

TUGAS AKHIR

**ANALISIS KADAR PESTISIDA DAN DAMPAKNYA
TERHADAP RISIKO KESEHATAN MASYARAKAT
DI SEKITAR AIR TANAH KABUPATEN SLEMAN**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



**DHYAJENG IDHA KUSUMA SARI
18513079**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2022**

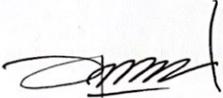
TUGAS AKHIR
ANALISIS KADAR PESTISIDA DAN DAMPAKNYA
TERHADAP RISIKO KESEHATAN MASYARAKAT
DI SEKITAR AIR TANAH KABUPATEN SLEMAN

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan



DHYAJENG IDHA KUSUMA SARI
18513079

Disetujui,
Dosen Pembimbing:


Ir. Luqman Hakim, S.T., M.Si.

NIK. 005130101

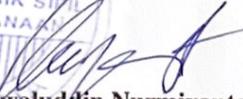
Tanggal: 23/12/2022


Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T.

NIK. 155131313

Tanggal: 23/12/2022

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII


Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng.

NIK. 095130403

Tanggal: 23/12/2022

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS KADAR PESTISIDA DAN DAMPAKNYA
TERHADAP RISIKO KESEHATAN MASYARAKAT
DI SEKITAR AIR TANAH KABUPATEN SLEMAN**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

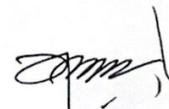
Hari : Jumat
Tanggal : 23 Desember 2022

Disusun Oleh:

**DHYAJENG IDHA KUSUMA SARI
18513079**

Tim Penguji :

Ir. Luqman Hakim, S.T., M.Si.

()

Dr. Suphia Rahmawati S.T., M.T.

()

Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph. D.

()

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 15 November 2022

Yang membuat pernyataan,



Dhyajeng Idha Kusuma Sari

NIM: 18513079

PRAKATA

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga tugas akhir ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Desember ialah **Analisis Kadar Pestisida dan Dampaknya Terhadap Risiko Kesehatan Masyarakat di Sekitar Air Tanah Kabupaten Sleman.**

Selanjutnya penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih penulis kepada semua pihak-pihak yang telah membantu penulis selama penyusunan Tugas Akhir sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Penulis ingin menyampaikan ungkapan terima kasih kepada :

1. Allah SWT atas segala bentuk rahmat, karunia serta pertolongannya sehingga penulis dapat mengerjakan serta menyelesaikan Tugas Akhir ini hingga selesai dan baik
2. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada Papa Ir, Kusmargono Agus Santoso, Mama Nela Sari, Adik Luwina serta seluruh keluarga, atas segala doa dan kasih sayangnya sehingga tugas akhir ini bisa terselesaikan
3. Bapak Ir. Luqman Hakim, S.T., M.Si. selaku dosen pembimbing 1 dan Ibu Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing 2 yang sudah membimbing dan banyak memberikan masukan serta saran kepada penulis selama melakukan penelitian sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik dan selesai
4. Ibu Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D selaku dosen penguji serta Bapak/Ibu yang telah banyak memberi saran.
5. Terima kasih saya ucapkan sebesar-besarnya untuk semua dosen serta staff yang berada di Prodi Teknk Lingkungan Universitas Islam Indonesia yang telah mengajarkan kami berbagai macam ilmu tentang teknik lingkungan dengan baik dan jelas sehingga ilmu yang diberikan tersebut dapat menjadi bekal kami untuk dimasa depan serta staff

prodi teknik lingkungan yang telah membantu urusan administrasi kami selama masa perkuliahan

6. Terima kasih juga kepada Alma, Ajeng, Nanda, Avior, Putri dan Savira yang sudah menemani penulis selama masa-masa kuliah dari maba sampai akhirnya bisa pendadaran bareng
7. Terima kasih untuk Farah Diana Yumna Marzuqah yang sudah menjadi rekan dalam pengerjaan skripsi mulai dari bulan oktober nyari lokasi sampling bareng sampai akhirnya bisa ngelewatin segala rintangan dan bisa sampai dititik seminar hasil dan pendadaran bareng
8. Terima kasih untuk Devita Candra temen dari masa SMA sampai sekarang udah mau nemenin aku terbaik pokoknya
9. Terima kasih untuk laptop, motor mio dan diri sendiri yang sudah bisa diajak kompromi dan berproses dari awal masa skripsi sampai sekarang
10. Terima kasih untuk jarak pergi pulang rumah Bantul UII dengan jarak 44 km yang super macet dari zaman maba sampai empat tahun ini udah bertahan dengan segala kondisi dijalanan
11. Terima kasih untuk temen-temen Teknik Lingkungan 2018 aku ucapkan selamat atas gelar yang udah temen-temen capai perjalanan memang gak mudah tapi semua terbayarkan, sukses selalu diluar sana semoga banyak berkah serta jalan kemudahan yang Allah SWT berikan kepada kalian semua
12. Sekali lagi ingin berterimakasih kepada diri sendiri atas segala hal yang terjadi dikehidupannya tetapi mampu menyelesaikan tugas akhir ini dengan versi terbaik dari dirinya,

Yogyakarta, 15 November 2022

Dhyajeng Idha Kusuma Sari

ABSTRAK

DHYAJENG IDHA KUSUMA SARI. Analisis Kadar Pestisida dan Dampaknya Terhadap Risiko Kesehatan Masyarakat di Sekitar Air Tanah Kabupaten Sleman. Dibimbing oleh LUQMAN HAKIM, S.T., M. Si dan DR. SUPHIA RAHMAWATI, S.T., M.T.

Kabupaten Sleman merupakan wilayah dengan kondisi lahan pertanian yang subur. Adapun luas keseluruhan dari area pertanian di Kabupaten Sleman yaitu 19.131 Ha. Dengan luasnya wilayah pertanian di Kabupaten Sleman maka para petani memerlukan penggunaan pestisida untuk meningkatkan kualitas produk dari pertanian dan mencegah produk pertanian rusak akibat serangan hama-hama. Tetapi pemakaian pestisida pada pertanian menyebabkan timbulnya residu pestisida pada lingkungan salah satunya air tanah. Meningkatkannya pemakaian air tanah di Kabupaten Sleman juga menjadi risiko adanya dampak terhadap risiko kesehatan masyarakat di Kecamatan Pakem dan Kecamatan Cangkringan akibat potensi pencemaran residu pestisida pada air tanah. Oleh sebab itu, diperlukan penelitian untuk mengetahui kadar residu pestisida pada air tanah di Kecamatan Pakem dan Kecamatan Cangkringan Kabupaten Sleman. Metode ekstraksi *Solid Phase Extraction* (SPE) dan *Gas Chromatography Mass Spectrometry* (GC-MS) digunakan untuk mengekstraksi sampel air tanah dan menganalisis kadar pestisida pada sampel air tanah. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan kadar pestisida organoklorin, yaitu heptachlor epoxide (0,00039–0,00089 mg/L) dan endrin aldehyde (0,00003-0,00070 mg/L) dan hasil Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) pada penelitian ini untuk karakterisasi risiko non karsinogenik nilai RQ total realtime dan RQ total lifetime pada senyawa endrin aldehyde yaitu < 1 (tidak berisiko) sedangkan untuk senyawa heptachlor epoxide nilai RQ total realtime < 1 (tidak berisiko) dan RQ total lifetime >1 (berisiko).

Kata kunci: Air Tanah, ARKL, Organoklorin, Residu Pestisida, Sleman

ABSTRACT

DHYAJENG IDHA KUSUMA SARI. *Analysis of Pesticide Levels and Their Impact on Public Health Risks Around Groundwater in Sleman Regency.* Supervised by LUQMAN HAKIM, S.T., M. Si and DR. SUPHIA RAHMAWATI, S.T., M.T.

Sleman Regency is an area with fertile agricultural land conditions. The total area of the agricultural area in Sleman Regency is 19,131 Ha. With the vast agricultural area in Sleman Regency, farmers need to use pesticides to improve the quality of agricultural products and prevent agricultural products from being damaged by pests. However, the use of pesticides in agriculture causes pesticide residues to form in the environment, one of which is groundwater. The increasing use of groundwater in Sleman Regency is also a risk for public health in Pakem and Cangkringan Subdistricts due to potential contamination of pesticide residues in groundwater. Therefore, research is needed to determine the levels of pesticide residues in groundwater in Pakem District and Cangkringan District, Sleman Regency. Solid Phase Extraction (SPE) and Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS) methods were used to extract groundwater samples and analyze pesticide levels in groundwater samples. Based on the research results, it was found that the levels of organochlorine pesticides, namely heptachlor epoxide (0.00039–0.00089 mg/L) and endrin aldehyde (0.00003-0.00070 mg/L) and the results of the Environmental Health Risk Analysis (ARKL) in this study for non-carcinogenic risk characterization, the realtime total RQ and total lifetime RQ values for endrin aldehyde compounds were <1 (no risk), while for heptachlor epoxide compounds, the realtime total RQ values were <1 (no risk). and RQ total lifetime >1 (at risk).

Keywords: *EHRA, Groundwater, Organochlorines, Pesticide Residues, Sleman*

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| DAFTAR TABEL | vii |
| DAFTAR GAMBAR..... | viii |
| DAFTAR LAMPIRAN | ix |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.4 Manfaat Penelitian | 3 |
| 1.5 Asumsi Penelitian | 4 |
| 1.6 Ruang Lingkup..... | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Pestisida Organoklorin..... | 5 |
| 2.2 Metode Analisa Organoklorin..... | 12 |
| 2.3 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan | 13 |
| 2.4 Kecamatan Pakem dan Kecamatan Cangkringan | 14 |
| 2.5 Penelitian Terdahulu | 15 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 18 |
| 3.1 Tahapan Penelitian | 18 |
| 3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian | 19 |
| 3.3 Metode Pengumpulan data..... | 21 |
| 3.3.1 Pengumpulan Data Sekunder | 21 |
| 3.3.2 Pengumpulan Data Primer..... | 21 |
| 3.4 Metode Analisis Data..... | 30 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 31 |
| 4.1 Deskripsi Lokasi Penelitian | 31 |
| 4.2 Karakteristik Sumur | 36 |
| 4.2.1 Karakteristik Fisik | 36 |
| 4.2.2 Karakteristik Kimia | 37 |
| 4.2.3 Kondisi Fisik Sumur..... | 38 |

| | |
|--|-----------|
| 4.3 Hasil Analisis Sampel | 41 |
| 4.3.1 Optimasi Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS) ... | 41 |
| 4.3.2 Hasil Konsentrasi Organoklorin | 43 |
| 4.3.3 Analisis Faktor Keberadaan Organoklorin pada Air Tanah | 54 |
| 4.4 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan | 57 |
| 4.4.1 Data Hasil Kuesioner Responden | 58 |
| 4.4.2 Analisis Dosis Respon | 60 |
| 4.4.3 Analisis Paparan..... | 61 |
| 4.4.4 Karakterisasi Risiko Non Karsinogenik | 63 |
| 4.4.5 Karakterisasi Risiko Karsinogenik | 65 |
| 4.4.6 Manajemen Risiko | 66 |
| BAB V SIMPULAN DAN SARAN | 70 |
| 5.1 Simpulan..... | 70 |
| 5.2 Saran..... | 71 |
| DAFTAR PUSTAKA | 72 |
| LAMPIRAN | 76 |
| RIWAYAT HIDUP | 94 |

DAFTAR TABEL

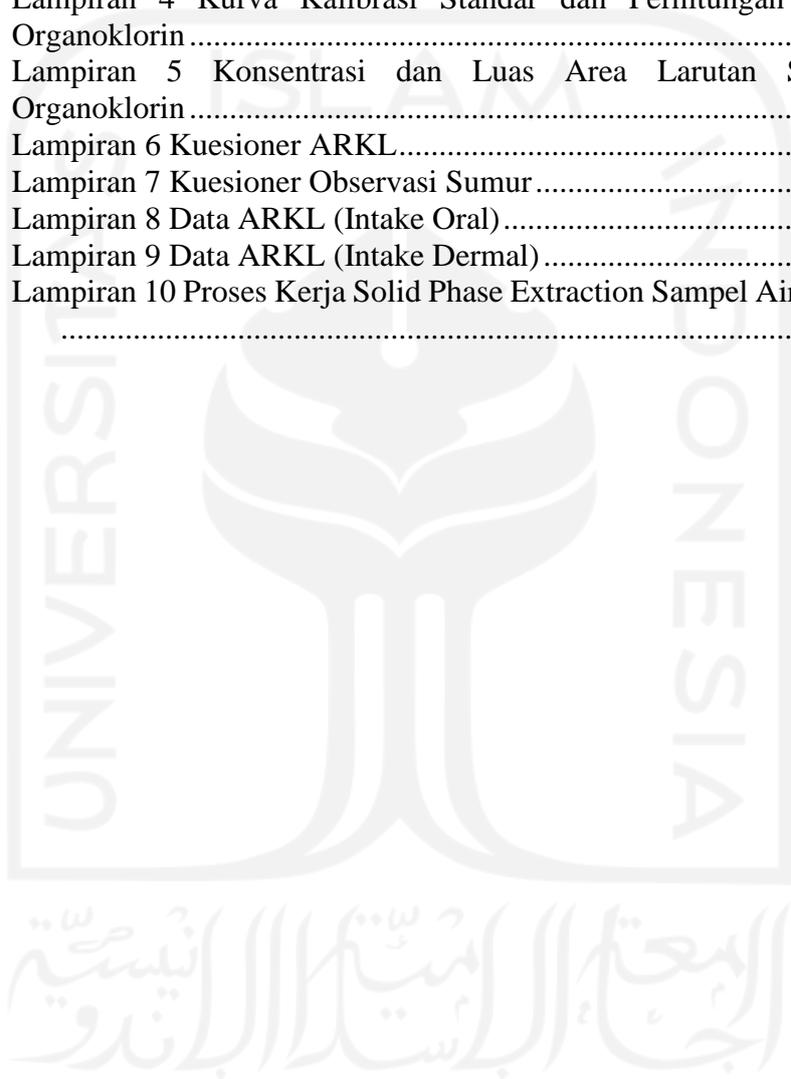
| | |
|---|----|
| Tabel 2. 1 Karakteristik Pestisida Organoklorin..... | 6 |
| Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu | 16 |
| Tabel 2. 3 Nilai RfD dan CSF..... | 30 |
| | |
| Tabel 3. 1 Pengaturan Instrumen GC-MS..... | 26 |
| | |
| Tabel 4. 1 Deskripsi Lokasi Penelitian dan Karakteristik Sumur..... | 32 |
| Tabel 4. 2 Kualitas Air Sumur | 39 |
| Tabel 4. 3 Hasil Pengamatan Ketersediaan Air Sumur..... | 40 |
| Tabel 4. 4 Nilai RT dan M/Z Larutan Standar Organoklorin | 41 |
| Tabel 4. 5 Persamaan Regresi Linear dan Linieritas Larutan Standar Organoklorin | 41 |
| Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Residu organoklorin | 42 |
| Tabel 4. 7 Korelasi Umur Sumur dengan Konsentrasi | 54 |
| Tabel 4. 8 Distribusi Data Berat Badan Responden | 59 |
| Tabel 4. 9 Konsentrasi Rata-Rata Senyawa Organoklorin | 59 |
| Tabel 4. 10 Data Perhitungan Intake Paparan Oral..... | 60 |
| Tabel 4. 11 Data Perhitungan Intake Paparan Dermal | 60 |
| Tabel 4. 12 Nilai RfD dan CSF..... | 61 |
| Tabel 4. 13 Intake Non Karsinogenik Paparan Oral dan Dermal | 61 |
| Tabel 4. 14 Intake Karsinogenik Paparan Oral dan Dermal | 62 |
| Tabel 4. 15 Hasil Karakterisasi Risiko Non Karsinogenik Intake Total Oral dan Dermal | 63 |
| Tabel 4. 16 Karakterisasi Risiko Non Karsinogenik Intake Oral | 64 |
| Tabel 4. 17 Nilai Risiko Karsinogenik | 66 |
| Tabel 4. 18 Strategi Pengelolaan Risiko Non Karsinogenik..... | 66 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian | 18 |
| Gambar 3. 2 Peta Lokasi Penelitian dan Titik Sampling | 20 |
| Gambar 3. 3 Pengukuran dengan Altimeter dan Water Level Meter | 22 |
| | |
| Gambar 4. 1 Hasil Pengujian TDS Air Sumur | 36 |
| Gambar 4. 2 Hasil Pengujian Suhu Air Sumur | 37 |
| Gambar 4. 3 Hasil Pengujian pH Air Sumur | 37 |
| Gambar 4. 4 Hasil Pengukuran MAT Sumur | 38 |
| Gambar 4. 5 Hasil Pengukuran Kedalaman Sumur | 39 |
| Gambar 4. 6 Umur Sumur | 40 |
| Gambar 4. 7 Konsentrasi Rata-Rata Endrin Aldehyde | 43 |
| Gambar 4. 8 Kedalaman Sumur dengan Konsentrasi Endrin Aldehyde | 44 |
| Gambar 4. 9 Peta IDW Senyawa Endrin Aldehyde | 46 |
| Gambar 4. 10 Konsentrasi Rata-Rata Heptachlor Epoxide | 46 |
| Gambar 4. 11 Kedalaman dengan Konsentrasi Heptachlor Epoxide | 47 |
| Gambar 4. 12 Peta IDW Senyawa Heptachlor Epoxide | 49 |
| Gambar 4. 13 Konsentrasi Senyawa Organoklorin Berdasarkan Baku Mutu | 50 |
| Gambar 4. 14 Umur Sumur terhadap Konsentrasi | 54 |
| Gambar 4. 15 Peta Muka Air Tanah Titik Sampling | 56 |
| Gambar 4. 16 Persentase Gender Responden | 58 |
| Gambar 4. 17 Persentase Umur Respoden Berdasarkan Kategori Umur | 59 |
| Gambar 4. 18 Proses Pembuatan Arang Aktif | 68 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|----|
| Lampiran 1 Alat dan Bahan | 76 |
| Lampiran 2 Proses pengambilan sampel dan pengukuran kedalaman air tanah dan muka air tanah | 77 |
| Lampiran 3 Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 | 79 |
| Lampiran 4 Kurva Kalibrasi Standar dan Perhitungan Kadar Organoklorin | 81 |
| Lampiran 5 Konsentrasi dan Luas Area Larutan Standar Organoklorin | 83 |
| Lampiran 6 Kuesioner ARKL | 85 |
| Lampiran 7 Kuesioner Observasi Sumur | 87 |
| Lampiran 8 Data ARKL (Intake Oral) | 90 |
| Lampiran 9 Data ARKL (Intake Dermal) | 92 |
| Lampiran 10 Proses Kerja Solid Phase Extraction Sampel Air Tanah | 93 |



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemakaian pestisida pada sektor pertanian dan hortikultura di Indonesia masih digunakan dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas produk dari pertanian dan mencegah produk pertanian rusak akibat serangan hama-hama. Menurut UU RI Nomor 12 Tahun 1992 Tentang Sistem Budidaya Tanaman pestisida adalah zat atau senyawa kimia, zat pengatur dan perangsang tumbuh, bahan lain, serta organisme renik atau virus yang digunakan untuk melakukan perlindungan tanaman. Pestisida juga merupakan salah satu senyawa pengganggu endokrin (EDC) yang telah didefinisikan pada tahun 2002 oleh WHO yaitu pengganggu endokrin adalah zat atau campuran eksogen yang mengubah fungsi sistem endokrin dan akibatnya menyebabkan efek kesehatan yang merugikan pada organisme utuh, atau keturunannya, atau (sub) populasi (Combarous, 2017).

Pestisida yang digunakan juga dapat menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan, menurut (Arif, 2015) dampak yang ditimbulkan dari pestisida yaitu tanaman yang terkena pestisida dapat menyerap pestisida sehingga dapat terdistribusi ke dalam batang, akar, buah dan daun, pestisida yang tidak bisa terurai akan masuk ke dalam terbawa aliran air dan masuk ke dalam sistem biota laut (kehidupan air) dan kemungkinan akan muncul jenis hama baru yang tahan dengan takaran pestisida yang diterapkan.

Kabupaten Sleman merupakan wilayah yang mempunyai tanah pertanian dengan kondisi yang subur. Adapun luas keseluruhan dari area pertanian di Kabupaten Sleman yaitu 19.131 Ha (Badan Pusat Statistik Kabupaten Sleman, 2017). Kecamatan Pakem dan Kecamatan Cangkringan memiliki luas lahan pertanian yaitu 1.625 Ha dan 840 Ha. Luasnya wilayah pertanian di Kecamatan Pakem dan Kecamatan Cangkringan, tersebut maka petani memerlukan penggunaan pestisida untuk meningkatkan kualitas produk dari pertanian dan mencegah produk pertanian rusak akibat serangan hama-hama. Salah satu jenis pestisida yang banyak digunakan pada zaman dahulu yaitu pestisida organoklorin yang termasuk senyawa yang bersifat persisten tersebar luas, bertahan di

lingkungan untuk jangka waktu yang lama, volatilitas yang rendah, toksisitas yang tinggi dan memiliki potensi untuk transportasi jarak jauh (Liang *et al.*, 2016). Pestisida organoklorin sudah dilarang penggunaannya di Indonesia hal ini telah ditetapkan pada Peraturan Menteri Pertanian Nomor 1 tahun 2007 tentang Daftar Bahan Aktif Pestisida yang Dilarang dan Pestisida Terbatas. Golongan pestisida organoklorin yang sudah dilarang penggunaannya yaitu aldrin, heptaklor, klordan, DDT, toxaphen, mirex, endrin, dieldrin dan lindan. Pemakaian pestisida pada pertanian dapat menyebabkan timbulnya residu pestisida pada lingkungan. Residu pestisida adalah sisa pestisida, termasuk hasil perubahannya yang terdapat pada atau dalam jaringan manusia, hewan, tumbuhan, air, udara atau tanah. Salah satu dampak dari residu pestisida yaitu masuknya pestisida ke dalam air tanah akibat proses rembesan melalui tanah pertanian sehingga dapat mencemari air tanah.

Terdapat sebuah penelitian tentang organoklorin dari Rochaddi & Suryono (2012) dengan penelitiannya tentang pestisida organoklorin pada aqifer dangkal di wilayah pesisir kota semarang didapatkan masih adanya residu pestisida di air sumur dengan senyawa heptachlor rata-rata konsentrasi yaitu 0,023-0,058 mg/L dan endrin dengan rata-rata konsentrasi 0,648 mg/L. Hal tersebut disebabkan oleh pola aliran air tanah dari ungaran yang merupakan daerah pertanian menuju kota semarang sehingga residu pestisida dari ungaran terbawa ke kota semarang melalui aliran air tanah.

Masyarakat Kabupaten Sleman masih menggantungkan sumber air menggunakan air tanah, hal ini dapat dilihat dari penelitian Heru *et al.*, (2020) bahwa dari tahun 2013 hingga 2018 penggunaan air tanah yang berada di semua Kecamatan Kabupaten Sleman terjadi peningkatan dari 84.672.337 m³/tahun menjadi 100.608.062 m³/tahun. Dengan meningkatnya penggunaan air tanah di Kabupaten Sleman maka terdapat adanya potensi risiko kesehatan pada masyarakat di Kecamatan Pakem dan Kecamatan Cangkringan akibat penggunaan dan konsumsi air tanah yang dapat berpotensi tercemar oleh residu pestisida organoklorin pada air tanah.

Dari latar belakang yang telah didapatkan maka penelitian analisis kadar pestisida perlu dilakukan untuk mengetahui apakah masih terdapat sisa residu pestisida salah satunya yaitu organoklorin di dalam air tanah yang sudah dilarang

penggunaannya sejak tahun 1983 di Indonesia dan tingkat risiko pencemaran pestisida organoklorin terhadap kesehatan masyarakat di sekitar air tanah dangkal dan air tanah dalam di Kecamatan Pakem dan Kecamatan Cangkringan Kabupaten Sleman.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Berapakah kadar pestisida organoklorin yang berada di air tanah dangkal dan air tanah dalam di Kecamatan Pakem dan Kecamatan Cangkringan?
2. Bagaimanakah tingkat risiko kesehatan masyarakat akibat paparan pestisida dari konsumsi dan penggunaan air tanah dangkal dan air tanah dalam di Kecamatan Pakem dan Kecamatan Cangkringan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Menguji kadar pestisida organoklorin pada air tanah dangkal dan air tanah dalam di Kecamatan Pakem dan Kecamatan Cangkringan
2. Menerangkan tingkat risiko kesehatan akibat potensi kontaminasi pestisida pada air tanah dangkal dan air tanah dalam terhadap masyarakat di Kecamatan Pakem dan Kecamatan Cangkringan

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu :

1. Sebagai sumber informasi kepada masyarakat mengenai kandungan residu pestisida yang ada pada air sumur di Kecamatan Pakem dan Kecamatan Cangkringan dan dampaknya terhadap tingkat risiko kesehatan masyarakat di sekitar air sumur dangkal dan sumur dalam di Kecamatan Pakem dan Kecamatan Cangkringan
2. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini dapat digunakan untuk sumber referensi ilmu pengetahuan di masa yang mendatang
3. Menjadi bahan pertimbangan dan masukkan kepada Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Sleman.

1.5 Asumsi Penelitian

Asumsi pada penelitian ini yaitu :

1. Hasil konsentrasi pestisida organoklorin pada air tanah dangkal dan air tanah dalam di Kecamatan Pakem dan Kecamatan Cangkringan akan memiliki konsentrasi yang kecil atau tidak terdeteksi disebabkan oleh organoklorin merupakan jenis pestisida yang sudah lama tidak digunakan di Indonesia diakibatkan sifatnya yang sangat persisten dilingkungan dan pestisida organoklorin mempunyai sifat kelarutan yang rendah pada air tanah
2. Hasil analisis risiko kesehatan lingkungan akan menunjukkan $RQ < 1$ apabila tidak ada risiko pada kesehatan dan $RQ > 1$ menunjukkan adanya risiko pada kesehatan dari penggunaan air tanah dangkal dan air tanah dalam akibat adanya potensi pencemaran senyawa organoklorin pada air tanah di Kecamatan Pakem dan Kecamatan Cangkringan.

1.6 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini yaitu :

1. Penelitian berlokasi di air sumur dangkal dan sumur dalam di Kecamatan Pakem dan Kecamatan Cangkringan
2. Pada penelitian ini pengujian dilakukan terhadap parameter pestisida organoklorin pada air tanah sumur dangkal dan sumur dalam di Kecamatan Pakem dan Kecamatan Cangkringan
3. Penelitian dilakukan pada bulan Desember 2021 – September 2022
4. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan alat atau instrument *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS)
5. Pada penelitian ini metode ekstraksi sampel dilakukan dengan menggunakan metode (*Solid Phase Extraction*) SPE dan metode *Selected Ion Monitoring* (SIM) untuk pembacaan sampel
6. Berdasarkan pestisida yang terpilih maka pada penelitian ini akan menggunakan pestisida organoklorin.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

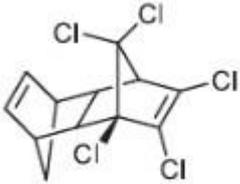
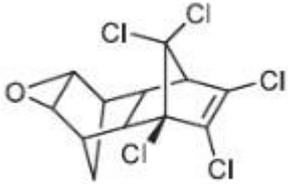
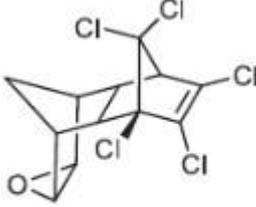
2.1 Pestisida Organoklorin

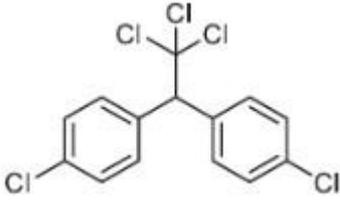
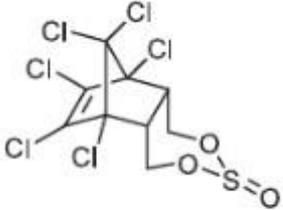
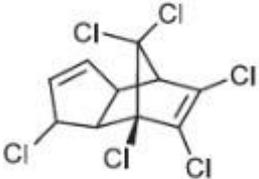
Menurut UU RI Nomor 12 Tahun 1992 Tentang Sistem Budidaya Tanaman pestisida adalah zat atau senyawa kimia, zat pengatur dan perangsang tumbuh, bahan lain, serta organisme renik atau virus yang digunakan untuk melakukan perlindungan tanaman. Dalam PERMENTAN Nomor 107 Tahun 2014 disebutkan pestisida adalah semua zat kimia dan bahan lain serta jasa renik dari virus yang dipergunakan untuk:

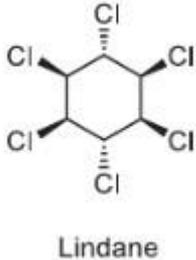
1. Memberantas atau mencegah hama-hama dan penyakit yang merusak tanaman, bagian-bagian tanaman atau hasil-hasil pertanian;
2. Memberantas rerumputan;
3. mematikan daun dan mencegah pertumbuhan yang tidak diinginkan;
4. Mengatur atau merangsang pertumbuhan tanaman atau bagian-bagian tanaman tidak termasuk pupuk;
5. Memberantas atau mencegah hama-hama luar pada hewan-hewan piaraan dan ternak;
6. Memberantas atau mencegah hama-hama air;
7. Memberantas atau mencegah binatang-binatang dan jasad-jasad renik dalam rumah tangga, bangunan dan alat-alat pengangkutan; dan/atau
8. Memberantas atau mencegah binatang-binatang yang dapat menyebabkan penyakit pada manusia atau binatang yang perlu dilindungi dengan penggunaan pada tanaman, tanah dan air.

