pencemaran air tanah yaitu, DRASTIC (*Depth to water, Recharge, Aquifer media, Soil media, Topography, Impact of vadose zone media, hydraulic Conductivity*), merupakan model *overlay* Sistem Informasi Geografis / indeks, telah digunakan oleh beberapa peneliti untuk penelitian yang terkait dengan penilaian kualitas air tanah karena DRASTIC menggunakan metode yang sederhana dan mudah dipahami (Chen et al., 2013). DRASTIC merupakan standar sistem penilaian potensi pencemaran air tanah menggunakan parameter hidrogeologi (Sahu & Nandi, 2015).

Dalam penelitian ini, metode DRASTIC, digunakan untuk mengevaluasi potensi pencemaran. Model tersebut awalnya dikembangkan dengan tujuan untuk perlindungan air tanah di Amerika Serikat (USA) dan disebut sebagai metode "DRASTIC". Sebuah sistem peringkat numeric untuk menilai potensi pencemaran air tanah dalam sistem hidrologi yang dirancang menggunakan factor DRASTIC. Sistem ini berisi tiga bagian penting yaitu bobot, rentang dan peringkat (Ahrwar and Shukla, 2018). Metode DRASTIC merupakan singkatan dari tujuh faktor yang dianggap penting dalam evaluasi akifer dan air tanah. Singkatan tersebut adalah (Aller et al., 1987):

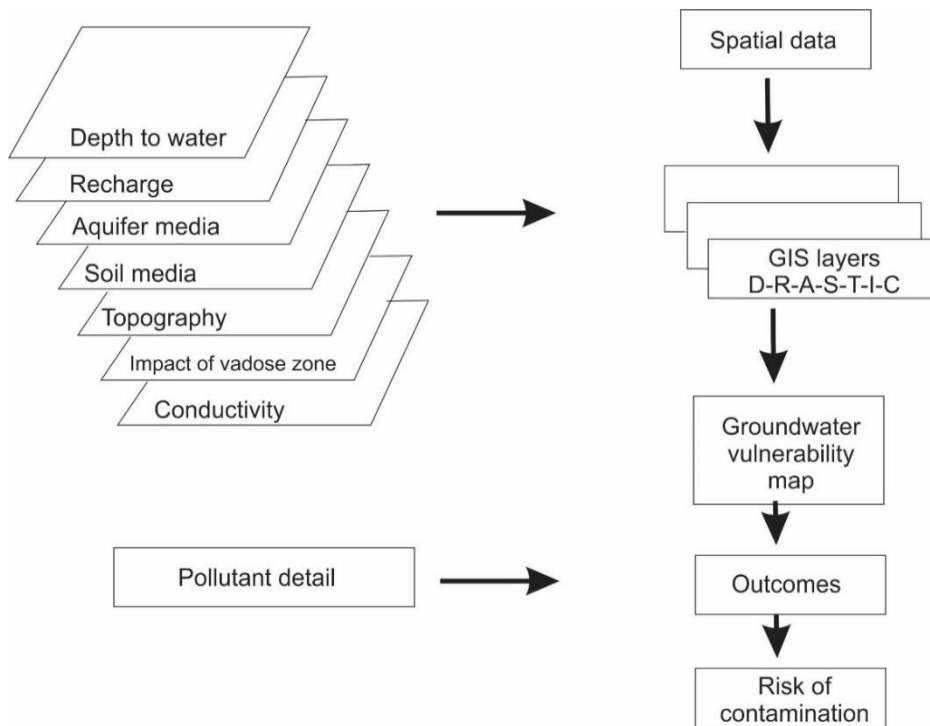
- D = kedalaman (*Depth*) air tanah
- R = laju pengisian kembali (*Recharge rate*) akuifer/curah hujan
- A = media akuifer (*Aquifer media*)

- S = media tanah (*Soil media*)
- T = kemiringan (*Topography*)
- I = dampak terhadap zone vadose (*Impact of the vadose zone*)
- C = konduktivitas hidrolis akuifer (*Hydraulic conductivity*)

Indeks DRASTIC untuk suatu area dihitung dengan persamaan berikut:

$$DI = D_R \cdot D_W + R_R \cdot R_W + A_R \cdot A_W + S_R \cdot S_W + T_R \cdot T_W + I_R \cdot I_W + C_R \cdot C_W \dots \dots \dots (1)$$

Subskrip r dalam persamaan di atas menunjukkan peringkat nilai untuk masing-masing faktor dalam area yang ditinjau sedangkan subskrip w menunjukkan peringkat nilai kepentingan masing-masing faktor. Semakin tinggi nilai indeks DRASTIC maka semakin rentan tanah dan air tanah terhadap potensi pencemaran. Nilai pembobotan atau rating untuk masing-masing faktor (dengan subskrip r) berkisar 1 sampai dengan 10 dan disajikan dalam Tabel 2.2. Metodologi metode DRASTIC secara lengkap dalam penelitian ini ditunjukkan dalam diagram alir (Gambar. 2.8.) dan dijelaskan di bawah.



Gambar 2. 8 Diagram alir yang menggambarkan metodologi DRASTIC

Nilai pembobotan kedalaman air tanah (*Depth*) menjadi penting karena menyangkut ketebalan atau jarak yang harus ditempuh kontaminan sebelum mencapai air tanah. Jarak tersebut juga menentukan lamanya waktu kontak antara tanah dan kontaminan. Laju pengisian kembali (*Recharge rate*) adalah jumlah air hujan dan air buatan yang mengalami infiltrasi kemudian perkolasi dan akhirnya menjadi air tanah. Dengan demikian parameter ini mempengaruhi perkolasi dan transport kontaminan menuju zone air tanah dan juga mempengaruhi peningkatan muka air tanah.

Pertimbangan utama dalam menentukan bobot laju pengisian air tanah adalah reaktivitas tanah dan transport kontaminan. Bila media kurang reaktif, maka kontaminan mudah bergerak sehingga bobot relative semakin tinggi. Parameter media akuifer (*Aquifer media*) menunjukkan kekompakan dan ketidakkompakan batuan yang menyimpan air tanah. Akuifer didefinisikan sebagai formasi batuan yang dapat menghasilkan air dalam kuantitas cukup. Atenuasi kontaminan di akuifer bergantung jumlah dan kehalusan butiran. Pada umumnya ukuran butiran yang besar mengakibatkan permeabilitas yang tinggi dan kapasitas atenuasi rendah sehingga berdampak meningkatkan potensi pencemaran.

Pada umumnya, pencemaran tanah (*Soil*) sangat dipengaruhi oleh jenis dan jumlah tanah liat (*clay*), potensi mengembang dan menyusut dari tanah, serta ukuran butiran. Karakteristik dari tanah mempengaruhi laju infiltrasi, dispersi dan proses terhadap kontaminan. Sifat tanah penutup mempengaruhi pergerakan kontaminan di permukaan dan bawah permukaan. Adanya ukuran butiran halus, seperti liat, peat, lanau dan kandungan bahan organik dalam tanah penutup dapat menurunkan permeabilitas intrinsik dan retardasi atau mencegah pergerakan kontaminan melalui proses fisika-kimia (sorpsi, pertukaran ion, oksidasi dan Bio degradasi).

Topografi menunjukkan kemiringan dari suatu area. Area dengan kemiringan kecil cenderung menampung air untuk jangka waktu yang lama. Kondisi ini menyebabkan peningkatan infiltrasi atau pengisian air serta meningkatkan mobilitas kontaminan. Area dengan kemiringan curam memperbesar terjadinya *runoff* dan menurunkan terjadinya infiltrasi sehingga menjadikan air tanah tidak rentan terkontaminasi. Topografi mengindikasikan apakah suatu

kontaminan akan mengalami limpasan (*runoff*) atau tertahan di permukaan tanah untuk mengalami infiltrasi menjadi air tanah.

Parameter dampak dari zone vadose (*Impact of the vadose zone*) yaitu pengaruh dari zone di atas muka air tanah. Parameter tersebut menentukan bergerak atau tidaknya kontaminan menuju akuifer. Konduktivitas hidrolik (*hydraulic Conductivity*) adalah kemampuan akuifer untuk mengalirkan air yang bergantung pada permeabilitas intrinsik dari material dan tingkat kejenuhan nya. Kedua faktor tersebut mengendalikan perpindahan dan dispersi kontaminan dari titik injeksi dalam zone jenuh. Pada umumnya, konduktivitas hidrolik diukur dari data pumping test. Nilai dari indeks DRASTIC bervariasi dari 23-226 untuk model generik dan 26 - 256 untuk model pestisida, nilai tersebut dikelompokkan menjadi empat kelas, bersesuaian dengan tingkat kerentanan pencemaran.

Tabel 2. 2 Kisaran Nilai Pembobotan Parameter Kerentanan
(DRASTIC, (Aller *et al.*, 1987).

Parameter Kerentanan	Nilai Peringkat	Parameter Kerentanan	Nilai Peringkat
Kedalaman Air tanah (m)		Kemiringan (%)	
0-1.5	10	0-2	10
1.5-4.5	9	2-6	9
4.5-9.0	7	6-12	7
9.0-15.0	5	12-18	5
15.0-22.5	3	>18	3
22.5-30.0	3	Bobot = 1	
>30	1	Parameter Kerentanan	Nilai Peringkat
Bobot = 5		Material zona tak jenuh	
Parameter Kerentanan	Nilai Peringkat	Lanau/lempung	1
Curah Hujan (mm/tahun)		Shale	3
0-1500	2	Batu gamping	6
1500-2000	4	Air tanah	6
2000-2500	6	Bedded limestone, air tanah, shale	6
2500-3000	8	Shale dan kerikil dengan lanau dan lempung	6
>3000	10	Pasir dan kerikil	7
Bobot = 4		Batuan metamorf beku	8
Parameter Kerentanan	Nilai Peringkat	Basal	9
Media Akuifer		Batu gamping karst	10
Massive shale	2	Bobot = 5	
Batuan metamorf	3	Parameter Kerentanan	Nilai Peringkat
Batuan metamorf mengalami pelapukan	4	Konduktifitas Hidrolik (m/hari)	
Glacial rill	6	0-0,86	1
Baded sandstone, lapisan batu kapur	6	0,86-2,59	2
Batuan pasir masif	6	2,59-6,05	4
Pasir dan kerikil	8	6,05-8,64	6
Basalt	9	8,64-17,18	8
Karst, batuan kapur	10	>17,18	10
Bobot = 3		Bobot=3	

Tabel 2. 3 Kriteria tingkat kerentanan pencemaran

Tingkat kerentanan	Indeks DRASTIC
Rendah	1-100
Sedang	100-140
Tinggi	141-200
Sangat Tinggi	>200

2.6 Model Kerentanan Air tanah (Metode GALDIT)

Metode GALDIT dengan enam parameter hidrogeologi telah banyak digunakan untuk melakukan penilaian pencemaran air tanah oleh intrusi air laut (Kardan et al., 2017). Studi lain, indeks GALDIT digunakan untuk mengidentifikasi kerentanan yang berhubungan dengan kawasan pesisir berupa intrusi air laut terhadap air tanah (Recinos *et al.*, 2015). Penentuan bobot dan rating dari enam parameter komponen dalam model GALDIT tergantung pada kondisi lokal dan lapangan untuk menilai tingkat kerentanan akuifer air tanah. Nilai bobot dan rangking untuk tiap parameter GALDIT dapat dilihat pada dalam Table 2.4.

Tabel 2. 4 Model parameter GALDIT

Parameter	Bobot	2,5	5	7,5	10
G (<i>Groundwater occurrence aquifer type</i>)	1	Limited	Leaky confined	Unconfined	Confined
A (<i>Hydraulic conductivity</i>)	3	<5	5-10	10-40	>40
L (<i>Level above mean sea</i>)	4	>2	1,5-2	1-1,5	<1
D (<i>Distance from coast</i>)	4	>1000	750-1000	500-750	<500
I (<i>Impact of existing intrusion</i>)	1	<1	1-1.5	1,5-2	>2
T (<i>Aquifer thickness</i>)	2	<5	5-7,5	7,5-10	>10

Nilai kedalaman muka air tanah dan jarak terhadap pantai seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.4, kedua faktor tersebut merupakan faktor paling penting dalam menentukan tingkat kerentanan akuifer terhadap air laut. Oleh karena itu, penting untuk memperkirakan kedua parameter dengan lebih presisi. Setelah menentukan nilai bobot dari setiap parameter, rumus dibawah ini diterapkan untuk memperkirakan nilai indeks GALDIT. Nilai peringkat indeks GALDIT mulai dari 2.5 hingga 10 dengan klasifikasi seperti pada Tabel 2.5.

$$GALDIT = \frac{\sum_{i=1}^6 W_i R_i}{\sum_{i=1}^6 W_i}$$

Dimana nilai R = peringkat dan W = bobot

Tabel 2. 5 Klasifikasi indeks kerentanan GALDIT

Indeks GALDIT	Indeks Kerentanan
<i>Low</i>	<5
<i>Medium</i>	5-7,5
<i>High</i>	>7,5

Jenis Akuifer: Secara alami, air tanah pada umumnya terjadi pada lapisan batuan dengan jenis akuifer tertekan (*confined*), akuifer bebas (*unconfined*) dan akuifer semi tertekan (*leaky*) atau akuifer terbatas oleh satu atau lebih lapisan batuan. Tingkat intrusi air laut tergantung pada sifat dasar dari terbentuknya air tanah. Pada akuifer tidak tertekan, kondisi alam lapisan bawah memiliki pengaruh signifikan terhadap batasan antara lapisan pencampuran air asin dan air tawar. Namun, akuifer yang tertekan lebih sensitif karena tingkat depresi yang lebih tinggi dari muka air laut selama pemompa air sumur.

Konduktivitas hidrolis: kemampuan akuifer untuk mentransmisikan air. Pengisian ulang air tanah dapat terjadi dalam beberapa cara, termasuk infiltrasi curah hujan, resapan sungai, banjir, kebocoran antar akuifer, kembalinya aliran irigasi, kebocoran irigasi dan isi ulang buatan. Konduktivitas hidrolis memiliki peran penting dalam mengisi ulang akuifer. Tingginya nilai konduktivitas berhubungan dengan model sistem depresi kerucut selama pemompa sumur sehingga, menghasilkan lebih signifikan intrusi air asin dan dengan demikian kerentanan lebih tinggi untuk air tanah terkontaminasi. Luasnya penetrasi air laut ke akuifer sangat tergantung pada sifat hidrolis akuifer.

Kedalaman level air tanah: Level air tanah adalah salah satu parameter terpenting dalam mengevaluasi kerentanan akuifer terhadap kontaminasi. Lebih dalam muka air tanah di akuifer, maka akan semakin rentan air tanah untuk menjadi asin.

Jarak dari pantai: dampak pergerakan pasang surut menjadi lebih sedikit dengan jarak. Semakin jauh dari pantai, akuifer menjadi tidak terlalu rentan untuk terkontaminasi air laut. Persamaan (2) menunjukkan hubungan antara penyebaran zona air laut (L) dan aliran air tawar ke arah laut (q), seperti yang diilustrasikan pada (Gambar. 2.9) Ada perbedaan besar antara aliran air tawar menuju laut dan pengisian alami akuifer, berdasarkan hubungan Bear dan Verrujit dikembangkan pada tahun 2012. Dalam akuifer tertekan:

$$L = \frac{KB^2}{2q\delta} L > B$$

$$\delta = \frac{\rho_{fresh}}{\rho_{sea} - \rho_{fresh}} \approx 40$$

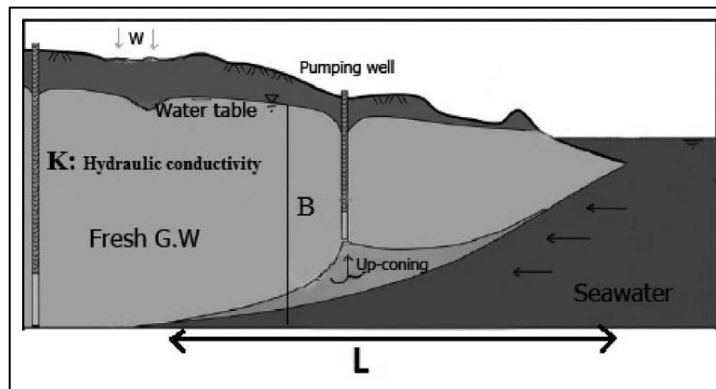
Pada akuifer tertekan:

$$q = \left[\frac{KB^2}{2L} \right] \cdot \left[\frac{1 + \delta}{\delta^2} \right] - \frac{WL}{2}$$

Jika nilai $W=0$ maka:

$$L = 0.0257 \left[\frac{KB^2}{2q} \right]$$

Dimana K : konduktivitas hidrolik (m/hari), B : ketebalan akuifer (m), ρ : densitas air (kg/m^3), W : pengisian ulang (mm)



Gambar 2. 9 Panjang air laut menintrusi akuifer di pesisir (Kardan et al., 2017)

Dampak status intrusi air laut yang ada pada suatu area: Jika kondisi permukaan air tanah stabil dan tidak tertekan, gradient air laut dan air tawar akan membentuk gradient hidrolis yang seimbang. Ekstraksi air tanah ekstraksi, telah menyebabkan pergerakan air laut menuju pantai dan dengan demikian dapat meningkatkan konsentrasi TDS. (Revelle, 1941) merekomendasikan rasio $Cl^- / [HCO_3^- + CO_3^{2-}]$ sebagai kriteria untuk mengidentifikasi luasnya intrusi air laut ke akuifer pantai (persamaan 5). Klorida (Cl^-) adalah ion dominan dalam air laut dan itu hanya tersedia dalam jumlah kecil di air tanah sementara bikarbonat (HCO_3^-), yang tersedia dalam jumlah besar dalam air tanah, hanya terjadi dalam jumlah yang sangat kecil di air laut.

$$I = \frac{Cl^-}{[CO_3^{2-} + HCO_3^-]}$$

Ketebalan akuifer: ketebalan jenuh akuifer yang tidak tertekan memainkan peran penting dalam menentukan tingkat dan besarnya intrusi air laut di daerah pesisir. Parameter ini, juga merupakan parameter dari model GALDIT, digunakan untuk memperkirakan jumlah penetrasi air laut ke akuifer pantai. Meningkatnya ketebalan dari zona jenuh menghasilkan tingkat air asin yang lebih rendah dengan demikian dapat menurunkan level kerentanan air tanah.

Enam faktor diatas, dalam kombinasi digunakan untuk menilai potensi intrusi air laut umum setiap pengaturan hidrogeologi. Faktor GALDIT merupakan parameter yang terukur sesuai data yang umumnya tersedia dari berbagai sumber tanpa pengamatan lebih lanjut. Sistem ini terdiri dari tiga komponen yang signifikan - bobot, rentang dan peringkat pentingnya. Setiap faktor GALDIT telah dievaluasi sehubungan dengan yang lain untuk menentukan kepentingan relatif dari setiap faktor. Asumsi dasar yang dibuat dalam analisis adalah bahwa bagian bawah akuifer terletak di bawah permukaan laut.

Pemetaan Indeks GALDIT memberikan variasi di wilayah studi, yang dilakukan oleh *software Arc GIS 10.0*. Lokasi stasiun sampling dan indeks GALDIT air di setiap lokasi pengambilan sampel diperlukan untuk pemetaan. Langkah-langkah penting yang terlibat untuk pemetaan yang georeferencing, digitalisasi dan interpolasi spasial. *Georeferencing* adalah proses penetapan lokasi

dari dunia nyata fitur dalam kerangka sistem koordinat tertentu. Serangkaian konsep dan teknik yang digunakan yang semakin mengubah pengukuran yang dilakukan di lapangan untuk peta. Digitalisasi biasanya dimulai dengan satu set titik kontrol, yang digunakan untuk mengubah peta digital untuk koordinat dunia nyata. Interpretasi spasial adalah proses menggunakan poin dengan nilai-nilai yang dikenal untuk memperkirakan nilai-nilai pada titik-titik lainnya. Oleh karena itu interpretasi spasial adalah sarana untuk menciptakan data permukaan dari titik sampel sehingga data permukaan dapat digunakan untuk analisis.

Perhitungan Indeks GALDIT

Masing-masing dari enam indikator memiliki bobot tetap yang telah ditentukan yang mencerminkan kepentingan relatif terhadap intrusi air laut. The GALDIT Indeks kemudian diperoleh dengan menghitung skor indikator individu dan menjumlahkan faktor tersebut sebagai rumus sebagai berikut:

$$\text{GALDIT-Index} = \frac{\sum_{i=1}^6 \{(W_i) R_i\}}{\sum_{i=1}^6 W_i}$$

$$\text{Max} = \frac{\{(1)*R_1 + (3)*R_2 + (4)*R_3 + (4)*R_4 + (1)*R_5 + (2)*R_6\}}{\sum_{i=1}^6 W_i}$$

$$= \{(1)*10 + (3)*10 + (4)*10 + (4)*10 + (1)*10 + (2)*10\}/15$$

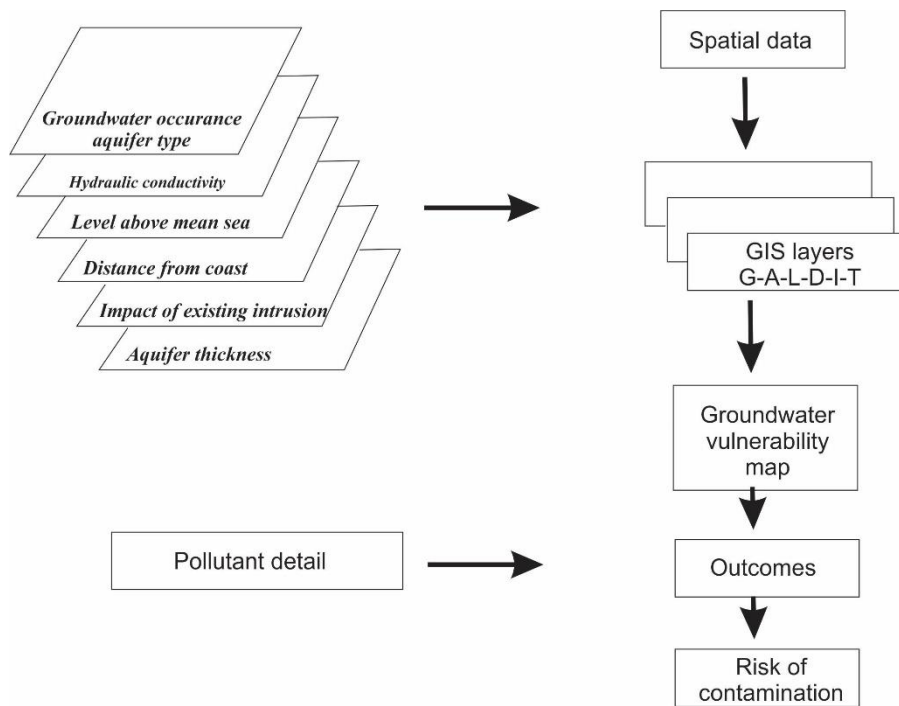
$$= 10$$

Dimana W_i adalah bobot indikator i dan R_i adalah peringkat pentingnya indicator. Dengan demikian, pengguna dapat menggunakan informasi hidrogeologi dan geologi dari daerah yang menarik dan memilih variabel untuk mencerminkan kondisi tertentu dalam daerah itu, pilih yang sesuai peringkat pentingnya dan menghitung skor indikator. Sistem ini memungkinkan pengguna untuk menentukan nilai numerik untuk setiap pengaturan hydro - geografis dengan menggunakan model aditif ini. "Maksimum GALDIT - Indeks " yang diperoleh dengan mengganti peringkat pentingnya maksimum. Indikator seperti berikut:

Sedangkan untuk perhitungan "Minimal GALDIT - Indeks " yang diperoleh dengan mengganti minimum pentingnya peringkat dari indikator seperti berikut:

$$\begin{aligned} \text{Min} &= \{(1)*R_1 + (3)*R_2 + (4)*R_3 + (4)*R_4 + (1)*R_5 + (2)*R_6\} / \sum_{i=1}^6 W_i \\ &= \{(1)*2.5 + (3)* 2.5 + (4)* 2.5 + (4)* 2.5 + (1)* 2.5 + (2)* 2.5\} / 15 \\ &= 2.5 \end{aligned}$$

Oleh karena itu, minimum dan maksimum GALDIT - Indeks bervariasi antara 2,5 sampai 10. Kerentanan wilayah intrusi air laut dinilai berdasarkan besarnya GALDIT Index. Secara umum, menurunkan indeks kurang rentan terhadap intrusi air laut. Berikut merupakan tahapan proses model GALDIT (Gambar 2.10).