Organoklorin adalah insektisida sintetis paling tua sering juga dikenal sebagai hidrokarbon klor. Organoklorin mempunyai sifat stabil di lapangan dan mengakibat residunya sangat susah untuk terurai (Hudayya,2012). Sifat pestisida organoklorin yaitu tersebar luas dan bertahan di lingkungan untuk jangka waktu yang lama, mempunyai volatilitas yang rendah, toksisitas yang tinggi, memiliki potensi untuk transportasi jarak jauh, bersifat lipofilik dan kelarutan air rendah (Liang *et al.*, 2016). Adapun di bawah ini merupakan karakteristik pestisida organoklorin sebagai berikut :

Tabel 2. 1 Karakteristik Pestisida Organoklorin

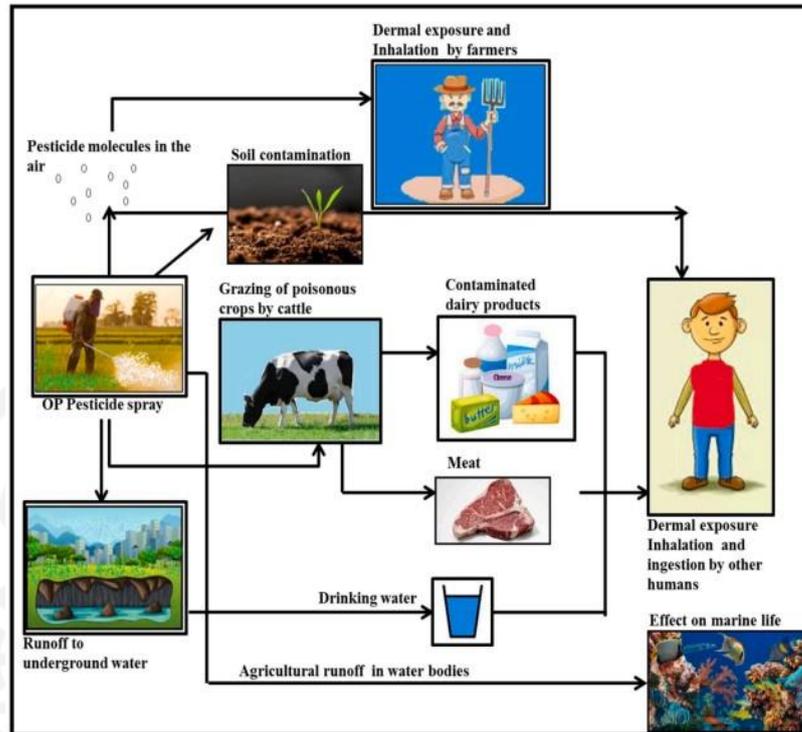
| No | Senyawa | Karakteristik |
|----|--|--|
| 1 |  <p style="text-align: center;">Aldrin</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Titik didih : 145°C • Titik lebur : 104°C • Massa jenis : 1,75 g ml⁻¹ • Berat molekul : 364,9 g/mol • Tekanan uap : 0,024 mPa • Mudah menguap • Dapat bertahan di tanah |
| 2 |  <p style="text-align: center;">Dieldrin</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Titik didih : 385°C • Titik lebur : 177°C • Massa jenis : 1,6 g ml⁻¹ • Berat molekul : 380,9 g/mol • Tekanan uap : 8,6 mPa • Mudah menguap • Dapat bertahan di tanah |
| 3 |  <p style="text-align: center;">Endrin</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Titik didih : 145°C • Titik lebur : 200°C • Massa jenis : 1,84 g ml⁻¹ • Berat molekul : 380,9 g/mol • Tekanan uap : 2,0×10⁻⁷ mPa • Tidak mudah menguap • Dapat bertahan di tanah |

| No | Senyawa | Karakteristik |
|----|---|---|
| 4 |  <p style="text-align: center;">DDT</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Titik didih : 185°C • Titik lebur : 109°C • Massa jenis : 0,99 g ml⁻¹ • Berat molekul : 354,5 g/mol • Tekanan uap : 8,43×10⁻¹ mPa • Mudah menguap • Dapat bertahan di tanah |
| 5 |  <p style="text-align: center;">Endosulfan</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Titik didih : 70°C • Titik lebur : 80°C • Massa jenis : 1,8 g ml⁻¹ • Berat molekul : 406,9 g/mol • Tekanan uap : 0,83 mPa • Mudah menguap • Dapat bertahan di tanah |
| 6 |  <p style="text-align: center;">Heptachlor</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Titik didih : 135°C • Titik lebur : 95°C • Massa jenis : 1,58 g ml⁻¹ • Berat molekul : 389,3 g/mol • Tekanan uap : 53 mPa • Mudah menguap • Dapat bertahan di tanah |

| No | Senyawa | Karakteristik |
|----|--|--|
| 7 |  <p style="text-align: center;">Lindane</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Titik didih : 323,4°C • Titik lebur : 122,9°C • Massa jenis : 1,88 g ml⁻¹ • Berat molekul : 290,8 g/mol • Tekanan uap : 4,4 mPa • Mudah menguap • Dapat bertahan di tanah |

Sumber : *Pesticide Properties DataBase (PPDB)*

Pestisida organoklorin yang terpapar ke manusia dapat menyebabkan efek keracunan pada tubuh manusia. Gejala keracunan pestisida organoklorin yaitu mual, muntah, gelisah, pusing, lemah, rasa geli atau menusuk pada kulit, kejang otot, hilang koordinasi dan tidak sadar (Raini, 2012). Organoklorin mempunyai kemampuan untuk terus terakumulasi tanpa hancur dalam lemak dan jaringan adiposa tubuh manusia selama periode waktu tertentu oleh sebab itu, paparan minimal secara terus menerus dari waktu ke waktu masih dapat mengakibatkan masalah kesehatan yang potensial. Organoklorin juga dikaitkan dengan reaksi neurologis yang kuat. Bahwa paparan terus menerus terhadap organoklorin selama periode waktu dapat menyebabkan penyakit parkinson. Gejala neurologis seperti peningkatan stres, kemarahan, dan bahkan depresi juga dilaporkan mengenai pekerja yang terpapar oleh organoklorin (Jayaraj *et al.*, 2016). Senyawa organoklorin (POPs) termasuk jenis zat Endocrine Disruptors Chemical (EDCs) yang dapat mengubah fungsi sistem endokrin dan akibatnya menyebabkan efek pada kesehatan. Adapun mekanisme masuknya atau terakumulasinya senyawa organoklorin ke dalam tubuh manusia sehingga dapat berdampak pada kesehatan manusia yaitu melalui paparan oral, inhalasi dan dermal. Berikut di bawah ini merupakan gambar dari proses masuknya senyawa organoklorin ke dalam tubuh manusia :



Gambar 2. 1 Proses Masuknya Senyawa Organoklorin Dalam Tubuh Manusia
(sumber : Kaushal *et al.*, 2021)

Proses masuknya senyawa organoklorin ke dalam tubuh manusia dapat terjadi akibat paparan langsung dan paparan tidak langsung. Paparan secara langsung dapat berasal dari petani yang terkena cairan pestisida saat proses pencairan pestisida dan penyemprotan pestisida pada tanaman hal ini dapat menyebabkan pestisida masuk ke tubuh manusia melalui kontak kulit (dermal) dan pernapasan (inhalasi). Paparan tidak langsung dapat berasal dari proses penyemprotan pestisida ke tanaman kemudian pestisida tersebut jatuh ke atas permukaan tanah mencemari tanah dan masuk ke dalam aliran air tanah sehingga dapat mencemari air tanah yang akan digunakan dan dikonsumsi oleh manusia untuk kebutuhan sehari-hari sehingga, masuk ke dalam tubuh melalui paparan dermal saat mandi dan paparan oral melalui konsumsi air minum.

Pestisida organoklorin yang masuk ke dalam lingkungan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan berupa pencemaran tanah, pencemaran air, munculnya spesies hama yang resisten, pencemaran udara, munculnya varieties jenis hama baru, resurgensi dan rusaknya keseimbangan ekosistem (Ngatimin *et al.*, 2020). Menurut PERMENTAN Nomor 07 Tahun 2007 Tentang Syarat dan Tatacara

Pendaftaran Pestisida bahwa residu pestisida adalah sisa pestisida, termasuk hasil perubahannya yang terdapat pada atau dalam jaringan manusia, hewan, tumbuhan, air, udara dan tanah. Pestisida yang digunakan di area pertanian pada awal musim tanam ada separuh atau justru keseluruhannya akan terjatuh serta masuk ke dalam air kemudian mencemari perairan. Perairan yang telah tercemar oleh pestisida pada tingkat tertentu akan menyebabkan pencemaran pada lingkungan dan kehidupan organisme akuatik didalamnya (Atifah *et al.*, 2019). Adapun proses transportasi pestisida di lingkungan sebagai berikut :

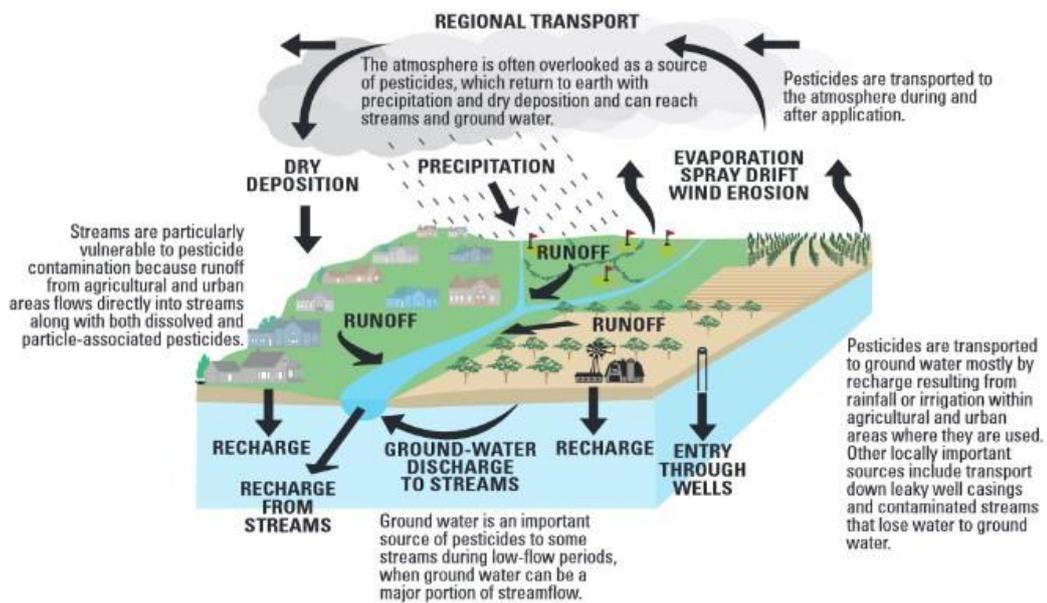


Figure 2-4. Pesticides are transported to streams and ground water primarily by runoff and recharge. Nonpoint sources of pesticides originating from areas where they were applied—rather than point sources such as wastewater discharges—are the most widespread causes of pesticide occurrence in streams and ground water. (Modified from Majewski and Capel, 1995.)

Gambar 2. 2 Transportasi Pestisida di Lingkungan

(sumber : Ashraf *et al.*, 2019)

Transportasi pestisida di lingkungan disebabkan oleh pencemaran sumber titik dan pencemaran bukan titik. Pencemaran sumber titik terjadi ketika polutan berasal dari satu peristiwa atau lokasi tetap. Pencemaran *source point* (sumber titik) dapat terjadi di sungai dan air tanah akibat limpasan bahan kimia selama penyimpanan pestisida yang tidak tepat, pencampuran pestisida, pembuangan atau penggunaan pestisida yang salah ke sungai. Pencemar sumber titik yang umum disebut *run-in* merupakan pergerakan langsung pestisida ke dalam air tanah. Proses *run-in* terjadi di dekat sumur disebabkan oleh tumpahan pestisida, pembuangan limbah pestisida yang tidak hati-hati atau tidak tepat dan konstruksi atau

pemeliharaan sumur yang salah. Pencemar *source nonpoint* (sumber bukan titik) adalah pergerakan pestisida dari area yang luas melewati daerah aliran sungai dari waktu ke waktu masuk ke air tanah dan permukaan. Limpasan (aliran air) dan erosi (partikel tanah) adalah bentuk umum dari pencemaran sumber *nonpoint* air permukaan dari pertanian (Aydinalp & Porca, 2004).

Transformasi merupakan proses perubahan senyawa kimia yang ada di lingkungan menjadi bentuk senyawa kimia yang lain. Golongan organoklorin dapat berubah menjadi bentuk senyawa lain yang tidak persisten dan lebih persisten dari senyawa aslinya atau senyawa sebelumnya di lingkungan. Sisa residu dari penggunaan pestisida di masa lampau akan terdegradasi oleh lingkungan dengan tiga mekanisme yaitu degradasi kimiawi, degradasi mikrobial dan degradasi fotokimia. Senyawa organik dan anorganik yang berada di dalam tanah sangat mempengaruhi proses kecepatan pestisida untuk terdegradasi (Mursyidi, 1994). Hasil dari degradasi pestisida di lingkungan menghasilkan struktur molekul yang berbeda dari senyawa sebelumnya atau senyawa aslinya sehingga toksisitas suatu senyawa tergantung dari struktur molekulnya (Mursyidi, 1994). Hasil dari proses degradasi pestisida di lingkungan umumnya bersifat kurang toksik jika dibandingkan dengan senyawa sebelumnya atau senyawa aslinya tetapi, tidak menutup kemungkinan senyawa asli hasil degradasi di lingkungan akan membentuk senyawa baru yang sifatnya lebih toksik (Mursyidi, 1994). Senyawa heptachlor epoxide merupakan pecahan dari senyawa heptachlor di lingkungan dan memiliki sifat yang lebih persisten dan lebih beracun (Purnomo *et al.*, 2014). Endrin aldehyde merupakan pecahan dari senyawa endrin di lingkungan. Senyawa organoklorin mempunyai waktu atau lamanya senyawa tersebut bertahan di lingkungan terdiri dari berbagai macam yaitu DDT (2-15 tahun), DDD (5-10 tahun), DDE (10 tahun), endrin (1 hari-12 tahun), dieldrin (9 bulan), methoxychlor (120 hari), chlordane (10 tahun), heptachlor (2 tahun), lindane (15 bulan), endosulfan (35-150 hari) dan aldrin (4-7 hari) (Jayaraj *et al.*, 2016).

Pestisida golongan organoklorin sudah dilarang penggunaannya di Indonesia hal ini disampaikan melalui keputusan bersama Mendagri, Menkes serta Menpan dengan nomor 33 tahun 1983 telah dilarang penggunaannya yang ditindak lanjuti dengan Keputusan Menteri Pertanian nomor 434.1/kpts/TP.270/7/2001 mengenai

pelarangan peredaran semua jenis organoklorin (Aritonang *et al.*, 2015). Pelarangan penggunaan organoklorin di Indonesia disebabkan oleh sifat pestida organoklorin yang mempunyai stabilitas tinggi dengan kemampuannya yang tinggi terhadap proses degradasi kimia dan biologis (Polanco Rodríguez *et al.*, 2015). Adapun standar baku mutu pestisida di Indonesia yaitu mengacu pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, terdapat baku mutu terkait parameter kimia berupa pestisida dengan standar baku mutu (kadar maksimum) yaitu 0,1 mg/L.

2.2 Metode Analisa Organoklorin

Metode untuk mengekstraksi senyawa organoklorin yang berada di lingkungan salah satunya air tanah terdiri dari berbagai macam, yaitu metode *Solid Phase Micro Extraction* (SPME), *Liquid-Liquid Extraction* (LLE) dan *Solid Phase Extraction* (SPE). Pada penelitian ini teknik ekstraksi yang digunakan yaitu *Solid Phase Extraction* (SPE) merupakan proses penyerapan sampel dari fase cair ke adsorben padat (Mahgoub, 2016). Teknik SPE banyak digunakan dalam mengekstraksi sampel residu pestisida pada air tanah disebabkan oleh proses ekstraksinya yang mudah, penggunaan pelarut kimia yang lebih sehingga biaya yang di keluarkan lebih sedikit (Rawa-Adkonis *et al.*, 2006). Kemudahan penggunaan dan biaya yang efisien pada metode SPE menyebabkan peneliti memilih menggunakan teknik SPE untuk proses ekstraksi sampel air tanah pada penelitian ini. *Catridge* atau media adsorben yang digunakan untuk ekstraksi senyawa organoklorin biasanya menggunakan jenis C18 disebabkan oleh sesuai untuk mengekstraksi senyawa non polar salah satunya pestisida sehingga pada penelitian ini peneliti menggunakan *catridge* C18 (orochem.com).

Instrumen yang digunakan untuk mengetahui residu senyawa organoklorin pada sampel air tanah yaitu menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS). *Mass Spectrometry* (MS) adalah teknik deteksi yang sangat sensitif yang membentuk, memisahkan dan mendeteksi ion dalam fase gas. Ketika digabungkan ke *Gas Chromatography* (GC), MS akan segera mengionisasi senyawa gas yang dielusi, memisahkan ion dalam ruang hampa berdasarkan rasio massa terhadap muatannya (m/z) dan akhirnya mengukur intensitas setiap ion.

Intensitas ini direkam untuk menghasilkan serangkaian spektrum massa yang menampilkan intensitas ion relatif terhadap m/z. Hasil akhir dari GC-MS adalah kromatogram massa. MS adalah salah satu dari banyak detektor GC tetapi tidak seperti detektor lainnya. MS dapat melakukan analisis kuantitatif dan kualitatif. GC-MS memisahkan dan mengkuantifikasi sampel multi komponen dan matriks kompleks, serta memiliki kemampuan untuk mengidentifikasi senyawa yang tidak diketahui (Shimadzu).

2.3 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan

Analisis risiko merupakan sebuah cara untuk melakukan perhitungan maupun memperkirakan risiko kepada organisme sasaran maupun sistem/sub populasi dan melakukan identifikasi terhadap kemungkinan-kemungkinan yang mengikutinya setelah terpapar dengan agen tertentu, dengan cara memperhatikan karakteristik yang terlekat di agen penyebab dimana membentuk atensi serta karakteristik terhadap sistem target yang spesifik (WHO, 2004). Terdapat empat kegiatan dalam melakukan analisis risiko yaitu sebagai berikut :

1. Identifikasi bahaya yaitu merupakan sebuah proses untuk mengetahui apakah terdapat efek maupun gangguan kesehatan yang dapat disebabkan oleh agen risiko yang mengenai tubuh manusia
2. Analisis dosis respon berfungsi untuk pengkarakteran interaksi antara dosis yang terdapat pada agen risiko yang mengenai populasi terpajan dengan peristiwa efek maupun gangguan kesehatan yang diterima oleh populasi terpajan serta mengukur efek peristiwa itu pada manusia yang terkena oleh agen risiko.
3. Analisis pajanan atau intake yaitu proses untuk mengetahui arah-arahan pajanan pada agen risiko sehingga total asupan yang diperoleh individu pada suatu populasi yang berisiko dapat dihitung konsentrasi agen risikonya. Intake terbagi menjadi yaitu intake realtime berupa waktu tinggal responden dan intake lifetime yaitu 30 tahun.
4. Karakterisasi risiko yaitu tahap untuk menetapkan tingkatan risiko dari agen yang dianalisis. Risiko kesehatan dibagi menjadi dua macam yaitu risiko non karsinogenik yang disimbolkan dengan *Risk Quetien* (RQ) nilai RQ non karsinogenik ini perlu dikendalikan dan ada ditandai dengan $RQ > 1$. Akan

tetapi, risiko tidak perlu dikelola jika nilai $RQ \leq 1$, tetapi nilai RQ ini harus dijaga agar nilai RQ tidak lebih dari satu. Risiko karsinogenik disimbolkan dengan *Excess Cancer Risk* (ECR) yang digunakan untuk mengetahui tingkatan pada efek karsinogenik. Risiko karsinogenik ditandai dengan nilai $ECR > 10^{-4}$.

Tahapan analisis risiko di atas digunakan untuk proses penilaian terhadap risiko kesehatan manusia yang diakibatkan terpajannya dengan bahaya lingkungan. Setelah melakukan analisis risiko selanjutnya dilakukan proses pengelolaan risiko yang terdiri atas tiga bagian yaitu evaluasi risiko, pengendalian emisi dan pemantauan risiko. Pengelolaan risiko dapat berjalan dengan baik dengan cara melakukan komunikasi terhadap pihak terkait yang mempunyai kepentingan dalam memutuskan alternatif-alternatif manajemen risiko yang akan digunakan (Fitra & Awaluddin, 2019). Jalur pajanan pada analisis risiko kesehatan dan lingkungan dibagi menjadi tiga macam yaitu jalur pajanan inhalasi melalui hidung, jalur pajanan oral melalui mulut serta jalur pajanan dermal yaitu melalui kulit.

2.4 Kecamatan Pakem dan Kecamatan Cangkringan

Kecamatan Pakem terletak pada 8,14 km² tepatnya di sebelah utara Kabupaten Sleman. Kecamatan Pakem berada di koordinat geografis 7.40'03"LS dan 110.25'12"BT adapun luas Kecamatan Pakem 43,74 km². Kecamatan Pakem memiliki lima Desa yaitu Desa Purwobinangun, Desa Candibinangun, Desa Harjobinangun, Desa Pakembinangun dan Desa Hargobinangun. Bagian utara berbatasan dengan Gunung Merapi, bagian timur berbatasan dengan Kecamatan Cangkringan, bagian selatan berbatasan dengan Kecamatan Ngaglik serta bagian barat berbatasan dengan Kecamatan Turi. Kecamatan Cangkringan mempunyai luas 47,99 km² dan ketinggian 449 m di atas permukaan air laut dan terdiri dari lima desa dan 73 dusun. Bagian utara berbatasan dengan Gunung Merapi, bagian timur dengan Kabupaten Klaten Jawa Tengah, bagian selatan dengan Kecamatan Ngemplak dan bagian barat dengan Kecamatan Pakem. Adapun lima desa di Kecamatan Cangkringan yaitu Desa Wurkisari, Desa Argomulyo, Desa Glagaharjo, Desa Kepuharjo dan Desa Umbulharjo.

Kecamatan Pakem mempunyai luas lahan pertanian 1.625 Ha dan Kecamatan Cangkringan memiliki luas lahan pertanian 840 Ha. Luasnya lahan pertanian

tersebut maka petani memerlukan penggunaan pestisida untuk melindungi dan menjaga kualitas tanamannya. Pestisida yang digunakan petani di Kabupaten Sleman yaitu salah satunya jenis organofosfat. Pestisida organofosfat yang digunakan petani di Kabupaten Sleman berdasarkan penelitian Kizlyara (2019) yaitu pestisida dengan jenis bahan aktif profenofos, klorpirofos dan diazinon.

Sumber air tanah yang digunakan di Kabupaten Sleman yaitu berasal dari air tanah Gunungapi Merapi. Pemanfaatan air tanah di Kecamatan Pakem pada tahun 2018 sebesar 3.905.058 m³/tahun dan Kecamatan Cangkringan sebesar 1.920.231 m³/tahun dengan total pemanfaatan air di Kabupaten Sleman pada tahun 2018 sebesar 100.608.062 m³/tahun. Jenis tanah yang terdapat di Kabupaten Sleman terdiri dari empat jenis tanah yaitu jenis tanah mediteran dengan luas 3.851 ha (6,69%), grumusol 1.746 ha (3,03%), regosol 49.262 ha (85,69%) dan latosol 2.317 ha (4,03%). Daerah Yogyakarta dan Sleman mempunyai sistem akuifer cekungan berupa akuifer tipe bebas dan setengah bebas hal ini akan membangun satu sistem akuifer utama. Umumnya arah aliran air tanah dimulai dari utara ke selatan dengan artian bahwa semakin ke selatan maka landaian hidraulika akan semakin kecil, terjadi penurunan nilai kemiringan topografi dan penurunan kualitas karakteristik akuifer, hal ini menyebabkan laju air tanah menuju ke selatan pun menjadi berkurang. Air tanah di Yogyakarta dan Sleman mempunyai morfologi muka air tanah dengan bentuk yang mirip dengan kerucut serta menebar dengan cara radial, bentuk kerucut ini cocok dengan penyebaran morfologi gunung api (Hendrayana & Vicente, 2013). Terdapat tiga tipe zonasi akuifer pada Cekungan Air Tanah (CAT) Yogyakarta-Sleman yaitu *recharge area* (area resapan air tanah), *transition zone* (daerah transisi dari recharge area dan *discharge area*) dan *discharge area* (daerah yang mempunyai kemampuan melepaskan air tanah secara alami). Kecamatan Pakem dan Kecamatan Cangkringan mempunyai zonasi akuifer tipe *recharge area* dan *transition zone* (Hendrayana & Vicente, 2013).

2.5 Penelitian Terdahulu

Berikut di bawah ini merupakan penelitian terdahulu terkait analisis kadar pestisida pada air tanah :

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu

| No | Judul Penelitian | Hasil Penelitian | Penulis |
|----|---|--|-------------------------------|
| 1 | <i>Risk assessment of organochlorine pesticides in drinking water source of the Yangtze River</i> | Ditemukan residu pestisida organoklorin pada perairan di sepanjang aliran tengah dan hilir sungai Yangtze yaitu 0,52-92,97 mg/L. Metode yang digunakan yaitu pengenceran isotop HRGC/HRMS | (Jin <i>et al.</i> , 2019) |
| 2 | <i>Organochlorine pesticide contamination of ground water in the city of hyderabad</i> | Sampel air dikumpulkan dari 28 sumur domestik di kota Hyderabad. Pada semua sampel yang dianalisis ditemukan terkontaminasi dengan 4 macam pestisida yaitu DDT (0,15-0,19 mg/L), h-Endosulfan (0,21-0,87 mg/L), a-endosulfan (1,34-2,14 mg/L) dan Lindane (0,68-1,38 Ag L). | (Shukla <i>et al.</i> , 2006) |
| 3 | <i>Organochlorine Pesticides in Surface Water of Jiuxi Valley, China: Distribution, Source Analysis and Risk Evaluation</i> | Air diambil pada 9 titik lokasi sampling di air permukaan lembah jiuxi selama musim gugur dan musim semi. Didapatkan residu pestisida organoklorin pada musim semi yaitu 4,07 hingga 13,5 mg/L-1 dan pada musim gugur yaitu 12, hingga 30,1 mg/L-1 | (Liu <i>et al.</i> , 2020) |
| 4 | <i>Identification and level of organochlorine insecticide contamination in groundwater and iridology analysis for people in Upper Citarum cascade</i> | Aplikasi organoklorin masih ditemukan di sawah DAS Citarum Hulu dan telah berpotensi mencemari air tanah. jenis. 7 jenis organoklorin. Aldrin terdeteksi dengan konsentrasi rata-rata 0,09 ppb, dieldrin dengan konsentrasi rata-rata 0,24 ppb, heptaklor dengan konsentrasi rata-rata 0,51 ppb, dengan konsentrasi endosulfan rata-rata 0,73 ppb, DDT dengan konsentrasi rata-rata 0,13 ppb, Lindan dengan konsentrasi rata-rata 0,13 ppb, konsentrasi rata-rata 1,2 ppb, endrin dengan konsentrasi rata-rata 0,03 ppb. | (Oginawati & Pratama, 2016) |

Penelitian terdahulu tentang pencemaran residu organoklorin di air tanah dan air sungai sudah pernah dilakukan. Adapun hasil yang didapatkan dari penelitian terdahulu ditemukan adanya residu organoklorin yaitu senyawa

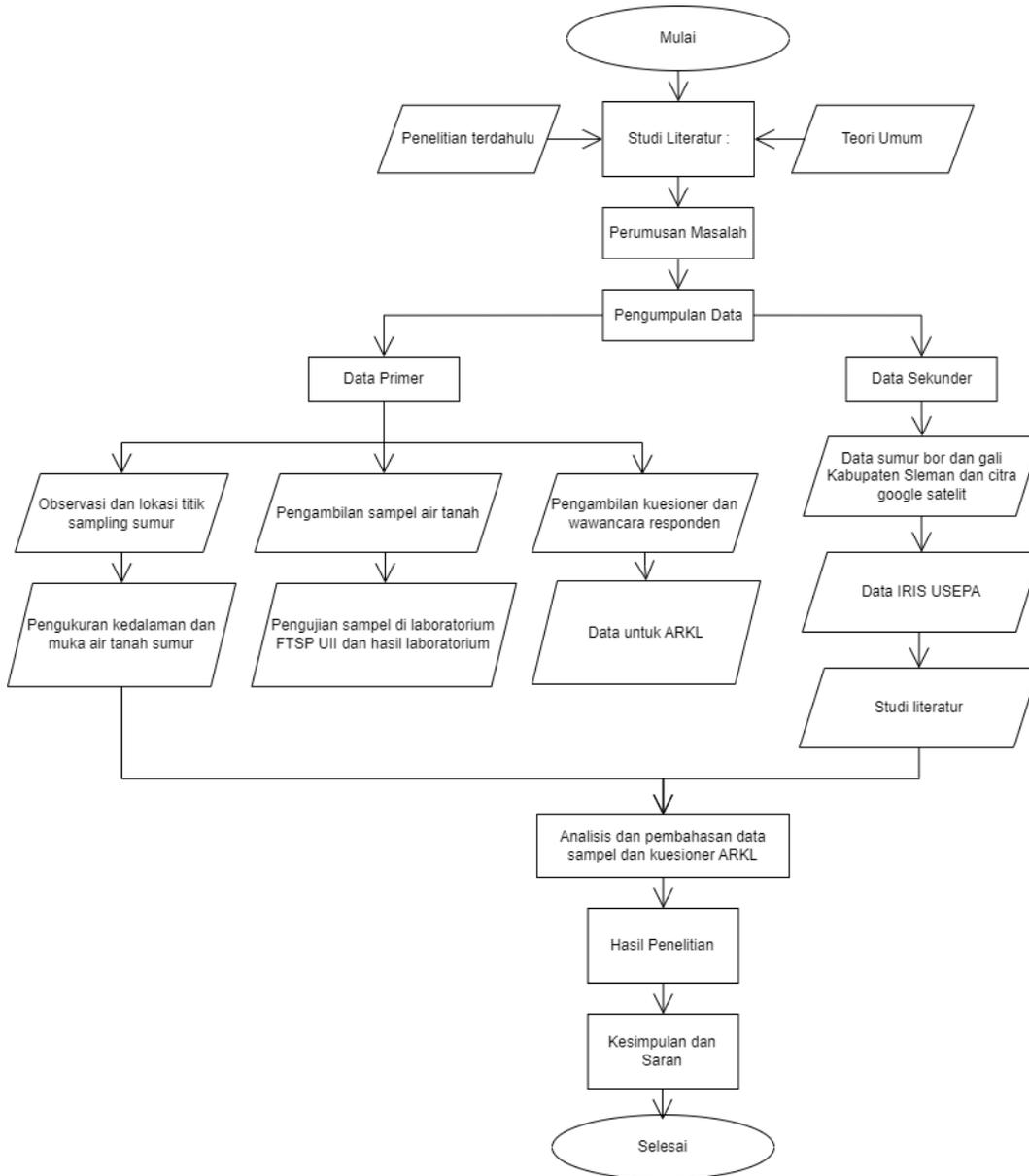
endosulfan, lindane, dieldrin, aldrin dan heptachlor dengan kadar residu organoklorin yang terdeteksi dari konsentrasi rendah hingga tinggi. Penelitian tentang residu organoklorin pada air tanah di Kecamatan Pakem dan Kecamatan Cangkringan belum pernah dilakukan sehingga peneliti memilih penelitian ini untuk dijadikan sebagai topik tugas akhir.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan dalam proses pengerjaan tugas akhir ini sebagai berikut :



Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian

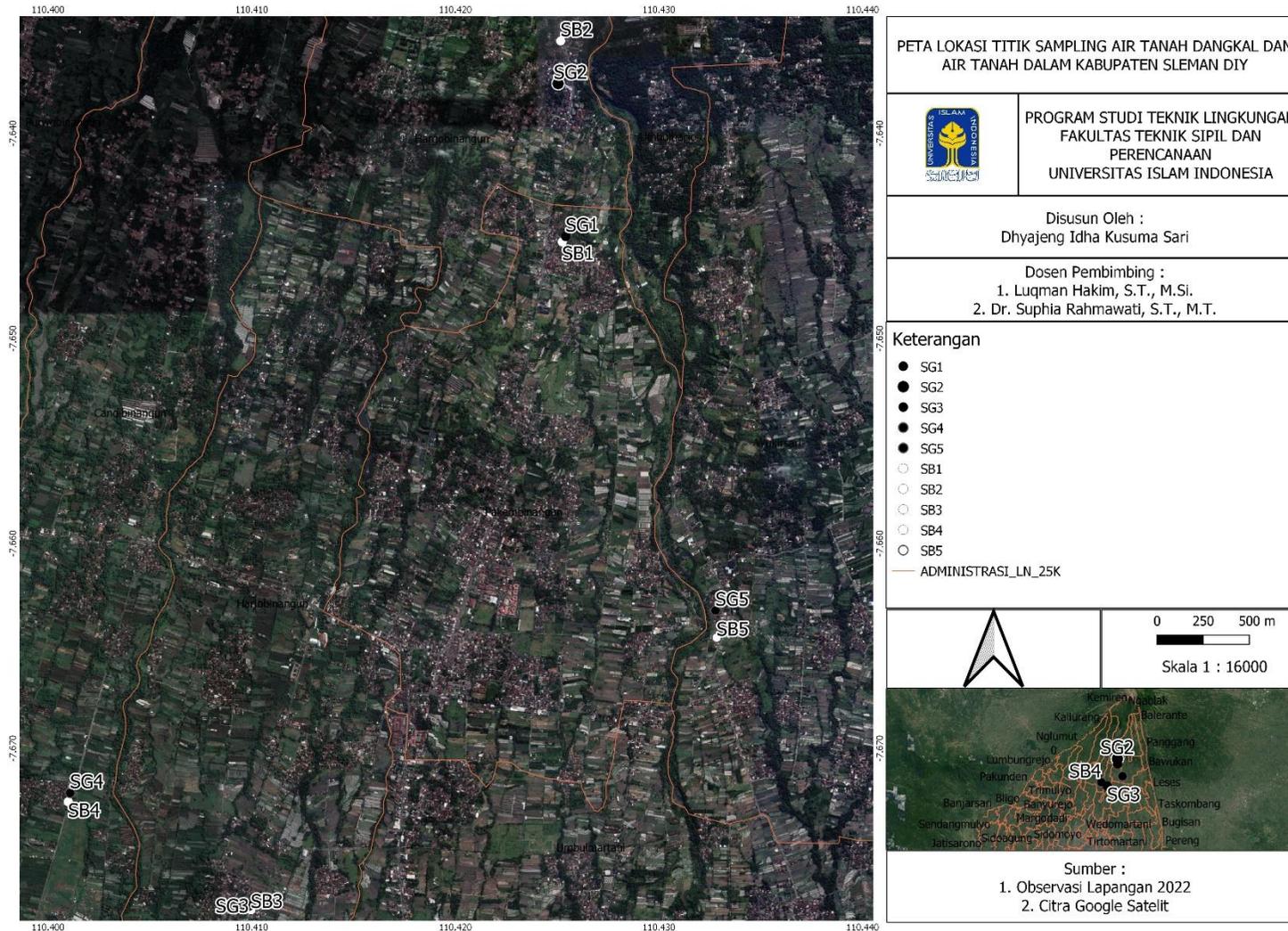
Tahapan penelitian pada penelitian ini dimulai dari mencari ide penelitian yang didapatkan dari penelitian terdahulu dan teori-teori umum yang digunakan untuk mendukung penelitian ini. Kemudian rancangan penelitian berisikan data primer dan data sekunder yang diperlukan untuk proses observasi lokasi sampling, pengambilan sampel, analisis sampel, pengambilan kuesioner dan analisis data. Setelah mendapatkan data sekunder dan data primer selanjutnya dilakukan proses observasi sumur, pengambilan sampel air tanah, pengambilan kuesioner dan pengujian laboratorium pada sampel air tanah sehingga didapatkan hasil pengujian sampel air tanah dari laboratorium yang selanjutnya akan dilakukan proses pengolahan data dari hasil pengujian laboratorium dan proses pengolahan data analisis risiko kesehatan lingkungan yang didapatkan dari data kuesioner, wawancara dan observasi. Langkah terakhir yaitu melakukan pembahasan terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan dan didapatkan kesimpulan serta saran dari hasil penelitian ini.

3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2022 sampai Juli 2022 dan terdapat sepuluh titik sampling yaitu delapan titik sumur yang berada di Kecamatan Pakem pada Desa Pakembinangun, Hargobinangun, Harjobinangun dan Candibinangun kemudian dua titik sumur berada di Kecamatan Cangkringan pada Desa Wurkisari. Pertimbangan dalam memilih Kecamatan Pakem dan Kecamatan Cangkringan untuk dijadikan lokasi titik sampling disebabkan oleh kedua Kecamatan tersebut mempunyai area lahan pertanian yang luas yaitu 1.625 Ha dan 840 Ha. Lokasi sumur dangkal dan sumur dalam yang dijadikan sebagai lokasi titik sampling berada di sekitar area persawahan yang didominasi oleh tanaman hortikultura dan padi sehingga berpotensi adanya penggunaan pestisida organoklorin pada zaman dahulu dan adanya potensi risiko pencemaran air tanah oleh pestisida organoklorin. Titik sampling menggunakan sumur dangkal dan sumur dalam disebabkan oleh terdapatnya potensi pencemaran residu organoklorin akibat pemakaian organoklorin pada zaman dahulu yang masuk ke dalam air tanah dangkal dan air tanah dalam disebabkan oleh proses rembesan residu organoklorin yang terlarut bersama dengan air hujan dan masuk kedalam aliran air tanah melalui

media tanah pertanian. Berikut merupakan gambar peta lokasi titik sampling pada penelitian ini yang dapat dilihat pada gambar 3.1 di bawah berikut ini :





Gambar 3. 2 Peta Lokasi Penelitian dan Titik Sampling

3.3 Metode Pengumpulan data

Pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari dua jenis data yaitu data primer dan data sekunder.

3.3.1 Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder didapatkan dari studi literatur berupa studi terdahulu tentang organoklorin, SNI pengambilan sampel air tanah SNI 06-2421-1991, acuan untuk parameter insitu dan batas maksimum pestisida pada air tanah yaitu Permenkes Nomor 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua dan Pemandian Umum, penelitian terkait dengan metode ekstraksi senyawa organoklorin di air tanah mengacu pada penelitian (Awadh & Hashim, 2018), pengaturan instrumen *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) untuk pembacaan senyawa organoklorin pada sampel air tanah menggunakan EPA *Method 525.2* untuk selengkapnya dapat dilihat pada **subbab 3.3.2.2 bagian D analisis sampel**, data nilai *Reference Dose* (RfD) dan *Cancer Slope Factor* (CSF) untuk analisis risiko kesehatan lingkungan didapatkan dari IRIS USEPA, Pedoman Analisis Risiko Kesehatan dan Lingkungan Direktorat Jenderal PP dan PL Kementerian Kesehatan Tahun 2012 digunakan untuk proses Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) dan data sumur dangkal serta sumur dalam disertai dengan citra google satelit yang digunakan untuk observasi dan menentukan lokasi titik sampling.

3.3.2 Pengumpulan Data Primer

Data-data primer yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut :

3.3.2.1 Observasi Sumur

Observasi sumur pada penelitian ini diawali dengan melakukan penentuan lokasi titik sampling dengan menggunakan data sumur dangkal dan sumur dalam di Kabupaten Sleman, citra google satelit serta observasi langsung ke lapangan. Observasi lokasi dilakukan mulai bulan November 2021 dengan mendatangi langsung titik sumur dangkal dan sumur dalam dari data sekunder berupa daftar lokasi sumur dangkal dan sumur dalam yang ada di Kabupaten Sleman. Kemudian, karena sumur dalam yang di datangi tidak sesuai dengan kriteria seperti lokasi

sumur yang tidak berada di sekitar area pertanian, kondisi sumur yang sudah tertutup. Oleh sebab itu, tidak bisa dilakukan pengukuran kedalaman sumur disebabkan oleh kondisi sumur yang tertutup. Data sekunder terkait titik sumur dalam yang berada di Kecamatan Pakem dan Kecamatan Cangkringan yang sedikit menyebabkan peneliti melakukan observasi lokasi titik sampling secara mandiri dengan cara mencari titik sampling sumur dalam terlebih dahulu di lima desa yaitu Desa Pakembinangun, Hargobinangun, Harhjobinangun, Candibinangun dan Wukirsari, setelah mendapatkan titik sampling sumur dalam dilanjutkan dengan mengobservasi titik sampling sumur dangkal yang jaraknya masih berada disekitar area titik sampling sumur dalam.

Langkah selanjutnya setelah melakukan penentuan lokasi titik sampling sumur dangkal dan sumur dalam yaitu melakukan pengukuran kedalaman sumur (m), kontur tanah pada titik sumur, konstruksi sumur, kondisi fisik air tanah yaitu pH, suhu dan TDS serta kondisi air tanah yaitu ketersediaan dan kualitas air tanah. Kedalaman sumur (m) dan kontur tanah diukur untuk mendapatkan nilai muka air tanah (MAT) dengan cara mengurangi nilai kontur tanah dengan kedalaman sumur. Proses pengukuran kedalaman air tanah (m) berfungsi untuk mengetahui kedalaman air tanah pada sumur dangkal dan sumur dalam dengan menggunakan alat *water level meter* sedangkan untuk mengukur kontur tanah pada titik sumur dangkal dan sumur dalam menggunakan alat altimeter merek thommen classic. Hasil dari pengukuran kedalaman sumur (m) dan kontur tanah tersebut akan digunakan untuk menghitung muka air tanah (MAT) pada titik sampling air tanah dangkal dan air tanah dalam. Berikut merupakan proses pengukuran kedalaman sumur dan mengukur kontur tanah.



Gambar 3. 3 Pengukuran dengan Altimeter dan Water Level Meter

Sumber : dokumentasi pribadi dan google

3.3.2.2 Pengambilan Sampel dan Analisis Sampel

A. Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel air tanah dangkal dan air tanah dalam menggunakan panduan dari SNI 06-2421-1991 tentang Metode Pengambilan Contoh Kualitas Air. Tahapan pengambilan contoh kualitas air untuk sumur dalam dan sumur dangkal yaitu dengan penjelasan sebagai berikut :

- 1) pada sumur gali contoh diambil pada kedalaman 20 cm di bawah permukaan air dan sebaiknya diambil pada pagi hari
- 2) pada sumur bor dengan pompa tangan /mesin, contoh diambil dari kran/mulut pompa tempat keluarnya air setelah air dibuang selama lebih kurang lima menit.

Sampel air tanah yang diambil pada penelitian ini diambil sebanyak 1000 mL atau 1 L dan sampel dimasukkan ke dalam wadah botol plastik yang sebelumnya dibersihkan terlebih dahulu agar tidak terjadi kontaminasi pada botol sampel yang akan digunakan. Kemudian sampel air tanah yang sudah diambil diukur suhu airnya menggunakan termometer dan dimasukkan ke dalam *ice box* yang berisikan es batu agar sampel air tanah dalam perjalanan menuju ke laboratorium masih dalam kondisi dingin. Setelah sampel air tanah sampai di Laboratorium Teknik Lingkungan FTSP UII sampel diawetkan dengan cara didinginkan pada lemari pendingin pada temperatur $\pm 4^{\circ}\text{C}$ dengan batamu waktu penyimpanan yaitu 7 hari dan sampel air tanah mempunyai batas waktu untuk proses ekstraksi yaitu 40 hari dari waktu sampel diambil.

B. Persiapan di Laboratorium

Persiapan alat dan bahan di Laboratorium Teknik Lingkungan FTSP UII dilakukan sebelum proses ekstraksi sampel air tanah dan analisis sampel air tanah. Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu :

Peralatan yang digunakan untuk penelitian ini yaitu :

1. Instrumen *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS)
2. Vakum
3. *Water bath*
4. Pipet ukur 5 ml, 10 ml
5. Cawan porselin

6. Vial bertutup teflon 1 ml dan 2 ml
7. Gelas ukur bertutup 50 ml, 100 ml, 1000 ml
8. Gelas piala 1000 ml
9. Erlenmeyer bertutup 300 ml
10. SPE C-18 1000 mg/6 mL Cat. #SLBC1861000
11. *Ice box*
12. Altimeter
13. *Water sampler*

Untuk bahan yaitu :

1. HCL
2. Diklorometana
3. N-heksan (C₆H₁₄) p.a;
4. Metanol
5. Air bebas organik
6. Etil Asetat
7. Gas helium, He *ultra high pure* (UHP) 99,9995

C. Prosedur Ekstraksi Sampel

Sebelum proses ekstraksi sampel air tanah maka, dilakukan pengukuran terlebih dahulu terhadap parameter pH dan TDS dengan menggunakan alat ukur pH dan TDS. Metode ekstraksi residu organoklorin yang ada di dalam air tanah dapat dilakukan dengan menggunakan metode ekstraksi fase padat atau SPE. Metode ekstraksi organoklorin di air tanah pada penelitian ini menggunakan penelitian dari (Awadh & Hashim, 2018). Prosedur kerja Ekstraksi Fase Padat (SPE) pada penelitian ini sebagai berikut :

1. menyaring sampel air dengan kertas filter nilon 0,45 m (wattman) untuk menghilangkan partikel. Proses penyaringan ini dibantu dengan menggunakan alat vakum yang berfungsi untuk menyedot sampel air yang masuk melalui kertas filter dan sampel akan tertampung kedalam Erlenmeyer kemudian dipindahkan ke dalam gelas beaker 1000 mL
2. air yang sudah disaring diasamkan dengan asam klorida (HCL) hingga pH 2,5. Fungsi dari penambahan HCL pada sampel hingga pH 2,5 yaitu agar dapat menghambat aktivitas biologis

3. lalu ditambahkan 10 ml methanol ke sampel air untuk ekstraksi yang lebih baik selanjutnya katrid C-18 dilakukan pengkondisian terlebih dahulu dengan mengalirkan 5 ml etilasetat, 5 ml diklorometana, 10 ml methanol dan 10 ml air bebas organik ke dalam katrid C-18 sebelum digunakan.
4. 1000 ml Sampel yang sudah diberikan reagen pada langkah dua dan tiga selanjutnya dialirkan atau dilewati ke dalam katrid C-18 secara bertahap sebanyak 10 ml dengan laju alir 10-15 ml/menit
5. Setelah 1000 ml sampel air selesai dialirkan ke dalam catrid C18, maka dilakukan proses pengisapan (vakum) dilanjutkan selama 15 menit untuk mengeringkan katrid C-18
6. catrid C-18 yang sudah dilakukan pengeringan (vakum) selanjutnya dielusi dengan melewati 10 ml pelarut ekstraksi (Diklorometana : heksan; 3:1). Hasil elusi ditampung dengan cawan porselin dan diuapkan dengan menggunakan *water bath* pada suhu 90°C hingga larutan elusi tersebut menguap dan kering
7. volume akhir ekstraksi dibuat menjadi 1 ml dengan cara mendinginkan cawan porselin terlebih dahulu lalu memasukkan 1 ml n-heksana ke dalam cawan porselin dan pindahkan 1 ml n-heksana tersebut ke dalam botol vial injeksi dan siap diinjeksikan ke dalam GC-MS.

D. Analisis Sampel

Proses analisis sampel pada penelitian ini terbagi menjadi dua macam yaitu analisis larutan standar organoklorin dan analisis kurva kalibrasi untuk mendapatkan konsentrasi kadar senyawa pestisida organoklorin pada sampel air tanah dangkal dan air tanah dalam. Berikut merupakan proses analisis sampel :

1. Analisis Larutan Standar Organoklorin

Analisis larutan standar organoklorin dilakukan dengan cara membaca larutan standar organoklorin pada konsentrasi 40 ppm dengan metode *full scan* dan dianalisis menggunakan instrumen GC-MS. Metode *full scan* adalah proses untuk mencari atau analisa terhadap semua senyawa yang terdapat dalam sampel. Oleh sebab itu, jika metode *full scan* sudah dilakukan dan didapatkan target senyawa yang diinginkan maka dapat dilanjutkan dengan metode *Selected ion monitoring*

(SIM). Hasil dari pembacaan larutan standar organoklorin konsentrasi 40 ppm didapatkan nilai waktu retensi dan m/z dari senyawa-senyawa organoklorin yang terdapat pada larutan standar organoklorin konsentrasi 40 ppm, yang selanjutnya nilai waktu retensi dan m/z tersebut akan digunakan untuk proses pembacaan larutan standar organoklorin konsentrasi 20 ppm dan 80 ppm dengan menggunakan metode SIM. Metode SIM adalah proses pembacaan GC-MS yang hanya menggunakan nilai m/z dengan nilai yang besar untuk dilakukan monitor. Teknik SIM ini memiliki tingkat sensibilitas yang lebih baik daripada metode full scan hal tersebut disebabkan oleh *abundance* (kelimpahan) dari fragmen ion dapat diukur dengan waktu yang lebih lama oleh detector (Boes *et al.*, 2013).

Setelah mendapatkan nilai m/z dan waktu retensi dari larutan standar organoklorin konsentrasi 20, 40 dan 80 ppm maka, langkah selanjutnya mencari nilai *peak area* (luas area) dari larutan standar organoklorin konsentrasi 20,40 dan 80 ppm yang didapatkan dengan cara mengidentifikasi *peak area* (luas area) dari waktu retensi yang dihasilkan tiap senyawa organoklorin pada larutan standar organoklorin tersebut sehingga nilai luas area ini akan digunakan untuk membuat kurva kalibrasi larutan standar organoklorin yang akan dipakai untuk mencari nilai konsentrasi senyawa organoklorin pada sampel air tanah. Untuk mengetahui sampel air tanah yang dianalisis terdeteksi senyawa organoklorin atau tidak yaitu dengan cara membandingkan waktu retensi dan nilai m/z dari sampel air tanah dengan nilai waktu retensi dan m/z dari larutan standar organoklorin. Analisis larutan standar organoklorin dan sampel air tanah dilakukan dengan menggunakan instrumen *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS). Adapun jenis GC-MS yang digunakan pada penelitian ini yaitu tipe A7820 dan settingan GC-MS yang digunakan dalam menganalisis sampel air tanah dangkal dan air tanah dalam yaitu menggunakan acuan *EPA Method 525.2* dengan rincian pengaturan sebagai berikut :

Tabel 3. 1 Pengaturan Instrumen GC-MS

| | |
|-------|---|
| Kolom | DB-5ms 122-5532 30 m x 0,25 mm, 0,25 μ |
| Gas | Helium pada 32 cm/s, diukur pada 45 °C, mode aliran konstan |

| | |
|----------|---|
| Oven | 45 °C selama 1 min, 45-130 °C pada 10 °C/min, 130 °C selama 3 min, 130-180 °C pada 10 °C/min, 180-240 °C pada 5 °C/min, 240-325 °C pada 7 °C.min, 325 °C selama 5 min |
| Injeksi | <i>Spitless</i> , 300 °C, 1.0 min pembersihan liner focus waktu tindakan |
| Detektor | MSD, 325 °C <i>transfer line</i> |

Larutan standar organoklorin yang digunakan pada penelitian ini dibeli dari Restek Corporation yaitu *organochlorine Pesticide Mix AB# 1 20 components* 200 µg/mL yang berisikan senyawa Aldrin, α-BHC, β-BHC, δ-BHC, γ-BHC Lindane, *cis-Chlordane,trans-Chlordane*, Dieldrin, Endosulfan I, Endosulfan II, Endosulfan sulfate, Endrin, Endrin aldehyde, Endrin ketone, Heptachlor, Heptachlor epoxide (isomer B), Methoxychlor, 4,4'-DDD, 4,4'-DDE dan 4,4'-DDT,

1. Analisis Kurva Kalibrasi dan Konsentrasi Sampel

Setelah analisis larutan standar organoklorin maka dilakukan analisis kuantitatif dengan cara membuat kurva kalibrasi dari konsentrasi larutan standar organoklorin 20, 40 dan 80 ppm dan *peak area* (luas area) dari senyawa-senyawa organoklorin yang dihasilkan dari masing-masing konsentrasi larutan standar organoklorin dengan menggunakan *software Microsoft Excel*. Nilai konsentrasi larutan standar organoklorin 20, 40, 80 ppm dan *peak area* (luas area) dari masing-masing senyawa organoklorin yang terdapat pada larutan standar organoklorin selanjutnya diplotkan ke dalam kurva kalibrasi sehingga didapatkan nilai regresi linier (R^2). Dari hasil data kurva kalibrasi larutan standar organoklorin yang sudah dibuat maka didapatkan persamaan regresi linier $y = ax + b$ dimana a merupakan nilai *intercept*, b nilai *slope*, y nilai *peak area* (luas area sampel) dan x adalah nilai konsentrasi residu organoklorin pada sampel air tanah yang akan dicari dengan persamaan regresi linier (R^2) dari masing-masing senyawa organoklorin. Untuk nilai konsentrasi (x) pada sampel air tanah yang dihitung dengan persamaan kurva kalibrasi merupakan nilai konsentrasi untuk 1 ml sampel air yang sudah dipekatkan dari 1000 ml air sehingga konsentrasi (x) tersebut perlu dibagi lagi dengan faktor pemekatan yaitu 1000 mL dan didapatkan konsentrasi (x) akhir dalam satuan ppm

atau mg/L untuk senyawa organoklorin yang terdeteksi pada sampel air tanah. Berikut merupakan rumus perhitungan senyawa organoklorin pada sampel air tanah dengan menggunakan persamaan kurva kalibrasi :

$$\text{Persamaan } y = ax + b$$
$$x \text{ (Konsentrasi sampel)} = \frac{y(\text{luas area sampel}) - b(\text{intercept})}{a(\text{slope})}$$

Adapun pada penelitian ini terdapat nilai *Limit of Detection* (LOD) dan *Limit of Quantification* (LOQ). LOD adalah jumlah terkecil analit dalam sampel yang dapat dideteksi yang masih memberikan respon signifikan dibandingkan dengan blanko. LOQ adalah batas kuantifikasi yang diartikan sebagai kuantitas terkecil analit dalam sampel yang masih dapat memenuhi kriteria cermat dan seksama. Nilai LOD dan LOQ yang digunakan pada penelitian ini yaitu dari nilai LOD dan LOQ instrumen (GC-MS) senyawa organoklorin yaitu dengan nilai LOD 0,01 ppm dan LOQ 1 ppm.

3.3.2.3 Kuesioner Responden

Data kuesioner yang digunakan pada penelitian ini meliputi data pribadi responden yaitu nama, usia, berat badan dan lama waktu tinggal atau durasi paparan responden. Data selanjutnya yaitu terkait pola dan penggunaan air tanah responden data ini berupa jumlah konsumsi air tanah, umur sumur dan penggunaan air tanah, frekuensi atau lamanya penggunaan air tanah untuk aktivitas mandi. Data kuesioner ini diberikan kepada responden pada bulan Maret tahun 2022. Adapun kuesioner diberikan dengan cara mewawancarai responden yang merupakan kepala rumah tangga dirumah tersebut.

A. Analisis Risiko Kesehatan dan Lingkungan

Tahap selanjutnya setelah mengetahui nilai konsentrasi dari senyawa organoklorin pada sampel air tanah yaitu dilakukan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). untuk mengetahui tingkat risiko kesehatan pada masyarakat di sekitar sumur dangkal dan sumur dalam di Kecamatan Pakem dan Kecamatan Cangkringan. Adapun rumus yang digunakan pada analisis ARKL ini mengacu pada pedoman analisis risiko kesehatan dan lingkungan direktorat jenderal PP dan PL Kementerian Kesehatan Tahun 2012 sebagai berikut :

1. Analisis pemajanan : Berguna untuk mengetahui arah-arahan pajanan pada risk agent sehingga total asupan yang diperoleh individu pada suatu populasi yang berisiko dapat dihitung, berikut rumusnya :

- perhitungan intake pajanan oral

$$I = \frac{C \times R \times fE \times Dt}{Wb \times tavg}$$

- perhitungan intake pajanan dermal

$$I = \frac{C \times R (vol\ mandi) \times CF \times PC \times SA \times EV \times fE \times Dt}{Wb \times tavg}$$

Keterangan :

I = asupan (intake), mg/kg/hari

C = konsentrasi risk agent, mg/L untuk air minum

R = laju asupan atau konsumsi, L/hari untuk air minum dan mandi

PC = permeabilitas kulit, cm/jam

CF = faktor konversi volumetri

SA = luas permukaan tubuh terkontak, cm²

fE = frekuensi pajanan

Dt = durasi pajanan tahun (realtime = waktu tinggal responden, lifetime 30 tahun (non karsinogenik) dan 70 tahun (karsinogenik)

Wb = berat badan, kg

Tavg = periode waktu rata-rata (365×30 tahun = non karsinogenik 365×70 tahun = karsinogenik)

2. Setelah dilakukan proses analisis pajanan selanjutnya dilakukan proses analisis *dose respon* yaitu menentukan angka-angka kuantitatif pada toksisitas risk agent untuk setiap bentuk spesi kimianya.
3. Karakterisasi risiko : *Risk Quotient* (RQ) merupakan tingkat risiko bagi risiko non karsinogenik dan *Excess Cancer Risk* (ECR) untuk risiko karsinogenik. Risiko kesehatan perlu dikendalikan dan ada ditandai dengan $RQ > 1$. Tetapi risiko tidak butuh untuk di Kelola jika nilai $RQ \leq 1$ namun nilai RQ ini harus di jaga agar nilai RQ tidak lebih dari 1 dan untuk nilai risiko karsinogenik berisiko jika nilai $ECR > 10^{-4}$ dan tidak berisiko

karsinogenik jika nilai ECR < 10⁻⁴. Berikut merupakan rumus yang digunakan :

- Risiko non karsinogenik

$$RQ = \frac{Ink}{RfD}$$

- Risiko karsinogenik

$$ECR = Ink \times CSF$$

Adapun nilai *Reference dose* (RfD) dan *Cancer slope factor* (CSF) yang digunakan dalam karakterisasi risiko ini mengacu pada IRIS USEPA yaitu :

Tabel 2. 3 Nilai RfD dan CSF

| Senyawa | RfD (mg/kg/hari) | CSF (mg/kg/hari) |
|--------------------|---------------------|---------------------|
| Heptachlor Epoxide | 0,000013 | 9,1 |
| Endrin Aldehyde | 0,0003 | - |

3.4 Metode Analisis Data

Metode analisis data yang digunakan pada penelitian ini yaitu statistik deskriptif yaitu mengolah data secara statistik menggunakan grafik dan tabel kemudian dijelaskan dalam bentuk deskriptif untuk memberikan gambaran terkait data tersebut. Data-data yang diolah secara statistik deskriptif yaitu data hasil observasi sumur, kuesioner responden, analisis data sampel air tanah dan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL).

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Lokasi Penelitian

Lokasi yang digunakan sebagai titik sampling pada penelitian ini berada di Kecamatan Pakem dan Kecamatan Cangkringan. Adapun jumlah sumur yang digunakan pada penelitian ini berjumlah sepuluh sumur yaitu lima sumur dangkal dan lima sumur dalam yang berada di Kecamatan Pakem yaitu Desa Pakembinangun, Desa Hargobinangun, Desa Harjobinangun, Desa Candibinangun dan Kecamatan Cangkringan yaitu Desa Wurkisari dengan jumlah sumur masing-masing Desa yaitu lima sumur dangkal dan lima sumur dalam. Kecamatan Pakem mempunyai luas sawah 1,625 Ha dan Kecamatan Cangkringan dengan luas sawah 840 Ha, luasnya area sawah tersebut maka para petani memerlukan penggunaan pestisida untuk melindungi dan menjaga kualitas tanamannya dari serangan hama-hama. Penggunaan pestisida sudah dilakukan sejak zaman dahulu hingga masa sekarang dengan berbagai macam golongan pestisida seperti organoklorin yang penggunaannya sudah dilarang sejak tahun 1983 di Indonesia. Oleh sebab itu, Kecamatan Pakem dan Kecamatan Cangkringan dipilih sebagai lokasi sampling pada penelitian ini.