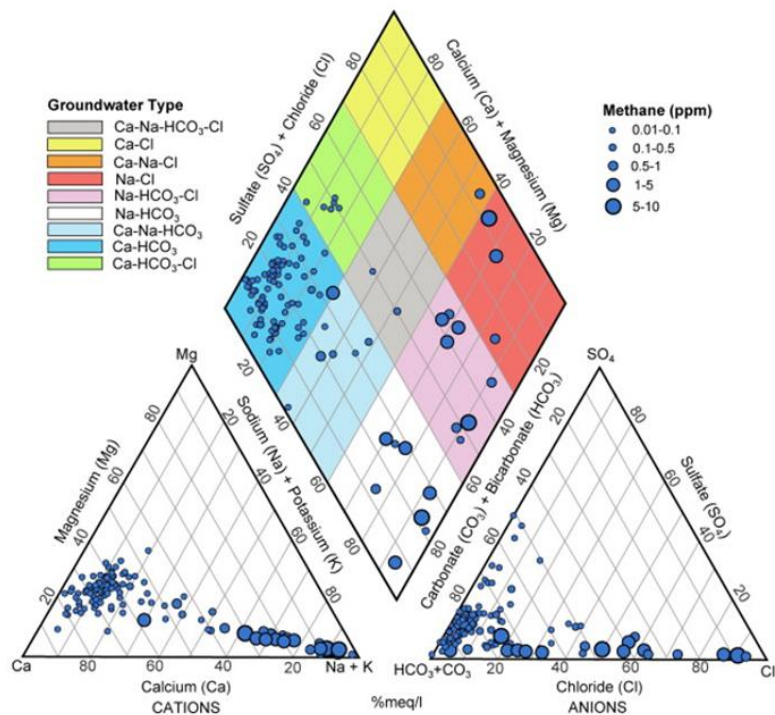
Gambar 2. 10 Analisis kerentanan air tanah dengan DRASTIC model dalam GIS

2.7 Hidro geokimia dan *Water Quality Index* (WQI)

2.7.1 Hidro geokimia

Pengecekan kualitas dari air tanah adalah dengan membandingkan konsentrasi total dari kation dan anion dalam meq/l. Sehingga diperoleh air tanah secara elektrik adalah netral. Hasil analisis kemudian dilakukan penggambaran konsentrasi kandungan relative bahan-bahan mayor, minor yang merupakan pola keragaman dari penyelidikan air tanah. Metode yang digunakan dibagi atas dua kelompok yang memusatkan pola penyajian berdasarkan penambahan terhadap kondisi air tanah.

Analisis diagram piper dilakukan berdasarkan analisis kandungan kimia air tanah yang kemudian dilakukan pengeplotan pada Diagram Piper (Gambar 2.11). Pada metode ini diperlukan konsentrasi relatif yaitu % meq/l. Plotting data untuk suatu contoh pada diagram Piper lebih kompleks sebab terdapat tiga bentuk diagram. Kandungan kation ditulis dengan formula meq/l. seperti untuk Na^+ , K^+ , Ca^{2+} dan Mg^{2+} yang diasumsikan sama dengan 100% ditempatkan pada segitiga kation. Kemudian segitiga anion akan menunjukkan relatif Cl^- , SO_4^{2-} dan $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$. Selanjutnya garis lurus diproyeksikan dari dua segitiga ke wilayah ketiga. Untuk memperoleh indikasi yang sama dari kualitas absolut bahan – bahan terlarut dalam contoh, ukuran titik – titik kadang – kadang berhubungan dengan kadar garam (TDS), (Langmuir, 1978).



Gambar 2. 11 Diagram Piper

2.7.2 Water Quality Index (WQI)

Sumber daya air tanah bersifat dinamis dan terpengaruh oleh faktor-faktor seperti perluasan kegiatan irigasi, industrialisasi dan urbanisasi, maka pemantauan dan melestarikan sumber daya air ini sangat penting (Chatterjee et al., 2010). *Water Quality Index* (WQI) secara numerik merangkum informasi dengan mudah dari beberapa parameter kualitas air menjadi satu nilai yang dapat digunakan untuk menilai variasi spasial dan temporal dalam kualitas air secara keseluruhan (Krishan et al., 2016). *Water Quality Index* (WQI) didefinisikan sebagai peringkat yang mencerminkan pengaruh gabungan dari parameter kualitas air yang berbeda.

WQI dihitung dari sudut pandang kesesuaian air tanah untuk konsumsi manusia (Ramakrishnaiah et al., 2009). Oleh karena itu penelitian terhadap karakteristik hidro kimia dan penilaian *Water Quality Index* di pesisir Kec. Pademawu sangat penting. Tujuan dari penelitian ini adalah memberikan informasi tentang sifat fisik dan kimia air tanah di daerah pemukiman untuk mengetahui dampak keberadaan tambak garam terhadap kualitas air tanah dan untuk membahas

kesesuaian nya untuk konsumsi manusia berdasarkan nilai *Water Quality Index* (WQI).

Parameter kimia yang analisis meliputi Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+} , K^{+} , HCO_3^{-} , Cl^{-} , SO_4^{2-} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , F^{-} , NO_2^{-} , NO_3^{-} dan $CaCO_3$. Perhitungan *Water Quality Index* (WQI) terbagi atas 3 langkah perhitungan, tahapan pertama masing-masing dari 9 parameter (TDS, Cl, HCO_3 , SO_4 , NO_3 , Ca, Mg, Na, K) yang diberikan bobot sesuai dengan WHO standar untuk air minum (Tabel 2.6). Perhitungan WQI (*Water Quality Index*) langkah pertama yaitu menentukan nilai SI untuk setiap parameter kimia menggunakan persamaan (1), setelah itu menentukan nilai WQI menggunakan persamaan di bawah ini (2):

$$S_{li} = W_i x q_i \dots\dots\dots(2)$$

$$WQI = \sum S_{li} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana, *S_{li}*: *sub-index* dari masing-masing parameter
q_i: peringkat berdasarkan konsentrasi setiap parameter dan
n: nomor sampel
W_i: bobot relative
WQI: *Water Quality Index*

Tabel 2. 6 Bobot (wi) dan bobot relatif (Wi) setiap parameter kimia

Parameter	Standar WHO	Bobot (wi)	Bobot relatif (Wi)
pH	8,5	3	0,103
TDS	500	5	0,179
Cl	250	5	0,179
SO ₄	250	5	0,179
Na	200	4	0,143
K	12	2	0,071
HCO ₃	120	1	0,036
Ca	75	3	0,107
Mg	50	3	0,107

Perhitungan nilai WQI biasanya diklasifikasikan kedalam lima kategori (Tabel 2.7) yang meliputi: sangat baik, baik, buruk, sangat buruk dan tidak layak untuk dikonsumsi manusia (Sahu and Sikdar, 2008). Prosedur perhitungan nilai WQI telah banyak dijelaskan oleh beberapa penulis lainnya (Saedi et al., 2010); (Yidana and Yidana, 2009).

Tabel 2. 7 Klasifikasi kualitas air tanah berdasarkan nilai WQI

Kisaran Nilai WQI	Tipe Air
<50	Sangat baik
50-100,1	Baik
100-200,1	Buruk
200-300,1	Sangat buruk
>300	Tidak layak

2.8 Validasi kualitas hasil analisis laboratorium dan model DRASTIC dan GALDIT

2.8.1 Perhitungan Charge Balance Error (CBE)

Kualitas hasil analisis dapat diketahui berdasarkan perhitungan CBE dengan rumus sebagai berikut (Freeze and Cherry, 1979):

$$CBE = \frac{\sum Zm_c - \sum Zm_a}{\sum Zm_c + \sum Zm_a} \times 100 \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

- Z : valensi ion
- m_c : molalitas kation
- m_a : molalitas anion

Harga CBE yang dapat diterima apabila <5% (Freeze and Cherry, 1979). Menurut (Kehew, 2001) harga CBE lebih besar dari 5% selain disebabkan oleh kesalahan yang terjadi selama analisis, juga dapat disebabkan oleh adanya kation atau anion dengan konsentrasi relatif besar yang tidak ter analisis.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BAB 3
METODE PENELITIAN

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Deskripsi Umum

Metode penelitian digunakan sebagai acuan dalam prosedur dan langkah-langkah sistem dalam melakukan penelitian. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dinamika skala perubahan tingkat pencemaran Cl antara tahun 2015 terhadap 2020 dengan menggunakan metode GALDIT, DRASTIC dan hidro geokimia. Dalam kajian ini yang diteliti adalah permasalahan seberapa besar penurunan atau peningkatan skala pencemaran air tanah di kawasan pemukiman dekat lahan pertanian garam Kec.Pademawu dan sekitarnya dalam kurun waktu 2015 hingga 2020.

Hasil penelitian pada tahun 2015 terkait pencemaran air tanah di Kecamatan Pademawu menunjukkan bahwa beberapa sumur gali milik penduduk sudah berubah menjadi payau hingga asin. Kategori kualitas air tanah masuk dalam kualitas buruk dan sangat buruk. Berdasarkan permasalahan tersebut, perlu dilakukan identifikasi pencemaran air tanah di Kec.Pademawu dan sekitarnya menggunakan beberapa metode dan model penilaian kerentanan air tanah meliputi model DRASTIC, GALDIT dan hidro geokimia, untuk mengidentifikasi dinamika skala pencemaran air tanah dalam kurun waktu 2015 hingga 2020.

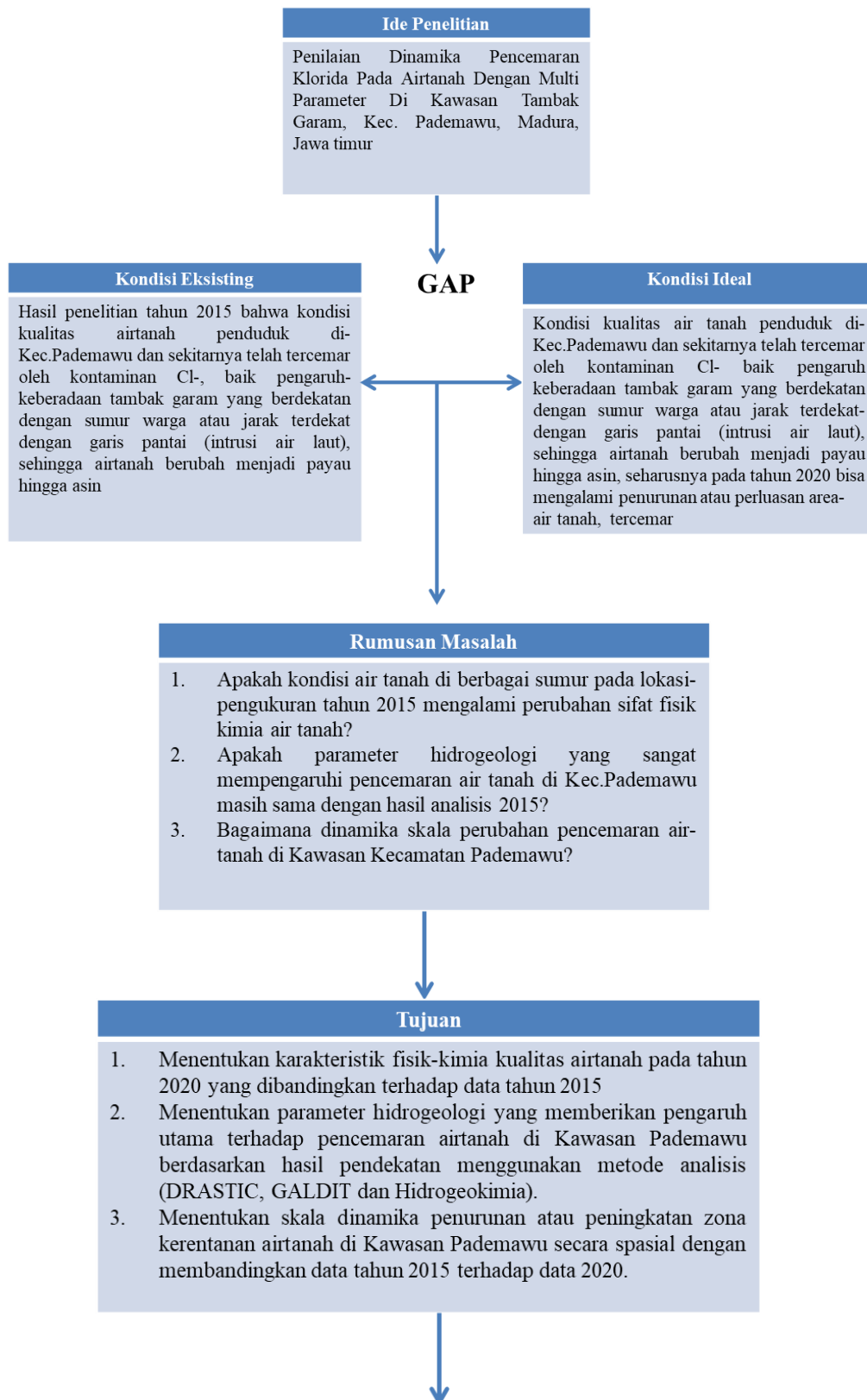
Melalui dinamika skala pencemaran air tanah yang teridentifikasi, maka solusi atau alternative kebijakan untuk mengurangi dampak terhadap pencemaran air tanah dapat ditentukan secara tepat. Sistem tata guna lahan di Kecamatan Pademawu dan sekitarnya sebagai kawasan pertanian garam semakin meluas dapat dianggap sebagai salah satu factor pencemar air tanah. Penetapan kebijakan sistem tata guna lahan di Kec.Pademawu juga untuk pembatasan lokasi pertanian garam yang berdekatan dengan pemukiman menjadi solusi yang harus difokuskan. Identifikasi dan penilaian zonasi pencemaran air tanah dapat digunakan untuk penetapan kebijakan sistem tata guna lahan di Kec.Pademawu dan sekitarnya, sehingga dapat mengurangi pencemaran air tanah dan terciptanya kondisi lingkungan yang bersih.

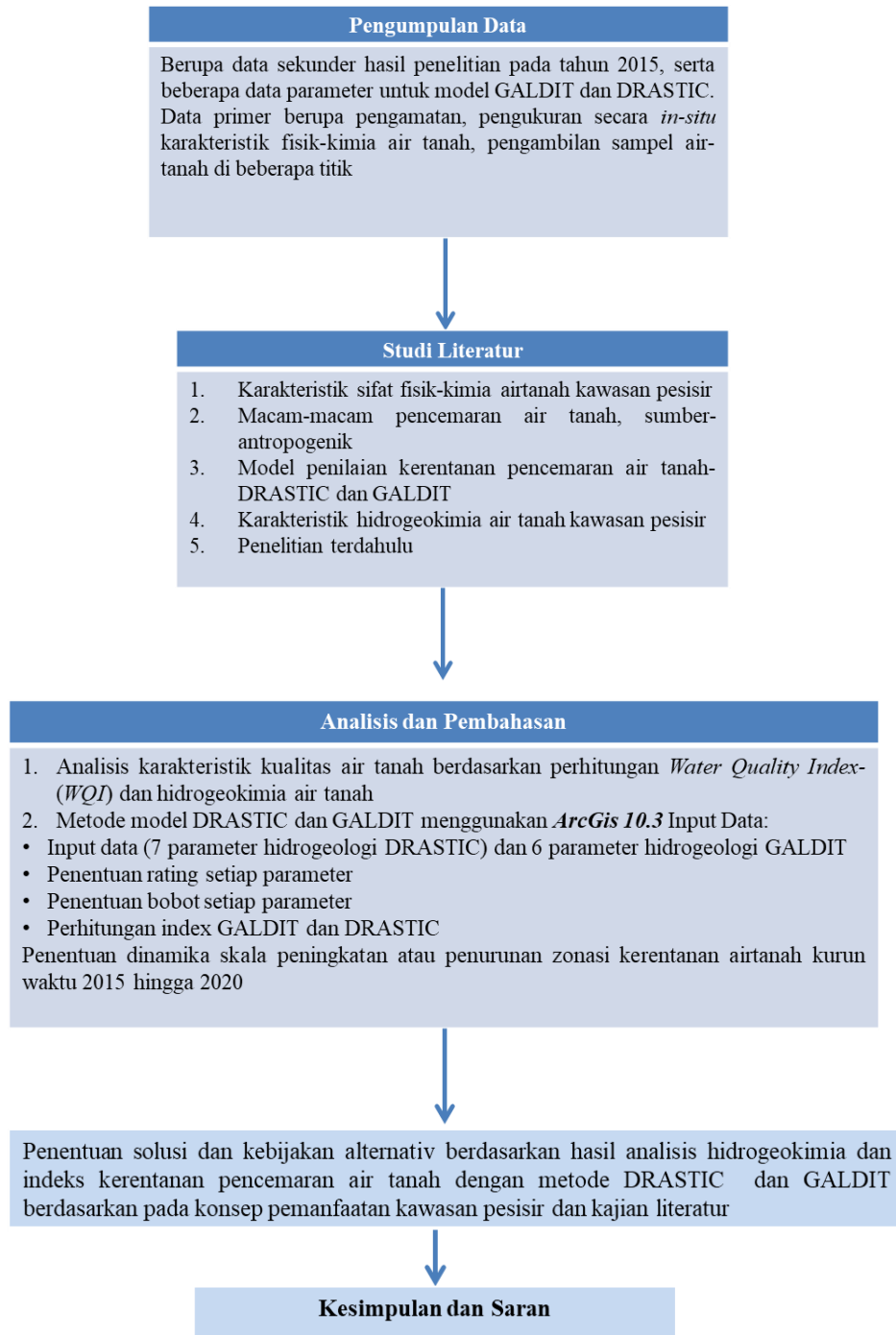
3.2 Tahap Penelitian

Penelitian diawali dari data hasil kegiatan penelitian pada tahun 2015 terkait pencemaran air tanah di Kec.Pademawu dan sekitarnya. Identifikasi awal dilakukan pada karakteristik fisik dan kimia air tanah, luasan kawasan pertanian garam, serta kualitas air tanah di sumur-sumur gali milik warga sekitar Kec.Pademawu. Langkah selanjutnya adalah dengan pengamatan, pengukuran dan pengambilan sampel air tanah di beberapa titik lokasi sesuai data tahun 2015 sebagai dasar penentuan skala perubahan pencemaran air tanah yang terjadi.

Kerangka penelitian disusun untuk memberikan panduan secara sistematis dalam melakukan penelitian. Susunan metode penelitian ini berdasarkan tujuan secara umum penelitian, yaitu menentukan skala dinamika pencemaran air tanah di Kec.Pademawu dan sekitarnya dalam kurun waktu 2015 terhadap 2020 dengan metode hidro geokimia dan model penilaian kerentanan air tanah DRASTIC dan GALDIT. Dari tujuan secara umum, kemudian dirancang menjadi ide penelitian, studi literature, pengumpulan data, menganalisis data menggunakan hidro geokimia dengan sistem perhitungan dan plot diagram Piper, serta menganalisis data menggunakan model DRASTIC dan GALDIT dengan *software ArcGIS 10.3*, untuk menentukan zonasi tingkatan kerentanan air tanah. Penentuan solusi dari hasil analisis dan model menggunakan kajian literature dan penarikan kesimpulan.

Penetapan zona tingkat kerentanan air tanah dan data terbaru kualitas air tanah kemudian dianalisis untuk memperoleh solusi dan kebijakan alternative pengurangan pencemaran air tanah. Adapun kerangka alur penelitian pada Gambar 3.1 berikut ini:





Gambar 3. 1 Kerangka Pikir Penelitian

3.3 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian berisi tentang langkah-langkah yang dilakukan saat penelitian. Kerangka ini meliputi analisis permasalahan, penentuan rumusan masalah, penentuan tujuan, pengumpulan data sekunder, studi literature, pengumpulan data primer, analisis laboratorium, analisis data dengan diagram Piper dan *ArcGIS 10.3* penentuan zonasi indeks kerentanan pencemaran air tanah, kesimpulan dan saran. Tujuan dari pembuatan kerangka penelitian adalah untuk memudahkan pemahaman dan penjelasan melalui deskripsi setiap tahap penelitian. Berikut langkah atau tahapan yang dilakukan dalam penelitian:

3.3.1 Studi Literatur

Studi literatur merupakan dasar teori yang digunakan sebagai acuan untuk menunjang ide penelitian dan menambah pemahaman terkait penelitian mulai dari tahap awal hingga tahap akhir penyusunan laporan. Studi pustaka dilakukan terkait dengan semua objek atau variabel penelitian yaitu tentang karakteristik fisik-kimia air tanah Kawasan pesisir, kerentanan air tanah terhadap beberapa pencemaran sumber antropogenik, model identifikasi kerentanan air tanah dengan DRASTIC, GALDIT, karakteristik hidro geokimia air tanah kawasan pesisir. Referensi didapatkan dari jurnal, website, buku, laporan hasil penelitian dan sumber lainnya.

3.4 Jenis dan Sumber Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder.

1. Data Primer berupa:

- a. Data pengukuran secara *in-situ* sifat fisik-kimia air tanah (pH, ORP, DHL, Resistivity, T air, T udara) menggunakan alat *Multi-Parameter Water Quality Meter* model WM-22EP di sumur-sumur warga, sumur bor maupun sumur produksi yang ada di Kecamatan Pademawu dan sekitarnya.

- b. Data hasil analisis parameter kimia sampel air tanah yang diambil dari lapangan seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+} , K^{+} , HCO_3^{-} , Cl^{-} , SO_4^{2-} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , F^{-} , NO_2^{-} , NO_3 dan CaCO_3 .
 - c. Data parameter hidrogeologi untuk proses analisis model DRASTIC dan GALDIT (Tabel 3.1).
 - d. Dokumentasi berupa foto-foto setiap tahapan pengukuran dan pengamatan di lapangan.
2. Data Sekunder
- a. Hasil penelitian sebelumnya yang telah dilakukan (LRSDKP) dibawah Kementerian Kelautan dan Perikanan terkait pencemaran air tanah di Kawasan tambak garam Kec. Pademawu tahun 2015.
 - b. Studi literatur terkait karakteristik sifat fisik-kimia air tanah kawasan pesisir, pencemaran air tanah sumber cemaran antropogenik dan model penilaian indeks kerentanan pencemaran air tanah metode DRASTIC dan GALDIT dari pustaka, internet dan penelitian sebelumnya
 - c. Data parameter hidrogeologi untuk proses analisis model DRASTIC dan GALDIT
 - d. Peta lokasi penelitian dan peta geologi, peta hidrogeologi Kecamatan Pademawu dan sekitarnya.

Tabel 3. 1 Parameter dan sumber data DRASTIC dan GALDIT

Parameter DRASTIC	Sumber Data
<i>Depth to groundwater: D (m)</i>	Pengukuran sumur air tanah in-situ lapangan
<i>Net recharge: R (mm)</i>	Stasiun pengukuran curah hujan BMKG
<i>Aquifer media: A</i>	Peta Hidrogeologi
<i>Soil type: S</i>	Peta Jenis Tanah Madura
<i>Topography: T (%)</i>	Peta topografi skala 1:50000
<i>Impact of vadose zone: I</i>	Peta Geologi
<i>Hydraulic conductivity: C</i>	Data log pemboran (PDAM dan P2AT Madura)
Parameter GALDIT	Sumber Data
<i>Groundwater occurrence aquifer type: G</i>	Peta Hidrogeologi
<i>Hydraulic conductivity: A</i>	Data log pemboran (PDAM dan P2AT Madura)
<i>Level above mean sea level: L</i>	Pengukuran muka air tanah secara in-situ
<i>Distance from the coast: D</i>	Pengukuran secara spasial
<i>Impact of existing intrusion: I</i>	Nilai pengukuran in-situ DHL air tanah
<i>Aquifer thickness: T</i>	Data log pemboran dan Pengukuran Geo listrik

3.5 Persiapan Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat yang digunakan selama penelitian yaitu:

- GPS untuk menentukan titik koordinat stasiun pengamatan
- Multi-Parameter *Water Quality* Meter model WM-22EP untuk pengukuran parameter fisika (pH, ORP, DHL, Resistivity, T air, T udara)
- Meteran untuk pengukuran muka air tanah dan kedalaman sumur
- Kamera untuk dokumentasi
- Botol Sampel untuk pengambilan sampel air tanah yang akan diuji di lab
- Ring sampel tanah untuk analisis konduktivitas hidrolik

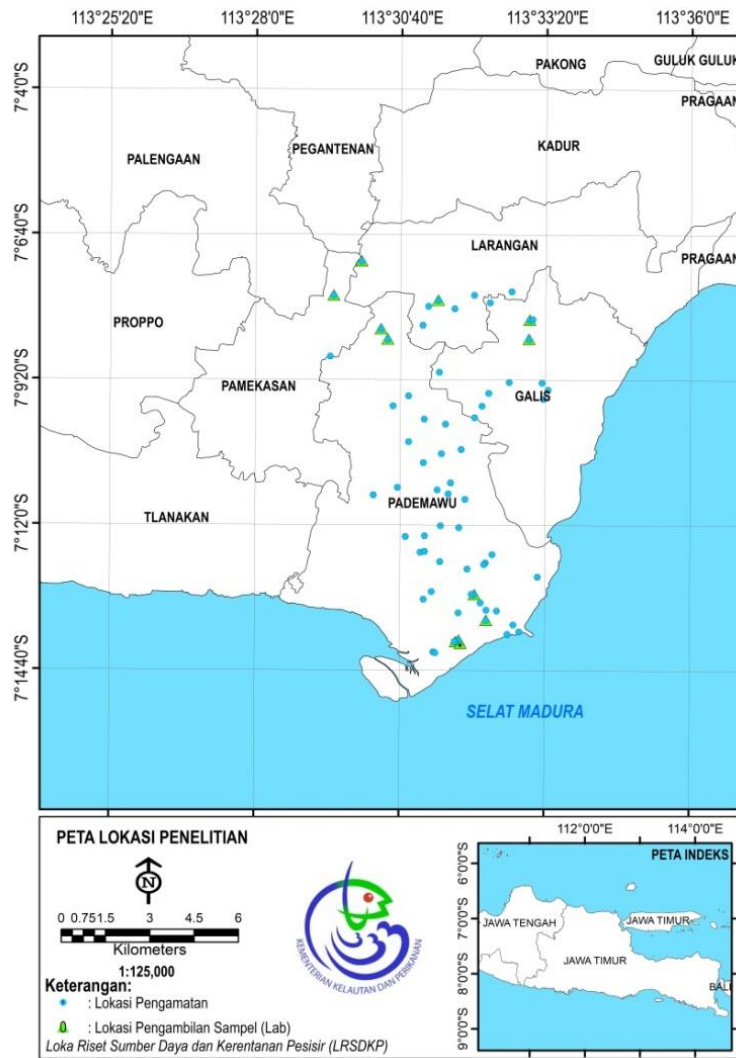
3.6 Teknik Pengumpulan Data

3.6.1 Pengukuran kualitas air tanah

Selain parameter hidro kimia juga dalam penelitian ini dibutuhkan adanya pengukuran parameter fisik kualitas air tanah, pengukuran serta sampling/pengambilan contoh air dilakukan untuk mengetahui kualitas fisik air dalam hal ini air sungai sebanyak 66 titik pengamatan (Gambar 3.2). Nilai kualitas air tersebut kemudian akan dibandingkan dengan nilai batas ambang yang diperbolehkan dalam persyaratan air minum yang dikeluarkan oleh Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 (Permenkes RI, 2010) dan pedoman (WHO (World Health Organisation of the United Nations), 2008). Parameter yang diukur di lapangan meliputi parameter fisika (pH, ORP, DHL, Resistivity, T air, T udara) menggunakan alat Multi-Parameter *Water Quality* Meter model WM-22EP (Gambar 3.3).