Adapun berdasarkan hasil observasi titik sampling yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada tabel di bawah berikut ini :

Tabel 4. 1 Deskripsi Lokasi Penelitian dan Karakteristik Sumur

| Titik | Koordinat Sumur | Gambar | Keterangan | Parameter Lapangan | Elevasi MT | Kedalaman Sumur (m) | Elevasi MAT (m) |
|-------|-----------------------------------|---|---|--------------------|------------|---------------------|-----------------|
| SG1 | 436653;9154931 (Pakembinangun) |  | Letak sumur dangkal berada di dalam rumah. Terdapat lahan pertanian disekitar lokasi sampling berupa cabai dan padi dengan jarak 85 m | Suhu : 30°C | 490 | 5,9 m | 484,1 m |
| | | | | pH : 7,6 | | | |
| SG2 | 436567;9155806 (Hargobinangun) |  | Letak sumur dangkal berada di luar rumah. Terdapat lahan pertanian disekitar lokasi sampling berupa tanaman cabai, bawang dan padi dengan jarak 463 m | Suhu : 30°C | 560 | 8 m | 552 m |
| | | | | pH : 7,7 | | | |
| | | | | TDS : 176 mg/L | | | |
| | | | | TDS : 188 mg/L | | | |

| Titik | Koordinat Sumur | Gambar | Keterangan | Parameter Lapangan | Elevasi MT | Kedalaman Sumur (m) | Elevasi MAT (m) |
|-------|------------------------------------|---|--|--------------------|------------|---------------------|-----------------|
| SG3 | 434949; 9151318 (Harjobinangun) |  | Letak sumur dangkal berada di luar rumah. Terdapat lahan pertanian disekitar lokasi sampling berupa tanaman cabai dan padi dengan jarak 85 m | Suhu : 30°C | 360 | 6 m | 352,4 m |
| | | | | pH : 8.5 | | | |
| | | | | TDS : 251 mg/L | | | |
| SG4 | 433896; 9151821 (Candibinangun) |  | Letak sumur dangkal berada di dalam rumah. Terdapat lahan pertanian disekitar lokasi sampling berupa tanaman cabai dan padi dengan jarak 170 m | Suhu : 30°C | 390 | 4 m | 386 m |
| | | | | pH : 6,5 | | | |
| | | | | TDS : 232 mg/L | | | |
| SG5 | 437441; 9152887 (wukirsari) |  | Letak sumur dangkal berada di dalam rumah. Terdapat lahan pertanian disekitar lokasi sampling berupa tanaman cabai, bawang dan padi dengan jarak 121 m | Suhu : 30°C | 420 | 6 m | 414 m |
| | | | | pH : 6,6 | | | |
| | | | | TDS : 246 mg/L | | | |

| Titik | Koordinat Sumur | Gambar | Keterangan | Parameter Lapangan | Elevasi MT | Kedalaman Sumur (m) | Elevasi MAT (m) |
|-------|-----------------------------------|--|---|--------------------|------------|---------------------|-----------------|
| SB1 | 436599;9154870 (Pakembinangun) |  | Letak sumur dalam berada di luar rumah. Terdapat lahan pertanian disekitar lokasi sampling berupa tanaman cabai dan padi dengan jarak 243 m | Suhu : 30°C | 490 | 14 m | 470 m |
| | | | | pH : 7,5 | | | |
| | | | | TDS : 244 mg/L | | | |
| SB2 | 436588;9155950 (Hargobinangun) |  | Letak sumur dalam berada di luar rumah. Terdapat lahan pertanian disekitar lokasi sampling berupa tanaman cabai, bawang dan padi dengan jarak 318 m | Suhu : 30°C | 570 | 21 m | 549 m |
| | | | | pH : 7,4 | | | |
| | | | | TDS : 220 mg/L | | | |
| SB3 | 434949;9151288 (Harjobinangun) |  | Letak sumur dalam berada didalam rumah. Terdapat lahan pertanian disekitar lokasi sampling berupa tanaman cabai, bawang dan padi dengan jarak 115 m | Suhu : 30°C | 340 | 12 m | 328 m |
| | | | | pH : 7,8 | | | |
| | | | | TDS : 250 mg/L | | | |

| Titik | Koordinat Sumur | Gambar | Keterangan | Parameter Lapangan | Elevasi MT | Kedalaman Sumur (m) | Elevasi MAT (m) |
|-------|-----------------------------------|---|--|--------------------|------------|---------------------|-----------------|
| SB4 | 433809;9151624 (Candibinangun) |  | Letak sumur dalam berada di dalam rumah. Terdapat lahan pertanian disekitar lokasi sampling berupa tanaman cabai dan padi dengan jarak 186 m | Suhu : 30°C | 351 | 15 m | 336 m |
| | | | | pH : 7,7 | | | |
| | | | | TDS : 268 mg/L | | | |
| SB5 | 437455; 9152746 (Wukirsari) |  | Letak sumur dalam berada di dalam rumah. Terdapat lahan pertanian disekitar lokasi sampling berupa tanaman cabai dan padi dengan jarak 54 m | Suhu : 30°C | 430 | 21 m | 409 m |
| | | | | pH : 7,3 | | | |
| | | | | TDS : 269 mg/L | | | |

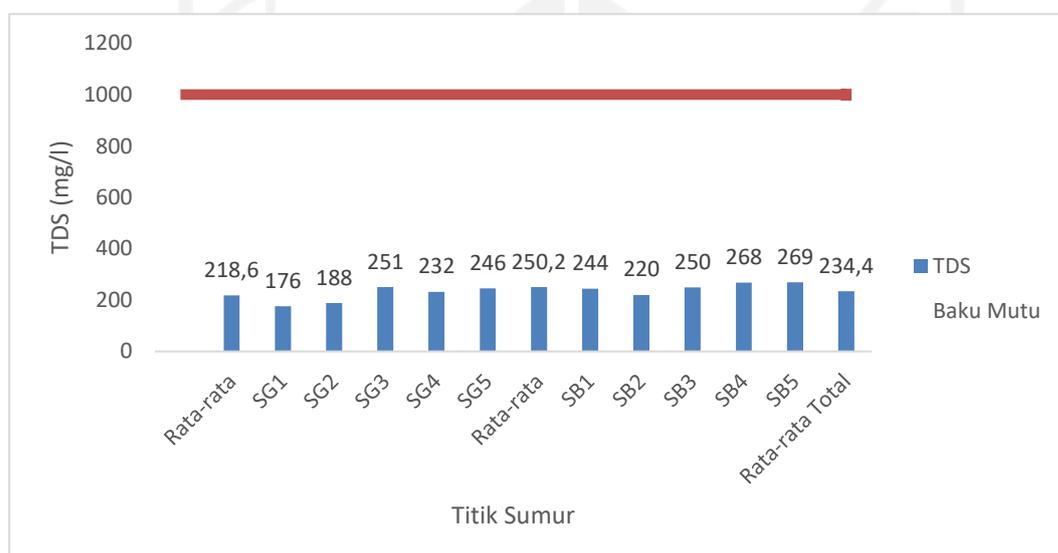
4.2 Karakteristik Sumur

Berikut ini merupakan hasil dari pengolahan data observasi sumur yaitu karakteristik fisik air sumur, karakteristik kimia air sumur dan kondisi fisik sumur yang terdapat pada **sub bab 4.1** di atas. Acuan yang digunakan untuk parameter insitu air tanah yaitu Permenkes Nomor 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua dan Pemandian Umum :

4.2.1 Karakteristik Fisik

1. *Total Dissolved Solid* (TDS)

Berikut merupakan hasil pengujian TDS pada air sumur :

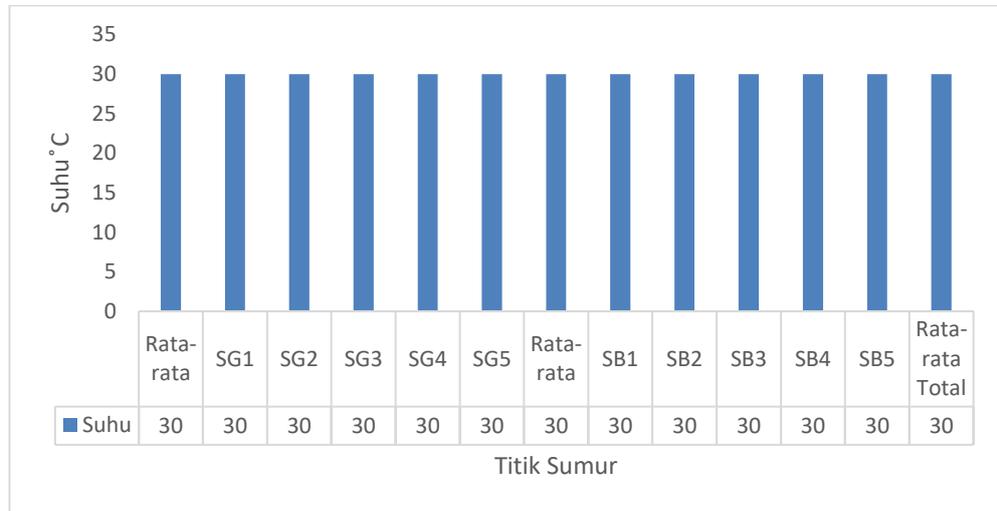


Gambar 4. 1 Hasil Pengujian TDS Air Sumur

Nilai *Total Dissolved Solid* (TDS) air tanah pada penelitian ini memiliki nilai dibawah < 1000 berjumlah sepuluh sumur (100%). Rata-rata nilai TDS sumur dangkal yaitu 218,6 mg/L dan sumur dalam yaitu 250,2 mg/L dengan rata-rata total nilai TDS yaitu 234,4 mg/L sehingga air tersebut dikategorikan baik dan layak untuk digunakan karena nilai TDS yang baik yaitu tidak melebihi kadar maksimum 1000 mg/L. Pada penelitian Gakuba *et al.*, (2018) di sungai Umngeni Afrika Selatan didapatkan hasil peningkatan nilai TDS diikuti dengan peningkatan nilai konsentrasi residu organoklorin pada air pori, nilai TDS yang tinggi merupakan indikasi terjadinya pencemaran di dalam air.

2. Suhu

Berikut merupakan hasil pengujian suhu pada air sumur :



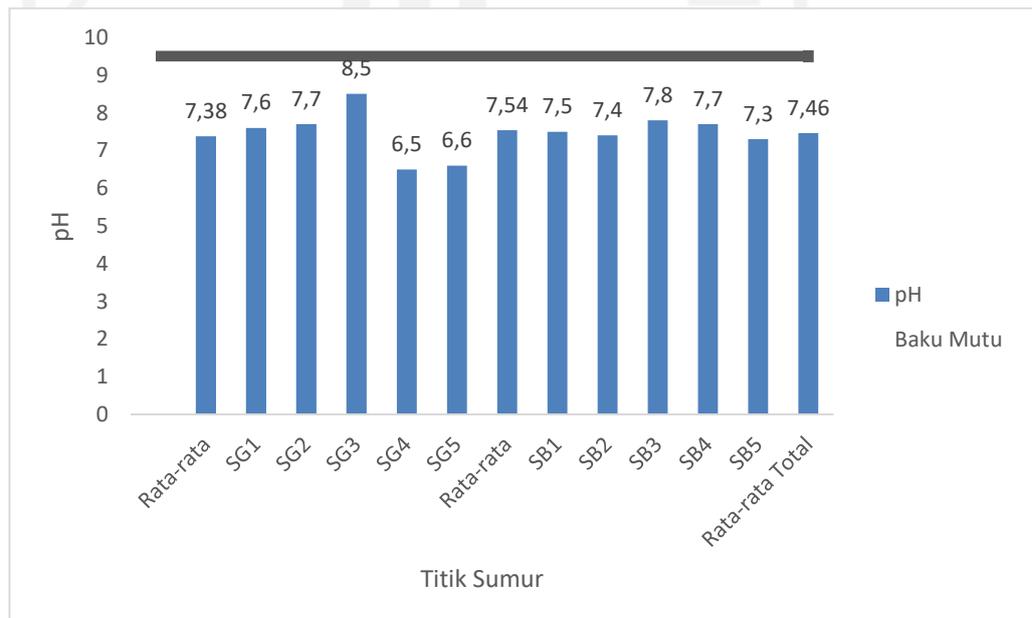
Gambar 4. 2 Hasil Pengujian Suhu Air Sumur

Kondisi suhu air tanah pada penelitian ini memiliki nilai 30°C berjumlah 10 sumur (100%). Suhu air memenuhi baku mutu air bersih yaitu $\pm 3^\circ\text{C}$ dari suhu udara, dimana suhu air tanah di pengaruhi temperatur suhu udara.

4.2.2 Karakteristik Kimia

1. pH

Berikut merupakan hasil pengujian pH pada air sumur :



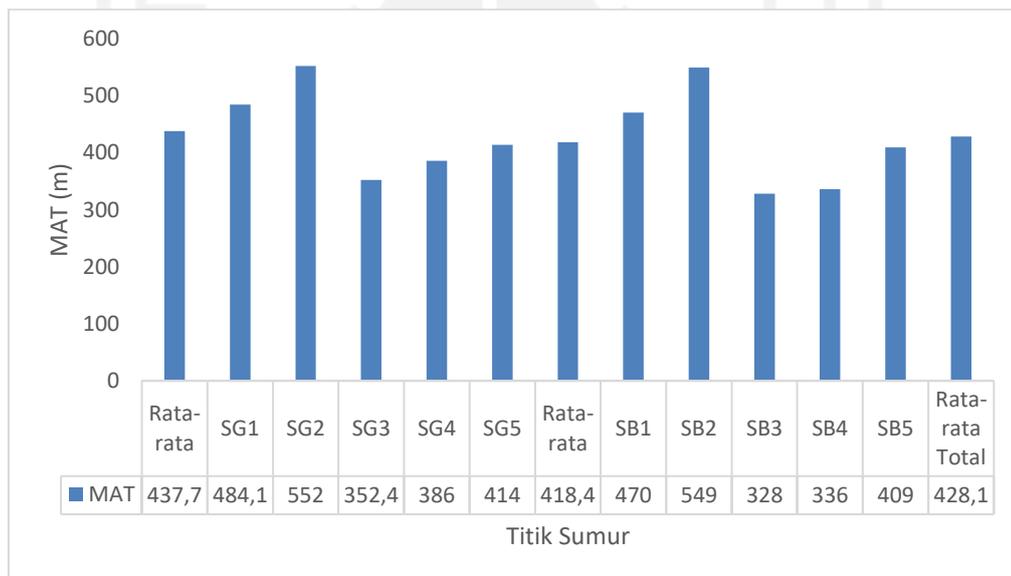
Gambar 4. 3 Hasil Pengujian pH Air Sumur

Berdasarkan gambar di atas sumur yang mempunyai pH kurang dari 7 berjumlah 2 sumur (20%) dan pH lebih dari 7 yaitu berjumlah 8 sumur (80%). Nilai pH rata-rata pada sumur dangkal yaitu 7,38 m dan sumur dalam yaitu 7,54 m dengan rata-rata total nilai pH yaitu 7,46 m. Kondisi air dengan pH 6,5 – 9 menunjukkan bahwa kualitas air tanah baik dan tidak bersifat korosi, jika nilai pH air tanah dibawah 6,5 maka menunjukkan sifat korosi disebabkan oleh semakin rendah nilai pH maka sifat korosi pada air tanah semakin tinggi (Permana *et al.*, 2020). Oleh sebab itu, nilai pH pada sampel air tanah dikategorikan baik.

4.2.3 Kondisi Fisik Sumur

1. Muka Air Tanah (MAT)

Berikut merupakan hasil pengukuran Muka Air Tanah (MAT) pada sumur :



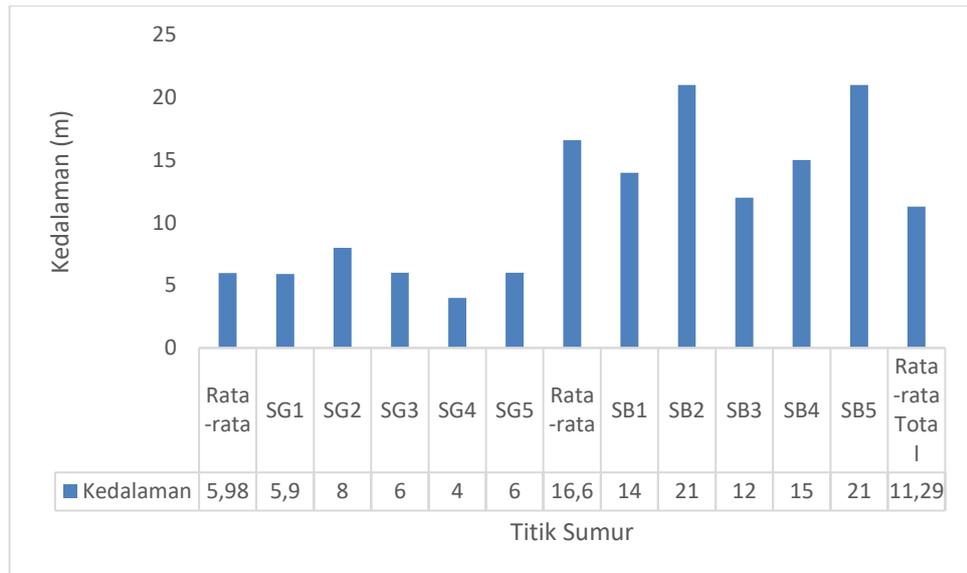
Gambar 4. 4 Hasil Pengukuran MAT Sumur

Muka air tanah (MAT) pada penelitian ini memiliki nilai MAT rata-rata pada sumur dangkal yaitu 437,7 m dan sumur dalam yaitu 418,4 m dengan rata-rata total nilai MAT yaitu 428,1 m. Nilai MAT pada titik sampling tersebut tinggi > 200 m disebabkan oleh tipe zonasi akuifer pada jenis Sistem Akuifer Merapi (SAM) di Kecamatan Pakem dan Kecamatan Cangkringan merupakan daerah imbuhan (*recharge area*) dengan elevasi antara 700 sampai dengan 2968 mdpl dan daerah transisi (*transition area*) merupakan daerah peralihan dari daerah imbuhan (*recharge area*) dan daerah lepasan (*discharge area*) dengan elevasi antara 700

sampai dengan 200 mdpl (Mutianto, 2016). Penurunan elevasi dari daerah imbuhan dan daerah transisi diikuti pula dengan penurunan muka air tanah (Mutianto, 2016). Nilai muka air tanah ini digunakan untuk membuat peta muka air tanah pada titik sampling.

2. Kedalaman

Berikut merupakan hasil pengukuran kedalaman sumur (m) :



Gambar 4. 5 Hasil Pengukuran Kedalaman Sumur

Kedalaman sumur pada penelitian ini < 10 m berjumlah 5 sumur (50%) dan kedalaman > 10 m berjumlah 5 sumur (50%). Rata-rata kedalaman sumur dangkal yaitu 5,98 m dan sumur dalam yaitu 16,6 m dengan rata-rata total kedalaman yaitu 11,29 m. Kedalaman sumur mempengaruhi kondisi air tanah yaitu semakin dangkal sumur maka risiko kontaminasi air tanah akan semakin tinggi dikarenakan sumber air berada di zona tidak jenuh yang dekat dengan permukaan tanah (Muryani *et al.*, 2019).

3. Kualitas Air Sumur

Berikut merupakan hasil pengamatan kualitas pada air sumur :

Tabel 4. 2 Kualitas Air Sumur

| Kualitas Air | Jumlah (sumur) | Persentase (%) |
|--------------|----------------|----------------|
| jernih | 10 | 100 |
| Keruh | 0 | 0 |
| Tidak berbau | 10 | 100 |
| Berbau | 0 | 0 |

Kualitas air tanah pada penelitian ini tidak berbau dan jernih berjumlah 10 sumur (100%). Kondisi air tanah tersebut dalam kondisi yang baik sesuai dengan standar baku mutu yaitu tidak berbau dan jernih.

4. Ketersediaan Air Sumur

Berikut merupakan hasil pengamatan ketersediaan pada air sumur :

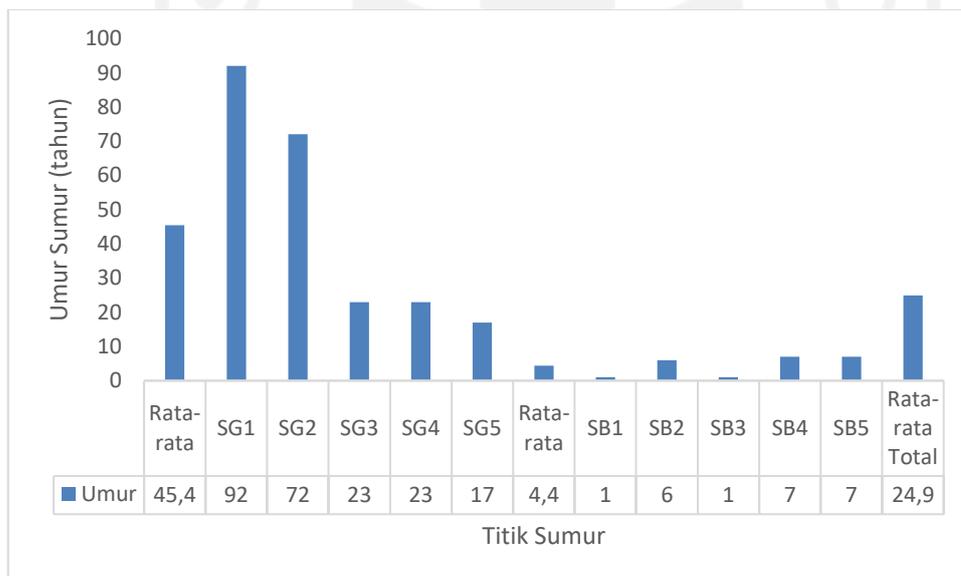
Tabel 4. 3 Hasil Pengamatan Ketersediaan Air Sumur

| Ketersediaan Air | Jumlah (sumur) | Persentase (%) |
|------------------|----------------|----------------|
| Melimpah | 10 | 100 |
| Kering | 0 | 0 |

Ketersediaan air tanah pada penelitian ini melimpah dan tidak pernah kering berjumlah 10 sumur (100%). Oleh sebab itu, ketersediaan air tanah pada sumur di penelitian dikategorikan baik.

5. Umur Sumur

Berikut merupakan umur sumur pada penelitian ini :



Gambar 4. 6 Umur Sumur

Umur sumur pada penelitian ini yaitu < 50 tahun berjumlah 8 sumur (80%) dan umur > 50 tahun berjumlah 2 sumur (20%). Adapun untuk umur sumur dangkal yang paling lama yaitu SG1 dengan umur 92 tahun, disusul dengan SG2, SG3, SG4 dan SG5 dengan umur 72, 44,23 dan 17 tahun. Untuk umur sumur dalam yang paling lama yaitu SB4 dengan umur 7 tahun, disusul dengan SB2, SB5, SB3 dan SB1 dengan umur sumur 7, 7, 4 dan 1 tahun

4.3 Hasil Analisis Sampel

4.3.1 Optimasi Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)

Berikut ini merupakan hasil analisis dari kromatogram larutan standar organoklorin dengan konsentrasi 40 ppm :

Tabel 4. 4 Nilai RT dan M/Z Larutan Standar Organoklorin

| Zat | RT | m/z |
|----------------------------------|---------------|-------------------|
| Alpha lindane | 23.554-23.629 | 181;183;219 |
| Beta.-Hexachlorocyclohexane | 24.802-24.876 | 181;183;219 |
| Lindane | 25.105-25.179 | 181;183;219 |
| Delta lindane | 26.449-26.524 | 181;182.9;218.9 |
| Heptachlor | 28.229-28.303 | 100;271.9;273.9 |
| Aldrin | 29.677-29.751 | 66.1;262.9;91.1 |
| Heptachlor epoxide | 31.273-31.348 | 81.1;352.9;354.9 |
| Trans chlordane | 32.212-32.280 | 372.9;374.9;376.9 |
| Cis chlordane | 32.698-32.778 | 372.9;374.9;236.9 |
| p,p DDE | 33.665-33.739 | 246;248;318 |
| Dieldrin | 33.739-33.808 | 79.1;81.1;82.1 |
| Endrin | 34.506-34.581 | 81.1;262.9;264.9 |
| Endosulfan | 34.947-35.021 | 195;207;236.9 |
| m,p DDD | 35.250-35.313 | 235.1;237.1;165.1 |
| 1.alpha.,2.beta.,2a.beta.,4.beta | 35.462-35.542 | 67.1;249.9;345 |
| Endosulfan sulfate | 36.394-36.469 | 271.8;273.8;228.9 |
| p,p DDT | 36.635-36.703 | 235.1;237;165.1 |
| Endrin ketone | 37.911-37.974 | 67.1;317;315 |
| Methoxychlor | 38.414-38.446 | 227.1;228.2;152.1 |

Sumber : Hasil pengolahan data

Berikut merupakan hasil analisis kurva kalibrasi dari masing-masing senyawa organoklorin pada larutan standar organoklorin berupa persamaan regresi linear dan lineritas :

Tabel 4. 5 Persamaan Regresi Linear dan Lineritas Larutan Standar Organoklorin

| Senyawa | Persamaan Regresi Linear | R ² (Lineritas) |
|----------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Lindane | $y = 1019,9x + 1822,4$ | 0,9966 |
| Delta lindane | $y = 885,6x + 1777,8$ | 0,9958 |
| Heptachlor epoxide | $y = 447,4x + 3140,4$ | 0,9239 |
| Cis chlordane | $y = 604,9x - 4135,5$ | 0,9456 |
| Dieldrin | $y = 721x + 5054,3$ | 0,9043 |
| Endrin | $y = 283,1x + 881,7$ | 0,9813 |
| 1.alpha.,2.beta.,2a.beta.,4.beta | $y = 550,6x + 2272,8$ | 0,9691 |
| Alpha lindane* | $y = 573x + 5416,6$ | 0,8219 |

| Senyawa | Persamaan Regresi Linear | R ² (Lineritas) |
|------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Beta.-Hexachlorocyclohexane* | $y = 491,37x + 4341,7$ | 0,8133 |
| Heptachlor* | $y = 478,8x + 3533,8$ | 0,8958 |
| Aldrin* | $y = 422,12x + 4487,9$ | 0,8454 |
| Trans chlordane* | $y = 189,76x + 3681,6$ | 0,5906 |
| p,p DDE* | $y = 454,43x - 9430,2$ | 0,5835 |
| Endosulfan* | $y = 83,632x + 1023,9$ | 0,7542 |
| m,p DDD* | $y = 415,73x + 24786$ | 0,1554 |
| Endosulfan sulfate* | $y = 86,826x + 1917,6$ | 0,5202 |
| p,p DDT* | $y = 690,33x + 5161,4$ | 0,8541 |
| Endrin ketone* | $y = 148,75x + 3934$ | 0,4382 |
| Methoxychlor* | $y = 761,11x + 10376$ | 0,6643 |

Sumber : Hasil pengolahan data

* nilai R² tidak mendekati 1

Nilai R² yang digunakan pada penelitian ini yaitu nilai R² 0,9239 sampai dengan 0,9966 disebabkan oleh nilai R² tersebut mendekati 1. Kurva kalibrasi digunakan untuk membuktikan adanya keterikatan linier yang terjadi diantara konsentrasi pada analit yang sebetulnya dengan respon yang diberikan oleh alat (Hidayati *et al.*, 2014). Hubungan linier antara nilai absorbansi yang dihasilkan dengan konsentrasi yang dihasilkan analit dapat dilihat dari nilai R² atau koefisien korelasi. Nilai R² yang dihasilkan dari persamaan kurva kalibrasi dapat dikategorikan baik dan bagus jika nilai R² mendekati 1. Berikut merupakan hasil perhitungan konsentrasi residu organoklorin dengan menggunakan persamaan lineritas dari kurva kalibrasi larutan standar organoklorin sebagai berikut :

Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Residu organoklorin

| Kode Sumur | Senyawa Organoklorin | Persamaan | Y (Luas Area) | X (Konsentrasi mg/L) | LOD Instrumen (mg/L) |
|------------|----------------------|-----------------------|---------------|----------------------|----------------------|
| SB1 | Endrin aldehyde | $y = 550,6x + 2272,8$ | 622,98 | 0,00003 | 0,01 |
| SB2 | Endrin aldehyde | $y = 550,6x + 2272,8$ | 800,83 | 0,00011 | 0,01 |
| SB3 | Heptachlor epoxide | $y = 447,4x + 3140,4$ | 3243,53 | 0,00089 | 0,01 |
| | Endrin aldehyde | $y = 550,6x + 2272,8$ | 1740,17 | 0,00052 | 0,01 |
| SB5 | Endrin aldehyde | $y = 550,6x + 2272,8$ | 1874,81 | 0,00058 | 0,01 |
| SG1 | Heptachlor epoxide | $y = 447,4x + 3140,4$ | 2340,53 | 0,00060 | 0,01 |
| SG2 | Endrin aldehyde | $y = 550,6x + 2272,8$ | 2152,55 | 0,00070 | 0,01 |
| SG4 | Heptachlor epoxide | $y = 447,4x + 3140,4$ | 1405,9 | 0,00031 | 0,01 |
| SG5 | Heptachlor epoxide | $y = 447,4x + 3140,4$ | 1656,83 | 0,00039 | 0,01 |