Gambar 3. 2 Alat Multi-Parameter Water Quality Meter model WM-22EP



Gambar 3. 3 Peta lokasi titik pengamatan, pengukuran dan pengambilan sampel

Kegiatan pemetaan Hidrogeologi di lapangan mencakup:

- Pengumpulan data sumur, baik yang menyadap akuifer bebas maupun tertekan
- Pengumpulan data mata air (ketinggian muka air tanah, kedalaman sumur dan rasa air sumur)
- Pengumpulan data geometri, litologi, dan parameter akuifer/aquitard
- Pengumpulan contoh air (sumur, mata air, air permukaan) untuk keperluan analisis laboratorium
- Pemutakhiran data sekunder (topografi, geologi, penggunaan lahan)



Gambar 3. 4 Kegiatan pengukuran dan pengamatan hidrogeologi

3.6.2 Pengambilan Sampel Air tanah

Parameter hidro kimia sampel air juga dilakukan pengambilan conto sebanyak 11 titik pengambilan (Gambar 3.2) untuk di analisis di laboratorium meliputi parameter kimia: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+} , K^{+} , HCO_3^{-} , Cl^{-} , SO_4^{2-} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , F^{-} , NO_2^{-} , NO_3^{-} dan CaCO_3 . Selanjutnya sampel dianalisa di laboratorium untuk mengetahui kandungan ion-ion baik kation maupun anion

penyusun air tanah tersebut sehingga dapat divisualisasikan dalam Diagram Trilinear Piper untuk mengetahui genesa air tanah tersebut.

3.6.3 Analisis Laboratorium

Analisis sampel air tanah ditujukan untuk mengetahui jumlah kandungan unsur hidro kimia pada masing–masing sumur gali, sumber mata air PDAM di lokasi penelitian. Selanjutnya sampel dianalisa di laboratorium untuk mengetahui kandungan ion kation maupun anion penyusun air tanah tersebut (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+} , K^{+} , HCO_3^{-} , Cl^{-} , SO_4^{2-} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , F^{-} , NO_2^{-} , NO_3 dan CaCO_3) sehingga dapat divisualisasikan dalam Diagram Trilinear Piper untuk mengetahui genesa air tanah tersebut (Mandel and Shiftan, 1981) serta dilakukan perhitungan nilai *Water Quality Index* (WQI).

3.6.4 Analisa Data dan Pembahasan

Data sekunder dan data primer yang telah diperoleh akan diolah sesuai dengan teori penilaian indeks kerentanan air tanah metode DRASTIC dan GALDIT menggunakan aplikasi *ArcGIS 10.3* untuk menganalisis indeks tingkat kerentanan air tanah. *Output* dari proses pengolahan data berupa seberapa banyak kategori indeks kerentanan pencemaran air tanah di Kec.Pademawu dan sekitarnya, yang kemudian ditentukan solusi dan kebijakan alternative untuk menangani permasalahan pencemaran tersebut.

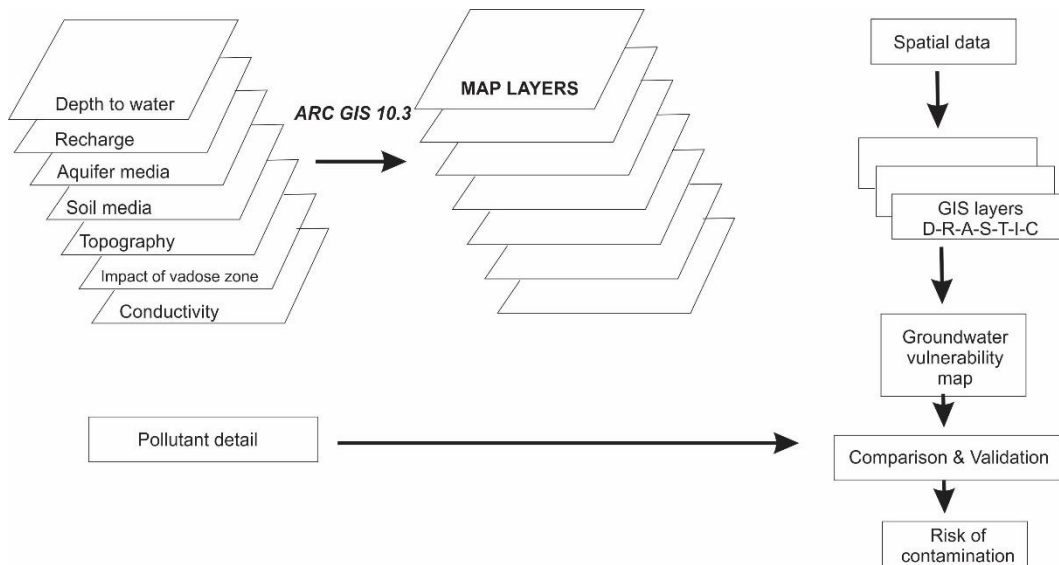
3.6.5 Tahap Pemodelan DRASTIC dan GALDIT dalam software ArcGIS 10.3

Sebelum melakukan pengolahan data dengan *ArcGIS 10.3* maka dilakukan input data berupa 7 parameter hidrogeologi model DRASTIC dan 6 parameter hidrogeologi GALDIT. Data tersebut ditentukan peringkat masing-masing parameter setiap titik pengukuran dan pengamatan serta penentuan bobotnya, kemudian dilakukan perhitungan dengan rumus DRASTIC dan GALDIT. Data yang telah dihitung kemudian diolah menggunakan *software ArcGIS 10.3* langkah-langkah analisis adalah sebagai berikut:

1. Pengembangan 7 faktor parameter DRASTIC

- Faktor 1: *Depth to water*
Kedalaman teratas akuifer dapat diperoleh dengan menggabungkan peta kontur ketinggian tanah dengan bagian muka air tanah terukur. Sehingga nilai *depth to water* = elevasi air tanah – kedalaman teratas elevasi akuifer.
- Faktor 2: *Net Recharge*
Pengisian ulang mewakili jumlah air per satuan luas tanah yang menembus permukaan tanah dan mencapai muka air tanah. Penentuan nilai pengisian ulang = Slope (%) + Curah hujan + Permeabilitas tanah
- Faktor 3: *Aquifer media*
Jenis akuifer dapat ditentukan berdasarkan data sekunder berupa peta hidrogeologi local daerah yang akan dilakukan penelitian, kemudian disesuaikan dengan table pembagian peringkat dan bobot setiap jenis akuifer.
- Faktor 4: *Soil media*
Tanah merupakan media yang pertama dilewati oleh kontaminan saat meresap ke tanah. Soil media dapat ditentukan berdasarkan pengamatan langsung di lapangan maupun data sekunder berupa peta jenis tanah regional daerah yang akan diteliti, kemudian disesuaikan dengan table pembagian peringkat dan bobot setiap jenis tanah
- Faktor 5: *Topography*
Parameter topography memiliki bobot terendah yaitu 1, topografi memiliki signifikansi relatif karena dapat mengontrol waktu kontaminan untuk berada tetap di permukaan. Penentuan nilai masing-masing parameter topografi setiap titik pengamatan dengan melakukan pemetaan topografi. Proses pemetaan topografi dibuat menggunakan analisis 3D dari perangkat *ArcMap*.

- Faktor 6. *Impact of the vadose zone*
Zona tersebut merupakan bagian dari bawah permukaan yang memiliki ruang antara butiran tidak jenuh atau jenuh tidak menerus. Zona vadose merupakan zona yang sangat penting karena menentukan waktu kontak untuk terjadinya reaksi serta perjalanan kontaminan menuju akuifer. Data tersebut dapat diperoleh dari data sekunder hasil pengeboran pemerintah setempat.
- Faktor 7. *Hydraulic conductivity*
Konduktivitas hidrolis akuifer merupakan ukuran kemampuan akuifer untuk mentransmisikan air ketika dikirimkan menuju gradient hidrolis.

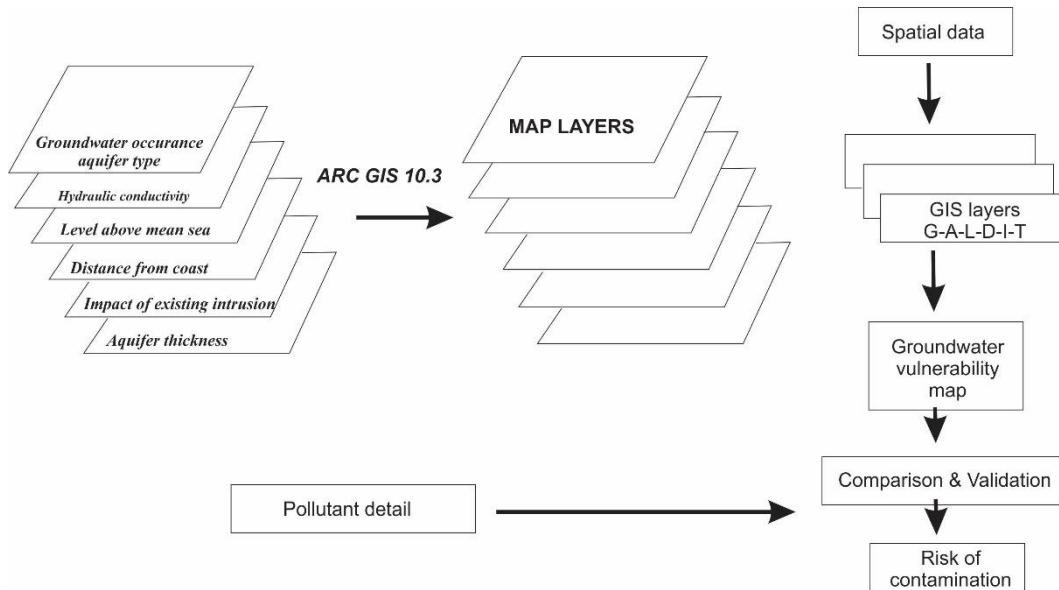


Gambar 3. 5 Proses model DRASTIC

2. Pengembangan 6 faktor GALDIT

- Faktor 1: *Groundwater occurrence*
- Faktor 2: *Aquifer hydraulic conductivity*
- Faktor 3: *Depth of groundwater level*
- Faktor 4: *Distance from the coastline*
- Faktor 5: *Impact of existing status of seawater intrusion in the area*

- Faktor 6: *Thickness of the aquifer*



Gambar 3. 6 Proses model GALDIT

3. Interpretasi data

Melakukan evaluasi dan peninjauan kembali suatu kesimpulan untuk mengambil keputusan terkait upaya perbaikan sistem pengelolaan sumber daya air tanah di kawasan Kecamatan Pademawu dan sekitarnya untuk mengurangi pencemaran air tanah. Pengambilan keputusan terkait cara mengurangi dampak pencemaran air tanah memerlukan solusi dan kebijakan alternative dengan pendekatan tertentu untuk penentuan prioritasnya. Dalam penelitian ini data yang diperoleh dari hasil analisis model GALDIT, DRASTIC dan interpretasi data hidro geokimia.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BAB 4
HASIL DAN PEMBAHASAN

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Air tanah Lokasi Penelitian

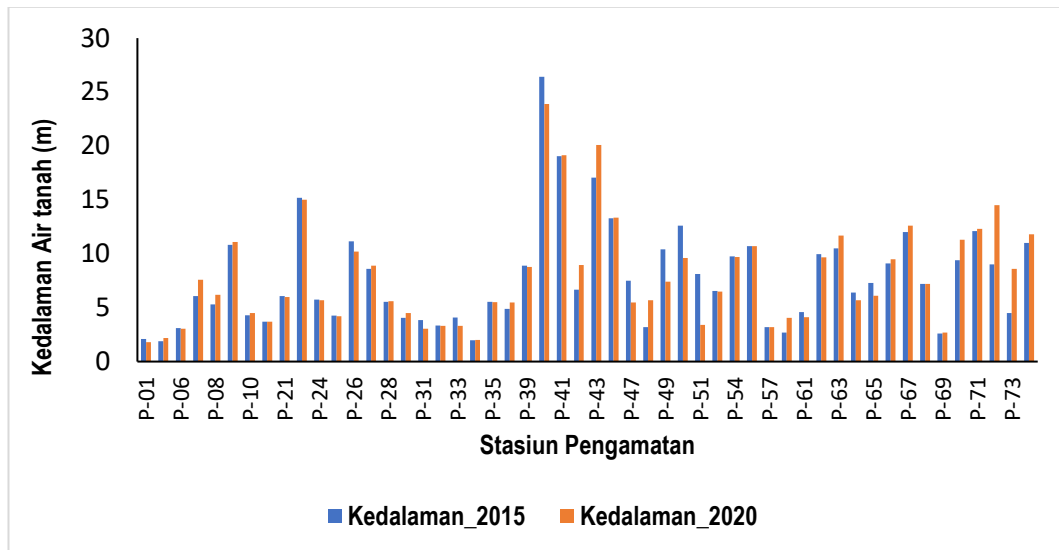
4.1.1 Karakteristik Fisik Air tanah

Berdasarkan peta hidrogeologi lembar VIII Surabaya (Jawa) bahwa daerah penelitian tersusun atas litologi endapan alluvium berupa per selingan endapan lempung, pasir, setempat mengandung bahan organik atau batu gamping koral-dengan kelulusan kecil sampai sedang (Poespowardoyo, 1986). Jenis akuifer daerah penelitian masuk dalam kelompok akuifer produktivitas kecil dan daerah air tanah langka. Goa-goa yang ada di bagian Utara daerah penelitian merupakan tempat aliran air tanah hasil pelarutan dari batu gamping. Daerah penelitian bagian utara memiliki beberapa sumur bor yang berada tepat di sungai bawah tanah ber produktivitas sedang-sangat besar, beberapa air tanah dalam jumlah terbatas dapat diperoleh terutama pada daerah lembah atau zona pelapukan batuan padu.

Muka air tanah yang ada di wilayah penelitian cukup bervariasi, sesuai dengan pembagian litologi penyusunnya. Wilayah yang tersusun atas litologi endapan alluvial memiliki kedalaman muka air tanah 1,8 – 10 m, sedangkan pada wilayah yang tersusun oleh formasi Pamekasan (Qpp) memiliki kedalaman >5m – <15 m. Semakin ke arah utara daerah penelitian, kedalaman muka air tanah semakin dalam dengan litologi penyusun batu gamping pada formasi Madura (Tpm) mencapai kedalaman >10m – >15m. Bagian selatan daerah penelitian merupakan kawasan pesisir yang dekat dengan laut, sedangkan morfologi bagian Utara merupakan kawasan perbukitan. Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan diperoleh adanya perbedaan kedalaman air tanah tahun 2015 dengan data pengukuran tahun 2020 (Gambar 4.1).

Rata-rata kedalaman muka air tanah pada tahun 2015 mencapai 7,76m sedangkan pada tahun 2020 mencapai 7,90m, hal tersebut memperlihatkan adanya perubahan kedalaman air tanah. Secara umum terlihat pada grafik perbandingan kedalaman air tanah, adanya peningkatan kedalaman muka air tanah di beberapa titik pengukuran (Gambar 4.1). Peningkatan kedalaman air tanah ini dapat menjadi salah satu faktor penurunan tingkat kerentanan pencemaran air tanah oleh infiltrasi tambak garam. Namun sebanyak 20 titik pengamatan memperlihatkan adanya

penurunan kedalaman muka air tanah (mendangkal) dengan rata-rata 0,89m, sedangkan sisanya sebanyak 32 titik mengalami peningkatan kedalaman muka air tanah dengan rata-rata 1,1m. Kondisi kedalaman muka air tanah yang dangkal, akan meningkatkan tingkat pencemaran air tanah oleh faktor infiltrasi tambak garam ke dalam air tanah.

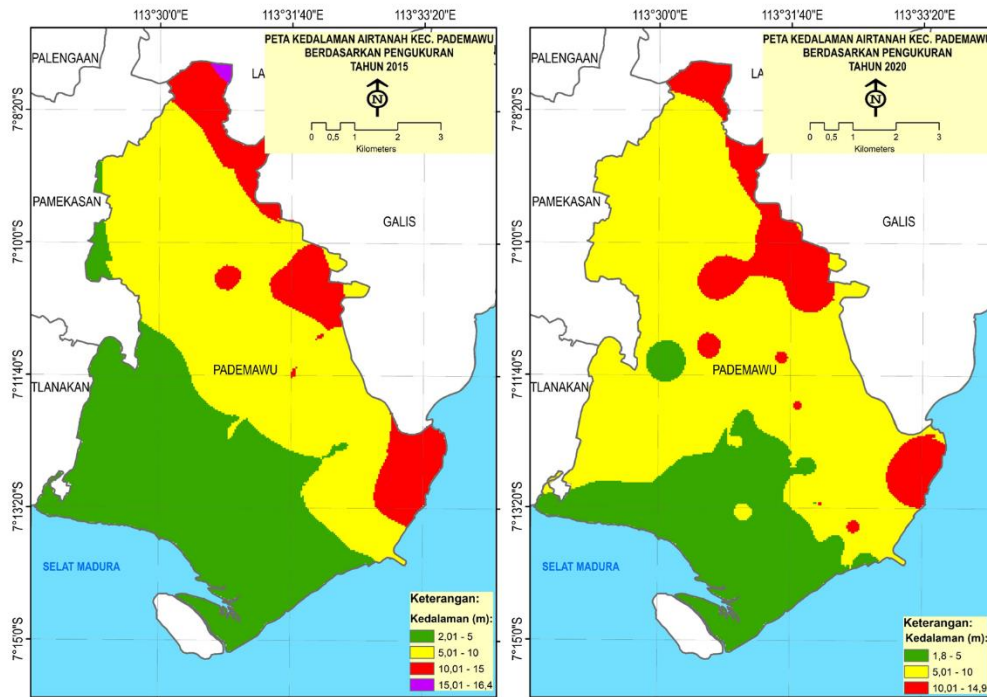


Gambar 4. 1 Grafik kedalaman air tanah tahun 2015 terhadap tahun 2020

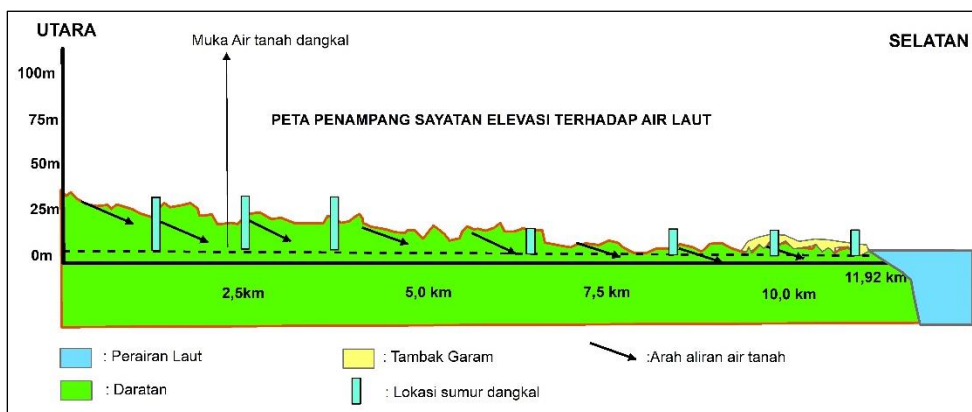
Hasil analisis kedalaman muka air tanah secara spasial dengan *ArcGIS 10.3* antara tahun 2015 dengan tahun 2020 memperlihatkan perubahan sebaran kedalaman air tanah (Gambar 4.2). Sebaran kedalaman muka air tanah pada tahun 2015 dengan kisaran 1,90-5m terdapat pada bagian selatan daerah penelitian yang berdekatan dengan garis pantai dan area tambak garam. Namun, pada tahun 2020 kedalaman muka air tanah bagian selatan menjadi kisaran 1,82 – 5m dengan luasan area zonasi kedalaman tersebut semakin meluas dibandingkan tahun 2015. Area kedalaman muka air tanah 5,0-10,0m terlihat semakin meluas di bagian tengah hingga utara daerah penelitian dibandingkan data tahun 2015. Sedangkan area kedalaman muka air tanah kisaran 1,8-5,0m semakin berkurang di tahun 2020, dan terpusat di bagian tengah daerah penelitian dengan dominasi kedalaman air tanah 5,01-10,0m.

Kedalaman muka air tanah kisaran 15 - >20m tetap berada di bagian utara daerah penelitian yang merupakan kawasan perbukitan atau memiliki topografi lebih tinggi dibandingkan di bagian selatan daerah penelitian. Kedalaman muka air

tanah merupakan faktor yang berpengaruh sebelum air menyentuh masuk ke muka air tanah, dikarenakan zat pencemar akan melewati tebal lapisan diatas muka air tanah tersebut. Apabila jarak muka air tanah cukup dalam maka potensi zat pencemar akan semakin kecil, sebaliknya apabila jarak muka air tanah cukup dangkal maka potensi air tanah untuk tercemar akan cukup besar peluangnya (Putranto, 2019).



Gambar 4. 2 Sebaran kedalaman air tanah tahun 2015 dan 2020 secara spasial

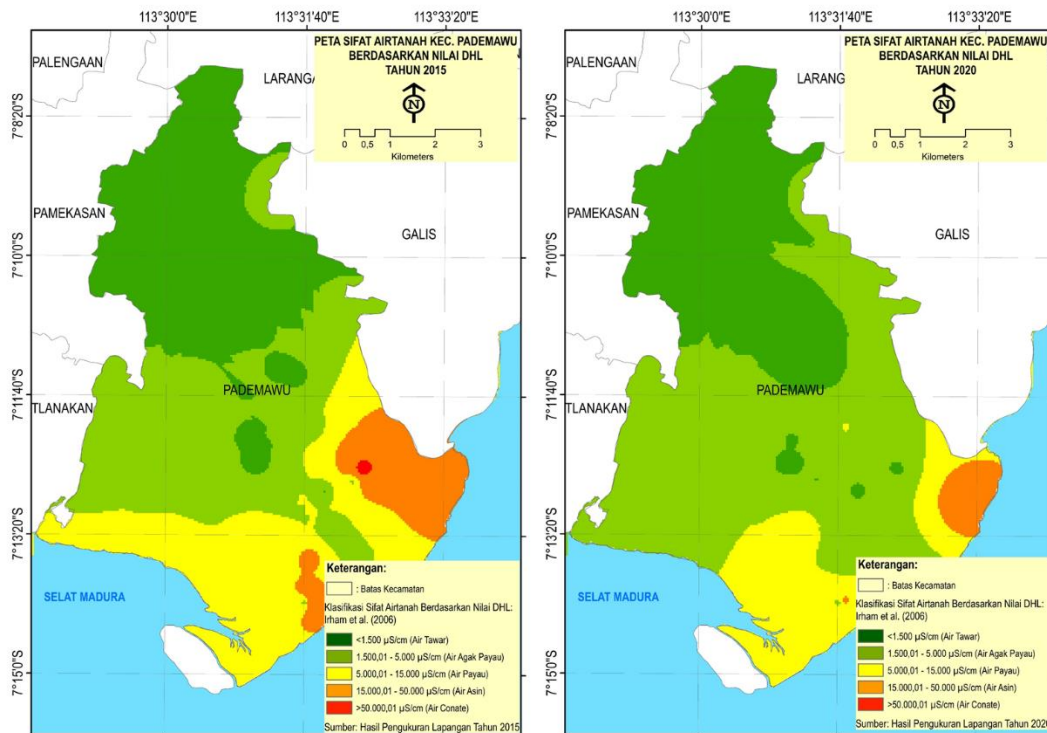


Gambar 4. 3 Penampang geologi kondisi air tanah terhadap elevasi dan jarak laut

Penentuan kedalaman air tanah berdasarkan kedalaman air tanah dangkal, dikarenakan batasan ruang lingkup penelitian yaitu identifikasi pencemaran air tanah dangkal yang disebabkan oleh keberadaan tambak garam. Secara umum kedalaman air tanah dangkal di daerah penelitian semakin dalam menuju ke arah utara, dan semakin mendangkal menuju arah selatan (pesisir) daerah penelitian. Berdasarkan penampang geologi kondisi morfologi terhadap kedalaman air tanah dangkal dan keberadaan tambak garam, terlihat jelas bahwa lokasi tambak garam tumpang tindih dengan kedalaman air tanah dangkal <5m (Gambar 4.3). Berdasarkan penampang hidrogeologi tersebut menginterpretasikan bahwa korelasi antara kedalaman air tanah dangkal dan air tambak garam menjadi salah satu faktor utama proses infiltrasi air tambak garam ke dalam akuifer dangkal. Sedangkan faktor intrusi air laut tidak memberikan pengaruh yang besar, karena pengambilan sampel air yang dangkal, diindikasikan hanya berasal dari zat pencemaran permukaan (tambak garam).

Pengukuran parameter fisik air tanah seperti nilai konduktivitas air tanah di lokasi penelitian pada tahun 2015, juga dilakukan pada tahun 2020. Nilai Konduktivitas atau DHL merupakan ukuran dari kemampuan larutan untuk menghantarkan arus listrik. Semakin banyak garam-garam terlarut yang dapat terionisasi, maka semakin tinggi pula nilai DHL. Makin tinggi konduktivitas dalam air tanah maka air akan terasa payau sampai asin (Ruseffandi and Gusman, 2020). Berdasarkan data hasil pengukuran DHL pada beberapa lokasi sumur air tanah tahun 2015 rata-rata nilai DHL 6303,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sedangkan pada tahun 2020 rata-rata DHL menurun menjadi 3523,62 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Beberapa lokasi sumur air tanah mengalami penurunan nilai DHL pada tahun 2020 dibandingkan dengan data tahun 2015, dengan rata-rata penurunan nilai DHL hingga 2779,94 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Hasil pengolahan data nilai DHL secara spasial dengan *ArcGIS 10.3*, sebaran nilai DHL tahun 2015 terhadap tahun 2020 memperlihatkan adanya perbedaan luasan area sifat air tanah air payau (5000 – 15.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) dan air asin (15000,01- 50.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Tahun 2015 area sifat air tanah payau (5000 – 15.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) meluas di bagian selatan, sedangkan pada 2020 berubah menjadi area lebih kecil namun, meluas area sifat air tanah agak payau (1500,01 – 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (Gambar 4.3).



Gambar 4. 4 Sebaran nilai DHL secara spasial data tahun 2015 terhadap 2020

Pengukuran nilai salinitas air tanah juga dilakukan selain parameter fisik air tanah seperti nilai DHL dan kedalaman air tanah. Hasil pengukuran nilai salinitas air tanah pada tahun 2015 nilai tertinggi mencapai 3,32% dan terendah 0,03%, sedangkan pada tahun 2020 nilai salinitas tertinggi bernilai 2,13% dan terendah 0,003%. Berdasarkan nilai salinitas rata-rata terlihat adanya penurunan pada tahun 2015 terhadap nilai salinitas rata-rata tahun 2020. Nilai rata-rata salinitas tahun 2015 mencapai 0,28% sedangkan tahun 2020 bernilai 0,16%. Secara umum nilai salinitas air tanah daerah penelitian terjadi penurunan dari tahun 2015 terhadap 2020 dengan rata-rata 0,11% dengan tingkat ketelitian alat $\pm 0,1\%$. Hal tersebut bisa mengindikasikan bahwa adanya penurunan nilai salinitas di tahun 2020 bisa disebabkan oleh faktor tingkat ketelitian alat. Menurut Pinder, 2011 peningkatan nilai salinitas pada air tanah terjadi akibat adanya polutan yang masuk dan bercampur dengan air tanah yang tawar. Oleh karena itu kondisi menurunnya nilai salinitas di lokasi penelitian pada tahun 2020 mengindikasikan berkurangnya polutan yang masuk dan bercampur dengan air tanah tawar.

Nilai pH juga dilakukan pengukuran pada tahun 2015 dan tahun 2020, nilai rata-rata pH pada tahun 2015 bernilai 7,26 sedangkan pada tahun 2020 nilai pH hanya mencapai 7,49. Nilai pH tertinggi berada pada nilai 8,21 di tahun 2015 dan 7,49 di tahun 2020. Secara umum nilai pH air tanah di lokasi penelitian mengalami penurunan dari hasil pengukuran tahun 2015 terhadap tahun 2020 dengan nilai rata-rata penurunan pH 0,334. Berdasarkan peraturan Kementerian Kesehatan Republik Indonesia No.492/MENKES/PER/IV/2010 tentang persyaratan kualitas air minum bahwa pH yang disarankan sebesar 6,5-8,5 (Permenkes RI, 2010). Sehingga dapat dikatakan bahwa nilai pH di daerah penelitian masih masuk standar baku mutu yang diizinkan oleh Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Namun penurunan nilai pH yang hanya berkisar 0,3 dapat diinterpretasikan sebagai ketelitian dari alat pengukuran, ketelitian alat pengukuran pH mencapai $\pm 0,05$. Oleh karena itu nilai pH yang relatif menurun belum bisa diartikan sebagai pengaruh pencemaran alam maupun antropogenik.

4.1.2 Hidro geokimia Air Tanah

Parameter fisika kimia air tanah daerah penelitian berdasarkan 11 sampel air tanah, menunjukkan dominasi kation air tanah $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$ pada sebagian besar sampel. Hasil analisis kation menunjukkan bahwa dalam semua tipe unsur Ca mendominasi, diikuti oleh Mg, Na dan K. Kondisi tersebut merupakan pengaruh faktor hidro kimia yang dimiliki, terutama berasal dari formasi geologi daerah penelitian (Kumar et al., 2014). Pada Tabel 4.1 terlihat bahwa ion Cl , Ca^{2+} , HCO^{3-} dan Mg^{3+} merupakan ion yang mendominasi pada sampel air. Hal ini menunjukkan bahwa ion-ion tersebut kemungkinan sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan seperti litologi, lokasi pengambilan sampel dan parameter lainnya (Setiawan, 2014). Litologi daerah penelitian yang tersusun atas batu lempung, batu pasir dan batu gamping, yang memiliki unsur kimia Ca^{2+} , HCO^{3-} dan Mg^{3+} . Pada air tanah kontak dengan litologi dan melarutkan unsur-unsur tersebut, sehingga kondisi itu yang menyebabkan dominasi ion pada air tanah daerah penelitian.

Nilai *charge balance error* (CBE) dari sebelas contoh berdasarkan persamaan (4) memiliki harga CBE antara -7,91% hingga 8,71% dengan rata-rata sebesar 1,81%. Dari 11 sampel tersebut, terdapat 1 sampel yang memiliki harga

CBE lebih besar dari 5%. Harga CBE yang dapat diterima apabila <5% (Freeze and Cherry, 1979). Menurut Kehew, 2001 harga CBE lebih besar dari 5% selain disebabkan oleh kesalahan yang terjadi selama analisis, juga dapat disebabkan oleh adanya kation atau anion dengan konsentrasi relatif besar yang tidak ter analisis.

Tabel 4. 1 Statistik parameter fisika kimia air tanah

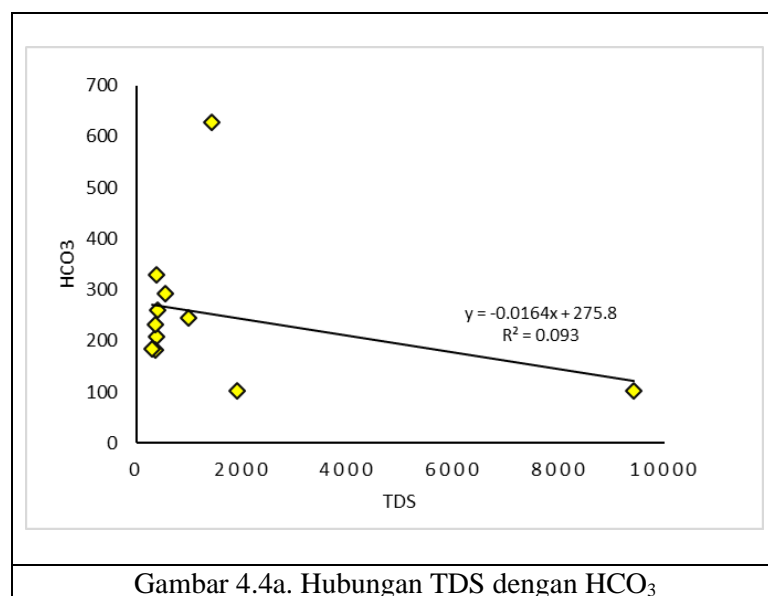
Parameters	Maks	Min	Rata-rata
TDS mg/l	753	25,9	371,57
DHL	1075	54,9	539,42
Salinitas	0.05	0,01	0,03
pH	7.8	6,71	7,28
Ca ²⁺	180	57,3	91,16
Mg ⁺	343	0,549	48,36
Cl ⁻	3728	5,58	453,84
Na ⁺	2018	5,5	27,71
K ⁺	13.8	1,8	5,51
HCO ₃ ⁻	427	5,05	251,78
SO ₄	194	0,022	23,04

Nilai Cl merupakan unsur anion yang mendominasi area penelitian dengan rata-rata 453,84 mg/l. Konsentrasi maksimum nilai Cl ditemukan di sepanjang pesisir Kec.Pademawu yang berbatasan dengan laut dan merupakan area pertanian garam. Kondisi tersebut mengindikasikan asal-usul unsur Cl dapat dipengaruhi oleh proses penyusupan air laut maupun infiltrasi endapan garam ke dalam tanah. Selain itu kondisi tersebut juga bisa disebabkan oleh limbah industri atau domestik (Kumar et al., 2014).

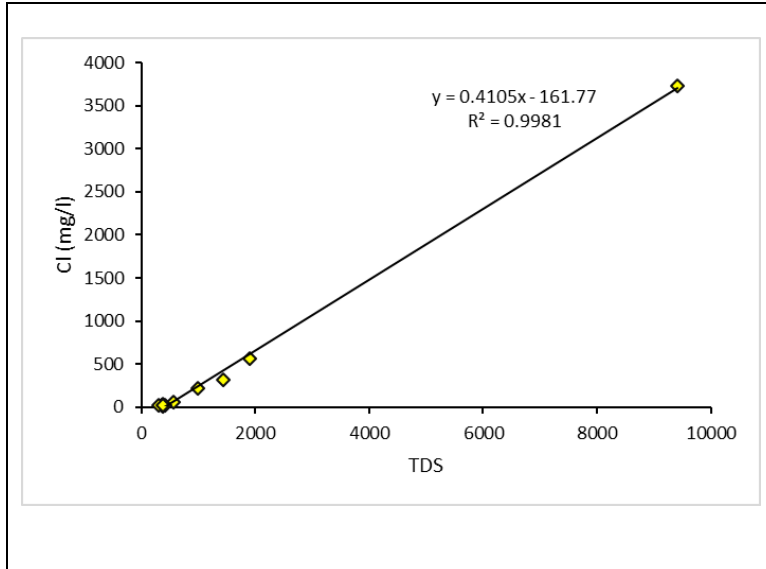
Nilai rata-rata unsur SO₄ mencapai 23,04 mg/l dengan konsentrasi tertinggi berada pada area pesisir. Kondisi tersebut hasil dari proses pencucian dan aktivitas antropogenik (Revelle, 1941). Nilai konsentrasi anion dengan urutan tertinggi hingga terendah HCO₃>Cl>SO₄ merupakan tipe yang merepresentasikan daerah penelitian sebesar 82% dari keseluruhan sampel yang dianalisis. Nilai anion Cl>SO₄>HCO₃ dan Cl>HCO₃>SO₄ masing-masing bernilai 18% dan 0%. Hasil analisis anion kembali membuktikan bahwa daerah penelitian dikontrol infiltrasi air tambak garam dan kondisi geologi bawah permukaan dengan dicirikan persentase tinggi nilai HCO₃ dan Cl. Reaksi dominan dan proses geokimia yang mengontrol

kimia air tanah dapat diidentifikasi menggunakan rasio molar ion. Secara umum HCO_3 dalam sistem air tanah mewakili air tawar, sedangkan konsentrasi Cl adalah sebagian besar dikendalikan oleh air laut (Kumar *et al.*, 2014).

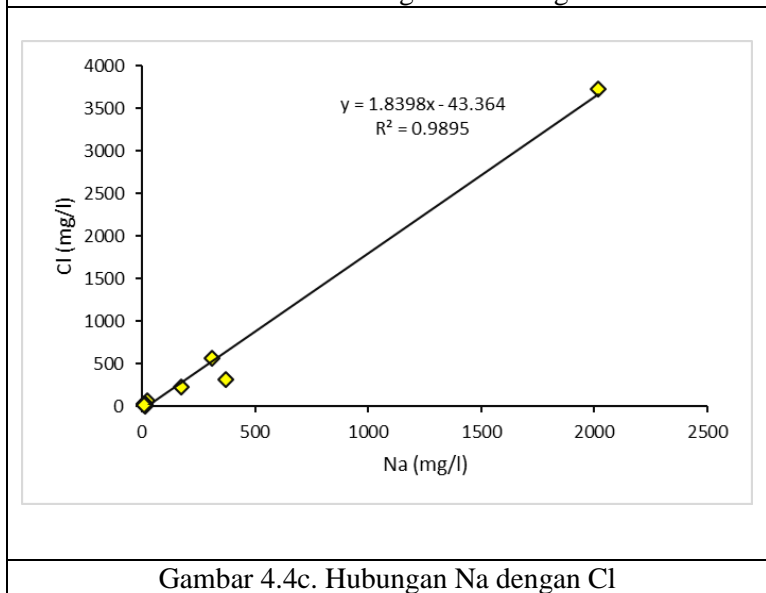
Grafik hubungan antara TDS dengan Cl dan HCO_3 pada daerah penelitian menunjukkan korelasi positif, namun nilai korelasi yang mendekati 1 berada pada grafik hubungan TDS terhadap Cl (Gambar 4.4a, b). Grafik korelasi tersebut dapat diinterpretasikan bahwa sistem air tanah tidak tertekan di daerah penelitian dikendalikan oleh proses infiltrasi air tambak garam. Keberadaan tambak garam di sekitar lokasi sumur-sumur gali dapat dijadikan sebagai salah satu faktor pemicu sistem air tanah di daerah pesisir Pademawu dan sekitarnya terpengaruh proses infiltrasi air laut. Selain itu banyak sampel yang menunjukkan grafik hubungan linear untuk unsur Na terhadap Cl yang mengindikasikan beberapa sampel air tanah dipengaruhi oleh air laut (Gambar 4.4c). Menurut Kumar *et al.*, 2014 mengatakan bahwa secara umum HCO_3 ada di sistem air tanah mewakili air bersifat tawar, sedangkan konsentrasi Cl mengindikasikan bahwa air tanah dipengaruhi oleh air laut yaitu air tambak garam.



Gambar 4.4a. Hubungan TDS dengan HCO_3



Gambar 4.4b. Hubungan TDS dengan Cl



Gambar 4.4c. Hubungan Na dengan Cl

Gambar 4. 5 Grafik Hubungan TDS dengan HCO₃, Cl dan Na dengan Cl

Daerah penelitian merupakan wilayah pesisir pantai yang air tanahnya dapat dipengaruhi oleh air laut. Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh air asin tersebut dapat digunakan perbandingan klorida-bikarbonat sebagai kriteria untuk menentukan pengaruh air laut (Revelle, 1941). Klorida adalah ion dominan yang terdapat pada air laut dalam keadaan normal hanya terdapat dalam jumlah yang

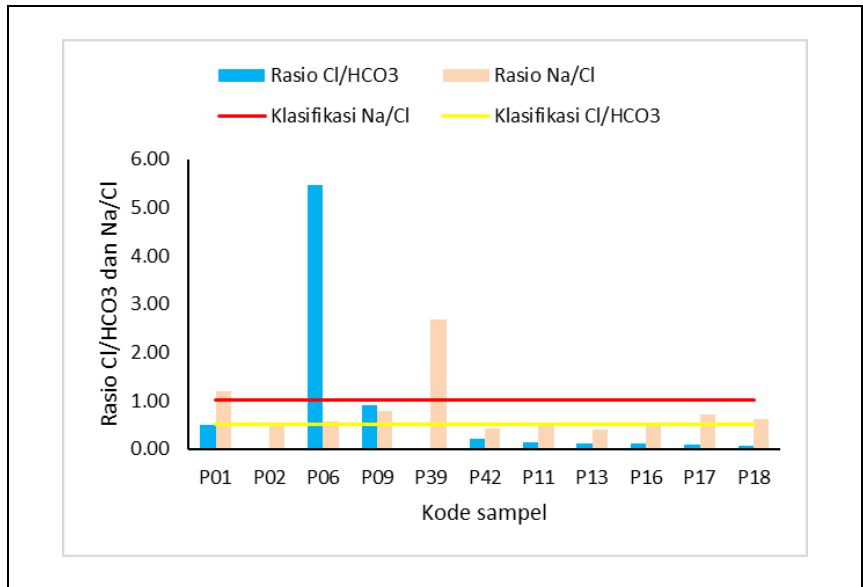
sedikit dalam air tanah. Sedangkan ion bikarbonat biasanya melimpah dalam air tanah dan sedikit terdapat dalam air laut. Berikut merupakan hasil analisis perbandingan nilai rasio Cl/HCO_3 , memperlihatkan nilai $<0,5$ hampir di seluruh sampel air tanah daerah penelitian, kecuali pada tiga percontohan dengan nilai rasio $>0,5$ (Gambar 4.5a).

Nilai rasio $\text{Cl}/\text{HCO}_3 <0,5$ dapat diinterpretasikan bahwa air tanah tidak dipengaruhi oleh air laut (Revelle, 1941). Rasio Na/Cl yang tinggi (>1) mencirikan karakter sumber antropogenic. Sedangkan rasio $\text{Na}/\text{Cl} <1$ menunjukkan Cl berasal dari kontaminasi air laut. Hasil rasio Na/Cl pada daerah penelitian menunjukkan terdapat 2 sampel air tanah memiliki rasio $\text{Na}/\text{Cl} >1$. Kondisi nilai rasio tersebut mengindikasikan bahwa adanya proses interaksi air tanah dengan batuan melalui proses hidrolisis dan reaksi asam basa (He and Li, 2013). Selain itu air tanah dengan nilai rasio $\text{Na}/\text{Cl} >1$ merupakan karakter klorida sumber antropogenic yang kemungkinan berasal dari pelarutan pupuk dan bahan zat kimia yang berasal dari pertanian maupun pabrik (Matahelumual, 2010). Namun berdasarkan karakteristik litologi penyusun, kondisi nilai rasio $\text{Na}/\text{Cl} >1$ dikarenakan pada akuifer daerah penelitian bersisipan dengan lapisan lempung. Unsur Ca^{2+} dan Mg^{2+} pada air akan tergantikan dengan Na^+ yang sebelumnya terabsorpsi pada permukaan mineral lempung. Proses tersebut akan menurunkan konsentrasi Ca^{2+} dan Mg^{2+} dan menaikkan konsentrasi ion Na^+ (Hidalgo and Cruz-Sanjulián, 2001).

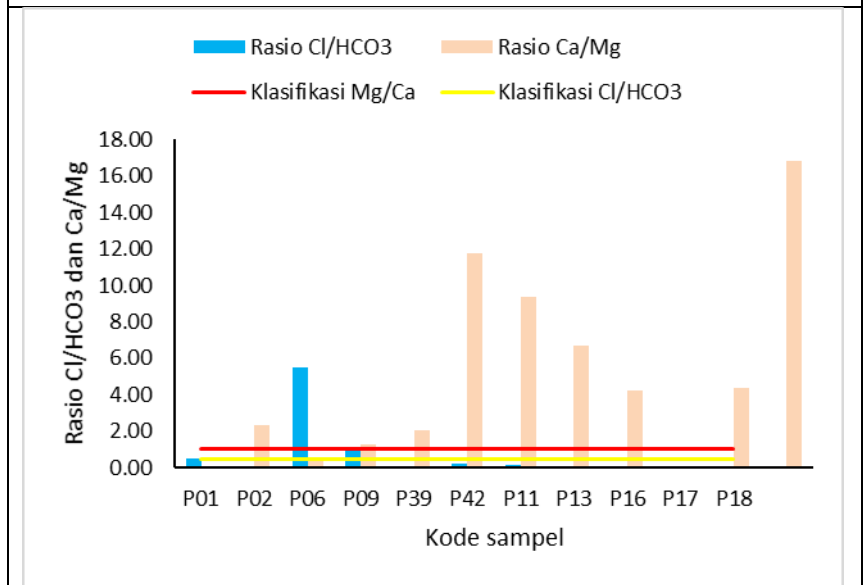
Air tanah relatif mengalami perjalanan jauh, tetapi tidak atau sedikit terpengaruh air laut. Sampel air tanah dengan nilai rasio $\text{Na}/\text{Cl} <1$ terdapat 9 sampel yang mengindikasikan adanya proses pencampuran air laut yang berasal dari tambak garam infiltrasi ke dalam akuifer (Shammas and Jacks, 2007). Secara umum nilai rasio $\text{Na}/\text{Cl} <1$ didominasi oleh sampel air tanah yang berada di kawasan pesisir Kec Pademawu yang merupakan kawasan pemukiman dan pertanian garam dengan jarak $<1\text{km}$ dari garis pantai.

Kondisi tersebut dapat diinterpretasikan bahwa dekatnya jarak antara sumur air tanah dengan garis pantai menyebabkan air tanah pada sumur gali tersebut mengalami proses pencampuran dengan air tambak garam (Gambar 4.6b). Namun berdasarkan nilai rasio Ca/Mg didominasi nilai rasio >1 (Gambar 4.6b) hal tersebut mengindikasikan bahwa air tanah di daerah penelitian belum terjadi proses infiltrasi

air tambak garam ke dalam akuifer. Pengayaan Ca sebagai ion utama membuktikan bahwa salah satu ion utama yang terkandung dalam air laut adalah Ca, oleh karena itu hasil rasio Ca/Mg >1. Selain itu berdasarkan nilai rasio Na/Cl <1 bahwa air tanah dipengaruhi oleh proses infiltrasi air laut pada pertanian garam ke dalam akuifer.



Gambar 4.6a. Grafik rasio Cl/HCO3 dan Na/Cl



Gambar 4.6b. Grafik rasio Cl/HCO3 dan Mg/Ca

Gambar 4. 6 Grafik rasio

4.1.3 Fasies Hidro geokimia Air Tanah

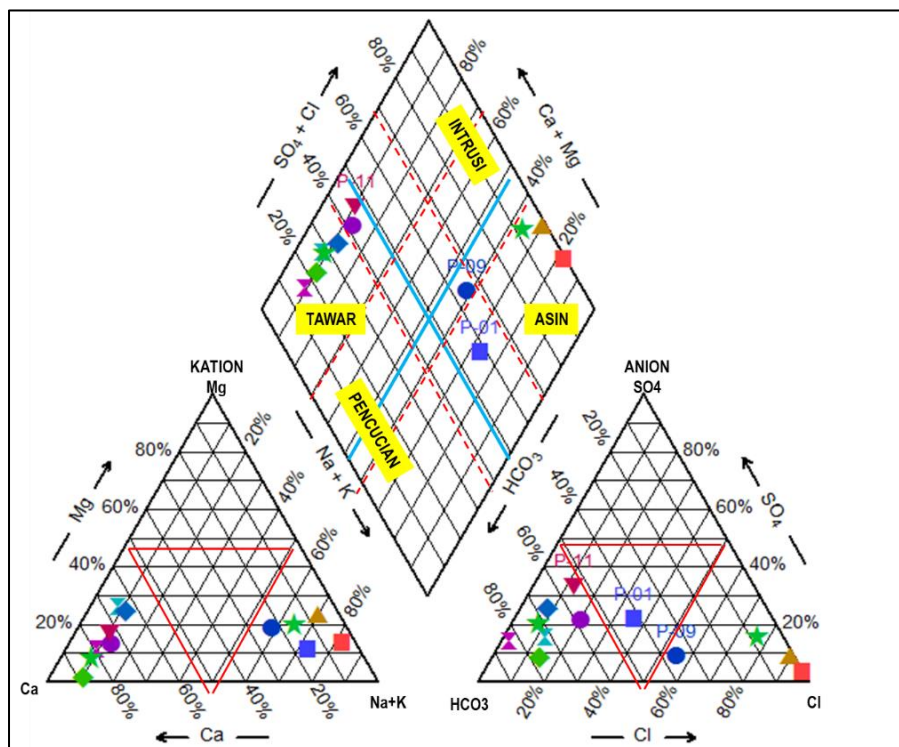
Hasil analisis kimia, facies air tanah di daerah penelitian terbagi menjadi 3 jenis facies air tanah (Gambar 4.6). Facies air tanah daerah penelitian meliputi facies Ca-HCO₃, Na-HCO₃ dan Na-Cl, penentuan facies air tanah tersebut berdasarkan urutan nilai masing-masing kation dan anion yang dominan. Secara umum facies hidro kimia daerah penelitian didominasi tipe Ca-HCO₃ sebanyak 64% dari keseluruhan sampel air tanah, selanjutnya tipe Na-Cl (27%) dan tipe Na-HCO₃ (8%). Tipe facies air tanah Ca-HCO₃ berada pada area litologi formasi Pamekasan (Qpp) tersusun atas konglomerat, batu pasir, batu lempung dan batu gamping, sedangkan facies Na-Cl dan Na-HCO₃ tersusun atas material endapan alluvial (Qa). Facies Ca-HCO₃ menunjukkan bahwa air dominan telah berinteraksi dengan batu gamping dan batu gamping dolomite (Setiawan et al., 2010).