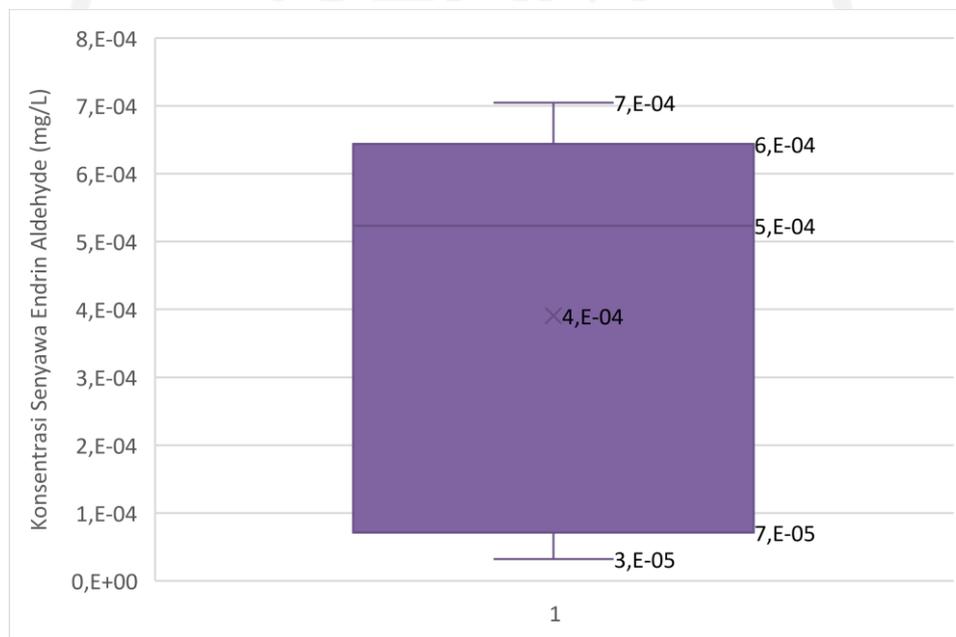
Sumber : Hasil pengolahan data

4.3.2 Hasil Konsentrasi Organoklorin

Berdasarkan hasil dari pembacaan sampel air tanah menggunakan instrumen *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) didapatkan hasil terdeteksinya dua senyawa organoklorin yaitu endrin aldehyde dan heptachlor epoxide sebagai berikut :

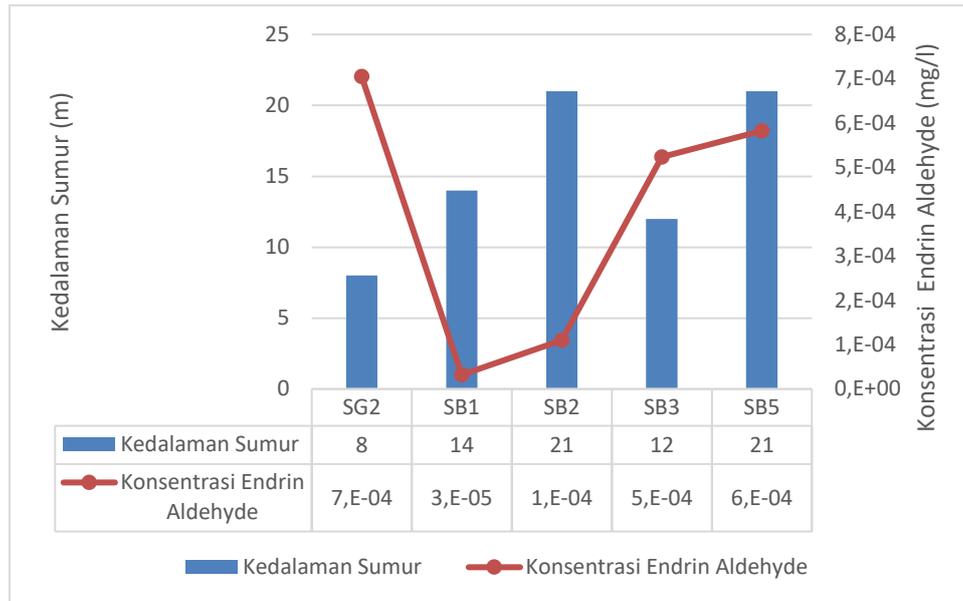
A. Endrin Aldehyde

Berikut di bawah ini merupakan diagram box plot untuk senyawa endrin aldehyde :



Gambar 4. 7 Konsentrasi Rata-Rata Endrin Aldehyde

Hasil dari diagram box plot senyawa endrin aldehyde pada gambar di atas didapatkan nilai konsentrasi maksimum heptachlor epoxide yaitu 0,0007 mg/L, nilai konsentrasi minimum yaitu 0,00003 mg/L dan nilai konsentrasi rata-rata yaitu 0,00039 mg/L. Berikut di bawah ini merupakan konsentrasi senyawa endrin aldehyde yang terdeteksi pada titik sampling dengan kedalaman sumurnya :



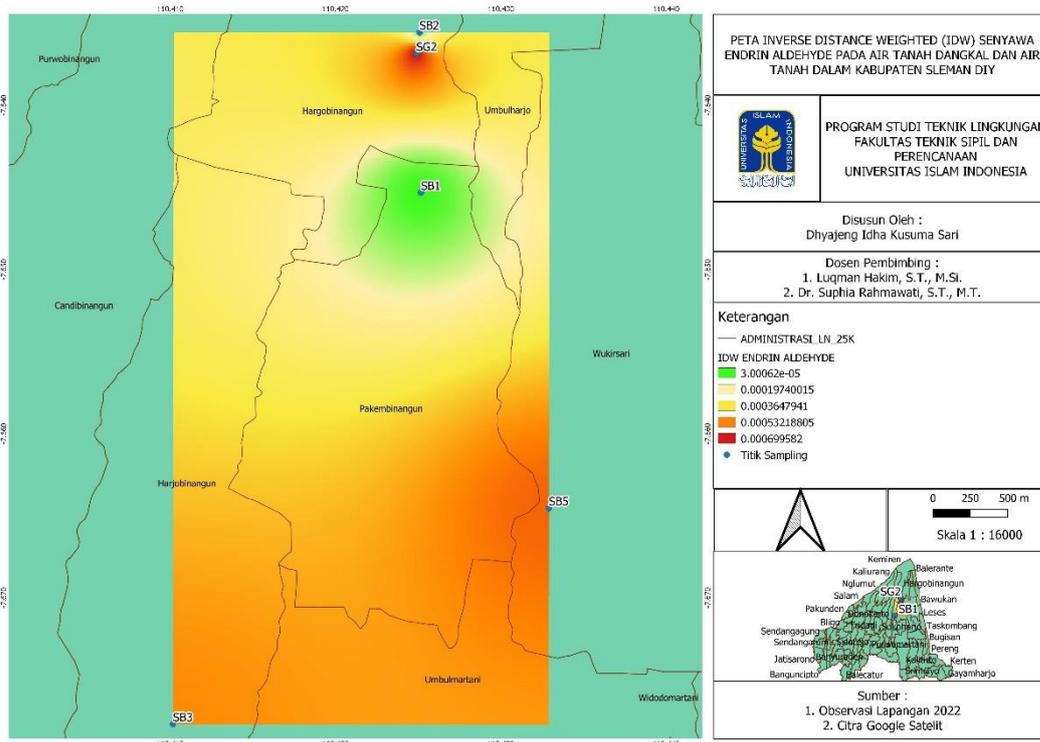
Gambar 4. 8 Kedalaman Sumur dengan Konsentrasi Endrin Aldehyde

Berdasarkan **gambar 4.8** di atas dapat diketahui bahwa konsentrasi tertinggi untuk senyawa endrin aldehyde yaitu 0,00070 mg/L dengan kedalaman sumur 8 m pada titik SG2 dibandingkan dengan keempat sumur lainnya yaitu SB1, SB2, SB3 dan SB5 memiliki konsentrasi yang lebih kecil. Konsentrasi endrin aldehyde tertinggi kedua yaitu berada pada titik SB5 yaitu 0,00058 mg/L dengan kedalaman sumur 21 m, seharusnya jika sesuai dengan teori maka titik SB5 tersebut mempunyai konsentrasi yang lebih rendah dibandingkan titik lainnya. Hal tersebut disebabkan oleh semakin dangkal sumur maka konsentrasi pencemar akan semakin tinggi disebabkan oleh sumur dengan kedalaman yang dangkal mempunyai sumber air tanah yang terdapat dari lapisan tanah yang cenderung dekat dengan permukaan tanah yaitu zona tidak jenuh sehingga lebih mudah terkontaminasi dan polutan yang masuk ke dalam sumur dangkal mempunyai jarak tempuh yang cukup cepat karena lapisan tanah yang dilewati di atas muka air tanah tidak tebal (Muryani *et al.*, 2019). Sumur dengan kedalaman yang dangkal atau rendah memiliki risiko tinggi terhadap pencemaran pestisida dibandingkan sumur dengan kedalaman yang lebih dalam memiliki risiko yang lebih rendah terhadap pencemaran pestisida. (Tugjamba & Gantumur, 2017).

Pada penelitian yang dilakukan Noerdin *et al.*, (2011) di sentra perkebunan Bandung ditemukan senyawa sipermetrin pada kedalaman sumur 30 m dan 10 m, dengan konsentrasi 0,023 ppm dan 0,025 ppm, senyawa abamektin ditemukan pada

sumur kedalaman 4 m, 2 m dan 10 m dengan konsentrasi 1,10 ppm, 1,00 ppm dan 1,06 ppm selanjutnya senyawa klorotalonil ditemukan pada sumur kedalaman 16 m, 14 m dan 18 m dengan konsentrasi -0,124 ppm, -0,127 ppm dan -0,126 ppm. Dari hasil penelitian tersebut dapat diketahui bahwa pada sumur dengan kedalaman 16 m, 14 m dan 18 m tidak terdeteksi adanya senyawa klorotalonil berarti hal ini sesuai dengan teori yaitu semakin tinggi kedalaman sumur maka risiko pencemaran pestisida akan semakin kecil. Pada senyawa abamektin di sumur dengan kedalaman 4 m, 2 m dan 10 m memiliki nilai konsentrasi yang tidak sesuai dengan teori dimana seharusnya konsentrasi tertinggi terdapat pada sumur dengan kedalaman 2 m tetapi berdasarkan hasil penelitian konsentrasi tertinggi terdapat pada sumur dengan kedalaman 4 m dan 10 m.

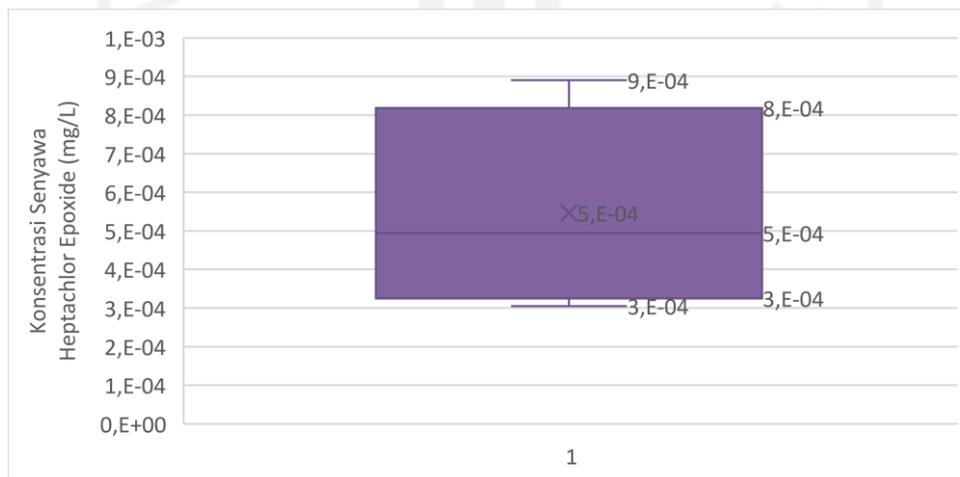
Peta *Inverse Distance Weighted* (IDW) dibuat berdasarkan hasil konsentrasi senyawa heptachlor epoxide dan endrin aldehyde yang terdeteksi pada penelitian ini. Metode *Inverse Distance Weighted* (IDW) berfungsi untuk memperkirakan suatu nilai pada titik ataupun lokasi yang tidak tersampling didasarkan pada data sekitarnya yang tersampling. Interpolasi senyawa endrin aldehyde ditandai dengan lima kategori yaitu warna hijau muda (sangat rendah), cream (rendah), kuning (sedang), orange (tinggi) dan merah (sangat tinggi). Untuk senyawa endrin aldehyde Desa dengan konsentrasi senyawa endrin aldehyde tertinggi yaitu Desa Hargobinangun pada zona merah (sangat tinggi) dengan nilai konsentrasi 0,0007 mg/L dan untuk desa dengan konsentrasi terendah yaitu Desa Pakembinangun pada zona hijau (sangat rendah) dengan dengan konsentrasi 0,00003 mg/L. Senyawa endrin aldehyde juga terdeteksi pada utara Desa Umbulharjo dengan zona kuning (sedang) dan Desa Umbulmaratani masuk ke dalam zona orange (tinggi). Berikut di bawah ini merupakan gambar dari Peta *Inverse Distance Weighted* (IDW) senyawa endrin aldehyde :



Gambar 4. 9 Peta IDW Senyawa Endrin Aldehyde

B. Heptachlor Epoxide

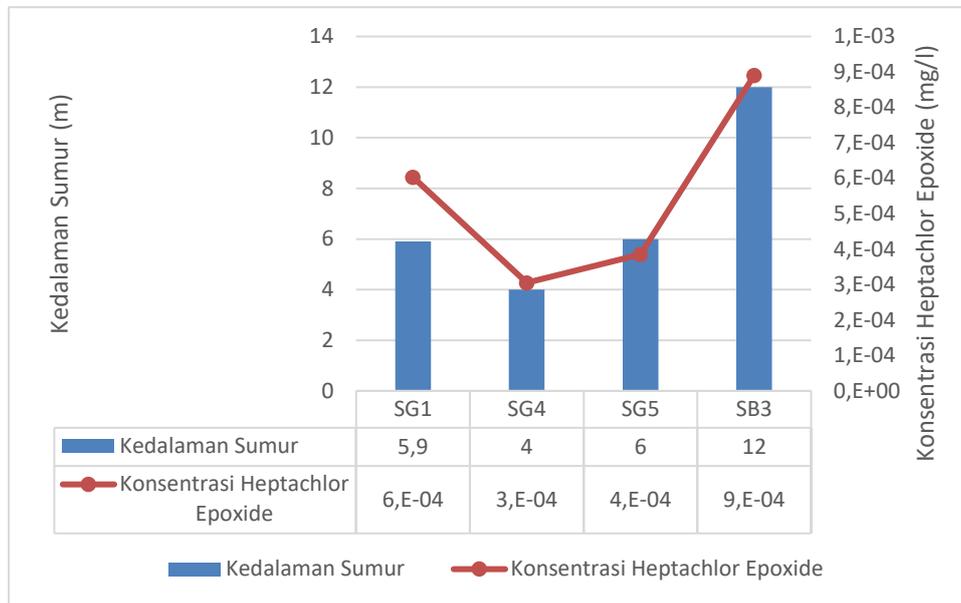
Berikut di bawah ini merupakan gambar diagram box plot untuk senyawa heptachlor epoxide:



Gambar 4. 10 Konsentrasi Rata-Rata Heptachlor Epoxide

Hasil dari diagram box plot senyawa heptachlor epoxide pada gambar di atas didapatkan nilai konsentrasi maksimum yaitu 0,00089 mg/L, nilai konsentrasi minimum yaitu 0,00031 mg/L dan nilai konsentrasi rata-rata yaitu 0,00055 mg/L.

Berikut di bawah ini merupakan konsentrasi senyawa heptachlor epoxide yang terdeteksi pada titik samping dengan kedalaman sumurnya:



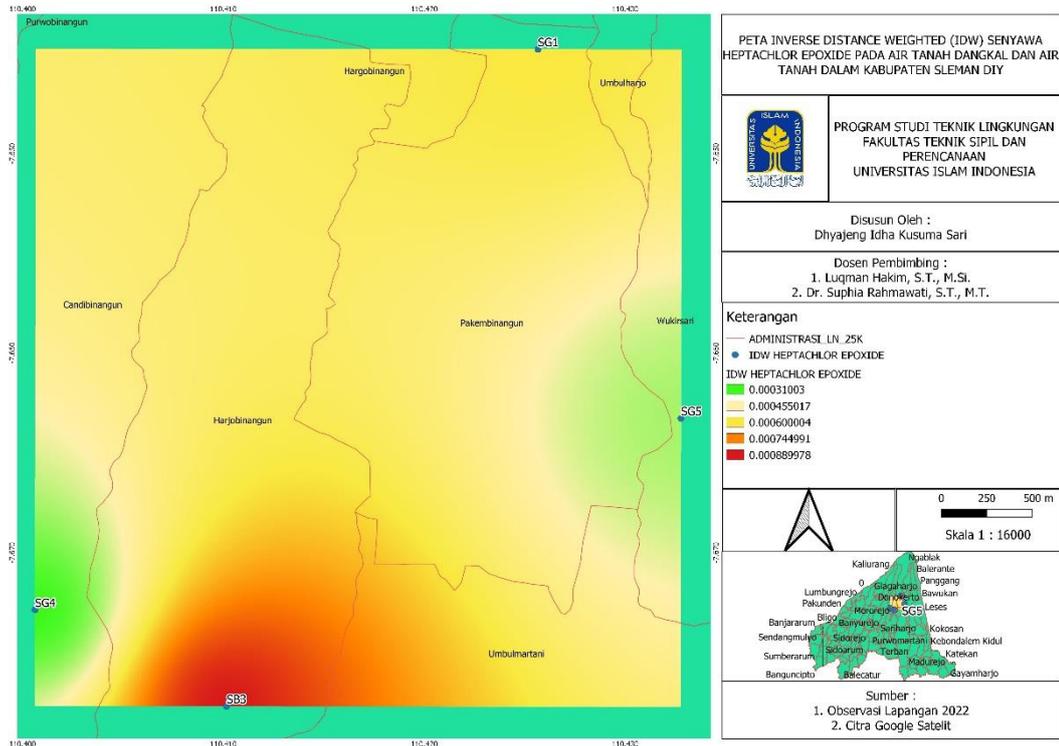
Gambar 4. 11 Kedalaman dengan Konsentrasi Heptachlor Epoxide

Berdasarkan **gambar 4.11** di atas dapat diketahui bahwa konsentrasi tertinggi untuk senyawa heptachlor epoxide yaitu 0,00089 mg/L dengan kedalaman sumur 12 m pada titik SB3 dibandingkan dengan ketiga sumur lainnya yaitu SG1, SG4 dan SG5 yang memiliki konsentrasi lebih kecil. Pada titik SB3 dengan konsentrasi heptachlor epoxide tertinggi merupakan sumur dalam dengan kedalaman 12 m dengan konsentrasi 0,00089 mg/L dan sumur kedua dengan konsentrasi tertinggi yaitu SG1 dengan kedalaman 5,9 m konsentrasi 0,00060 mg/L, jika sesuai dengan teori maka titik SG4 seharusnya mempunyai nilai konsentrasi yang paling tinggi dibandingkan dengan titik SG1, SG5 dan SB3. Hal tersebut disebabkan oleh semakin dangkal sumur maka konsentrasi pencemar akan semakin tinggi disebabkan oleh sumur dengan kedalaman yang dangkal mempunyai sumber air tanah yang terdapat dari lapisan tanah yang cenderung dekat dengan permukaan tanah yaitu zona tidak jenuh sehingga lebih mudah terkontaminasi dan polutan yang masuk ke dalam sumur dangkal mempunyai jarak tempuh yang cukup cepat karena lapisan tanah yang dilewati di atas muka air tanah tidak tebal (Muryani *et al.*, 2019). Sumur dengan kedalaman yang dangkal atau rendah memiliki risiko tinggi terhadap pencemaran pestisida dibandingkan sumur dengan kedalaman yang lebih dalam memiliki risiko yang lebih rendah terhadap pencemaran pestisida. (Tugjamba &

Gantumur, 2017).

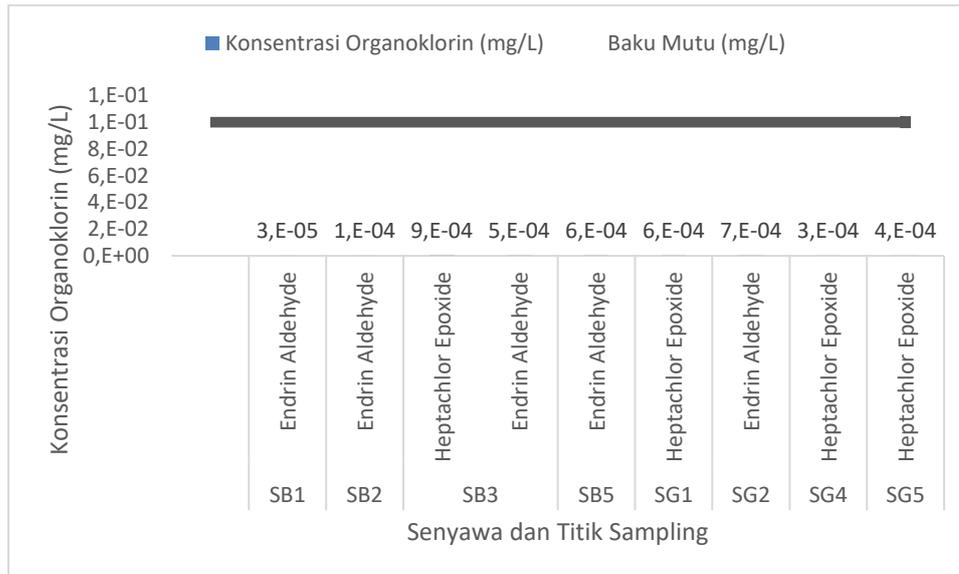
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Noerdin *et al.*, (2011) di sentra perkebunan Bandung ditemukan senyawa sipermetrin pada kedalaman sumur 30 m dan 10 m, dengan konsentrasi 0,023 ppm dan 0,025 ppm, senyawa abamektin di kedalaman 4 m, 2 m dan 10 m dengan konsentrasi 1,10 ppm, 1,00 ppm dan 1,06 ppm selanjutnya senyawa klorotalonil pada kedalaman 16 m, 14 m dan 18 m dengan konsentrasi -0,124 ppm, -0,127 ppm dan -0,126 ppm. Dari hasil penelitian tersebut dapat diketahui bahwa pada sumur dengan kedalaman 16 m, 14 m dan 18 m tidak terdeteksi adanya senyawa klorotalonil berarti hal ini sesuai dengan teori yaitu semakin tinggi kedalaman sumur maka risiko pencemaran pestisida akan semakin kecil. Pada senyawa abamektin di sumur dengan kedalaman 4 m, 2 m dan 10 m memiliki nilai konsentrasi yang tidak sesuai dengan teori dimana seharusnya konsentrasi tertinggi terdapat pada sumur dengan kedalaman 2 m tetapi berdasarkan hasil penelitian konsentrasi tertinggi terdapat pada sumur dengan kedalaman 4 m.

Untuk Peta *Inverse Distance Weighted* (IDW) senyawa heptachlor epoxide Desa dengan konsentrasi tertinggi yaitu Desa Harjobinangun pada zona merah (sangat tinggi) dengan nilai konsentrasi 0,00089 mg/L dan untuk Desa dengan konsentrasi terendah yaitu Desa Candibinangun pada zona hijau (sangat rendah) dengan konsentrasi 0,0003 mg/L. Senyawa heptachlor epoxide juga terdeteksi pada Desa Umbulharjo dengan zona kuning (sedang) dan Desa Umbulmaratani masuk ke dalam zona orange (tinggi). Berikut di bawah ini merupakan gambar dari Peta *Inverse Distance Weighted* (IDW) senyawa heptachlor epoxide :



Gambar 4. 12 Peta IDW Senyawa Heptachlor Epoxide

Hasil dari Konsentrasi kedua senyawa organoklorin yang terdeteksi di sampel air tanah pada penelitian ini yaitu senyawa endrin aldehyde dan heptachlor epoxide selanjutnya dibandingkan konsentrasinya dengan baku mutu terkait parameter kimia berupa pestisida dengan standar baku mutu (kadar maksimum) yaitu 0,1 mg/L pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi. Berikut di bawah ini merupakan nilai konsentrasi senyawa organoklorin yang terdeteksi pada sampel air tanah :



Gambar 4. 13 Konsentrasi Senyawa Organoklorin Berdasarkan Baku Mutu

Berdasarkan grafik di atas pada titik sampling SB1, SB2, SB3, SB5, SG2 terdeteksi adanya senyawa endrin aldehyde yang merupakan pecahan dari senyawa endrin. Senyawa endrin memiliki potensi yang tinggi untuk pencucian ke air tanah (Plain, 2013). Pada titik sampling SB3, SG1, SG4 dan SG5 terdeteksi adanya senyawa heptachlor epoxide yang merupakan pecahan dari senyawa heptachlor di lingkungan, memiliki sifat yang lebih persisten dan lebih beracun (Purnomo *et al.*, 2014). Heptachlor epoxide dalam tingkat mobilitas yang rendah dapat mengakibatkan pergerakan yang cukup besar sehingga heptachlor epoxide bisa dianggap menimbulkan risiko kontaminasi air tanah dari waktu ke waktu (ATDSR, 1989).

Senyawa organoklorin pada sampel air tanah pada **gambar 4.13** di atas memiliki konsentrasi yang sangat kecil yaitu dibawah nilai LOD yaitu 0,01 mg/L dan dibawah nilai kadar maksimum yaitu 0,1 mg/L, hal ini disebabkan oleh pestisida golongan organoklorin penggunaannya sudah dilarang di Indonesia hal ini diputuskan melalui keputusan bersama Mendagri, Menkes dan Menpan nomor 33 tahun 1983 telah dilarang penggunaannya yang ditindak lanjuti dengan Keputusan Menteri Pertanian nomor 434.1/kpts/TP.270/7/2001 mengenai pelarangan peredaran semua jenis organoklorin (Aritonang *et al.*, 2015). Pelarangan penggunaan pestisida organoklorin di Indonesia disebabkan oleh sifat pestida

organoklorin yang mempunyai stabilitas tinggi dengan kemampuannya yang tinggi terhadap proses degradasi kimia dan biologis (Polanco Rodríguez *et al.*, 2015).

Konsentrasi residu organoklorin yang sangat rendah pada penelitian ini juga disebabkan oleh adanya pengaruh dari sifat kelarutan kedua senyawa tersebut. Senyawa heptachlor epoxide dan endrin aldehyde mempunyai sifat kelarutan air yang rendah artinya kedua senyawa tersebut mempunyai waktu tinggal di air tanah yang sebentar sehingga residu kedua senyawa tersebut terdeteksi dalam konsentrasi yang sangat kecil. Senyawa heptachlor epoxide mempunyai kelarutan dalam air yaitu 0,35 mg/L pada 25°C dan senyawa endrin aldehyde mempunyai kelarutan dalam air yaitu 0,024 mg/L pada 25°C. Dari sifat kelarutan kedua senyawa tersebut senyawa heptachlor epoxide mempunyai kelarutan dalam air yang lebih tinggi dibandingkan dengan senyawa endrin aldehyde, hal ini juga disebabkan waktu lamanya senyawa heptachlor epoxide bertahan di air yaitu 2-10 hari sedangkan senyawa endrin aldehyde mempunyai waktu lamanya bertahan di air yaitu 7 hari (Turgut *et al.*, 2010). Oleh sebab itu, konsentrasi rata-rata total senyawa heptachlor epoxide lebih besar yaitu 0,00055 mg/L dibandingkan dengan senyawa endrin aldehyde yaitu 0,00039 mg/L karena waktu bertahan senyawa heptachlor epoxide di dalam air lebih lama dibandingkan dengan senyawa endrin aldehyde. Suatu senyawa mempunyai sifat kelarutan air yang cukup tinggi serta senyawa tersebut mempunyai stabilitas yang tinggi di lingkungan maka waktu tinggal senyawa tersebut di lingkungan akan semakin lama dan menyebabkan pencemaran pestisida (Fatimah & Nugraha, 2007).

Waktu atau lamanya residu organoklorin bertahan di lingkungan juga berbagai macam yaitu DDT (2-15 tahun), DDD (5-10 tahun), DDE (10 tahun), endrin (1 hari-12 tahun), dieldrin (9 bulan), methoxychlor (120 hari), chlordane (10 tahun), heptachlor (2 tahun), lindane (15 bulan), endosulfan (35-150 hari) dan aldrin (4-7 hari) (Jayaraj *et al.*, 2016). Sisa residu dari penggunaan pestisida di masa lampau akan terdegradasi oleh lingkungan dengan tiga mekanisme yaitu degradasi kimiawi, degradasi mikrobial dan degradasi fotokimia. Senyawa organik dan anorganik yang berada di dalam tanah sangat mempengaruhi proses kecepatan pestisida untuk terdegradasi (Mursyidi, 1994). Hasil dari degradasi pestisida di lingkungan menghasilkan struktur molekul yang berbeda dari senyawa sebelumnya

atau senyawa aslinya sehingga toksisitas suatu senyawa tergantung dari struktur molekulnya (Mursyidi, 1994). Hasil dari proses degradasi pestisida di lingkungan umumnya bersifat kurang toksik jika dibandingkan dengan senyawa sebelumnya atau senyawa aslinya, tetapi tidak menutup kemungkinan senyawa asli hasil degradasi di lingkungan akan membentuk senyawa baru yang sifatnya lebih toksik (Mursyidi, 1994).