Air tanah jenis ini juga memiliki komposisi kimia yang mirip dengan air hujan (Siftlanida et al., 2016). Air dengan kandungan bikarbonat umumnya berasal dari air tanah dangkal dan jenis air tanah muda. Sumber utama ion HCO₃ dalam air tanah adalah CO₂ terlarut dalam air hujan dan ketika berinfiltrasi pada lapisan tanah akan melarutkan lebih banyak lagi CO₂ (Muchamad et al., 2017). Peningkatan suhu atau penurunan tekanan menyebabkan penurunan kelarutan CO₂ dalam air, penguraian bahan organik dan SO₄ oleh bakteri memungkinkan melepas CO₂ selama proses disolusi. Air berubah dengan pelarutan mineral karbonat oleh CO₂ yang melewati tanah dan batuan, sehingga menghasilkan HCO₃. Air berubah dengan CO₂ terlarut mineral karbonat melewati tanah dan batuan, melepaskan HCO₃ (Ramesh., 2013). Tipe air Ca (HCO₃)₂ merupakan tipe air tawar yang belum terkontaminasi air laut, artinya tipe ini menjadikan indikasi air tanah yang berasal dari sumber asal air tanah.

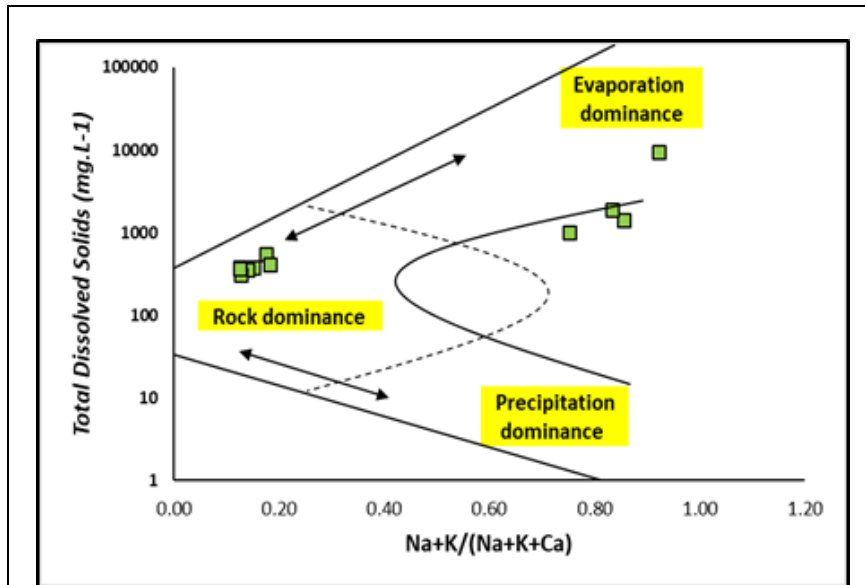
Tipe facies Na-Cl berdasarkan asal usul Cl yang terkandung dalam air tanah dapat dikaitkan dengan air laut yang kaya akan Na-Cl mencemari ke dalam akuifer. Evolusi hidro geokimia dari facies Ca-HCO₃ kemudian mengalami perubahan menjadi facies Na-HCO₃, dan berakhir menjadi facies Na-Cl. Jenis facies Na-Cl berhubungan dengan batuan penyusun berupa Endapan Aluvial (Qa) dan berada pada kawasan pesisir yang berbatasan langsung dengan laut dan area pertanian

garam. Selain itu facies Na-Cl dipengaruhi oleh faktor jarak terhadap laut dan area tambak garam. Tipe facies Ca-HCO₃ yang merupakan ciri khas pada air tanah tawar dan relatif berada pada kedalaman dangkal. Facies Ca-HCO₃ menunjukkan bahwa air dominan telah berinteraksi dengan batu gamping dan batu gamping dolomitan (Setiawan., 2010).

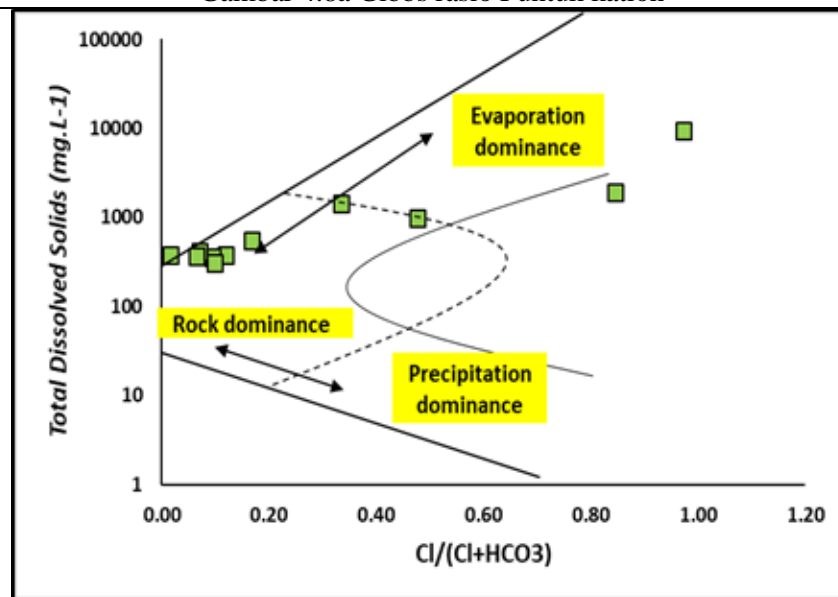
Sejumlah proses selain pertukaran ion juga dapat ditemukan selama pergerakan bawah permukaan air tanah. Metode yang paling logis untuk mengidentifikasi proses umur relatif seperti faktor penguapan, litologi (formasi) dan curah hujan adalah plot Gibb's (Gibbs, 1970). Hasil plot dari data geokimia pada diagram Gibb's yang memperlihatkan rasio dari $\frac{Na^{++} K^{+}}{Na^{++} K^{++} Ca^{2+}}$ untuk kation dan $\frac{Cl}{Cl+HCO_3}$ untuk anion (Gambar 4.8a, b). Diagram Gibbs relative digunakan untuk mengetahui hubungan antara komposisi air tanah dengan karakteristik litologi akuifer (Gibbs, 1970). Dominasi curah hujan, dominasi penguapan, dan dominasi interaksi batuan dengan air tanah adalah tiga bidang yang berbeda dari plot Gibbs diagram. Interaksi batuan dengan air tanah mendominasi area penelitian, hal tersebut menunjukkan interaksi antara kimia batuan dan kimia dari proses perkolasi air tanah.



Gambar 4. 7 Diagram piper fasies air tanah daerah penelitia



Gambar 4.8a Gibbs rasio I untuk kation



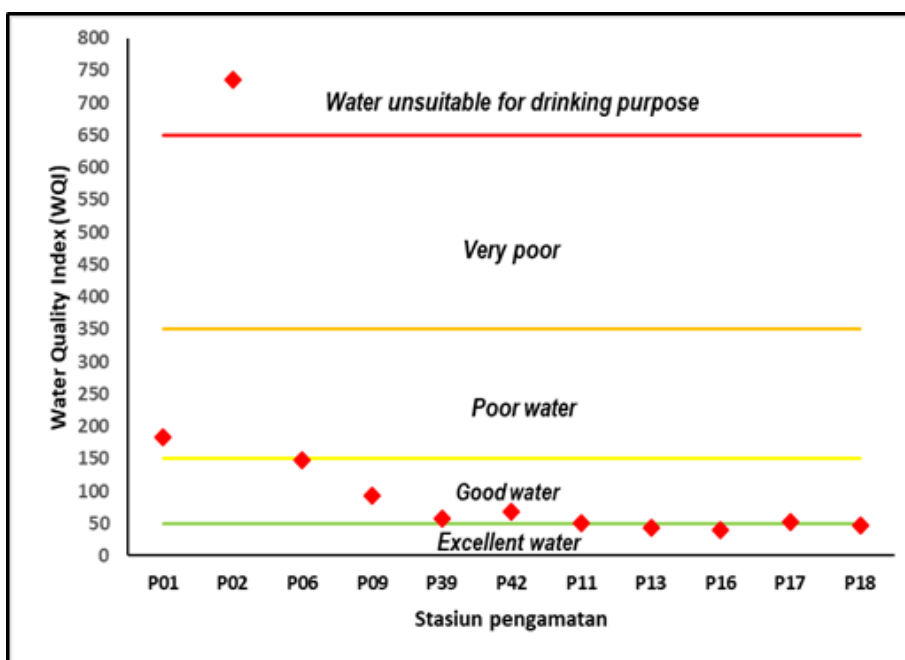
Gambar 4. 8b Gibbs rasio II untuk anion

Gambar 4.8 Gibbs rasio I dan II (kation dan anion)

4.1.4 Klasifikasi Kualitas Air Tanah

WQI (*Water Quality Index*) didefinisikan sebagai teknik penilaian yang memberikan pengaruh gabungan dari masing-masing parameter kualitas air pada kualitas air secara keseluruhan untuk konsumsi manusia (Mitra, 2006). Parameter kualitas air tanah yang digunakan sesuai dengan ketersediaan data serta parameter yang relatif penting dalam menentukan kualitas air untuk konsumsi manusia.

Standar yang ditetapkan untuk penilaian kategori kualitas air sesuai dengan pedoman persyaratan air minum yang dikeluarkan oleh Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 (Permenkes RI, 2010) dan (WHO (World Health Organisation of the United Nations), 2008). Perhitungan WQI dimulai dengan menentukan bobot ke parameter yang diukur berdasarkan tingkat kepentingannya. Hasil perhitungan WQI pada daerah penelitian menghasilkan nilai dengan rentang 39,01 – 736,42 sehingga masuk dalam 4 tipe kategori kualitas air tanah sangat baik (*excellent*), kategori baik (*good water*), kategori buruk (*poor water*) dan kategori tidak layak untuk menjadi air minum (*water unsuitable for drinking purpose*) (Gambar 4.9).



Gambar 4. 9 Klasifikasi WQI daerah penelitian

Secara umum kategori air tanah di kawasan pesisir Pademawu didominasi oleh kategori air tanah baik (*good*) sebanyak 45,45% dari keseluruhan sampel di daerah penelitian. Kategori sangat baik (*excellent*) 27,27%, kategori buruk 18,18% (*poor water*) dan satu contoh air tanah di sumur warga di sekitar area pertanian garam masuk kategori air tanah tidak layak untuk digunakan sebagai air minum (*water unsuitable for drinking purpose*). Klasifikasi index kualitas air tanah di daerah penelitian pada area pesisir dan kawasan pertanian garam didominasi

kategori baik hingga tidak layak, sumur gali yang berdekatan dengan tambak garam masuk dalam kategori tidak layak untuk air minum (P-02). Area yang tidak berbatasan dengan kawasan tambak garam masuk dalam kategori air tanah yang baik hingga sangat baik. Area tersebut berada di bagian utara dari pesisir Kec. Pademawu, area tersebut banyak digunakan sebagai pertanian tembakau oleh masyarakat sekitar.

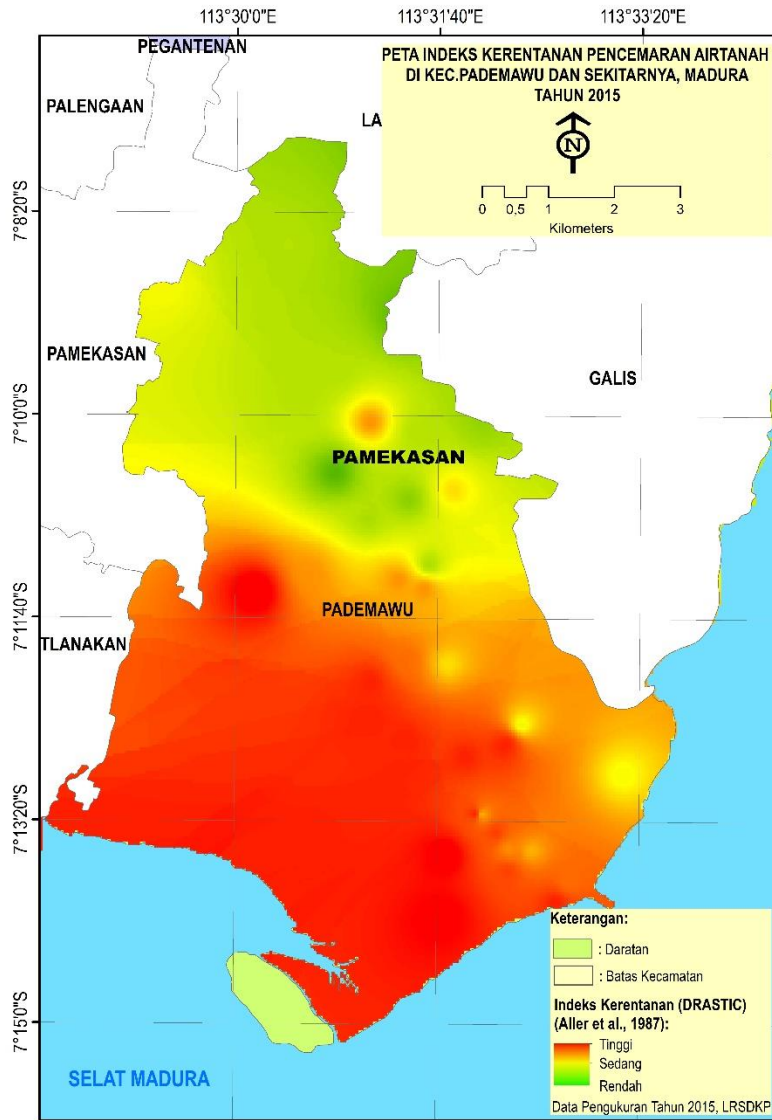
Beberapa sumber air tanah yang berasal dari sumur produksi di area penelitian (P-42, P-11, P-13) masuk dalam kategori sangat baik hingga baik. Namun hal tersebut selain jarak yang jauh dari pesisir dan pertanian garam, sumur-sumur produksi tersebut mengambil air tanah dalam, sehingga kontaminasi dari permukaan, baik secara antropogenik maupun alami tidak mempengaruhi akuifer tersebut. Area utara daerah penelitian juga tersusun atas litologi Qpp (Formasi Pamekasan) yang terdiri atas batu pasir dan batu gamping, sehingga kemungkinan besar akuifer hanya dipengaruhi oleh proses reaksi kimia batuan terhadap air tanah. Sumur-sumur produksi yang ada di daerah penelitian digunakan oleh warga untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, sehingga masyarakat pesisir Kec. Pademawu yang memiliki air sumur dengan rasa payau hingga asin, dapat menggunakan air sumur produksi tersebut.

4.2 Dinamika Kerentanan Air Tanah Model DRASTIC dan GALDIT

4.2.1 Dinamika zonasi kerentanan air tanah (Tahun 2015 terhadap 2020) pendekatan model DRASTIC

Indeks DRASTIC dikembangkan oleh Badan Perlindungan Lingkungan Amerika (Aller *et al.*, 1987) untuk mengidentifikasi kerentanan air tanah di seluruh negara. Model ini didasarkan pada sebuah konsep media hidrogeologi. Media hidrogeologi menggambarkan situasi kompleks dari semua kondisi geologi dan faktor hidrologi yang mempengaruhi aliran air tanah di titik masuk, arus keluar dan internal dari akuifer. Model ini terdiri dari tujuh parameter: kedalaman air tanah, curah hujan, media akuifer, jenis tanah, topografi, zona tak jenuh dan konduktivitas hidrolis. Parameter ini digunakan untuk menentukan kerentanan akuifer. Tabel 2.2

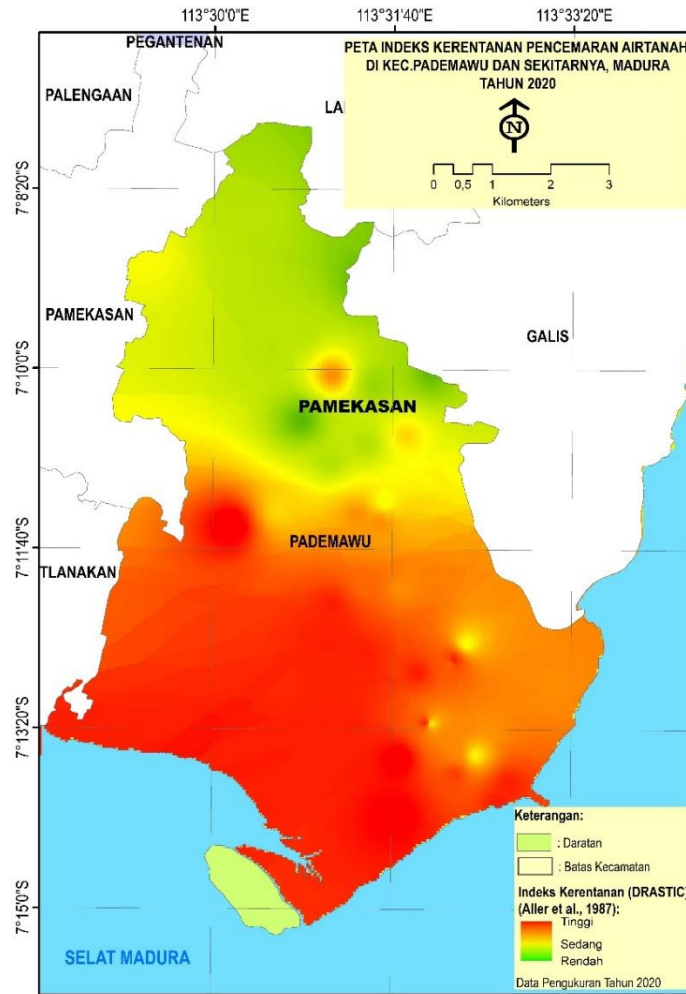
menunjukkan parameter DRASTIC beserta faktor bobot dan peringkat. Peta distribusi masing-masing zonasi kerentanan air tanah yang diolah menggunakan *ArcGIS 10.3* disajikan dalam Gambar 4.10 dan 4.11.



Gambar 4. 10 Model DRASTIC zonasi kerentanan air tanah tahun 2015

Hasil analisis dan perhitungan terhadap nilai indeks kerentanan zonasi air-tanah berdasarkan 7 parameter DRASTIC data tahun 2015 dan 2020 memperlihatkan bahwa zonasi kerentanan air tanah tinggi berada di bagian Selatan daerah penelitian yang berbatasan langsung dengan garis pantai. Namun dengan membandingkan data hasil pengolahan indeks kerentanan tahun 2015 terhadap tahun 2020, terlihat bahwa zonasi kerentanan air tanah tidak memperlihatkan

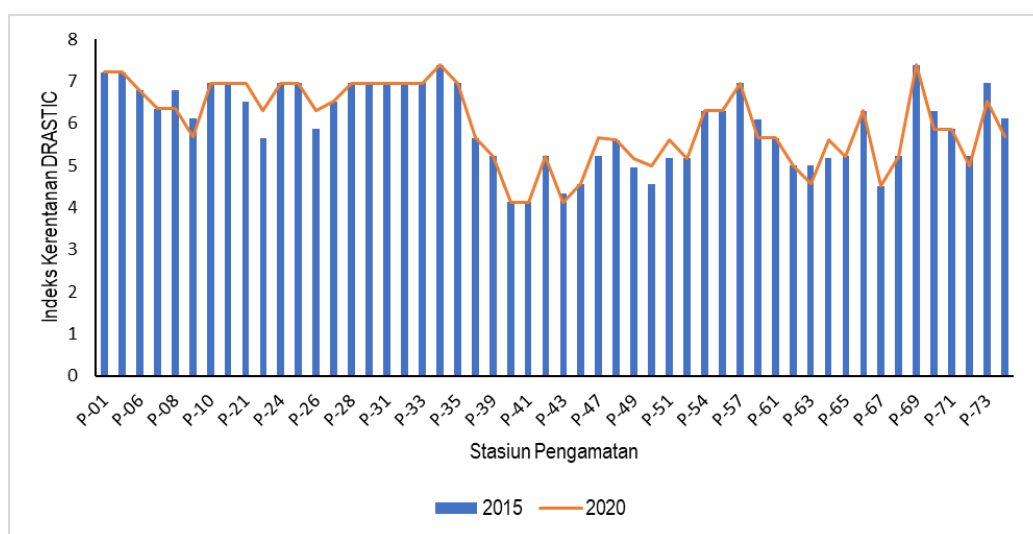
perubahan yang signifikan. Zonasi kerentanan air tanah sedang hingga rendah berada pada bagian tengah dan berangsur menjadi tingkat kerentanan rendah menuju bagian utara daerah penelitian. Zonasi kerentanan air tanah hasil 2 model pengolahan masih menunjukkan area tingkat kerentanan yang sama baik di tahun 2015 maupun 2020.



Gambar 4. 11 Model DRASTIC zonasi kerentanan air tanah Tahun 2020

Hasil penilaian indeks kerentanan dari setiap 7 parameter DRASTIC yang dibandingkan antara data tahun 2015 dengan 2020 tidak memperlihatkan adanya perubahan yang signifikan (Gambar 4.10). Berdasarkan 7 parameter DRASTIC yang mengalami perubahan yaitu parameter kedalaman air tanah (D) dengan rata-rata perubahan kedalaman air tanah hanya mencapai 0,14 m di setiap stasiun pengamatan. Namun parameter lain seperti curah hujan (R), media akuifer (A), tipe

tanah (S), topografi (T), pengaruh zona vadose (I) dan konduktivitas hidrolik (C) merupakan parameter yang bersifat statis, sehingga tidak memperlihatkan perubahan yang signifikan terhadap pengaruh alam maupun antropogenik. Kondisi curah hujan juga yang seharusnya bersifat dinamis, namun berdasarkan data yang diperoleh bahwa rata-rata curah hujan per tahun di Kecamatan Pademawu dan sekitarnya pada tahun 2015 mencapai 1089 mm/tahun, sedangkan curah hujan tahun 2020 mencapai 837,967 mm/tahun. Kondisi tersebut tidak mempengaruhi nilai akhir dari indeks kerentanan DRASTIC.



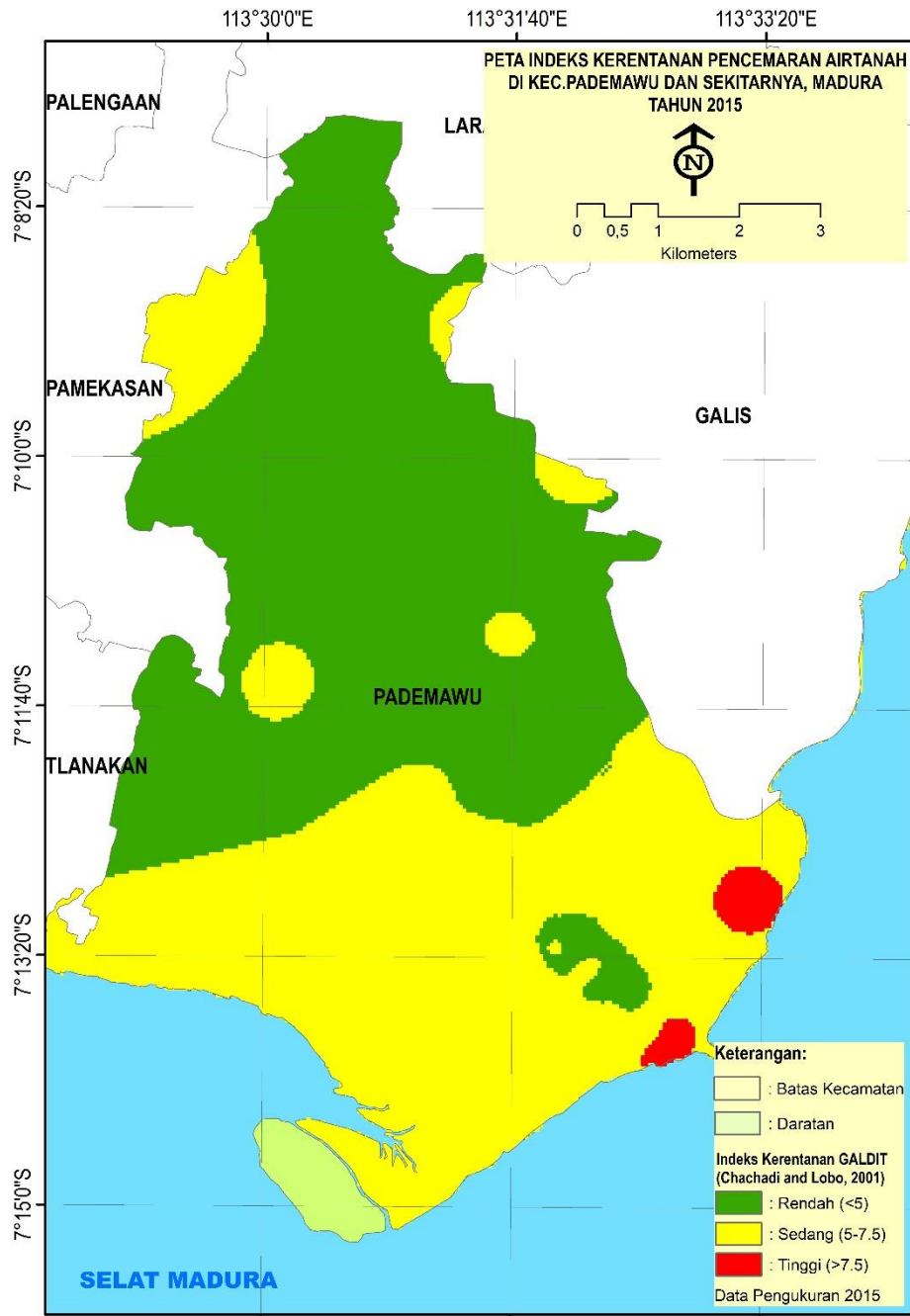
Gambar 4. 12 Grafik nilai indeks kerentanan DRASTIC tahun 2015 terhadap 2020

Keberadaan tambak garam yang ada di bagian Selatan daerah penelitian dan berbatasan langsung dengan kawasan pemukiman masih masuk dalam zona kerentanan air tanah tinggi hingga sedang. Peta zonasi model kerentanan air tanah DRASTIC hanya memperlihatkan tinggi dan rendahnya faktor hidrogeologi dan hidrologi yang dapat mempengaruhi tingkatan kerentanan air tanah di lokasi penelitian yang dapat disebabkan oleh faktor antropogenik maupun factor alam. Sehingga kondisi tersebut terlihat pada hasil zonasi kerentanan air tanah tahun 2015 terhadap 2020 yang tidak memperlihatkan dinamika yang signifikan. Sehingga analisis lain untuk mendukung model DRASTIC sangat dibutuhkan untuk mengetahui faktor penyebab tingkat kerentanan air tanah yang ada di lokasi penelitian.

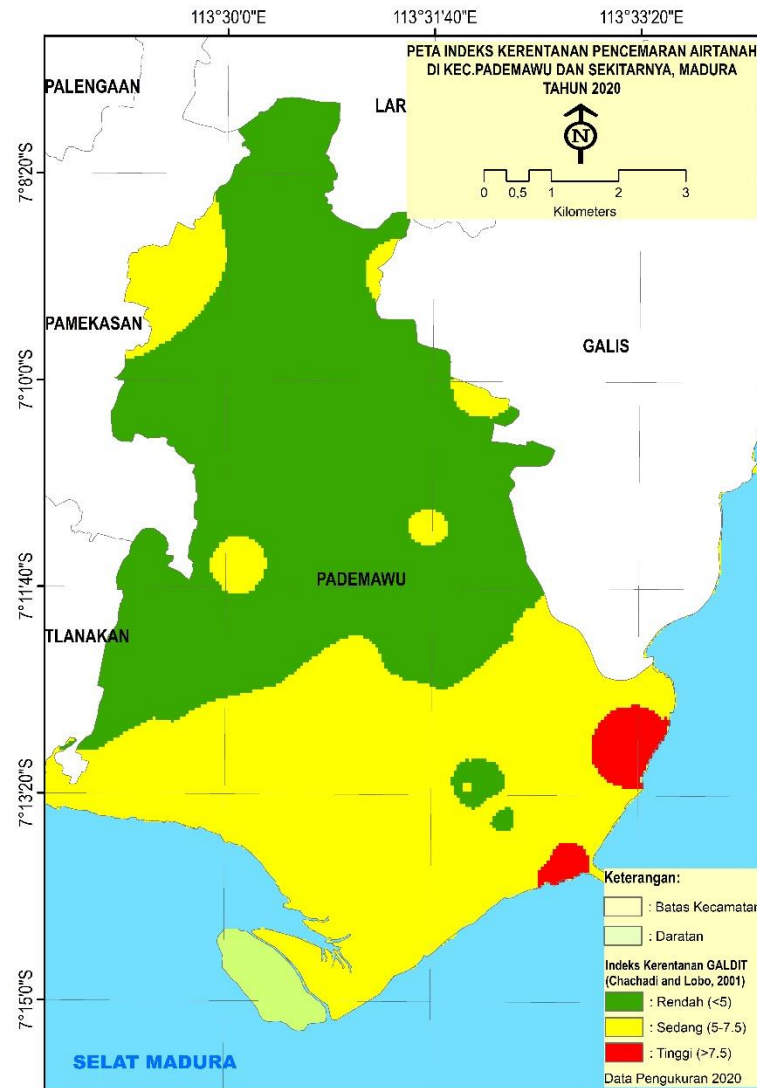
4.2.2 Dinamika zonasi kerentanan air tanah (Tahun 2015 terhadap 2020) pendekatan model GALDIT

Indeks GALDIT dapat memprediksi kerentanan akuifer untuk intrusi air laut maupun kerentanan cemaran sumber antropogenik dengan menggabungkan factor hidrogeologi dan data morfologi. Data menggambarkan keadaan dari akuifer yang diselidiki dan mengategorikan data ke dalam parameter berbeda yang diberi peringkat dan bobot yang sesuai. Data tersebut kemudian digabungkan dalam persamaan GALDIT. Dalam penelitian ini model GALDIT zonasi kerentanan air tanah dilakukan untuk mengetahui dinamika (perubahan) zonasi kerentanan air tanah dalam kurun waktu 2015 terhadap 2020. Peta akhir zonasi indeks GALDIT dikembangkan dan dikategorikan setelah mengestimasi parameter berdasarkan Tabel 2.5. seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.13 dan 4.14. Hasil dari perhitungan diindeks model zonasi kerentanan air tanah pada tahun 2015 terlihat bahwa zonasi kerentanan air tanah berada pada bagian selatan daerah penelitian, sedangkan area tengah dan menuju Utara daerah penelitian berangsur berubah menjadi zonasi kerentanan sedang hingga rendah.

Hasil yang sama juga diperlihatkan pada model GALDIT zonasi kerentanan air tanah tahun 2020, tidak memperlihatkan perubahan zonasi tingkat kerentanan yang signifikan. Hasil perhitungan data indeks kerentanan tahun 2015 yang dibandingkan dengan data perhitungan tahun 2020 memperlihatkan tidak adanya perbedaan nilai indeks kerentanan yang signifikan (Gambar 4.14). Berdasarkan parameter yang diperoleh pada tahun 2020 hanya parameter kedalaman air tanah yang terjadi perubahan terhadap data tahun 2015. Sedangkan parameter lainnya seperti tipe akuifer (G), konduktivitas hidrolis (A), ketebalan akuifer (T) tidak mengalami perubahan, karena beberapa parameter tersebut tidak terpengaruh oleh perubahan atau pencemaran baik secara alam maupun antropogenik.



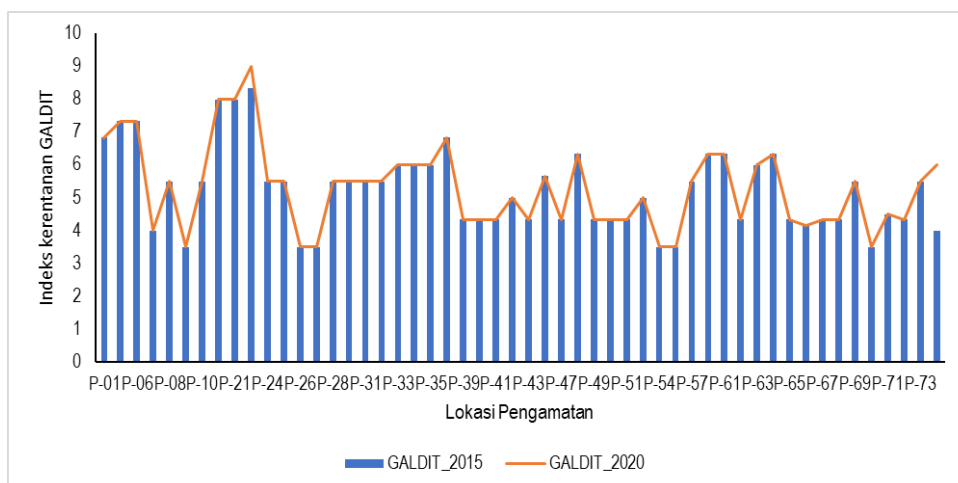
Gambar 4. 13 Model GALDIT zonasi kerentanan air tanah Tahun 2015



Gambar 4. 14 Model GALDIT zonasi kerentanan air tanah Tahun 2020

Parameter jarak air tanah terhadap garis pantai (D) mengalami perubahan dengan rata-rata perubahan jaraknya mencapai 83,61 m, kondisi tersebut dikarenakan adanya pengaruh dinamika pesisir berupa fenomena abrasi, kemunduran garis pantai karena pengaruh faktor hidro-oseanografi. Selain itu parameter pengaruh status air laut terhadap air tanah (I) juga memperlihatkan adanya perubahan berdasarkan konversi nilai daya hantar listrik (DHL) air tanah dengan nilai rata-rata penurunan nilai DHL 422,71 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Berdasarkan kondisi perubahan yang tidak terlalu signifikan pada beberapa parameter GALDIT, menjadi salah satu faktor indeks kerentanan GALDIT antara tahun 2015 terhadap 2020 tidak memperlihatkan perubahan yang signifikan.

Metode interpolasi yang digunakan untuk proses pembuatan peta model kerentanan air tanah DRASTIC dan GALDIT, serta beberapa nilai fisik kimia air tanah seperti kedalaman air tanah, nilai DHL maupun TDS yaitu menggunakan kriging. Kriging merupakan suatu metode interpolasi yang menghasilkan prediksi atau estimasi tak bias dan memiliki kesalahan minimum. Metode estimasi ini menggunakan variogram yang merepresentasikan perbedaan spasial dan nilai diantara semua pasangan sampel data. Variogram juga menunjukkan bobot yang digunakan dalam interpolasi. Pada metode Ordinary Kriging, nilai-nilai sampel yang diketahui dijadikan kombinasi linier untuk menaksir titik-titik di sekitar lokasi sampel (Ruseffandi and Gusman, 2020).



Gambar 4. 15 Grafik nilai indeks kerentanan GALDIT tahun 2015 terhadap 2020

4.2.3 Model penilaian kinerja model DRASTIC dan GALDIT menggunakan ukuran evaluasi statistik

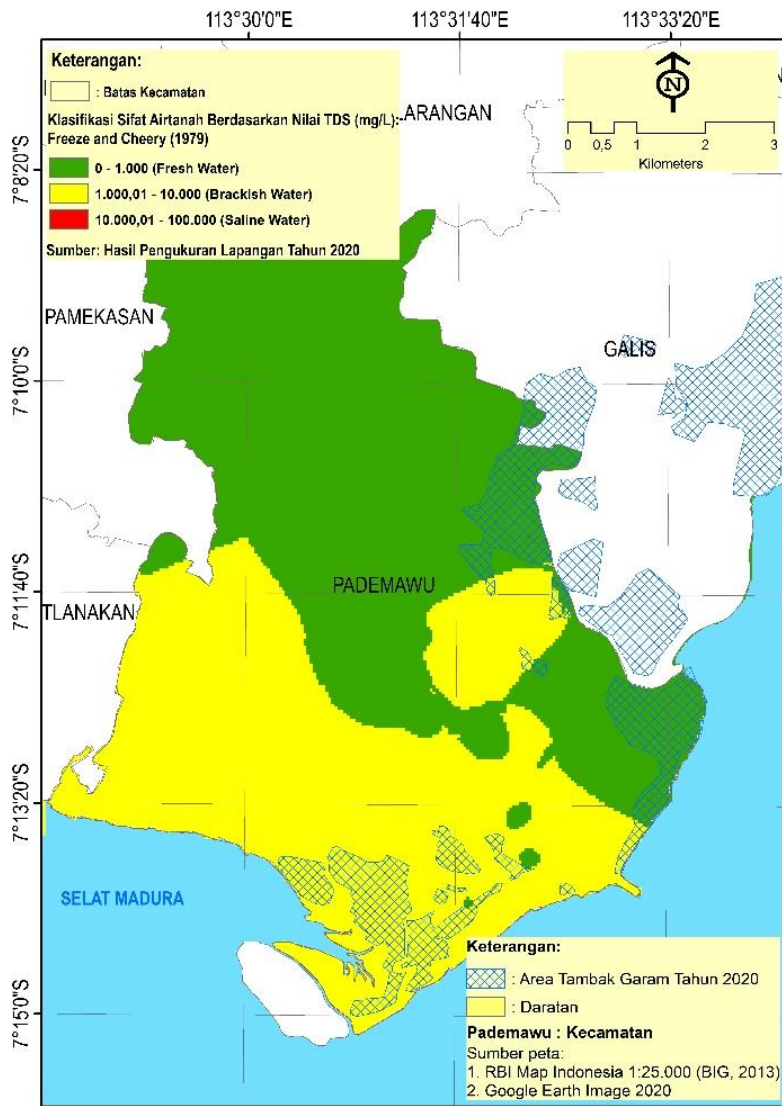
Akuifer pesisir merupakan jenis akuifer yang memiliki tingkat kerentanan yang lebih tinggi. sehingga perlu menilai dan mengetahui indeks kerentanan dalam hal parameter kualitas air tanah. Oleh karena itu, 52 sampel diukur parameter kualitasnya pada November 2020 yang digunakan untuk menghitung faktor korelasi (Gambar 4.15). Hasil penentuan tingkat kerentanan kedua metode tersebut dibandingkan dengan parameter TDS, DHL, Na, NO₃ dan Cl, menggunakan analisis statistik dan regresi. Salinitas adalah parameter yang berhubungan dengan komponen kimia terlarut. Dalam penelitian ini salinitas diwakili oleh nilai kation

(Na) dan anion (Cl). Selain itu, TDS dipilih untuk mewakili salinitas total. Nitrat adalah parameter yang biasanya mencapai air tanah dari permukaan. Karena itu, nitrat merupakan parameter utama mengetahui indikasi kontaminasi pencemaran di lahan pertanian yang mudah mencapai air tanah.

Berdasarkan hasil perhitungan analisis statistik dan faktor korelasi dari nilai regresi yang ditunjukkan pada Tabel 4.2, kedua indeks tersebut memiliki hubungan yang sama untuk parameter kualitas, bahwa keduanya paling sedikit berkorelasi dengan nitrat dan TDS. Selain itu, kedua metode tersebut terkait erat dengan nilai Na dan Cl, dengan korelasi yang lebih tinggi untuk GALDIT. Hal tersebut dapat diinterpretasikan bahwa air tanah pada daerah penelitian sangat dipengaruhi oleh keberadaan ion klorida dan natrium yang berasal dari air laut, dalam hal ini kemungkinan tambak garam. Klorida dan Natrium adalah ion dominan yang terdapat pada air laut dan dalam keadaan normal hanya terdapat dalam jumlah sedikit di dalam air tanah.

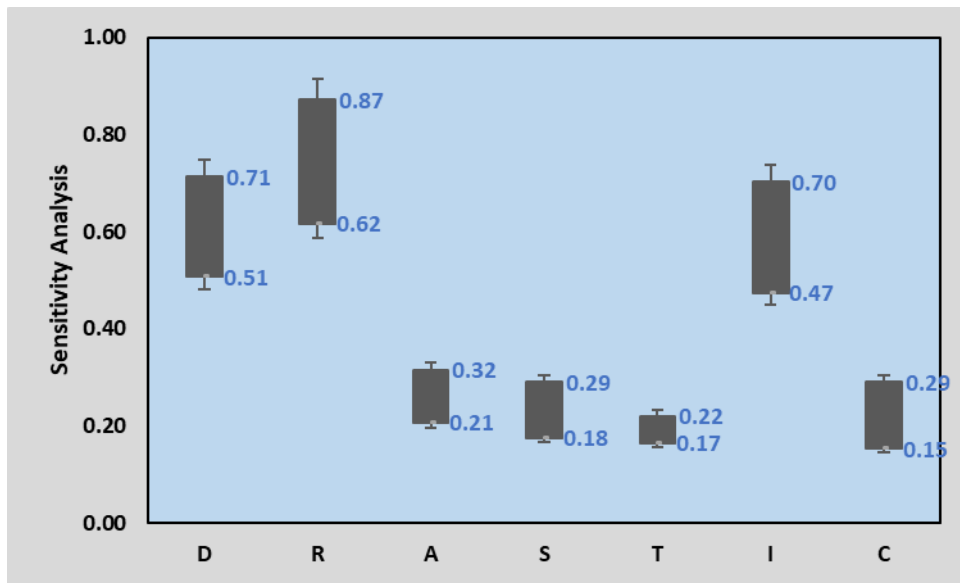
Tabel 4. 2 Koefisien korelasi parameter kualitas dengan parameter GALDIT

INDEX	Correlation Coefficient				
	NO ₃	Na	Cl	TDS	DHL
GALDIT	0,16	0,728	0,64	0,02	0,28
DRASTIC	0,08	0,23	0,26	0,15	0,04

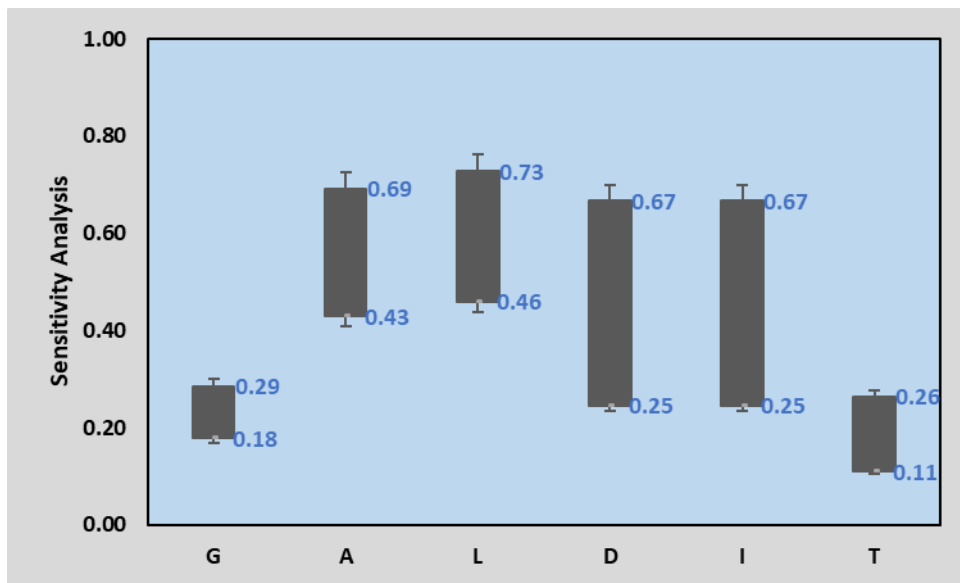


Gambar 4. 16 Distribusi konsentrasi TDS daerah penelitian

Bobot efektif untuk model GALDIT dan DRASTIC model diperkirakan menggunakan metode yang diusulkan oleh Babiker *et al.*, (2005) . Analisis sensitivitas indeks kerentanan terhadap setiap parameter DRASTIS dan GALDIT ditampilkan pada Gambar 4.17 dan Gambar 4.18. Berdasarkan hasil analisis sensitivitas ini, laju pengisian kembali (curah hujan) dan kedalaman air tanah memiliki bobot paling efektif di kedua model dengan 73% di GALDIT dan 87% di metode DRASTIC. Topografi dan ketebalan akuifer menunjukkan efektivitas terendah di metode DRASTIC dan GALDIT.



Gambar 4. 17 Hasil sensitivitas analisis untuk metode DRASTIC



Gambar 4. 18 Hasil sensitivitas analisis untuk metode GALDIT

Aplikasi model kerentanan dengan DRASTIC dan GALDIT faktor salinitas berupa Na dan Cl merupakan parameter efektif untuk menyelidiki kerentanan air tanah di daerah penelitian. Validasi dilakukan berdasarkan nilai regresi yang tinggi antara hasil yang diperoleh dari model DRASTIC dan GALDIT terhadap Na dan Cl, sebagai parameter kualitas air. Keluaran dari model GALDIT menunjukkan regresi 72% dan 64% antara indeks kerentanan dengan konsentrasi Na dan Cl.

Kondisi tersebut membuktikan bahwa lebih dari 30% akuifer tercemar oleh keberadaan air asin (tambak garam) berdasarkan peta distribusi konsentrasi TDS (Gambar 4.15).

Keluaran dari model juga menginterpretasikan bahwa parameter lain selain laju pengisian kembali (curah hujan/R) parameter kedalaman air tanah (D) dan *Impact of the vadose zone* (I) merupakan parameter paling signifikan dalam model DRASTIC. Evaluasi atau upaya mitigasi untuk indeks ini yaitu dengan mengatur kedalaman sumber air tanah yang sesuai dan tidak terkontaminasi oleh air asin dari tambak garam. Parameter pengaruh zona di atas air tanah juga dapat dilakukan pengaturan titik lokasi pengeboran untuk memperoleh air tanah harus mempertimbangkan karakteristik lapisan batuan di atasnya. Parameter tersebut menentukan bergerak atau tidaknya kontaminan menuju akuifer.

Begitupun pada model GALDIT faktor lain yang mempengaruhi tingkat kerentanan air tanah selain kedalaman air tanah (L), parameter konduktivitas hidrolik (A) dan jarak dari pantai (D) merupakan parameter paling signifikan dalam model GALDIT. Parameter konduktivitas hidrolik sangat dipengaruhi oleh permeabilitas intrinsik dari material dan tingkat kejenuhan nya. Kedua faktor tersebut mengendalikan perpindahan dan dispersi kontaminan dari titik injeksi dalam zone jenuh. Upaya mitigasi yang dapat dilakukan dengan penentuan zona nilai konduktivitas terendah untuk dilakukan pengambilan air tanah. Sedangkan evaluasi dan mitigasi faktor parameter jarak dari pantai (D) dapat mengarahkan rencana aksi larangan untuk ekstraksi air tanah juga pengeboran agar tidak berdekatan dengan garis pantai atau berdekatan dengan area tambak garam.

4.3 Isu strategis kerentanan air tanah lokasi penelitian

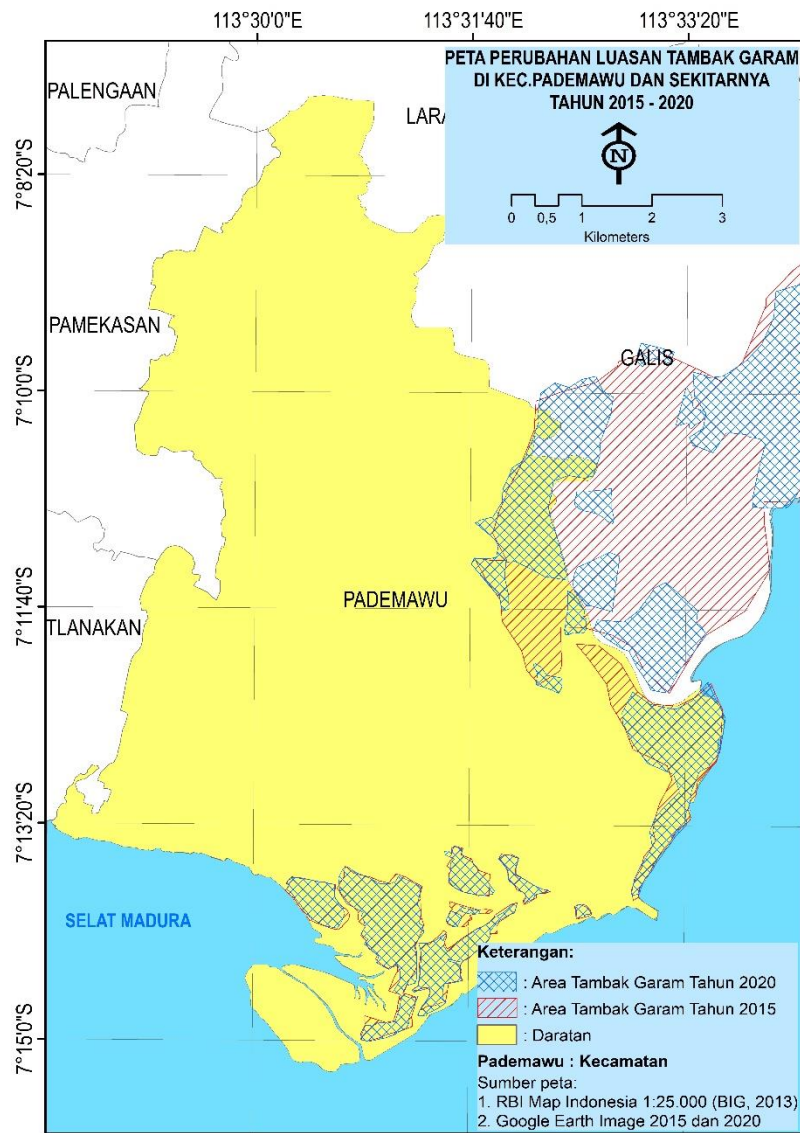
Beberapa faktor terjadinya perubahan karakteristik sifat air tanah yang ada di lokasi penelitian pada tahun 2015 bersifat payau-asin, namun pada tahun 2020 berubah menjadi agak payau. Hasil penelitian, pengukuran terhadap parameter fisik-kimia air tanah serta wawancara warga sekitar lokasi dapat diketahui isu strategis perubahan kerentanan air tanah sebagai berikut:

4.3.1 Perubahan tata guna lahan tambak garam

Hasil pengukuran terhadap nilai salinitas air tanah pada bagian selatan daerah penelitian mengalami penurunan. Area tersebut merupakan kawasan pesisir yang berbatasan langsung dengan air laut dan tambak garam. Hasil pengukuran terhadap sampel air tambak garam dan air laut sekitar lokasi penelitian terukur nilai salinitas berkisar 3,25 – 4,0%. Salah satu faktor pemicu terjadinya peningkatan nilai salinitas air tanah pada tahun 2015 yaitu adanya kontak air tanah terhadap infiltrasi tambak garam dan air laut. Kondisi material tanah di pesisir Pademawu dan sekitarnya berupa pasir bercampur dengan lempung akan mengikat air laut dengan kuat. Selain itu kondisi morfologi bagian Selatan Pademawu merupakan kawasan dengan morfologi yang landai dengan material alluvium menjadi salah satu faktor penyebab tingginya salinitas air tanah pada tahun 2015.