Waktu atau lamanya senyawa heptachlor epoxide (2 tahun) dan endrin aldehyde (1-12 tahun) bertahan di lingkungan maka hal ini berbanding lurus dengan tahun dimana penggunaan pestisida organoklorin di Indonesia sudah dilarang sehingga akibat pelarangan penggunaan pestisida organoklorin sejak tahun 1983 dan waktu kedua senyawa tersebut heptachlor epoxide dan endrin aldehyde bertahan di lingkungan menyebabkan kadar residu heptachlor epoxide dan endrin aldehyde terdeteksi dalam jumlah yang sangat kecil pada penelitian ini. Akibat pelarangan penggunaan organoklorin sejak tahun 1983 di Indonesia maka penjualan serta peredaran pestisida organoklorin di Indonesia sudah dilarang dan dihentikan. Oleh sebab itu, pestisida yang digunakan petani di Kabupaten Sleman yaitu pestisida jenis organofosfat. Pestisida organofosfat yang digunakan petani di Kabupaten Sleman berdasarkan penelitian Kizlyara (2019) yaitu bahan aktif profenofos, klorpirofos dan diazinon.

Penelitian terkait pestisida organoklorin di wilayah lain masih didapatkan adanya residu organoklorin melebihi kadar maksimum yang diperbolehkan. Terdapat penelitian Oginawati & Pratama (2016) ditemukan adanya tujuh jenis organoklorin pada sampel air tanah di DAS hulu citarum yaitu senyawa aldrin terdeteksi dengan konsentrasi rata-rata 0,09 ppb, dieldrin dengan konsentrasi rata-rata 0,24 ppb, heptaklor dengan konsentrasi rata-rata 0,51 ppb, endosulfan rata-rata 0,73 ppb, DDT dengan konsentrasi rata-rata 0,13 ppb, lindan dengan konsentrasi rata-rata 1,2 ppb dan endrin dengan konsentrasi rata-rata 0,03 ppb. Hal serupa juga ditemukan pada penelitian Rochaddi & Suryono (2012) dengan penelitiannya tentang pestisida organoklorin pada aqifer dangkal di wilayah pesisir Kota Semarang didapatkan masih adanya residu pestisida di air sumur dengan senyawa heptachlor rata-rata konsentrasi yaitu 0,023-0,058 mg/L dan endrin dengan rata-rata konsentrasi 0,648 mg/L, hal tersebut disebabkan oleh pola aliran air tanah dari

ungaran yang merupakan daerah pertanian menuju Kota Semarang sehingga residu pestisida dari Ungaran terbawa ke Kota Semarang melalui aliran air tanah. Penelitian tentang residu organoklorin pada air tanah juga pernah dilakukan oleh Region (2018) di air tanah Wilayah Mostaganem, Aljazair ditemukan senyawa endrin aldehyde pada empat sumur dengan konsentrasi 0,318; 0,277; 0,122 dan 0,199 mg/L serta heptachlor epoxide terdeteksi pada dua sumur dengan konsentrasi 0,210 dan 0,306 mg/L.

Sifat organoklorin yang menjadi faktor atau penyebab adanya residu pestisida di dalam sampel air tanah pada penelitian ini dan penelitian terdahulu yaitu tersebar luas dan bertahan di lingkungan untuk jangka waktu yang lama, mempunyai volatilitas yang rendah, toksisitas yang tinggi, dan memiliki potensi untuk transportasi jarak jauh (Liang *et al.*, 2016). Faktor lain yaitu adanya pencemaran *source point* (sumber titik) yang umum disebut *run-in*, pergerakan langsung pestisida ke dalam air tanah. Proses *run-in* terjadi di dekat sumur diakibatkan dari tumpahan pestisida, penyedotan balik, pembuangan limbah pestisida yang tidak hati-hati atau tidak tepat, konstruksi dan pemeliharaan sumur yang salah. Pencemaran sumber *source nonpoint* (sumber bukan titik) adalah pergerakan pestisida dari area yang luas melintasi daerah aliran sungai dari waktu ke waktu ke air tanah dan permukaan (Aydinalp & Porca, 2004).

Tanah adalah sumber utama pestisida di lingkungan dan berperan penting dalam proses distribusinya terutama ke dalam air tanah (Polanco Rodríguez *et al.*, 2015). Faktor-faktor yang mempengaruhi pergerakan pestisida ke air tanah yaitu sifat-sifat pestisida, sifat-sifat tanah, kedalaman air tanah, metode dan tingkat pemakaian pestisida (Awadh & Hashim, 2018). Terdapat beberapa hal yang menyebabkan kontaminasi pestisida organoklorin di air tanah yaitu sifat persisten, pindahnya pestisida dari lahan pertanian, penggunaan pestisida yang melimpah atau dalam jumlah yang besar, sesar pada selubung sumur yang memungkinkan air permukaan masuk ke dalam sumur dan terdapatnya rekahan besar pada batuan dasar yang mengakibatkan aliran air tanah relatif cepat dan pengisian kembali dari air permukaan (Awadh & Hashim, 2018).

4.3.3 Analisis Faktor Keberadaan Organoklorin pada Air Tanah

Berikut di bawah ini merupakan analisis faktor-faktor apa saja yang dapat menyebabkan senyawa organoklorin berada di dalam air tanah pada penelitian ini :

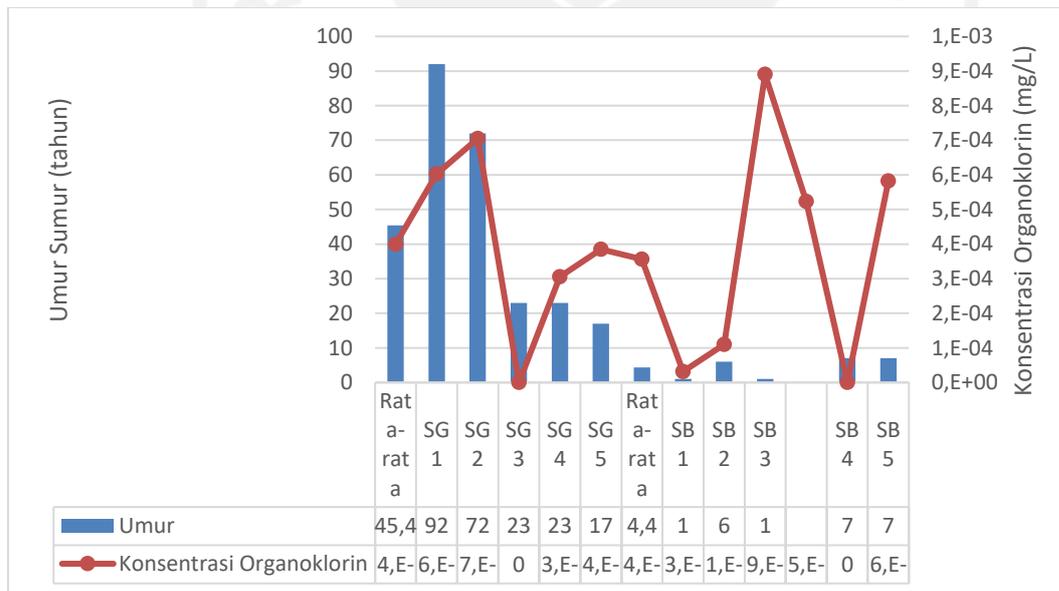
A. Umur Sumur dengan Konsentrasi

Berikut ini merupakan korelasi dari umur sumur dengan konsentrasi :

Tabel 4. 7 Korelasi Umur Sumur dengan Konsentrasi

| Titik Sumur | r (korelasi) | Variabel X | Variabel Y | Keterangan |
|---------------|--------------|------------|-------------|------------|
| Sumur Dangkal | 0,77 | Umur Sumur | Konsentrasi | Kuat |
| Sumur Dalam | -0,29 | | | Rendah |

Dari hasil korelasi umur sumur dengan konsentrasi didapatkan nilai korelasi (r) pada sumur dangkal yaitu 0,77 (kuat). Nilai tersebut menandakan bahwa ada hubungan antara umur sumur dangkal dengan konsentrasi senyawa organoklorin yang terdeteksi. Berikut ini merupakan gambar umur sumur dengan konsentrasi organoklorin :



Gambar 4. 14 Umur Sumur terhadap Konsentrasi

Dari gambar di atas dapat dilihat kenaikan konsentrasi senyawa organoklorin dengan umur sumur pada titik sumur dangkal lebih cenderung terjadi kenaikan nilai konsentrasi senyawa organoklorin dibandingkan dengan sumur dalam, hal ini dapat dilihat dari konsentrasi rata-rata senyawa organoklorin yang terdeteksi pada sumur dangkal lebih besar yaitu 0,00040 mg/L sedangkan pada sumur dalam konsentrasi

rata-rata lebih kecil yaitu 0,00036 mg/L. Selain itu, kedalaman pada sumur dangkal juga mempunyai kedalaman yang lebih rendah dibandingkan dengan sumur dalam yang menyebabkan konsentrasi rata-rata senyawa organoklorin yang terdeteksi pada sumur dangkal lebih besar daripada sumur dalam disebabkan oleh, potensi pencemaran air tanah lebih tinggi pada sumur dangkal daripada sumur dalam. Pada sumur dalam dititik SB3 dan SB5 baru terjadi kenaikan konsentrasi yang cukup tinggi yaitu 0,00089 mg/L dan 0,00058 mg/L.

B. Jenis Tanah dengan Konsentrasi

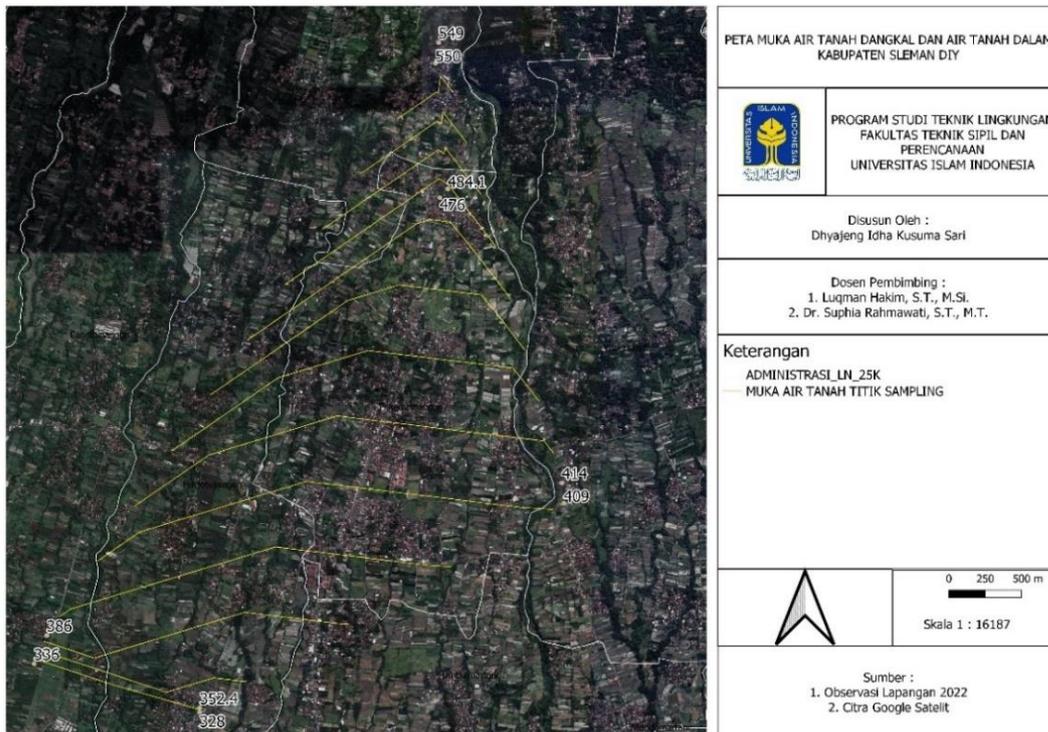
Tekstur tanah yang halus dapat menghambat proses masuknya pestisida pada air tanah sehingga memiliki risiko pencemaran yang kecil ke dalam air tanah dibandingkan dengan tanah yang bertekstur kasar mempunyai tingkat pencemaran yang tinggi ke dalam air tanah (Tugjamba & Gantumur, 2017). Tingkat pencemaran air tanah yang kecil pada tekstur tanah halus disebabkan oleh tekstur tanah halus mempunyai susunan partikel tanah yang lebih kecil dan mempunyai tingkat infiltrasi dan permeabilitas tanah yang lebih rendah (Bintoro *et al.*, 2017). Jenis tanah yang umumnya di temukan pada lahan pertanian atau ladang di Kabupaten Sleman yaitu jenis tanah regosol. Jenis tanah regosol merupakan jenis tanah yang paling umum ditemukan di Kabupaten Sleman yaitu sebesar 86,23% dengan luas 49.568 Ha (SLHD Sleman, 2007).

Tanah regosol merupakan jenis tanah yang memiliki tekstur kasar sehingga semakin kasar tekstur tanah maka tingkat infiltrasi kontaminan terlarut ke dalam tanah akan semakin tinggi dan tingkat permeabilitas tanah kasar lebih tinggi hal tersebut disebabkan oleh susunan partikel tanah tekstur kasar lebih besar dibandingkan dengan tanah bertekstur halus (Muryani *et al.*, 2019). Hal ini menyebabkan pengaruh pada pergerakan kontaminan menuju ke dalam tanah. Oleh sebab itu, tekstur tanah akan berhubungan terhadap senyawa organoklorin yang masuk kedalam air tanah disebabkan oleh jenis tanah pertanian di Kabupaten Sleman jenis tanah regosol yang bertekstur kasar. Hal tersebut ditunjukkan dengan terdeteksinya residu organoklorin pada air tanah dangkal dan air tanah dalam dengan konsentrasi yang bervariasi walaupun dengan konsentrasi yang sangat rendah di Kecamatan Pakem dan Kecamatan Cangkringan. Hal serupa juga ditemukan pada penelitian Supriyadi *et al.*, (2015) ditemukannya residu

organofosfat pada lahan sawah anorganik dan lahan kering di Mojogedang yang memiliki tekstur tanah kasar yaitu tanah didominasi fraksi pasir

C. Muka Air Tanah dengan Konsentrasi

Hasil dari observasi sumur dengan mengukur kedalaman sumur dan elevasi muka tanah pada titik sampling air tanah dangkal dan air tanah dalam selanjutnya dibuatkan peta muka air tanah. Berikut merupakan gambar dari peta muka air tanah pada penelitian ini :



Gambar 4. 15 Peta Muka Air Tanah Titik Sampling

Pada gambar di atas dapat dilihat bahwa muka air tanah pada lokasi titik sampling semakin ke utara nilai muka air tanah semakin tinggi dan semakin kearah selatan nilai muka air tanah semakin rendah. Hal ini disebabkan oleh Kabupaten Sleman mempunyai tipe topografi wilayah pada bagian selatan dengan kondisi relatif datar, lalu semakin kearah utara maka topografinya relatif miring dan pada bagian utara di sekitar daerah lereng gunung Merapi kondisinya relatif terjal (slemankab.go.id). Pada kondisi lereng yang datar potensi pencemaran akan semakin tinggi hal ini disebabkan oleh air berada di atas tanah dalam waktu yang cukup lama sehingga proses penyerapan air akan lebih besar dibandingkan proses

run off nya air sedangkan kondisi lereng yang terjal proses *run off* akan lebih banyak dibandingkan proses infiltrasi sehingga air yang terkontaminasi oleh polutan akan sedikit terinfiltrasi ke dalam tanah (Putranto & Kuswoyo, 2012).

Topografi merupakan hal penting dalam proses masuknya atau transportasi bahan kimia dari pertanian ke dalam air tanah (Delin & Landon, 2002). Hal ini sejalan dengan tipe zonasi akuifer pada jenis sistem akuifer Merapi (SAM) di Kecamatan Pakem dan Kecamatan Cangkringan yang merupakan daerah imbuhan (*recharge area*) dengan elevasi antara 700 sampai dengan 2968 mdpl dan daerah transisi merupakan daerah peralihan dari daerah imbuhan (*recharge area*) dengan elevasi antara 700 sampai dengan 200 mdpl. Penurunan elevasi dari daerah imbuhan dan daerah transisi diikuti pula dengan penurunan muka air tanah (Mutianto, 2016).

Dapat terlihat pada **gambar 4.15** di atas bahwa semakin ke arah selatan nilai gradien muka air tanah semakin menurun tetapi konsentrasi organoklorin yang terdeteksi semakin kecil hal ini terjadi pada titik SG4 dengan MAT 386 m memiliki konsentrasi 0,00031 mg/L seharusnya konsentrasi organoklorin yang terdeteksi pada titik SG4 lebih besar dibandingkan dengan titik SG2 dengan MAT 552 m dengan konsentrasi 0,00070 mg/L. Hal ini disebabkan oleh titik SG4 memiliki muka air tanah yang lebih rendah dibandingkan SG2 sehingga gradien muka air tanah ke selatan semakin turun yang menandakan daerah tersebut landai dan proses penyerapan air semakin banyak dibandingkan proses *run off* sehingga konsentrasi polutan yang berada pada daerah landai dengan muka air tanah yang lebih kecil hasilnya akan lebih besar. Dari hasil tersebut maka untuk hubungan muka air tanah (MAT) dengan konsentrasi organoklorin yang terdeteksi tidak memiliki hubungan.

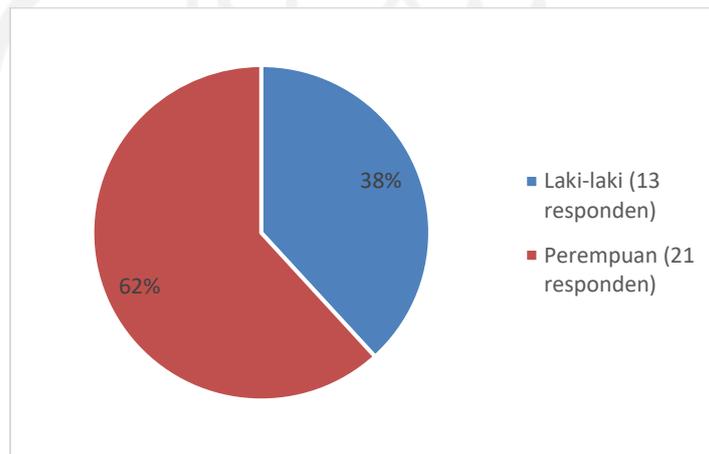
4.4 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan

Analisis risiko merupakan sebuah cara untuk melakukan perhitungan maupun memperkirakan risiko kepada organisme sasaran maupun sistem atau sub populasi dan melakukan identifikasi terhadap kemungkinan-kemungkinan yang akan terjadi setelah terpapar dengan agent tertentu, dengan cara memperhatikan karakteristik yang terlekat di agen penyebab dimana membentuk atensi serta karakteristik terhadap sistem target yang spesifik (WHO, 2004). Adapun tahapan

dalam melakukan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) pada penelitian ini sebagai berikut :

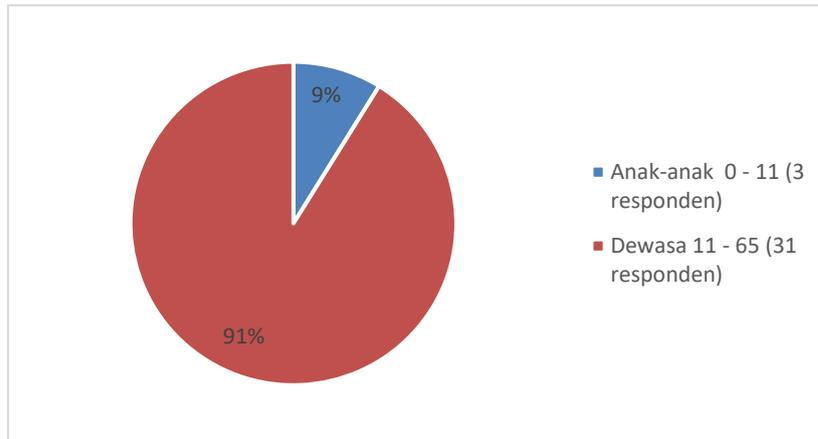
4.4.1 Data Hasil Kuesioner Responden

Jumlah responden pada penelitian ini berjumlah 34 responden dengan jumlah sepuluh Kartu Keluarga (KK). Gender responden untuk gender laki-laki berjumlah 13 responden (38%) dan gender perempuan berjumlah 21 responden (62%). Berikut di bawah ini merupakan persentase responden berdasarkan jenis gender :



Gambar 4. 16 Persentase Gender Responden

Usia responden berdasarkan hasil wawancara dikategorikan dengan menggunakan acuan kategori umur menurut DEPKES RI 2009. Hasil dari data kuesioner didapatkan 9% responden kategori anak-anak dengan jumlah 3 responden dan 91% responden dewasa dengan jumlah 31 responden. Pengkategorian usia anak-anak dan dewasa digunakan untuk proses perhitungan *intake* non karsinogenik dan *intake* karsinogenik pada Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) sehingga dengan mengetahui kategori usia tersebut dapat dilihat tingkat risiko kesehatan dari kategori usia anak dan dewasa. Berikut di bawah ini merupakan hasil persentase umur responden :



Gambar 4. 17 Persentase Umur Respoden Berdasarkan Kategori Umur

Berat badan responden didapatkan dari hasil kuesioner dengan cara wawancara. Hasil dari kuesioner didapatkan bahwa anak-anak memiliki berat badan rata-rata 14 kg dan dewasa dengan berat badan rata-rata 61 kg. Angka berat badan ini digunakan pada perhitungan *intake* non karsinogenik dan *intake* karsinogenik pada Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Adapun di bawah ini merupakan tabel distribusi data berat badan responden sebagai berikut :

Tabel 4. 8 Distribusi Data Berat Badan Responden

| Kategori Umur | Usia (tahun) | Jumlah | Berat Badan (kg) | Rata-Rata |
|---------------|--------------|--------|------------------|-----------|
| Anak-anak | 0 - 11 | 3 | 9 - 18 | 14 |
| Dewasa | 12-65 | 31 | 35 - 95 | 61 |

Sumber : Hasil pengolahan data

Berdasarkan hasil kuesioner dan wawancara terdapat empat responden yang berprofesi sebagai petani dan enam responden berprofesi sebagai non petani. Adapun penggunaan pestisida pada responden yang berprofesi sebagai petani yaitu merek starban dan benazeb. Aktivitas pencairan pestisida dilakukan oleh responden di sawah. Adapun di bawah ini merupakan data-data yang digunakan dalam menghitung analisis pajanan *intake* oral dan dermal sebagai berikut :

Tabel 4. 9 Konsentrasi Rata-Rata Senyawa Organoklorin

| Senyawa | Konsentrasi (mg/L) |
|--------------------|--------------------|
| Heptachlor Epoxide | 0,00055 |
| Endrin Aldehyde | 0,00039 |

Tabel 4. 10 Data Perhitungan Intake Pajanan Oral

| Rumusan | Satuan | Keterangan | Golongan Anak | Golongan Dewasa |
|---------|------------|--|---------------|-----------------|
| C | mg/L | Konsentrasi | - | - |
| R | L/hari | Laju konsumsi | 1 | 2 |
| Fe | hari/tahun | Frekuensi pajanan | 365 | 365 |
| Dt* | tahun | Durasi paparan <i>realtime</i> | 4 | 10 |
| Dt** | tahun | Durasi paparan <i>lifetime</i> | 30 | 30 |
| Wb | kg | Berat badan | 14 | 61 |
| Tagv* | hari/tahun | Periode waktu rata-rata non karsinogenik | 10950 | 10950 |
| Tagv** | hari/tahun | Periode waktu rata-rata karsinogenik | 25550 | 25550 |

Sumber : Pedoman ARKL, USEPA dan Pengolahan Data

Tabel 4. 11 Data Perhitungan Intake Pajanan Dermal

| Rumusan | Satuan | Keterangan | Golongan Anak | Golongan Dewasa |
|-----------|-----------------|--|---------------|-----------------|
| C | mg/L | Konsentrasi | - | - |
| Vol mandi | L/hari | Volume air | 40 | 40 |
| PC | cm/jam | Permeabilitas kulit | 0,11 | 0,11 |
| CF | - | Faktor konversi volumetri | 0,001 | 0,001 |
| SA | cm ² | Luas permukaan tubuh terkontak | 5700 | 2800 |
| Ev | hari/kali | Waktu pajanan | 0,01 | 0,01 |
| Fe | hari/tahun | Frekuensi pajanan | 365 | 365 |
| Dt* | tahun | Durasi paparan <i>realtime</i> | 4 | 10 |
| Dt** | tahun | Durasi paparan <i>lifetime</i> | 30 | 30 |
| Wb | kg | Berat badan | 14 | 61 |
| Tagv* | hari/tahun | Periode waktu rata-rata non karsinogenik | 10950 | 10950 |
| Tagv** | hari/tahun | Periode waktu rata-rata karsinogenik | 25550 | 25550 |

Sumber : Pedoman ARKL, USEPA dan Pengolahan Data

4.4.2 Analisis Dosis Respon

Adapun nilai *Reference Dose* (RfD) dan *Cancer Slope Factor* (CSF) yang digunakan dalam karakterisasi risiko non karsinogenik dan risiko karsinogenik mengacu pada IRIS USEPA yaitu :

Tabel 4. 12 Nilai RfD dan CSF

| Senyawa | RfD (mg/kg/hari) | CSF (mg/kg/hari) |
|--------------------|---------------------|---------------------|
| Heptachlor epoxide | 0,000013 | 9,1 |
| Endrin aldehyde | 0,0003 | - |

4.4.3 Analisis Paparan

Analisis paparan terbagi atas dua macam yaitu *intake realtime* dan *intake lifetime*. *Intake realtime* merupakan paparan yang dihitung berdasarkan durasi paparan dari waktu awal responden tinggal di rumah sampai tahun penelitian ini dilakukan dan *Intake lifetime* merupakan paparan yang dihitung seumur hidup yaitu 30 tahun (USEPA). Berdasarkan data-data perhitungan intake oral dan dermal pada **Tabel 4.11 dan Tabel 4.12** maka dilakukan perhitungan nilai *intake* oral dan dermal non karsinogenik dan karsinogenik. Untuk nilai konsentrasi senyawa organoklorin dapat dilihat pada **Tabel 4.9**. Analisis paparan oral dilakukan karena terdapat risiko individu terpajan agen risiko (senyawa endrin aldehyde dan heptachlor epoxide) melalui jalur ingesti yaitu pada saat individu mengkonsumsi air yang berasal dari air tanah serta paparan dermal dihitung karena terdapat risiko individu terpajan agen risiko (senyawa endrin aldehyde dan heptachlor epoxide) melalui jalur dermal yaitu pada saat individu melakukan aktivitas mandi menggunakan air tanah. Berikut di bawah ini merupakan hasil perhitungan nilai *intake* non karsinogenik dan *intake* karsinogenik paparan oral dan dermal :

Tabel 4. 13 *Intake* Non Karsinogenik Paparan Oral dan Dermal

| Intake | Senyawa | Golongan Usia | <i>Intake Realtime</i> (mg/kg/day) | <i>Intake Lifetime</i> (mg/kg/day) |
|----------------------|--------------------|---------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| <i>Intake Oral</i> | Endrin Aldehyde | Anak | 4,E-06 | 3,E-05 |
| | | Dewasa | 4,E-06 | 1,E-05 |
| | Heptachlor epoxide | Anak | 5,E-06 | 4,E-05 |
| | | Dewasa | 6,E-06 | 2,E-05 |
| <i>Intake Dermal</i> | Endrin Aldehyde | Anak | 9,E-07 | 7,E-06 |
| | | Dewasa | 3,E-07 | 8,E-07 |
| | Heptachlor epoxide | Anak | 1,E-06 | 1,E-05 |
| | | Dewasa | 4,E-07 | 1,E-06 |

Sumber : Hasil pengolahan data

Tabel 4. 14 *Intake* Karsinogenik Paparan Oral dan Dermal

| Titik | Senyawa | Golongan Usia | <i>Intake Realtime</i> (mg/kg/day) | <i>Intake Lifetime</i> (mg/kg/day) |
|----------------------|--------------------|---------------|------------------------------------|------------------------------------|
| <i>Intake</i> Oral | Heptachlor epoxide | Anak | 2,E-06 | 2,E-05 |
| | | Dewasa | 3,E-06 | 8,E-06 |
| <i>Intake</i> Dermal | Heptachlor epoxide | Anak | 6,E-07 | 4,E-06 |
| | | Dewasa | 2,E-07 | 5,E-07 |

Sumber : Hasil pengolahan data

Pada perhitungan *intake realtime* dan *intake lifetime* paparan oral dan dermal pada golongan usia anak-anak dan dewasa menghasilkan nilai intake yang berbeda-beda. Hal ini disebabkan oleh pengaruh berat badan dan durasi paparan realtime (Rosalia *et al.*, 2018). Semakin lama durasi paparan yang diterima oleh individu maka semakin besar nilai *intake* yang diterima individu. Semakin besar badan responden maka semakin kecil nilai *intake* dan risiko yang didapatkan.

Hasil *intake* non karsinogenik *lifetime* paparan oral dan dermal mempunyai hasil yang lebih besar dibandingkan *intake* non karsinogenik realtime paparan oral dan dermal. Hal ini disebabkan oleh faktor durasi paparan yang mempengaruhi nilai *intake* yaitu *intake realtime* golongan usia dewasa mempunyai nilai *intake realtime* yang lebih tinggi dibandingkan dengan golongan usia anak-anak disebabkan oleh golongan usia dewasa mempunyai nilai durasi paparan realtime yang lebih lama yaitu 10 tahun dibandingkan dengan anak-anak dengan durasi paparan realtime 4 tahun. Selanjutnya, pada kategori *intake lifetime* pada golongan usia anak-anak dan dewasa mempunyai nilai durasi paparan *lifetime* yang sama yaitu 30 tahun, tetapi yang menjadi pembeda pada *intake lifetime* yaitu nilai berat badan pada golongan usia anak-anak dengan berat badan rata-rata yaitu 14 kg dan dewasa dengan berat badan rata-rata 61 kg sehingga golongan usia anak-anak mempunyai nilai *intake lifetime* yang lebih tinggi dibandingkan golongan usia dewasa disebabkan oleh pengaruh dari berat badan semakin kecil berat badan maka semakin besar nilai *intake* yang didapatkan responden tersebut. Hasil *intake* karsinogenik juga mempunyai hasil yang sama seperti *intake* non karsinogenik yaitu *intake lifetime* lebih besar daripada *intake realtime*. Pembeda antara *intake* non karsinogenik dan karsinogenik yaitu pada nilai t_{avg} (periode waktu rata-rata)

untuk non karsinogenik 10950 hari dan nilai tavg (periode waktu rata-rata) untuk karsinogenik 25550 hari.