Namun nilai salinitas air tanah pada tahun 2020 ini mengalami penurunan sehingga, dapat dikatakan bahwa salah satu pemicu penurunan nilai salinitas air tanah di bagian selatan adalah berkurangnya kontak air tambak garam terhadap air tanah sekitar. Kondisi tersebut dapat dibuktikan dengan hasil tumpang tindih (*overlay*) pemetaan luasan area tambak garam tahun 2015 terhadap tahun 2020 (4.19). Hasil peta tumpang tindih area tambak garam tersebut terlihat jelas bahwa adanya penurunan penggunaan lahan sebagai tambak garam di tahun 2020.

Penurunan luasan area tata guna lahan sebagai tambak garam pada tahun 2020 berada pada area pesisir Pademawu bagian tenggara, kondisi tersebut berkorelasi dengan nilai DHL dan salinitas air tanah yang mengalami penurunan, sehingga menyebabkan sifat air tanah area tersebut berubah dari air asin menjadi air payau dan air payau menjadi air agak payau (Gambar 4.19). Penurunan luasan area tata guna lahan tambak garam berdampak positif terhadap kondisi air tanah di sekitar. Keberadaan tambak garam dapat diinterpretasikan sebagai isu strategis penentuan kebijakan untuk mengurangi tingkat pencemaran air tanah di kawasan pesisir Kec.Pademawu dan sekitarnya.



Gambar 4. 19 Peta tumpang tindih area tambak garam tahun 2015 terhadap 2020

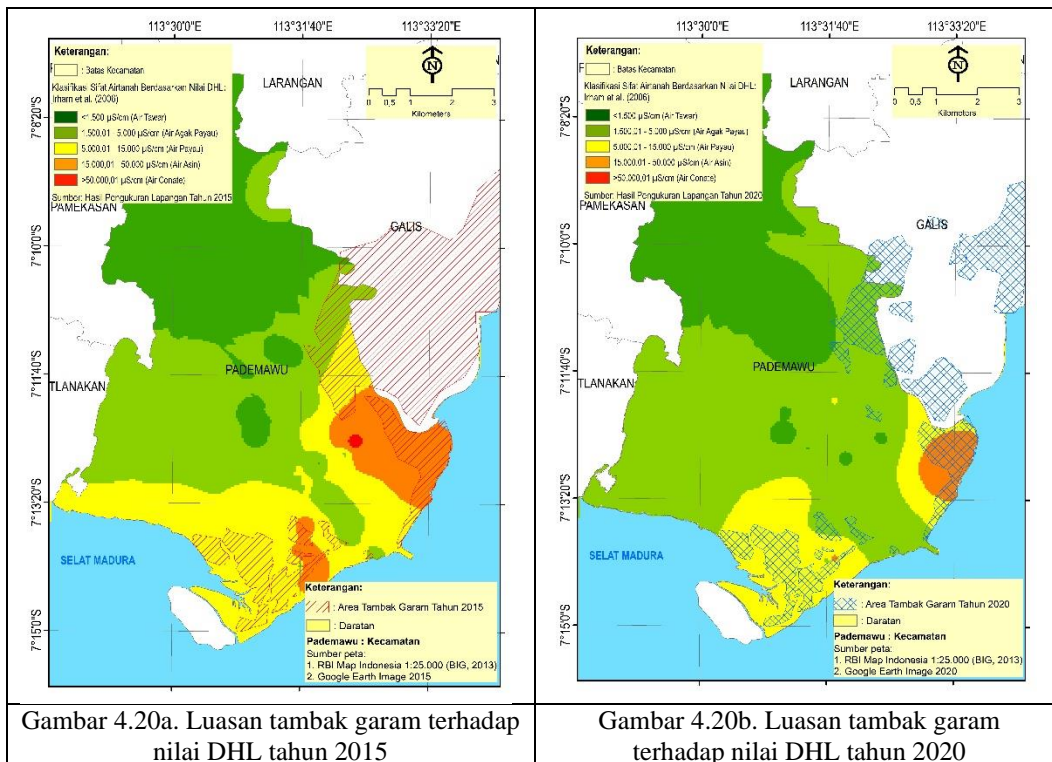
Interpretasi dampak perubahan area tambak garam dalam kurun waktu 2015 dan 2020 terhadap kualitas air tanah di lokasi penelitian dapat dilakukan dengan pendekatan nilai DHL. Nilai konduktivitas atau Daya Hantar Listrik merupakan ukuran dari kemampuan larutan untuk menghantarkan arus listrik. Semakin banyak garam-garam terlarut yang dapat terionisasi, maka semakin tinggi pula nilai DHL. Tingkat kerusakan kondisi lingkungan air tanah dapat diketahui dengan analisis kualitasnya berdasarkan parameter *conductivity* (gambaran numerik dari kemampuan air untuk menghantarkan arus listrik tergantung pada kandungan

garam-garam terlarut yang dapat terionisasi dalam air pada temperatur saat pengukuran dilakukan) (Ruseffandi and Gusman, 2020).

Berdasarkan peta tumpang tindih antara nilai DHL terhadap luasan area tambak garam tahun 2015 memperlihatkan bahwa nilai DHL pada area sekitar tambak garam masuk dalam kategori air connate, air asin, air payau dan air agak payau. Nilai DHL pada tahun 2015 berkisar antara 1500 - >50.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, yang didominasi oleh zonasi kategori air tanah bersifat payau (5.000,01- 15.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) dan air asin (15.000,01 – 50.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Area zonasi air payau hingga air asin merupakan kawasan yang bertumpang tindih dengan tambak garam (Gambar 4.20a).

Berbeda dengan hasil pemetaan nilai DHL terhadap luasan area tambak garam tahun 2020, memperlihatkan adanya perubahan zonasi kategori air tanah. Pada bagian selatan dan tenggara daerah penelitian di dominasi oleh zonasi air tanah bersifat payau dan asin, sedangkan pada tahun 2020 zonasi tersebut berubah menjadi area zonasi air tanah bersifat agak payau (Gambar 4.20b). Perubahan zonasi sifat air tanah tersebut diinterpretasikan bahwa adanya pengaruh luasan area tambak garam yang mengalami perubahan antara tahun 2015 terhadap 2020. Pada tahun 2020 luasan area tambak garam relatif menurun dibandingkan tahun 2015.

Secara teoritis air laut memiliki nilai konduktivitas yang tinggi karena mengandung banyak senyawa kimia yang mengakibatkan tingginya nilai salinitas dan DHL. Oleh karena itu peta tumpang tindih antara nilai DHL dan area tambak garam dapat memprediksi kondisi air tanah daerah penelitian tercemar oleh air laut dari tambak garam yang dilihat dari pola penyebaran nilai DHL terhadap luasan area tambak garam. Semakin menurun luasan tambak garam, secara teoritis nilai konduktivitas akan semakin kecil. Hal tersebut terlihat jelas pada peta tumpang tindih antara nilai DHL terhadap area tambak garam tahun 2020.



Gambar 4.20a. Luasan tambak garam terhadap nilai DHL tahun 2015

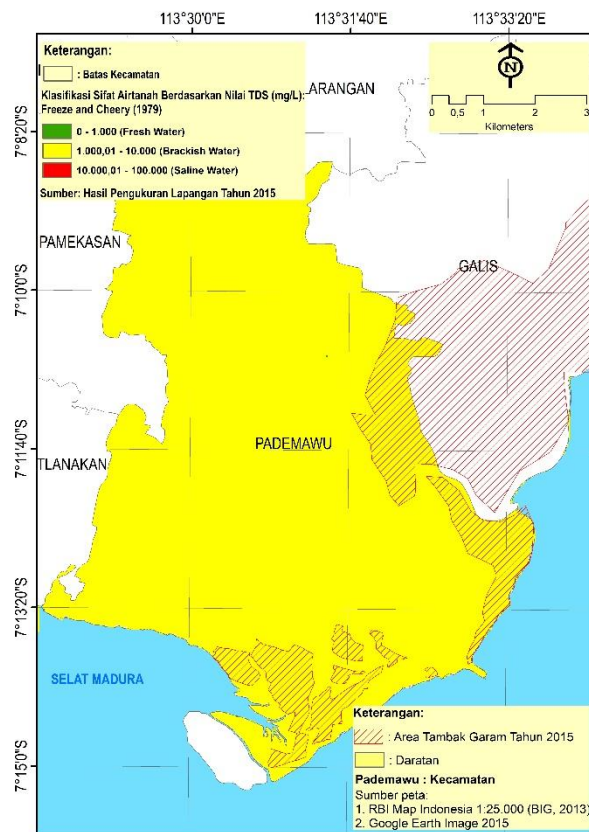
Gambar 4.20b. Luasan tambak garam terhadap nilai DHL tahun 2020

Gambar 4. 20 Peta overlay nilai DHL terhadap area tambak garam tahun 2015 dan 2020

Penelitian yang dilakukan di bulan Oktober 2020 pada area studi memperlihatkan kondisi iklim yang berbeda dengan tahun 2015 yang memiliki curah hujan yang sangat rendah. Namun pada tahun 2020 tingkat curah hujan cukup, dimana hampir setiap hari terjadi hujan dengan intensitas sedang. Hal tersebut juga dikatakan oleh para warga sekitar serta petani tambak garam, bahwa sejak bulan September 2020 terjadi peningkatan curah hujan. Kondisi tersebut memaksa para petani tambak garam untuk merubah aktifitas tambak garam menjadi perkebunan sayur atau tidak mengaktifkan tambak garam.

Peningkatan curah hujan di area penelitian, berkorelasi dengan penurunan tata guna lahan sebagai tambak garam di tahun 2020. Selain itu dapat diinterpretasikan semakin tinggi curah hujan dapat menyebabkan terjadinya pengenceran air tambak garam atau air laut yang mengandung unsur Cl cukup tinggi, sehingga kadar Cl yang kontak dengan air tanah akan menurun. Fenomena tersebut yang menyebabkan nilai DHL dan salinitas menurun di tahun 2020 dibandingkan dengan tahun 2015.

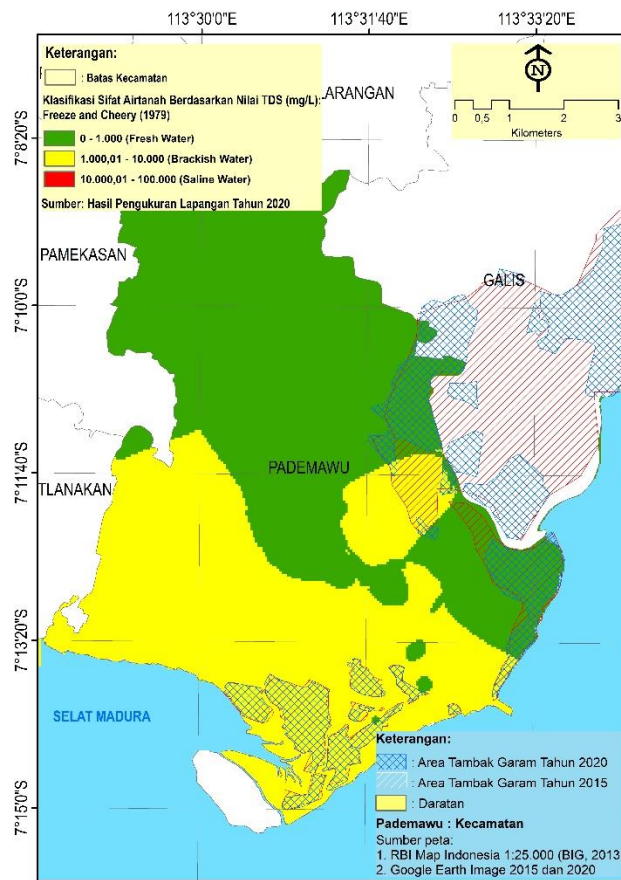
Penilaian terhadap nilai TDS air tanah di daerah penelitian dilakukan untuk mengetahui zonasi karakteristik sifat air tanah. Kelarutan zat padat dalam air atau disebut sebagai *total Dissolved solid* (TDS) adalah terlarut nya zat padat, baik berupa ion, berupa senyawa, koloid di dalam air. Setiap air tanah memiliki nilai TDS yang berbeda-beda tergantung dari jumlah konsentrasi ion-ion terlarut di dalamnya. Nilai TDS 0-1000 (mg/L) masuk dalam kategori jenis air *fresh water*, 1000-10.000 (mg/L) *brackish water* dan 10.000-100.000 (mg/L) *saline water* (Freeze and Cherry, 1979). Hasil peta interpolasi nilai TDS pengukuran tahun 2015 menunjukkan nilai TDS lebih dari 1000 mg/L, sehingga masuk dalam jenis air *brackish water* (Gambar 4.21).



Gambar 4. 21 Peta nilai TDS terhadap area tambak garam tahun 2015

Hampir keseluruhan wilayah penelitian masuk dalam zonasi jenis air *brackish water*, terutama pada area yang bertumpang tindih dengan kawasan tambak garam memiliki nilai TDS lebih dari 1300 mg/L. Sedangkan area utara daerah penelitian hanya berkisar 1013 – 1020 mg/L. Kondisi tersebut mengindikasikan adanya pengaruh keberadaan tambak garam terhadap nilai TDS

air tanah di daerah penelitian. Perubahan nilai TDS terlihat jelas pada hasil pengukuran tahun 2020, jenis air tanah daerah penelitian terbagi menjadi 2 jenis air, yaitu *fresh water* dan *brackish water* (Gambar 4.22). Bagian selatan daerah penelitian didominasi oleh nilai TDS lebih besar dari 1000 mg/L, dan berangsur menurun <1000 mg/L menuju bagian utara daerah penelitian, sehingga masuk dalam jenis air *fresh water*.



Gambar 4. 22 Peta nilai TDS terhadap area tambak garam tahun 2015 dan 2020

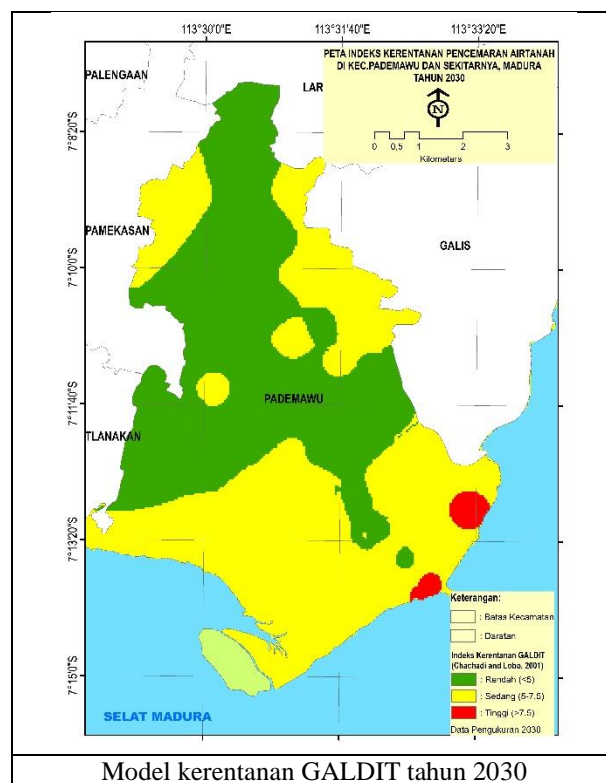
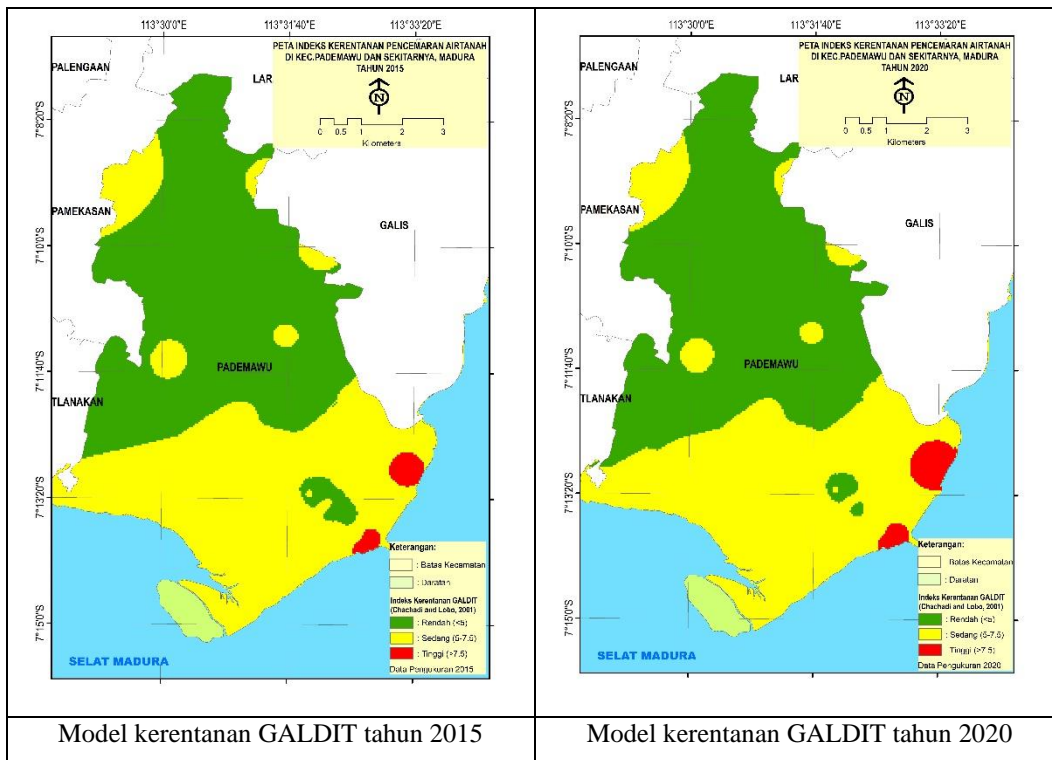
Perubahan zonasi jenis air tanah pada daerah penelitian diikuti oleh perubahan area tambak garam. Area tambak garam tahun 2015 terlihat meluas di bagian selatan dan tenggara daerah penelitian, sehingga kawasan tersebut masuk dalam jenis air *brackish water*. Sedangkan pada tahun 2020 area tambak garam berkurang di bagian tenggara daerah penelitian, diikuti oleh perubahan nilai TDS menjadi < 1000 mg/L dan masuk jenis *fresh water* hingga utara daerah penelitian.

Kondisi zat padat terlarut pada air tanah dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya adalah kondisi lingkungan yang dilewati air serta kondisi litologi atau batuan dimana tempat air itu berada (akuifer). Kandungan nilai TDS berbanding lurus dengan nilai daya hantar listrik. Semakin tinggi nilai daya hantar listrik suatu air dapat mengindikasikan jumlah TDS yang dikandungnya semakin tinggi pula (Matahelumual, 2010). Hasil peta interpolasi nilai DHL dan TDS tahun 2015 serta 2020 memperlihatkan zonasi karakteristik jenis air tanah yang sama, dimana bagian selatan daerah penelitian masuk dalam kategori jenis air payau-asin (nilai DHL) dan brackish water (nilai TDS). Selain itu keberadaan area tambak garam memperlihatkan korelasi terhadap nilai DHL dan TDS, pada tahun 2015 dimana area tambak garam meluas di bagian selatan sehingga nilai DHL dan TDS meningkat. Sedangkan saat tahun 2020 luasan area tambak garam menurun menyebabkan nilai DHL dan TDS juga menurun.

4.3.2 Hasil model *forecast* kerentanan air tanah hingga 2030

Hasil Pemodelan kerentanan air tanah menggunakan model DRASTIC maupun GALDIT pada kurun waktu 2015 dan 2020 secara umum tidak memperlihatkan adanya perubahan yang signifikan. Oleh karena itu dibutuhkan *forecast* (peramalan) terhadap zonasi kerentanan air tanah dalam kurun waktu lebih dari tahun 2020. Model *forecast* diperoleh berdasarkan nilai perbedaan antara setiap parameter DRASTIC maupun GALDIT yang diperoleh nilai selisih dan kemudian dijadikan sebagai nilai tetap setiap parameter yang kemudian dikalikan dengan jumlah tahun yang ingin diramalkan tingkat kerentanan air tanahnya.

Berdasarkan perhitungan peramalan nilai kerentanan air tanah dengan model GALDIT pada tahun 2030 memperlihatkan adanya perubahan yang cukup signifikan pada bagian selatan daerah penelitian (Gambar 4.23). Zonasi kerentanan air tanah sedang (kuning) terlihat meluas di tahun 2030 pada bagian selatan hingga tenggara daerah penelitian. Bagian tenggara daerah penelitian pada tahun 2015 dan 2020 masuk dalam zonasi kerentanan air tanah tingkat rendah (hijau), namun pada tahun 2030 terlihat berubah menjadi zonasi kerentanan air tanah tingkat sedang.



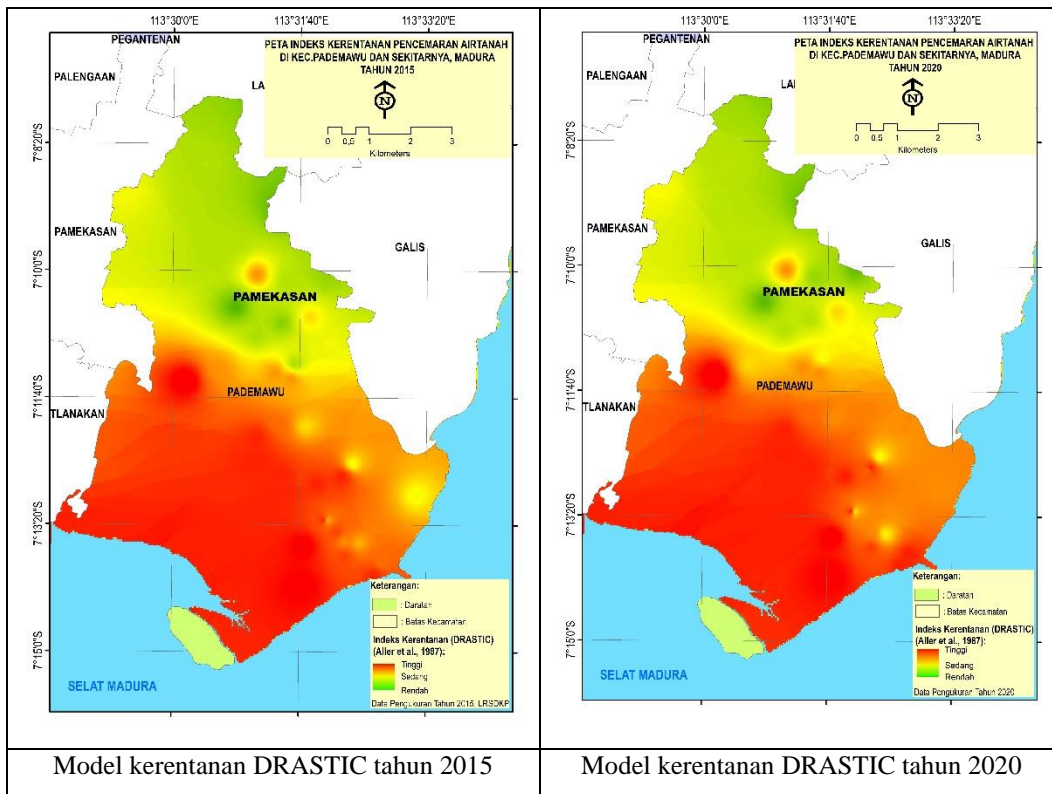
Gambar 4. 23 Model kerentanan air tanah (GALDIT) 2015, 2020 dan 2030

Hasil model *forecast* kerentanan air tanah GALDIT pada tahun 2030 mengindikasikan adanya peningkatan tingkat kerentanan air tanah. Hasil peta

zonasi kerentanan air tanah dengan model GALDIT pada tahun 2030 memperlihatkan semakin meluasnya zonasi kerentanan air tanah sedang (kuning) di seluruh wilayah penelitian hingga mencapai lebih dari 50%. Sedangkan di tahun 2015 dan 2020 zonasi kerentanan air tanah didominasi tingkat kerentanan air tanah rendah (hijau) yang mencapai hampir 50% dari luas daerah penelitian.