4.4.4 Karakterisasi Risiko Non Karsinogenik

Tahap karakterisasi risiko non karsinogenik dilakukan untuk menetapkan tingkatan risiko dari agen yang dianalisis. Karakterisasi risiko non karsinogenik dilakukan dengan menghitung nilai *Risk Quotient* (RQ) menggunakan hasil penjumlahan *intake* oral dan dermal (*intake total*) konsentrasi senyawa rata-rata total dan RQ dengan hasil *intake* oral konsentrasi senyawa rata-rata pada sumur dangkal dan sumur dalam. Nilai *Reference Dose* (RfD) yang digunakan pada penelitian ini untuk senyawa endrin aldehyde menggunakan nilai RfD dari senyawa endrin yang merupakan senyawa utama dari senyawa endrin aldehyde yaitu 0,00003 mg/kg/hari dan nilai RfD senyawa heptachlor epoxide yaitu 0,000013 mg/kg/hari. Adapun hasil RQ non karsinogenik *intake realtime* dan *intake lifetime* senyawa heptachlor epoxide dan endrin aldehyde sebagai berikut :

Tabel 4. 15 Hasil Karakterisasi Risiko Non Karsinogenik Intake Total Oral dan Dermal

| Senyawa | Golongan Usia | RQ <i>Realtime</i> | RQ <i>Lifetime</i> |
|---------------------|---------------|--------------------|--------------------|
| Endrin Aldehyde | Anak | 0,02 | 0,11 |
| | Dewasa | 0,02 | 0,05 |
| Heptachlor epoxide | Anak | 0,49 | 3,71 |
| | Dewasa | 0,50 | 1,45 |
| HI _{total} | Anak | 0,51 | 3,82 |
| | Dewasa | 0,51 | 1,50 |

Sumber : Hasil pengolahan data

Pada tabel di atas terdapat nilai RQ hasil penjumlahan *intake* oral dan *intake* dermal non karsinogenik (*intake total*). Hasil dari perhitungan nilai RQ *intake realtime* total dan *intake lifetime* total di atas menunjukkan bahwa pada pajanan senyawa endrin aldehyde pada kategori usia anak dan dewasa dengan berat badan rata-rata 14 kg dan 61 kg dan telah terpajan secara *realtime* dengan waktu rata-rata 4 tahun untuk usia anak dan 10 tahun untuk usia dewasa sedangkan untuk pajanan *lifetime* selama 30 tahun mendatang dikategorikan aman dan tidak berisiko non karsinogenik disebabkan oleh nilai RQ < 1. Selanjutnya, untuk senyawa heptachlor

epoxide pada kategori usia dewasa dengan berat badan rata-rata 61 kg dan telah terpajan secara *realtime* dengan waktu rata-rata 10 tahun untuk usia dewasa dan 4 tahun untuk usia anak dengan berat badan rata-rata 14 kg memiliki nilai $RQ < 1$ aman dan tidak berisiko non karsinogenik kemudian untuk pajanan *lifetime* selama 30 tahun mendatang dikategorikan tidak aman dan berisiko non karsinogenik pada usia anak dan dewasa disebabkan oleh nilai $RQ > 1$.

Oleh sebab itu, menandakan bahwa nilai RQ *realtime* pada responden di sumur dangkal dan sumur dalam dengan senyawa endrin aldehyde dan heptachlor epoxide kategori usia anak dan dewasa tidak menimbulkan risiko kesehatan non karsinogenik. Selanjutnya, nilai RQ *lifetime* pada responden di sumur dangkal dan sumur dalam dengan senyawa endrin aldehyde kategori usia anak dan dewasa tidak menimbulkan risiko kesehatan non karsinogenik dan untuk RQ *lifetime* heptachlor epoxide di sumur dangkal dan sumur dalam kategori usia anak dan dewasa dapat menimbulkan risiko kesehatan non karsinogenik. Berat badan responden dalam proses analisis risiko akan mempengaruhi besarnya nilai risiko yang didapatkan responden akibat dari agen risikonya, semakin besar nilai berat badan responden maka semakin kecil peluang untuk mengalami risiko.

Setelah menghitung risiko non karsinogenik (RQ) menggunakan nilai *intake* total yaitu gabungan dari *intake* oral ditambah *intake* dermal, maka selanjutnya menghitung nilai RQ pajanan oral non karsinogenik dengan menggunakan nilai *intake realtime* dan *intake lifetime* pajanan oral non karsinogenik dari sumur dangkal dan sumur dalam, hal ini untuk mengetahui perbedaan nilai risiko non karsinogenik (RQ) dan H_{Ioral} pada responden di sumur dangkal dan sumur dalam. Berikut di bawah ini merupakan nilai karakterisasi risiko non karsinogenik untuk pajanan oral pada sumur dangkal dan sumur dalam :

Tabel 4. 16 Karakterisasi Risiko Non Karsinogenik Intake Oral

| Senyawa | Golongan Usia | RQ <i>Realtime</i> | | RQ <i>Lifetime</i> | |
|--------------------|---------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|
| | | Sumur Dangkal | Sumur Dalam | Sumur Dangkal | Sumur Dalam |
| Endrin aldehyde | Anak | 0,02 | 0,01 | 0,17 | 0,07 |
| | Dewasa | 0,03 | 0,01 | 0,08 | 0,03 |
| Heptachlor epoxide | Anak | 0,31 | 0,64 | 2,34 | 4,8 |

| Senyawa | Golongan Usia | RQ <i>Realtime</i> | | RQ <i>Lifetime</i> | |
|---------|---------------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|
| | | Sumur Dangkal | Sumur Dalam | Sumur Dangkal | Sumur Dalam |
| Hloral | Dewasa | 0,37 | 0,76 | 1,08 | 2,23 |
| | Anak | 0,33 | 0,65 | 2,51 | 4,91 |
| | Dewasa | 0,40 | 0,77 | 1,16 | 2,27 |

Sumber : Hasil pengolahan data

Dari hasil perhitungan di atas dapat diketahui bahwa nilai RQ pajanan oral *realtime* senyawa endrin aldehyde dan heptachlor epoxide di sumur dangkal dan sumur dalam kategori usia anak dan dewasa dengan berat badan rata-rata 14 kg dan 61 kg dan telah terpajan secara *realtime* dengan waktu rata-rata 4 tahun untuk usia anak dan 10 tahun untuk usia dewasa dikategorikan aman dan tidak berisiko non karsinogenik disebabkan oleh nilai RQ < 1. Selanjutnya, untuk RQ pajanan oral *lifetime* senyawa endrin aldehyde di sumur dangkal dan sumur dalam pada kategori usia dewasa dengan berat badan rata-rata 61 kg dan telah terpajan secara *realtime* dengan waktu rata-rata 10 tahun untuk usia dewasa dan 4 tahun untuk usia anak dengan berat badan rata-rata 14 kg memiliki nilai RQ < 1 aman dan tidak berisiko non karsinogenik kemudian untuk pajanan *lifetime* senyawa heptachlor epoxide di sumur dangkal dan sumur dalam pada golongan usia anak dan dewasa selama 30 tahun mendatang dikategorikan tidak aman dan berisiko non karsinogenik pada usia anak dan dewasa disebabkan oleh nilai RQ > 1.

4.4.5 Karakterisasi Risiko Karsinogenik

Karakterisasi risiko dilakukan juga pada risiko karsinogenik yaitu dengan cara mencari nilai *Cancer Slope Factor* (CSF) pada web *Environmental Protection Agency* (EPA) *United State* yang terdapat dalam daftar *Integrated Risk Information System* (IRIS). Perhitungan karakterisasi risiko karsinogenik hanya dilakukan pada senyawa heptachlor epoxide saja disebabkan oleh untuk senyawa endrin aldehyde tidak mempunyai nilai CSF. Nilai CSF untuk senyawa heptachlor epoxide yang terdaftar di IRIS yaitu (9,1 mg/kg/day). Tingkat risiko karsinogenik akan aman bila nilai ECR $\leq 10^{-4}$ dan tidak aman bila nilai ECR $> 10^{-4}$. Berikut di bawah ini merupakan hasil untuk nilai *Excess Cancer Risk* (ECR) senyawa heptachlor epoxide :

Tabel 4. 17 Nilai Risiko Karsinogenik

| Titik | Senyawa | Golongan Usia | ECR |
|---------------|--------------------|---------------|--------|
| Sumur Dangkal | Heptachlor epoxide | Anak | 1,E-04 |
| | | Dewasa | 5,E-05 |
| Sumur Dalam | Heptachlor epoxide | Anak | 2,E-04 |
| | | Dewasa | 1,E-04 |

Sumber : Hasil pengolahan data

Hasil dari perhitungan nilai ECR senyawa heptachlor epoxide pada sumur dangkal dan sumur dalam maka didapatkan hasil bahwa tidak terdapat risiko karsinogenik pada sumur dangkal golongan usia dewasa disebabkan oleh nilai $ECR \leq 10^{-4}$.

4.4.6 Manajemen Risiko

Manajemen risiko merupakan upaya untuk mengendalikan risiko kesehatan pada individu yang berisiko maupun risiko yang belum berisiko agar bisa mengantisipasi efek pada kesehatan yang dapat terjadi di kemudian hari. Pada penelitian ini nilai risiko non karsinogenik pada senyawa heptachlor epoxide pajanan oral lifetime golongan usia golongan usia anak serta dewasa di sumur dangkal dan sumur dalam menghasilkan nilai $RQ > 1$ yang berarti tidak aman dan berisiko menimbulkan risiko kesehatan non karsinogenik sehingga perlu dilakukan strategi pengelolaan risiko untuk meminimalisir risiko yang terjadi yaitu dengan cara menentukan batas aman konsentrasi (mg/L) dan batas aman laju konsumsi (L/hari). Berikut di bawah ini merupakan hasil strategi pengelolaan risiko non karsinogenik pada penelitian ini :

Tabel 4. 18 Strategi Pengelolaan Risiko Non Karsinogenik

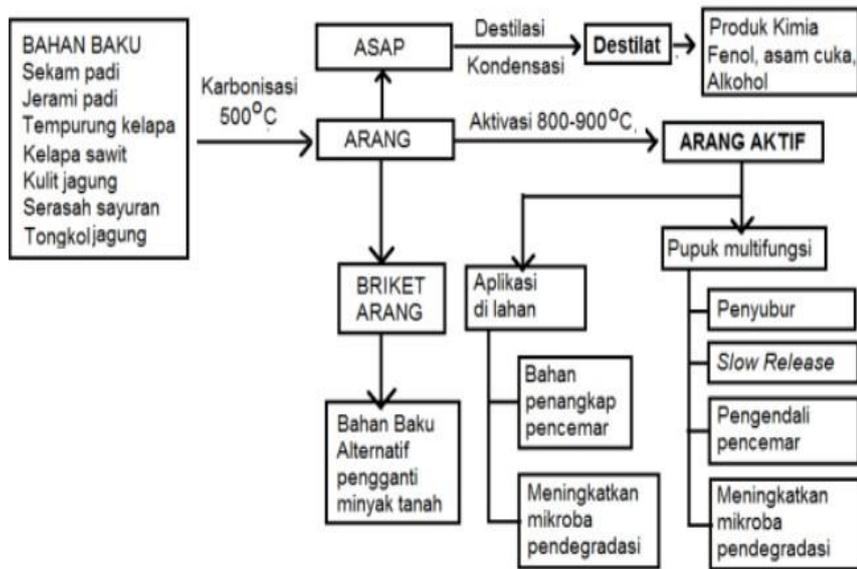
| Titik | Senyawa | Golongan Usia | Konsentrasi Aman (mg/L) | Laju Konsumsi Aman (L/hari) |
|---------------|--------------------|---------------|-------------------------|-----------------------------|
| Sumur Dangkal | Heptachlor epoxide | Anak | 0,0002 | 0,20 |
| | | Dewasa | 0,0004 | 0,89 |
| Sumur Dalam | Heptachlor epoxide | Anak | 0,0002 | 0,20 |
| | | Dewasa | 0,0004 | 0,89 |

Sumber : Hasil pengolahan data

Pada strategi pengelolaan risiko non karsinogenik ini digunakan nilai konsentrasi senyawa heptachlor epoxide tertinggi yaitu 0,00089 mg/L dan didapatkan hasil perhitungan untuk konsentrasi aman yang dapat digunakan pada risiko non karsinogenik yaitu bagi semua golongan usia anak dan dewasa tanpa merubah faktor atau variable paparan yang lain (R, fe, Dt, termasuk Wb masing-masing golongan usia) yaitu konsentrasi aman terendah adalah konsentrasi aman golongan usia anak dengan konsentrasi 0,0002 mg/L dan untuk konsumsi aman yang dapat digunakan pada risiko non karsinogenik yaitu bagi semua golongan usia anak-anak dan dewasa tanpa merubah pola paparan yang lain (C, fe, Dt, termasuk Wb masing-masing golongan usia) yaitu dengan jumlah konsumsi 0,20 L/hari.

Manajemen risiko atau pengelolaan risiko yang dilakukan yaitu pencegahan pada pemukiman maka sebaiknya air tanah yang hendak dikonsumsi dimasak terlebih dahulu agar air yang dikonsumsi menjadi matang dan dapat mengurangi kuman, bakteri maupun senyawa-senyawa yang dapat mengganggu kesehatan. Jumlah konsumsi air minum yang aman menggunakan air sumur dangkal dan sumur dalam juga terbilang sedikit pada penelitian ini yaitu 0,20 L/hari sehingga masyarakat disarankan dapat menggunakan alternatif air minum lain seperti membeli air minum kemasan atau air isi ulang (galon) untuk konsumsi sehari-hari.

Adapun pengelolaan risiko secara teknologi untuk mengurangi konsentrasi atau menghilangkan sumber pencemar pestisida yang berada didalam air tanah dimulai dengan melakukan pencegahan dari area persawahan yang merupakan sumber kontaminasi pestisida di air tanah. Metode yang digunakan yaitu berdasarkan dari penelitian Harsanti *et al.*, (2013) dengan memakai arang aktif yang bisa dibuat dengan bahan baku seperti sekam padi, tempurung kelapa, jerami padi, kelapa sawit, kulit jagung, serasah sayuran dan tongkol jagung. Berikut di bawah ini merupakan gambar dari proses pembuatan arang aktif :



Gambar 4. 18 Proses Pembuatan Arang Aktif

Penggunaan arang aktif yang berbahan dasar tongkol jagung mempunyai kemampuan yang lebih efektif untuk menurunkan residu organoklorin aldrin dan lindan dibandingkan dengan arang aktif berbahan dasar tempurung kelapa. Penggunaan arang aktif akan lebih efektif dan bagus jika ditambahkan dengan mikroba konsorsia agar lebih efektif dalam menurunkan dan mengurangi kadar residu pestisida (Harsanti *et al.*, 2013). Penggunaan tongkol jagung juga memberi nilai tambah dan fungsi terhadap limbah pertanian.

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian dan analisis data yang sudah dilakukan, maka kesimpulan dari penelitian ini yaitu :

1. Hasil dari pengukuran sampel air tanah pada sumur dangkal dan sumur dalam yang berada di Kecamatan Pakem dan Kecamatan Wukisari didapatkan hasil terdeteksinya senyawa organoklorin sebagai berikut :
 - a. Senyawa endrin aldehyde pada sampel SB1 (0,00003 mg/L), SB2 (0,00011 mg/L), SB3 (0,00052 mg/L), SB5 (0,00058 mg/L) dan SG2 (0,00070 mg/L)
 - b. Senyawa heptachlor epoxide pada sampel SB3 (0,00089 mg/L), SG1 (0,00060 mg/L), SG4 (0,00031 mg/L) dan SG5 (0,00039 mg/L).

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi keberadaan senyawa endrin aldehyde dan heptachlor epoxide di lingkungan yaitu jenis tanah di Kabupaten Sleman berupa tanah regosol yang bertekstur kasar dan kedalaman sumur dangkal yang rendah memiliki konsentrasi rata-rata senyawa organoklorin yang lebih tinggi dibandingkan dengan sumur dalam.

2. Perhitungan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) dilakukan dengan mencari nilai *intake realtime* dan *intake lifetime* dan menghitung nilai risiko non karsinogenik (RQ) serta risiko karsinogenik (ECR) dengan hasil sebagai berikut :
 - a. Untuk Nilai risiko non karsinogenik pada senyawa endrin aldehyde dengan hasil RQ *intake realtime* total dan RQ *intake lifetime* total pada kategori usia anak dan dewasa yaitu < 1 artinya aman dan tidak menimbulkan risiko kesehatan non karsinogenik kedepannya. Untuk senyawa heptachlor epoxide dengan hasil RQ *intake realtime* total pada kategori usia anak dan dewasa yaitu < 1 artinya aman dan tidak menimbulkan risiko kesehatan non karsinogenik kedepannya. Selanjutnya, RQ *intake lifetime* total senyawa heptachlor epoxide

kategori usia anak dan dewasa yaitu > 1 artinya tidak aman dan dapat menimbulkan risiko kesehatan non karsinogenik kedepannya.

- b. Hasil perhitungan risiko karsinogenik atau nilai ECR untuk senyawa heptachlor epoxide didapatkan hasil bahwa bahwa tidak terdapat risiko karsinogenik pada sumur dangkal dan sumur dalam pada kategori usia anak-anak dan dewasa dikarenakan nilai $ECR \leq 10^{-4}$.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan yaitu :

1. Pembuatan kurva kalibrasi larutan standar organoklorin perlu dilakukan penyempurnaan kembali dengan cara memperbaiki larutan standar yaitu menambah variasi konsentrasi larutan standar menjadi lebih dari 3 konsentrasi larutan standar agar saat pembuatan kurva kalibrasi jika ada nilai luas area pada konsentrasi tertentu yang tidak sesuai maka bisa menggunakan nilai luas area dari konsentrasi larutan standar organoklorin lainnya dan menggunakan settingan GC-MS yang lebih sesuai dengan senyawa organoklorin
2. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan analisis kadar organoklorin pada tanah pertanian atau ladang, sungai dan air yang terdapat pada saluran irigrasi di sekitar area persawahan atau ladang di Kabupaten Slenan atau lokasi lainnya

DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah, A. N. (2017). Analisis Dan Identifikasi Status Mutu Air Tanah Di Kota Singkawang Studi Kasus Kecamatan Singkawang Utara. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 5(1), 1–10. <https://doi.org/10.26418/jtllb.v5i1.18404>
- Arif, A. (2015). Pengaruh bahan kimia terhadap penggunaan pestisida lingkungan. *Jf Fik Unam*, 3(4), 134–143. http://103.55.216.56/index.php/jurnal_farmasi/article/view/2218
- Atmaja, D. M. (2019). Analisis Kualitas Air Sumur Di Desa Candikuning Kecamatan Baturiti. *Media Komunikasi Geografi*, 19(2), 147. <https://doi.org/10.23887/mkg.v19i2.14644>
- Aritonang, F., Saraswati, L., & Udiyono, A. (2015). Survei Multi Residu Organoklorin Dalam Beras Dengan Metode Gas Chromatography Electron Capture Detector (Studi Di Distributor Beras Âxâsentra Penjualan Beras Dargo Kota Semarang). *Jurnal Kesehatan Masyarakat (e-Journal)*, 3(1), 127–134.
- Atifah, Y., Lubis, M., Lubis, L. T., & Maulana, A. (2019). Pencemaran Pestisida pada Sungai Batang Gadis, Mandailing Natal, Sumatera Utara. *BIOEDUSCIENCE: Jurnal Pendidikan Biologi Dan Sains*, 3(2), 100–105. <https://doi.org/10.29405/j.bes/32100-1053729>
- Awadh, G., & Hashim, M. (2018). Monitoring of Organochlorine Pesticide Residues in Groundwater Samples from Sana'a City (Yemen) by Gas Chromatography Using Solid Phase Extraction Method. *Journal of Plant Protection and Pathology*, 9(2), 121–125. <https://doi.org/10.21608/jppp.2018.41260>
- Aydinalp, C., & Porca, M. (2004). the Effects of Pesticides in Water Resources. *Journal of Central European Agriculture*, 5(1), 119–126. <https://doi.org/10.5513/jcea.v5i1.205>
- Boes, E., Pusfitasari, E. D., Rosmalina, R. T., & Yusiasih, R. (2013). Metoda Analisa Penentuan Degradasi Sulfur Mustard Menggunakan Teknik Gas Chromatography Mass Spektrometric Electron Ionisasi-Sim Mode Menggunakan Teknik Gas Chromatography Mass Spektrometric Electron Ionisasi – Sim Mode. *Seminar Nasional Kimia Terapan Indonesia 2013*, 3(May 2018), 71–80.
- Bintoro, A., Widjajanto, D., & Isrun. (2017). Karakteristik Fisik Tanah Pada Beberapa. *E-J. Agrotekbis*, 5(4), 423–430.
- Combarous, Y. (2017). Endocrine Disruptor Compounds (EDCs) and agriculture: The case of pesticides. *Comptes Rendus - Biologies*, 340(9–10), 406–409. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2017.07.009>
- Delin, G. N., & Landon, M. K. (2002). Effects of topography on the transport of

- agricultural chemicals to groundwater in a sand-plain setting. *Hydrogeology Journal*, 10(4), 443–454. <https://doi.org/10.1007/s10040-002-0208-6>
- Erpinda, M. I. A. (2017). *Estimasi loading rate pestisida organofosfat pada area pertanian di desa wukirsari dan argomulyo, cangkringan, sleman, diy.*
- Fatimah, I., & Nugraha, J. (2007). Analisis Hubungan Kuantitatif Struktur dan Kelarutan Senyawa Aktif Pestisida Organofosfat: Pendekatan Model Linear dan Metode Kluster (Analysis of Quantitative Structure and Solubility Relationship for Organophosphate Active Compounds Linear Model and Cluster Model Approach). *Jurnal ILMU DASAR*, 8(1), 91–102.
- Fitra, M., & Awaluddin. (2019). *Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)*. Padang: Andalas University Press.
- Gakuba, E., Moodley, B., Ndungu, P., & Birungi, G. (2018). Partition distribution of selected organochlorine pesticides in water, sediment pore water and surface sediment from umngeni river, kwazulu-natal, south africa. *Water SA*, 44(2), 232–249. <https://doi.org/10.4314/wsa.v44i2.09>
- Harsanti, E. S., Ardiwinata, A., Mulyadi, & Wihardjaka, A. (2013). Peranan Arang Aktif dalam Mitigasi Residu Pestisida pada Tanaman Komoditas Strategis. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 7(2), 57–65. <http://ejurnal.litbang.pertanian.go.id/index.php/jsl/article/view/6431>
- Hendrayana, H., Riyanto, I. A., & Nuha, A. (2020). Tingkat Pemanfaatan Airtanah di Cekungan Airtanah (CAT) Yogyakarta-Sleman. *Geodika: Jurnal Kajian Ilmu Dan Pendidikan Geografi*, 4(2), 127–137. <https://doi.org/10.29408/geodika.v4i2.2643>
- Hendrayana, H., & Vicente, V. A. de S. (2013). Cadangan Airtanah Berdasarkan Geometri dan Konfigurasi Sistem Akuifer Cekungan Airtanah Yogyakarta-Sleman. *Prosiding Seminar Nasional Kebumihan Ke-6*, 356–370.
- Hudayya, A. (2012). *Pengelompokan Pestisida Berdasarkan Cara Kerjanya (Mode of Action)*.
- Jayaraj, R., Megha, P., & Sreedev, P. (2016). *Organochlorine pesticides, their toxic effects on living organisms and their fate in the environment*. 9, 90–100. <https://doi.org/10.1515/intox-2016-0012>
- Kizlyara, N. S. (2019). *Estimasi Tingkat Risiko Penggunaan Pestisida Pada Area Pertanian Di Kec. Pakem, Di Yogyakarta Dengan Metode Icphty*. 15513208. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/16342>
- Liang, Y., Chen, G., Zeng, H., Qin, L., & Mo, L. (2016). Characteristics and risk assessment of organochlorine pesticide residues in surface sediments collected at the Qingshitan Reservoir. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 98(5–6), 658–668. <https://doi.org/10.1080/02772248.2015.1133384>
- Mahgoub, H. A. (2016). Extraction Techniques for Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Water Samples. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 5(1), 268–272.

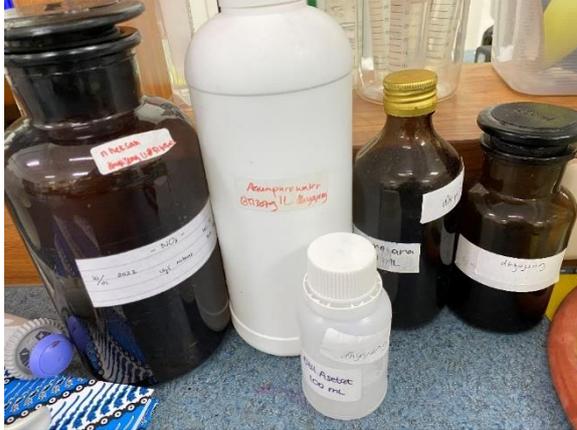
- Mursyidi, A. (1994). Pestisida Efek Toksik dan Nasibnya di Lingkungan. *Unisia*, 14(23), 112–120 . <https://doi.org/10.20885/unisia.vol14.iss23.art10>
- Muryani, E., Rahmah, D. A., & Santoso, D. H. (2019). Analisis Tingkat Kerentanan Pencemaran Air Tanah Pada Wilayah Penambangan Dan Pengolahan Emas Rakyat Desa Pancurendang, Kabupaten Banyumas. *ECOTROPHIC : Jurnal Ilmu Lingkungan (Journal of Environmental Science)*, 13(2), 159. <https://doi.org/10.24843/ejes.2019.v13.i02.p04>
- Mutianto, H. (2016). Studi Konservasi Air Untuk Pemanfaatan Airtanah Yang Berkelanjutan Pada Recharge Area Lereng Gunungapi Merapi Kabupaten Sleman Yogyakarta. *Jurnal Geografi Gea*, 8(2). <https://doi.org/10.17509/gea.v8i2.1700>
- Noerdin, D., Hardian, A., Herlina, H., Astuti, W., & Pramuditha, L. (2011). *Residu Pestisida pada Air Sungai dan Air Sumur di Sentra Perkebunan Bandung*.
- Permana, B., Syafei, D. I., Syafei, H., Olifvia, O., Fitri, N. C., Sundari, N. R., Sahari, W., Venesia, D., Aini, A. N., Gamellia, B. O., Katipah, K., Arif, M., & Anggraani, A. (2020). Analisis Sifat Fisika dan Derajat Keasaman terhadap Kualitas Air Minum Isi Ulang 20 Rumah RW 01 di Kampung Cilember Desa Jogjogan Kecamatan Cisarua Kabupaten Bogor. *Risenologi*, 5(1), 64–69. <https://doi.org/10.47028/j.risenologi.2020.51.82>
- Plain, A. (2013). *Groundwater Contamination by Pesticides in North LEBANON Solid Phase Extraction of Organochlorine Pesticides Residues in Groundwater. December 2014*.
- Polanco Rodríguez, A. G., Alberto, J. A. N., Sánchez, J. S., Rejón, G. J. M., Gómez, J. M., & Del Valls Casillas, T. A. (2015). Contamination by organochlorine pesticides in the aquifer of the Ring of Cenotes in Yucatán, México. *Water and Environment Journal*, 29(1), 140–150. <https://doi.org/10.1111/wej.12080>
- Purnomo, A. S., Putra, S. R., Shimizu, K., & Kondo, R. (2014). Biodegradation of heptachlor and heptachlor epoxide-contaminated soils by white-rot fungal inocula. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(19), 11305–11312. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3026-1>
- Putranto, T. T., & Kuswoyo, B. (2012). Zona Kerentanan Airtanah Terhadap Kontaminan Dengan Metode Drastic. *Teknik*, 29(2), 110–119.
- Raini, M. (2012). Toksikologi Pestisida Dan Penanganan Akibat Keracunan Pestisida. *Media Penelitian Dan Pengembangan Kesehatan*, 17(3 Sept), 10–18. <https://doi.org/10.22435/mpk.v17i3Sept.815>.
- Rawa-Adkonis, M., Wolska, L., & Namieśnik, J. (2006). Analytical procedures for PAH and PCB determination in water samples - Error sources. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 36(2), 63–72.
- Region, M. (2018). *Journal of Medical Evaluation of Organochlorine Pesticide Residues in Undergroundwater of the*. 1–5.
- Rochaddi, B., & Suryono, A. (2012). Pestisida Organoklorin pada Aqifer Dangkal

di Wilayah Pesisir Kota Semarang. *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 14(3), 155-159–159.