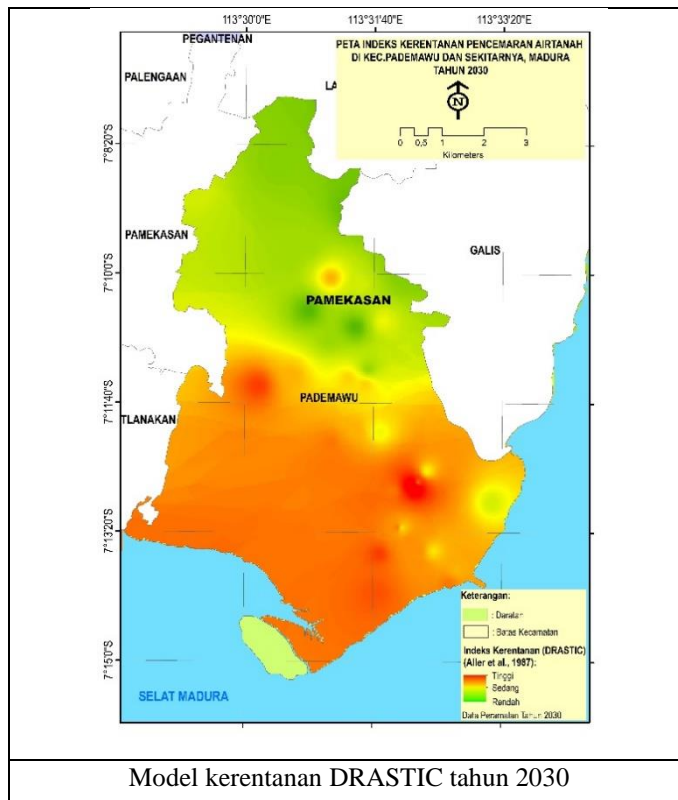
Model peramalan kerentanan air tanah dengan model DRASTIC pada tahun 2030 berdasarkan perhitungan diperoleh zonasi tingkatan kerentanan air tanah yang tidak terlalu signifikan berubah antara tahun 2015 dan 2020. Namun berdasarkan peta zonasi kerentanan air tanah DRASTIC tahun 2030 memperlihatkan adanya perbedaan zona kontur. Kontur yang dibuat berdasarkan kesamaan nilai indeks kerentanan, air tanah, garis kontur zonasi kerentanan tinggi (merah) cukup meluas pada tahun 2030 dibandingkan tahun 2015 dan 2020.

Berbeda dengan hasil peramalan zonasi kerentanan air tanah model GALDIT, hasil forecast kerentanan air tanah tahun 2030 dengan model DRASTIC hanya sedikit memperlihatkan perubahan zonasi tingkat kerentanan air tanah. Kondisi tersebut dapat diinterpretasikan bahwa dalam parameter DRASTIC hanya nilai kedalaman air tanah dan parameter curah hujan yang memberikan perubahan. Parameter DRASTIC lainnya merupakan parameter alamiah yang tidak dapat dilakukan peramalan perubahan nilai setiap parameter nya. Model kerentanan air tanah GALDIT memperlihatkan perubahan yang signifikan pada tahun 2030 dikarenakan terdapat 3 parameter GALDIT yang dapat berubah yaitu parameter *Level above mean sea (L)*, *Distance from coast (D)* dan *Impact of existing intrusion (I)*, sehingga memperlihatkan perubahan zonasi tingkat kerentanan air tanah yang cukup signifikan.



Model kerentanan DRASTIC tahun 2015

Model kerentanan DRASTIC tahun 2020



Model kerentanan DRASTIC tahun 2030

Gambar 4. 24 Model kerentanan air tanah (DRASTIC) 2015, 2020 dan 203

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BAB 5
KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

1. Parameter fisik air tanah daerah penelitian hasil perbandingan data tahun 2015 terhadap 2020 memperlihatkan adanya perubahan seperti nilai DHL dengan rata-rata penurunan mencapai 2779,94 $\mu\text{S}/\text{cm}$, nilai salinitas juga mengalami penurunan hingga 0,119%. Kondisi penurunan nilai DHL dan salinitas berkorelasi dengan penurunan luasan area tambak garam ini menyebabkan, infiltrasi air tambak garam yang mencemari air tanah dangkal juga berkurang. Selain itu nilai pH juga mengalami perubahan dengan nilai rata-rata penurunan 0,33. Kondisi kedalaman muka air tanah yang dangkal, akan meningkatkan potensi tingkat pencemaran air tanah oleh faktor infiltrasi air tambak garam ke dalam air tanah.
2. Facies hidro kimia air tanah didominasi oleh facies Ca-HCO_3 kemudian Na-HCO_3 dan Na-Cl . Nilai rasio Na/Cl (rata-rata 0,81/ <1) dan Ca/Mg (rata-rata 17,7/ >1) nilai rasio tersebut menunjukkan bahwa air tanah daerah penelitian telah terjadi proses pencampuran air laut ke dalam akuifer dengan kategori penyusupan air laut sedikit hingga agak tinggi. Kondisi tersebut disebabkan oleh proses infiltrasi air tambak garam ke dalam akuifer. Konsentrasi maksimum ion Cl ditemukan di sepanjang pesisir Kec. Pademawu, yang mengindikasikan proses infiltrasi endapan air garam ke dalam akuifer air tanah dangkal. Berdasarkan hasil analisis sensitivitas laju pengisian kembali (curah hujan) dan kedalaman air tanah memiliki bobot paling efektif di kedua model dengan 73% di GALDIT dan 87% di metode DRASTIC. Kondisi tersebut dapat diinterpretasikan bahwa apabila kondisi curah hujan meningkat, akan mempercepat proses pengenceran air tambak garam dan semakin mudah menginfiltrasi akuifer air tanah dangkal. Selain itu tingkat kedalaman air tanah juga menjadi penentu kecepatan suatu pencemaran menuju muka air tanah dangkal. Topografi dan ketebalan akuifer menunjukkan efektivitas terendah di metode DRASTIC dan GALDIT.
3. Perbandingan hasil analisis dan Pemodelan zonasi kerentanan air tanah DRASTIC dan GALDIT 2015 terhadap 2020, tidak memperlihatkan adanya peningkatan maupun penurunan yang signifikan. Area tingkat kerentanan

air tanah tinggi tetap berada di bagian Selatan daerah penelitian yang merupakan kawasan pertanian garam dan berangsur berubah menjadi tingkat kerentanan sedang hingga rendah menuju bagian Utara daerah penelitian. Hanya beberapa parameter DRASTIC maupun GALDIT yang bersifat dinamis namun perubahannya tidak terlalu signifikan.

Saran yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian meliputi:

1. Mendirikan stasiun sumur pantau dan melakukan pengukuran secara berkala untuk mengetahui karakteristik air tanah yang ada di sekitar area tambak garam, sehingga dengan adanya sumur pantai bisa diketahui karakteristik sifat air tanah berdasarkan kedalaman yang terpantau pada sumur pantau
2. Pengaturan titik lokasi pengeboran untuk memperoleh air tanah dengan mempertimbangkan karakteristik lapisan batuan di atasnya, dikarenakan zona lapisan batuan di atasnya menjadi faktor penentu mudah atau tidaknya suatu polutan menginfiltrasi dan mencemari air tanah dangkal
3. Aksi larangan untuk ekstraksi air tanah dan pengeboran sumur air tanah agar tidak berdekatan dengan garis pantai atau berdekatan dengan area tambak garam, sehingga meminimalisir terjadinya proses infiltrasi air tambak terlebih terjadinya intrusi air laut.
4. Bekerjasama dengan pemerintah setempat untuk pengaturan system tata guna lahan area pemukiman terhadap tambak garam

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Abu-alnaeem, M. F. *et al.* (2018a) 'Assessment of groundwater salinity and quality in Gaza coastal aquifer, Gaza Strip, Palestine: An integrated statistical, geostatistical and hydrogeochemical approaches study', *Science of the Total Environment*. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.320.
- Abu-alnaeem, M. F. *et al.* (2018b) 'Assessment of groundwater salinity and quality in Gaza coastal aquifer, Gaza Strip, Palestine: An integrated statistical, geostatistical and hydrogeochemical approaches study', *Science of the Total Environment*, 615, pp. 972–989. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.320.
- Ahirwar, S. and Shukla, J. P. (2018) 'Assessment of Groundwater Vulnerability in Upper Betwa River Watershed using GIS based DRASTIC Model', *Journal of the Geological Society of India*. doi: 10.1007/s12594-018-0859-0.
- Aller, L. *et al.* (1987) 'DRASTIC : A Standardized Method for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings', *NWWA/Epa-600/2-87-035*.
- Arief Nur Muchamad, Boy Yoseph CSS Syah Alam, E. T. Y. (2017) 'Hidrogeokimia Airtanah Pada Daerah Pantai: Studi Kasus Dataran Rendah Katak, Desa Sumber Agung, Kabupaten Banyuwangi.', *Riset Geologi dan Pertambangan*, 27, pp. 39–46. doi: <http://dx.doi.org/10.14203/risetgeotam2017.v27.442>.
- B.K. Mitra, Choichi Sasaki, E. K. (2006) 'Spatial and temporal variation of ground water quality in sand dune area of aomori prefecture in Japan', *the American Society of Agricultural and Biological Engineers*, p. 1.
- Babiker, I. S. *et al.* (2005) 'A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan', *Science of the Total Environment*. doi: 10.1016/j.scitotenv.2004.11.005.
- Van Bemmelen, R. W. (1949) 'The Geology of Indonesia. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes', *Government Printing Office, The Hague*.
- BPS (2018) *Kecamatan Pademawu dalam Angka 2018*. Available at: <https://pamekasankab.bps.go.id/publication/download.html?nrbvfeve=MTBmYmU2ZGNINTIyNTdjN2VhYzFmYjIz&xzmn=aHR0cHM6Ly9wYW1la2FzYW5rYWUuYnBzLmdvLmlkL3B1YmVpY2F0aW9uLzIwMTgvMDkvMjYvMTBmYmU2ZGNINTIyNTdjN2VhYzFmYjIzL2tlY2FtYXRhbi1wYWRLbWF3dS1kYWxhbS1hbmdrYS0yMDE>.
- C, S. P. and D, N. (2015) 'EVALUATION OF GROUND WATER POLLUTION POTENTIAL USING DRASTIC MODEL: A CASE STUDY IN BERHAMPUR CITY, ORISSA', *International Journal of Geology, Earth & Environmental Sciences*, 5(3), pp. 55–61. Available at: https://www.cibtech.org/J-GEOLOGY-EARTH-ENVIRONMENT/PUBLICATIONS/2015/VOL_5_No_3/07-JGEE-007-

SAHU -EVALUATION.pdf.

- Chatterjee, R., Tarafder, G. and Paul, S. (2010) 'Groundwater quality assessment of Dhanbad district, Jharkhand, India', *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 69(1), pp. 137–141. doi: 10.1007/s10064-009-0234-x.
- Chen, S. K., Jang, C. S. and Peng, Y. H. (2013) 'Developing a probability-based model of aquifer vulnerability in an agricultural region', *Journal of Hydrology*. doi: 10.1016/j.jhydrol.2013.02.019.
- Citrayati, N., Antariksa and Titisari, E. Y. (2008) 'Permukiman Masyarakat Petani Garam Di Desa Pinggir Papas, Kabupaten Sumenep', *Arsitektur E-Journal*, 1(1), pp. 1–14.
- Clark, J. R. (1972) 'Integrated Management of Coastal Zones', in. Roma, Italia, p. 167.
- Durack, P. J., Wijffels, S. E. and Matear, R. J. (2012) 'Ocean salinities reveal strong global water cycle intensification during 1950 to 2000', *Science*. doi: 10.1126/science.1212222.
- Efendy, M., Sidik, R. F. and Muhsoni, F. F. (2014) 'Pemetaan potensi pengembangan lahan tambak garam di pesisir utara kabupaten pamekasan', *Jurnal Kelautan*, 7(1), pp. 1–11.
- Ferguson, G. and Gleeson, T. (2012) 'Vulnerability of coastal aquifers to groundwater use and climate change', *Nature Climate Change*, pp. 342–345. doi: 10.1038/nclimate1413.
- Fienen, M. N. *et al.* (2011) 'Using Models for the Optimization of Hydrologic Monitoring', *U.S. Geological Survey*.
- Freeze, R. A. and Cherry, J. A. (1979) *Groundwater*, Prentice-Hall.
- Gemilang, W. A. and Bakti, H. (2019) 'Kerentanan Air Tanah di Kawasan Pertanian Garam Pesisir Pademawu, Madura berdasarkan Karakteristik Hidrogeokimia dan Indeks Kualitas Air', *RISSET Geologi dan Pertambangan*. doi: 10.14203/risetgeotam2019.v29.1005.
- Gemilang, W. A. and Kusumah, G. (2016) 'Gejala Intrusi Air Laut Di Daerah Pesisir Padelegan, Pademawu Dan Sekitarnya', *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 9(2), pp. 99–106.
- Gemilang, W. A., Kusumah, G. and Wisna, U. J. (2017) 'Penilaian Kerentanan Airtanah Menggunakan Metode Galdit (Studi Kasus : Kawasan Pertanian Garam Pademawu , Madura-Indonesia)', *Jurnal Kelautan Nasional*.
- Gemilang, W. A., Wisna, U. J. and Kusumah, G. (2019) 'Identifikasi Kontaminasi Air Tanah Oleh Polutan Cl - di Kawasan Pertanian Garam , Kecamatan Pademawu , Pamekasan , Madura Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis Identification of Groundwater Contaminated by Cl - Pollutant in Salt Pond Pademawu Sub-Di', 20(1), pp. 9–18.

- Gibbs, R. J. (1970) 'Mechanisms controlling world water chemistry', *Science*, 170(3962), pp. 1088–1090. doi: 10.1126/science.170.3962.1088.
- Gopal Krishan, Surjeet Singh, Kumar CP, Garg PK, Suman Gurjar, G. N. and A. C. (2016) 'Assessment of Groundwater Quality for Drinking Purpose by Using Water Quality Index (WQI) in Muzaffarnagar and Shamli Districts, Uttar Pradesh, India', *Hydrology Current Research*, 7(1), pp. 1–4.
- Gopinath, S. *et al.* (2018) 'Hydrochemical characteristics and salinity of groundwater in parts of Nagapattinam district of Tamil Nadu and the Union Territory of Puducherry, India', *Carbonates and Evaporites*, 33(1). doi: 10.1007/s13146-016-0300-y.
- He, H. Y. and Li, X. G. (2013) 'Hydrochemical characteristics and evolution laws of shallow groundwater in Shuangliao city', *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 5(11), pp. 283–288.
- Hidalgo, M. C. and Cruz-Sanjulián, J. (2001) 'Groundwater composition, hydrochemical evolution and mass transfer in a regional detrital aquifer (Baza basin, southern Spain)', *Applied Geochemistry*. doi: 10.1016/S0883-2927(00)00078-0.
- Huang, G. *et al.* (2013) 'Impact of anthropogenic and natural processes on the evolution of groundwater chemistry in a rapidly urbanized coastal area, South China', *Science of the Total Environment*, 463–464, pp. 209–221. doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.05.078.
- Huizer, S. *et al.* (2018) 'Impact of coastal forcing and groundwater recharge on the growth of a fresh groundwater lens in a mega-scale beach nourishment', *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(2), pp. 1065–1080. doi: 10.5194/hess-22-1065-2018.
- Jang, W. S. *et al.* (2017) 'Aquifer vulnerability assessment for sustainable groundwater management using DRASTIC', *Water (Switzerland)*. doi: 10.3390/w9100792.
- Kardan Moghaddam, H., Jafari, F. and Javadi, S. (2017) 'Vulnerability evaluation of a coastal aquifer via GALDIT model and comparison with DRASTIC index using quality parameters', *Hydrological Sciences Journal*. doi: 10.1080/02626667.2015.1080827.
- Kehew, A. E. (2001) 'Applied Chemical Hydrogeology', *Prentice-Hall, Inc.*, p. 368p. doi: 10.1006/nbdi.2000.0328.
- Koesoemadinata, R. P. (1978) 'Sedimentary framework of Tertiary coal basins of Indonesia.', *Geology and mineral resources of Southeast Asia. Proc. 3rd regional conference, Bangkok, 1978*.
- Langmuir, D. (1978) 'Uranium solution-mineral equilibria at low temperatures with applications to sedimentary ore deposits', *Geochimica et Cosmochimica Acta*. doi: 10.1016/0016-7037(78)90001-7.

- Matahelumual, B. C. (2010) 'Kajian kondisi air tanah Jakarta tahun 2010', *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*.
- Michael, H. A. *et al.* (2017) 'Science, society, and the coastal groundwater squeeze', *Water Resources Research*, pp. 2610–2617. doi: 10.1002/2017WR020851.
- Mohammed, E. *et al.* (2012) 'Messinian salinity crisis impact on the groundwater quality in Kert aquifer NE Morocco: Hydrochemical and statistical approaches', *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 4(11), pp. 339–351. doi: 10.5897/IJWREE12.002.
- Mohana, P. and Velmurugan, P. M. (2020) 'Geochemical Characterization and Water Quality Assessment of Groundwater in Arani Taluk of Tamil Nadu, South India', *Geochemistry International*. doi: 10.1134/S0016702920050079.
- Mustapha, A. *et al.* (2012) 'Surface water quality contamination source apportionment and physicochemical characterization at the upper section of the Jakara Basin, Nigeria', *Arabian Journal of Geosciences*, 6(12), pp. 4903–4915. doi: 10.1007/s12517-012-0731-2.
- Pei-yue, L. I., Hui, Q. and Jian-hua, W. U. (2010) 'Groundwater Quality Assessment Based on Improved Water Quality Index in Pengyang County, Ningxia, Northwest China', 7, pp. 209–217.
- Permenkes RI (2010) 'Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum', *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia*.
- Pinder, G. F. (2011) 'Groundwater hydrology', in *Groundwater Quantity and Quality Management*. doi: 10.1201/ebk1439815557-c9.
- Poespowardoyo, S. R. (1986) *Peta Hidrogeologi Indonesia Lembar VIII Surabaya (Jawa)*. Bandung: Direktorat Geologi Tata Lingkungan.
- Putranto, T. T. (2019) 'STUDI KERENTANAN AIR TANAH TERHADAP PENCEMARAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE DRASTIC PADA CEKUNGAN AIR TANAH (CAT) KARANGANYAR-BOYOLALI, PROVINSI JAWA TENGAH', *Jurnal Ilmu Lingkungan*. doi: 10.14710/jil.17.1.159-171.
- Ramakrishnaiah, C. R., Sadashivaiah, C. and Ranganna, G. (2009) 'Assessment of water quality index for the groundwater in Tumkur taluk, Karnataka state, India', *E-Journal of Chemistry*, 6(2), pp. 523–530. doi: 10.1155/2009/757424.
- Ramesh K., B. J. P. (2013) 'Contamination of Groundwater Due to Solid Waste Disposal and Textile Effluent in and Around Erode City, Tamil Nadu', *International Journal of Research in Chemistry and Environment*, 3(1), pp. 262–271.

- Recinos, N. *et al.* (2015) 'Application of GALDIT index to assess the intrinsic vulnerability to seawater intrusion of coastal granular aquifers', *Environmental Earth Sciences*. doi: 10.1007/s12665-014-3452-x.
- Revelle, R. (1941) 'Criteria for recognition of the sea water in ground-waters', *EOS, Transaction American Geophysical Union*, 22(3), pp. 593–597. doi: <https://doi.org/10.1029/TR022i003p00593>.
- Ruseffandi, M. A. and Gusman, M. (2020) 'Pemetaan Kualitas Airtanah Berdasarkan Parameter Total Dissolved Solid (TDS) dan Daya Hantar Listrik (DHL) dengan Metode Ordinary Kriging Di Kec. Padang Barat, Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat', *Jurnal Bina Tambang*, 5(1), pp. 153–162.
- Saeedi, M. *et al.* (2010) 'Development of groundwater quality index', *Environmental Monitoring and Assessment*, 163(1–4), pp. 327–335. doi: 10.1007/s10661-009-0837-5.
- Sahu, P. and Sikdar, P. K. (2008) 'Hydrochemical framework of the aquifer in and around East Kolkata Wetlands, West Bengal, India', *Environmental Geology*, 55(4), pp. 823–835. doi: 10.1007/s00254-007-1034-x.
- Sajil Kumar, P. J., Elango, L. and James, E. J. (2014) 'Assessment of hydrochemistry and groundwater quality in the coastal area of South Chennai, India', *Arabian Journal of Geosciences*, 7(7), pp. 2641–2653. doi: 10.1007/s12517-013-0940-3.
- Selvakumar, S. *et al.* (2017) 'Groundwater quality and its suitability for drinking and irrigational use in the Southern Tiruchirappalli district, Tamil Nadu, India', *Applied Water Science*. doi: 10.1007/s13201-014-0256-9.
- Setiawan, T. (2014) 'Proses hidrogeokimia pengontrol salinitas air tanah tidak tertekan di utara Cekungan Air Tanah Jakarta', *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, 5(1), pp. 39–51.
- Shammas, M. I. and Jacks, G. (2007) 'Seawater intrusion in the Salalah plain aquifer, Oman', in *Environmental Geology*, pp. 575–587. doi: 10.1007/s00254-007-0673-2.
- Siftlanida Izza Iffatul, Wijatna Budhie Agus, P. B. (2016) 'Aplikasi Isotop untuk Pendugaan Daerah Resapan Air Mata Air di Kecamatan Cijeruk, Kabupaten Bogor, Jawa Barat', *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 12, pp. 97–106.
- Situmorang, R. L., Agustianto, D. A. and Suparman, M. (1992) *Peta Geologi Lembar Waru-Sumenep, Jawa*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Taat Setiawan, Deny Juanda P., Budi Brahmantyo, D. E. I. (2010) 'Analisis Hidrokimia Untuk Interpretasi Sistem Hidrogeologi Daerah Kars', *Widyariset*, 13(3), pp. 1–8.
- WHO (World Health Organisation of the United Nations) (2008) 'Guidelines for

Drinking-water Quality’, in *Recommendations*. doi: 10.1016/S1462-0758(00)00006-6.

Yidana, S. M. and Yidana, A. (2009) ‘Assessing water quality using water quality index and multivariate analysis’, *Environmental Earth Sciences*, 59(7), pp. 1461–1473. doi: 10.1007/s12665-009-0132-3.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BIOGRAFI PENULIS

BIOGRAFI PENULIS

Wisnu Arya Gemilang, S.T.



Wisnu Arya Gemilang lahir di Bekasi, 25 Desember 1989. Saat ini bekerja sebagai Peneliti di Loka - KKP fokus penelitian pada pemetaan kerentanan pesisir (abrasi, akresi, likuifaksi, intrusi air laut, gempa dan tsunami) serta riset sumber daya pesisir (*submarine groundwater discharge*, sumber daya air tanah pesisir dan pulau kecil, arkeologi bawah laut) serta penilaian efektivitas pelindung pantai berdasarkan konsep geologi

kelautan. Latar belakang kegiatan riset berbasis ilmu geologi berdasarkan gelar S1 yang diperoleh dari jurusan Teknik Geologi di Universitas Jenderal Sudirman, dan saat ini penulis sedang melanjutkan program pascasarjana di bidang Teknik Lingkungan (ITS). Kegiatan riset bersama peneliti asing dan pelatihan juga pernah diikuti diantaranya “*Ekspedisi Mega-Tera (Mentawai Gap – Tsunami Risk Assessment) 2015* dan *ASEAN Workshop on Alternative Solution and Extended Frontier, Thailand 2016*. Beberapa karya ilmiah baik nasional terakreditasi maupun internasional terkait karakteristik sedimentasi kawasan pesisir ter abrasi, efektivitas bangunan pelindung pantai, maupun karakteristik hidro-kimia air tanah kawasan pesisir telah diterbitkan. Selain sebagai peneliti aktif di KKP, membimbing skripsi terkait dinamika kawasan pesisir serta pemetaan kerentanan pesisir dari berbagai universitas terutama Institut Teknologi Bandung (ITB), UNRI, UNP, UNAND dan UNDIP serta memberikan beberapa kuliah umum di beberapa kampus jurusan kelautan maupun geologi merupakan kegiatan produktif lainnya yang dijalani hingga saat ini. Email: wisnu.gemilang@kcp.go.id