- Rosalia, O., Wispriyono, B., & Kusnoputranto, H. (2018). Karakteristik Risiko Kesehatan Non Karsinogen pada Remaja Siswa Characteristic of Health Risks on Students Due to Dust Inhalation Debu Particulate Matter <2,5 (PM_{2,5}). *Jurnal MKMI*, 14(1), 26–35.
- Shoiful, A., Nugroho, R., Fujita, H., & Honda, K. (2018). Pestisida Organoklorin dalam Air dari Daerah Jabodetabek: Studi Pada Daerah Padat Penduduk. *Jurnal Air Indonesia*, 8(2). <https://doi.org/10.29122/jai.v8i2.2374>
- Shukla, G., Kumar, A., Bhanti, M., Joseph, P. E., & Taneja, A. (2006). Organochlorine pesticide contamination of ground water in the city of Hyderabad. *Environment International*, 32(2), 244–247. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2005.08.027>
- Supriyadi, Utami, A. D., Widijanto, H., & Sumani. (2015). Organophosphate residue in different land use in Mojogedang Karanganyar central java Indonesia. *Modern Applied Science*, 9(6), 87–96. <https://doi.org/10.5539/mas.v9n6p87>
- Tugjamba, N., & Gantumur, A. (2017). *Environmental protection and Tourism*. 17–33. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-2078-8.ch002>
- Turgut, C., Atatanir, L., & Cutright, T. J. (2010). Evaluation of pesticide contamination in Dilek National Park, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 170(1–4), 671–679. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1266-1>
- Wijaya, K. A., & Purnama, S. (2018). Kajian Kerentanan Airtanah terhadap Potensi Pencemaran di Kecamatan Kasihan Kabupaten Bantul. *Jurnal Bumi Indonesia*, 7(1), 1–10. <http://lib.geo.ugm.ac.id/ojs/index.php/jbi/article/view/943/915>
- Ying, G. G. (2012). Endocrine Disrupting Chemicals. What? Where? In *Analysis of Endocrine Disrupting Compounds in Food*. <https://doi.org/10.1002/9781118346747.ch1>

LAMPIRAN

Lampiran 1 Alat dan Bahan



الجامعة الإسلامية
الاستاذ الدكتور



Lampiran 2 Proses pengambilan sampel dan pengukuran kedalaman air tanah dan muka air tanah





المعهد الوطني للدراسات والبحوث



PERATURAN MENTERI KESEHATAN REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 32 TAHUN 2017
TENTANG
STANDAR BAKU MUTU KESEHATAN LINGKUNGAN DAN PERSYARATAN
KESEHATAN AIR UNTUK KEPERLUAN HIGIENE SANITASI, KOLAM RENANG,
SOLUS PER AQUA, DAN PEMANDIAN UMUM

DENGAN RAHMAT TUHAN YANG MAHA ESA

MENTERI KESEHATAN REPUBLIK INDONESIA,

Menimbang : bahwa untuk melaksanakan ketentuan Pasal 26 ayat (1) Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan, perlu menetapkan Peraturan Menteri Kesehatan tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, *Solus Per Aqua*, dan Pemandian Umum;

Mengingat : 1. Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2014 Nomor 184, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5570);
2. Peraturan Presiden Nomor 35 Tahun 2015 tentang Kementerian Kesehatan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 59);

Tabel 2. Parameter Biologi dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi

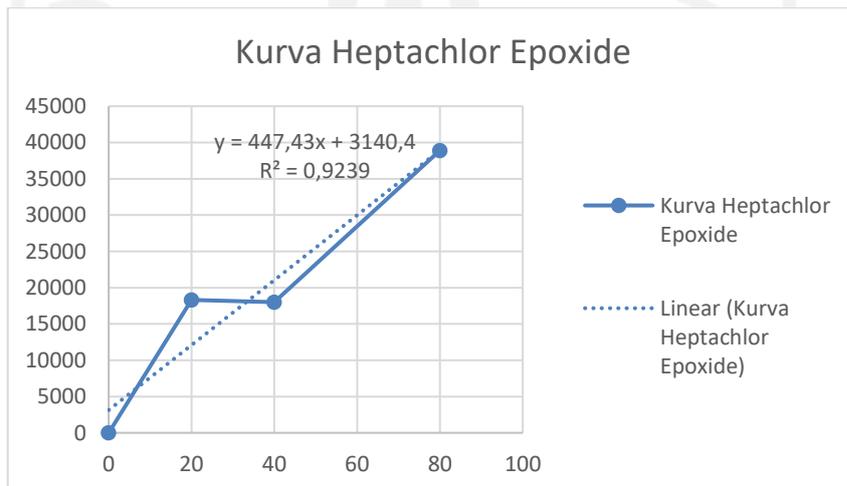
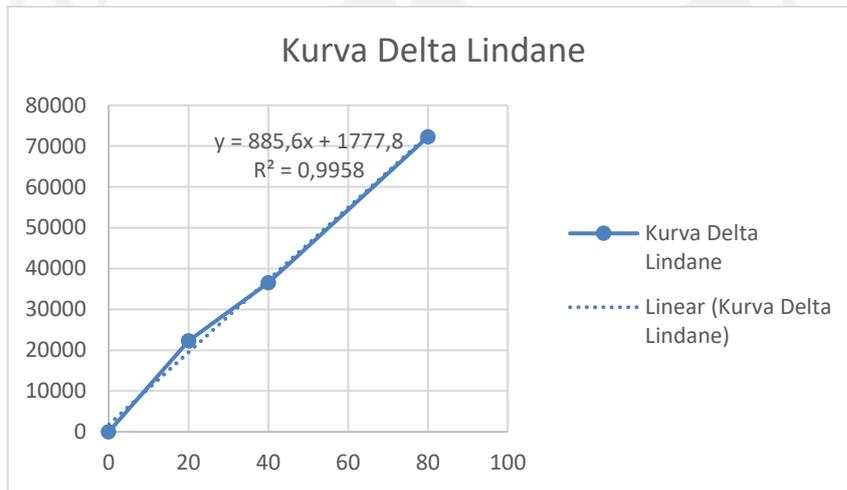
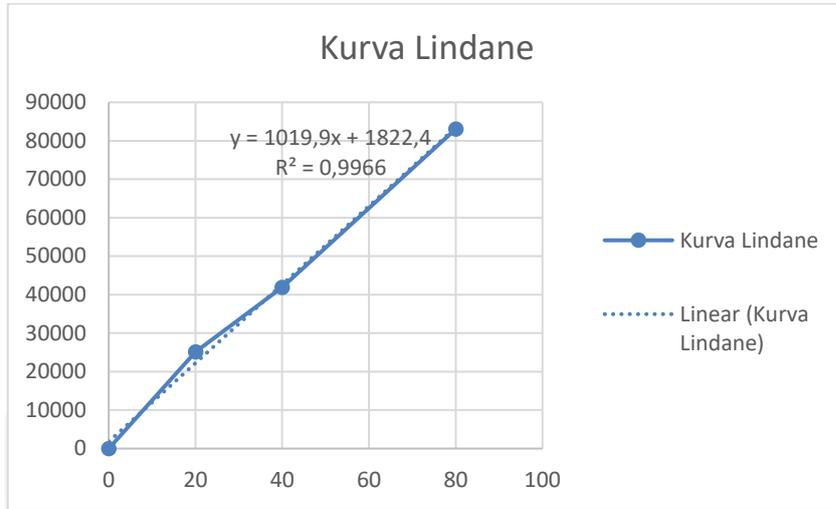
| No. | Parameter Wajib | Unit | Standar Baku Mutu (kadar maksimum) |
|-----|-----------------|-----------|------------------------------------|
| 1. | Total coliform | CFU/100ml | 50 |
| 2. | E. coli | CFU/100ml | 0 |

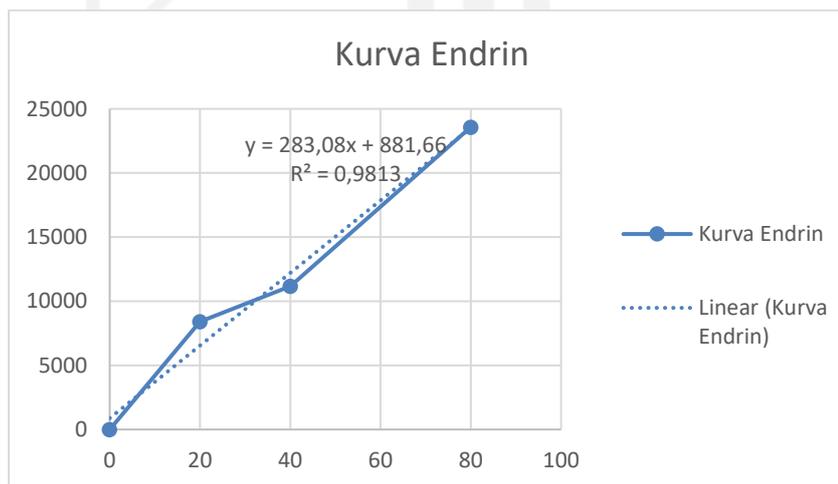
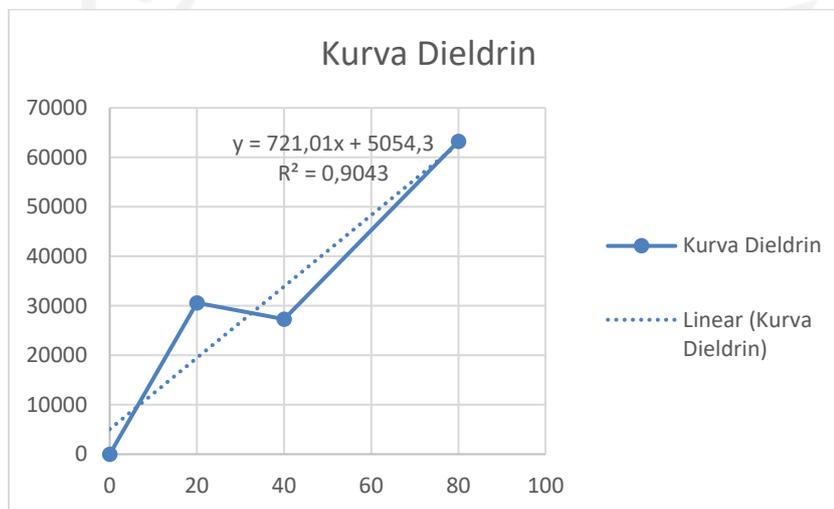
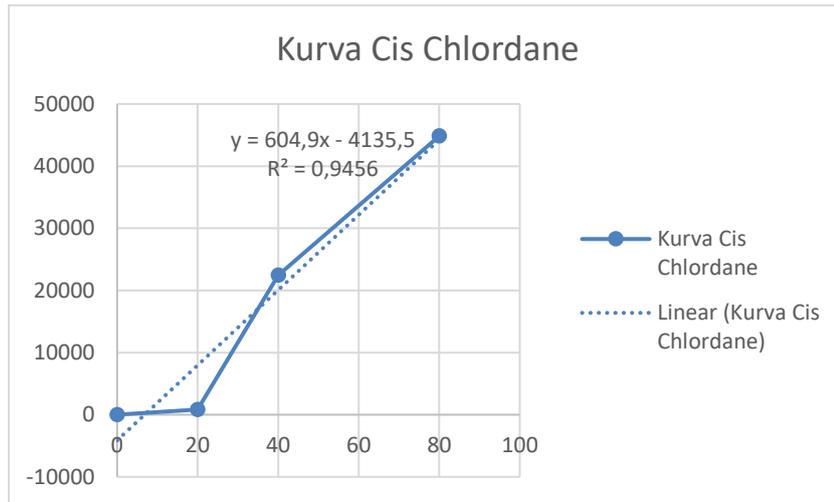
Tabel 3 berisi daftar parameter kimia yang harus diperiksa untuk keperluan higiene sanitasi yang meliputi 10 parameter wajib dan 10 parameter tambahan. Parameter tambahan ditetapkan oleh pemerintah daerah kabupaten/kota dan otoritas pelabuhan/bandar udara.

Tabel 3. Parameter Kimia dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi

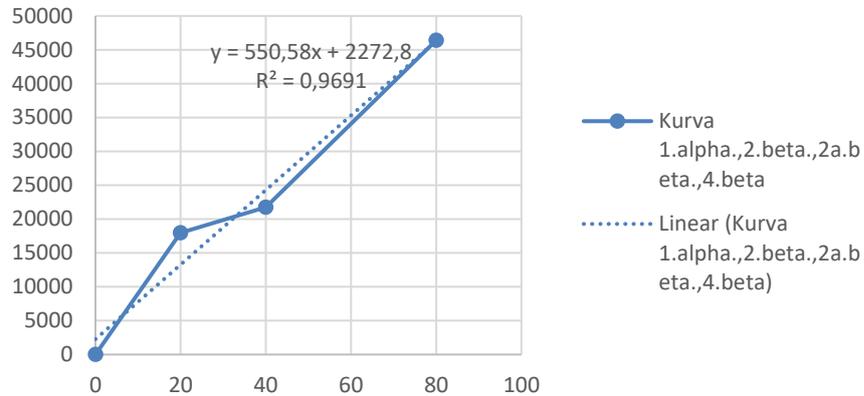
| No. | Parameter | Unit | Standar Baku Mutu (kadar maksimum) |
|-----------------|--------------------------------|------|------------------------------------|
| Wajib | | | |
| 1. | pH | mg/l | 6,5 - 8,5 |
| 2. | Besi | mg/l | 1 |
| 3. | Fluorida | mg/l | 1,5 |
| 4. | Kesadahan (CaCO ₃) | mg/l | 500 |
| 5. | Mangan | mg/l | 0,5 |
| 6. | Nitrat, sebagai N | mg/l | 10 |
| 7. | Nitrit, sebagai N | mg/l | 1 |
| 8. | Sianida | mg/l | 0,1 |
| 9. | Deterjen | mg/l | 0,05 |
| 10. | Pestisida total | mg/l | 0,1 |
| Tambahan | | | |
| 1. | Air raksa | mg/l | 0,001 |
| 2. | Arsen | mg/l | 0,05 |
| 3. | Kadmium | mg/l | 0,005 |
| 4. | Kromium (valensi 6) | mg/l | 0,05 |
| 5. | Selenium | mg/l | 0,01 |
| 6. | Seng | mg/l | 15 |
| 7. | Sulfat | mg/l | 400 |
| 8. | Timbal | mg/l | 0,05 |

Lampiran 4 Kurva Kalibrasi Standar dan Perhitungan Kadar Organoklorin





Kurva 1.alpha.,2.beta.,2a.beta.,4.beta



Lampiran 5 Konsentrasi dan Luas Area Larutan Standar Organoklorin

Konsentrasi dan Luas Area Senyawa Alpha Lindane

| Konsentrasi (X) ppm | Luas Area (Y) |
|---------------------|---------------|
| 0 | 0 |
| 20 | 28017,25 |
| 40 | 19939,07 |
| 80 | 48890,43 |

Konsentrasi dan Luas Area Senyawa Delta Lindane

| Konsentrasi (X) ppm | Luas Area (Y) |
|---------------------|---------------|
| 0 | 0 |
| 20 | 22287,52 |
| 40 | 36560,53 |
| 80 | 72246,74 |

Konsentrasi dan Luas Area Senyawa Heptachlor Epoxide

| Konsentrasi (X) ppm | Luas Area (Y) |
|---------------------|---------------|
| 0 | 0 |
| 20 | 18301,36 |
| 40 | 17999,71 |
| 80 | 38900,29 |

Konsentrasi dan Luas Area Senyawa Cis Chlordane

| Konsentrasi (X) ppm | Luas Area (Y) |
|----------------------------|----------------------|
| 0 | 0 |
| 20 | 15067,34 |
| 40 | 7249,36 |
| 80 | 18976,09 |

Konsentrasi dan Luas Area Senyawa Dieldrin

| Konsentrasi (X) ppm | Luas Area (Y) |
|----------------------------|----------------------|
| 0 | 0 |
| 20 | 30593,63 |
| 40 | 27324,91 |
| 80 | 63240,53 |

Konsentrasi dan Luas Area Senyawa Endrin

| Konsentrasi (X) ppm | Luas Area (Y) |
|----------------------------|----------------------|
| 0 | 0 |
| 20 | 8410,38 |
| 40 | 11167,51 |
| 80 | 23579,97 |

Konsentrasi dan Luas Area Senyawa 1.alpha.,2.beta.,2a.beta.,4.beta (Endrin Aldehyde)

| Konsentrasi (X) ppm | Luas Area (Y) |
|----------------------------|----------------------|
| 0 | 0 |
| 20 | 18000,14 |
| 40 | 21767,61 |
| 80 | 46403,93 |

Lampiran 6 Kuesioner ARKL

| | | |
|---|---|------------------|
| RAHASIA HANYA UNTUK PENELITIAN |  | KUESIONER |
|---|---|------------------|

A. PETUNJUK UMUM PENGISIAN KUESIONER

1. Bacalah setiap pertanyaan dan jawaban dengan seksama
2. Jawablah pertanyaan dengan benar dan sesuai keadaan yang dialami
3. Kuesioner yang telah diisi lengkap dipastikan berisi informasi yang benar
4. Lingkari dan tuliskan jawaban yang sesuai
5. Seluruh jawaban dari kuesioner ini bersifat rahasia hanya untuk kepentingan penelitian

B. IDENTITAS RESPONDEN

| No | Pertanyaan | Jawaban |
|----|----------------------------------|---------|
| 1 | Nama (Kepala keluarga) | |
| 2 | Alamat | |
| 3 | Umur | Tahun |
| 4 | Berat Badan | Kg |
| 5 | Tinggi Badan | cm |
| 6 | Pekerjaan | |
| 7 | Jumlah Keluarga (penghuni rumah) | Orang |
| 8 | Nama istri | |
| 9 | Umur | Tahun |
| 10 | Berat Badan | Kg |
| 11 | Tinggi Badan | cm |
| 12 | Nama anak perempuan | |
| 13 | Umur | Tahun |
| 14 | Berat Badan | Kg |
| 15 | Tinggi Badan | cm |
| 16 | Nama anak laki-laki | |
| | Umur | Tahun |
| 18 | Berat Badan | Kg |
| 19 | Tinggi Badan | cm |

C. POLA AKTIVITAS DAN KONSUMSI

| No | Pertanyaan | Jawaban |
|----|---|---|
| 1 | Sejak kapan (tahun) anda tinggal di daerah ini? | Tahun |
| 2 | Sumber air bersih yang digunakan? | a. Air sumur gali b. Air sumur bor c. Air sungai d. PDAM e. Air hujan |

| | | |
|---|--|---|
| | | f. Lainnya... |
| 3 | Untuk kegiatan apa saja sumber air sumur digunakan? | a. Minum b. Masak c. Mencuci d. Mandi |
| 4 | Bagaimana kualitas air yang digunakan? | a. Berlumut b. Berwarna c. Bau d. Berasa e. Lainnya... |
| 5 | Bagaimana ketersediaan air yang digunakan? | a. Melimpah b. Kering |
| 6 | Proses apa sajakah yang anda lakukan sebelum mengkonsumsi air? | a. Dimasak terlebih dahulu b. Langsung dikonsumsi c. Adanya proses kegiatan penyaringan d. Ditampung e. Proses lainnya... |
| 7 | Berapakah jumlah konsumsi air yang digunakan? | a. Sebagai kebutuhan masak? b. Sebagai kebutuhan minum? c. Sebagai kebutuhan mandi? d. Sebagai kebutuhan pencucian? e. Kebutuhan lainnya? |

D. GANGGUAN KESEHATAN

| No | Pertanyaan | Jawaban |
|----|--|--------------------------------|
| 1 | Apakah selama anda tinggal atau bermukim mengalami gangguan kesehatan? | a. Ya, sebutkan... b. Tidak |

E. KEGIATAN TERKAIT PESTISIDA

| No | Pertanyaan | Jawaban |
|----|--|---------|
| 1 | Jika petani, apakah saat melakukan aktivitas pencairan pestisida dilakukan di dekat sumur? | |
| 2 | Jika petani, peletakan atau penyimpanan pestisida dimana? | |

Lampiran 7 Kuesioner Observasi Sumur

| | | |
|---|---|---------------------------------|
| RAHASIA HANYA UNTUK PENELITIAN |  | FORM OBSERVASI SUMUR |
|---|---|---------------------------------|

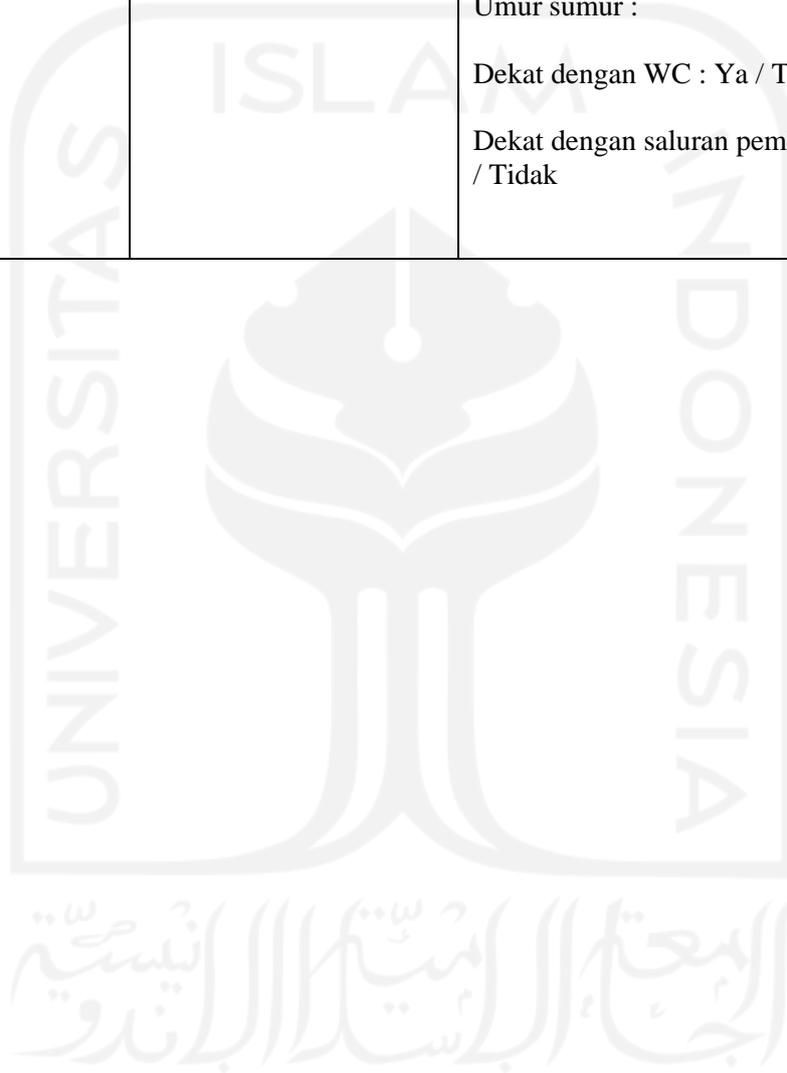
| No | Kode Sumur | Koordinat Sumur | Parameter Lapangan | Pemilik | Lokasi Sumur | Elevasi MT | Muka Air Tanah | Elevasi MAT |
|----|------------|-----------------|--------------------|---------|--------------|------------|----------------|-------------|
| 1 | | | pH : Suhu : | | | | | |
| 2 | | | pH : Suhu : | | | | | |
| 3 | | | pH : Suhu : | | | | | |
| 4 | | | pH : Suhu : | | | | | |
| 5 | | | pH : Suhu : | | | | | |
| 6 | | | pH : Suhu : | | | | | |
| 7 | | | pH : Suhu : | | | | | |
| 8 | | | pH : Suhu : | | | | | |

| No | Kode Sumur | Koordinat Sumur | Parameter Lapangan | Pemilik | Lokasi Sumur | Elevasi MT | Muka Air Tanah | Elevasi MAT |
|----|------------|-----------------|--------------------|---------|--------------|------------|----------------|-------------|
| 9 | | | pH : Suhu : | | | | | |

LAMPIRAN FOTO DAN KONDISI SUMUR

| No | Kode Sumur | Foto Sumur | Kondisi Sumur |
|----|------------|------------|---|
| 1 | | | Bentuk sumur : Konstruksi sumur : Warna air : Bau air : Berbau / Tidak / Lainnya Umur sumur : Dekat dengan WC : Ya / Tidak Dekat dengan saluran pembuangan : Ya / Tidak |
| 2 | | | Bentuk sumur : Konstruksi sumur : Warna air : Bau air : Berbau / Tidak / Lainnya Umur sumur : Dekat dengan WC : Ya / Tidak Dekat dengan saluran pembuangan : Ya / Tidak |

| No | Kode Sumur | Foto Sumur | Kondisi Sumur |
|----|------------|------------|---|
| 3 | | | Bentuk sumur : Konstruksi sumur : Warna air : Bau air : Berbau / Tidak / Lainnya Umur sumur : Dekat dengan WC : Ya / Tidak Dekat dengan saluran pembuangan : Ya / Tidak |



Lampiran 8 Data ARKL (Intake Oral)

| Kode Sumur dan Senyawa Organoklorin | Responden | Umur (Tahun) | C (konsentrasi risk agent mg/L) | R (laju asupan L/hari) | Fe (Frekuensi Paparan hari/tahun) | Durasi Paparan lifetime (tahun) | Dt (Durasi Paparan Realtime tahun) | Wb (Berat badan Kg) | tagv (periode waktu rata-rata) | I (asupan intake lifetime mg/kg/hari) | I (asupan intake realtime mg/kg/hari) |
|-------------------------------------|-------------|--------------|---------------------------------|------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| SB1 (Endrin Aldehyde) | Dewasa 1 | 51 | 0,00003 | 2 | 365 | 30 | 6 | 72 | 10950 | 0,000799 | 0,000160 |
| | Dewasa 2 | 46 | 0,00003 | 2 | 365 | 30 | 6 | 73 | 10950 | 0,000788 | 0,000158 |
| | Dewasa 3 | 20 | 0,00003 | 2 | 365 | 30 | 6 | 50 | 10950 | 0,001151 | 0,000230 |
| | Dewasa 4 | 17 | 0,00003 | 2 | 365 | 30 | 6 | 72 | 10950 | 0,000799 | 0,000160 |
| SB2 (Endrin Aldehyde) | Dewasa 1 | 43 | 0,00011 | 2 | 365 | 30 | 6 | 68 | 10950 | 0,003102 | 0,000620 |
| | Dewasa 2 | 43 | 0,00011 | 2 | 365 | 30 | 6 | 49 | 10950 | 0,004305 | 0,000861 |
| | Dewasa 3 | 20 | 0,00011 | 2 | 365 | 30 | 6 | 50 | 10950 | 0,004219 | 0,000844 |
| | Dewasa 4 | 16 | 0,00011 | 2 | 365 | 30 | 6 | 58 | 10950 | 0,003637 | 0,000727 |
| SB3 (Heptachlor Epoxide) | Dewasa 1 | 39 | 0,00089 | 2 | 365 | 70 | 1 | 73 | 25550 | 0,000024 | 0,000000 |
| SB3 (Endrin Aldehyde) | Dewasa 1 | 39 | 0,00052 | 2 | 365 | 30 | 1 | 73 | 10950 | 0,013661 | 0,000455 |
| SB5 (Endrin Aldehyde) | Dewasa 1 | 48 | 0,00058 | 2 | 365 | 30 | 7 | 95 | 10950 | 0,011709 | 0,002732 |
| | Dewasa 2 | 40 | 0,00058 | 2 | 365 | 30 | 7 | 65 | 10950 | 0,017113 | 0,003993 |
| | Dewasa 3 | 21 | 0,00058 | 2 | 365 | 30 | 7 | 60 | 10950 | 0,018539 | 0,004326 |
| | Dewasa 4 | 12 | 0,00058 | 2 | 365 | 30 | 7 | 60 | 10950 | 0,018539 | 0,004326 |
| SG1 (Heptachlor Epoxide) | Dewasa 1 | 55 | 0,00060 | 2 | 365 | 70 | 17 | 70 | 25550 | 0,000017 | 0,000004 |
| | Dewasa 2 | 22 | 0,00060 | 2 | 365 | 70 | 17 | 59 | 25550 | 0,000020 | 0,000005 |
| | Dewasa 3 | 21 | 0,00060 | 2 | 365 | 70 | 17 | 48 | 25550 | 0,000025 | 0,000006 |
| SG2 (Endrin Aldehyde) | Dewasa 1 | 41 | 0,00070 | 2 | 365 | 30 | 5 | 80 | 10950 | 0,000018 | 0,000003 |
| | Dewasa 2 | 29 | 0,00070 | 2 | 365 | 30 | 5 | 51,4 | 10950 | 0,000027 | 0,000005 |
| | Anak-anak 1 | 5 | 0,00070 | 1 | 365 | 30 | 5 | 18 | 10950 | 0,000039 | 0,000007 |
| | Anak-anak 2 | 2 | 0,00070 | 1 | 365 | 30 | 2 | 9 | 10950 | 0,000078 | 0,000005 |
| SG4 (Heptachlor Epoxide) | Dewasa 1 | 66 | 0,00031 | 2 | 365 | 70 | 23 | 63 | 25550 | 0,000010 | 0,000003 |
| | Dewasa 2 | 61 | 0,00031 | 2 | 365 | 70 | 23 | 64 | 25550 | 0,000010 | 0,000003 |
| | Dewasa 3 | 27 | 0,00031 | 2 | 365 | 70 | 23 | 64 | 25550 | 0,000010 | 0,000003 |
| SG5 (Heptachlor epoxide) | Dewasa 1 | 70 | 0,00039 | 2 | 365 | 70 | 17 | 60 | 25550 | 0,000013 | 0,000003 |
| | Dewasa 2 | 50 | 0,00039 | 2 | 365 | 70 | 17 | 45 | 25550 | 0,000017 | 0,000004 |
| | Dewasa 3 | 19 | 0,00039 | 2 | 365 | 70 | 17 | 70 | 25550 | 0,000011 | 0,000003 |
| | Dewasa 4 | 12 | 0,00039 | 2 | 365 | 70 | 17 | 40 | 25550 | 0,000019 | 0,000005 |
| | Dewasa 5 | 75 | 0,00039 | 2 | 365 | 70 | 17 | 60 | 25550 | 0,000013 | 0,000003 |
| | Dewasa 6 | 75 | 0,00039 | 2 | 365 | 70 | 17 | 70 | 25550 | 0,000011 | 0,000003 |

| Kode Sumur dan Senyawa Organoklorin | Responden | Umur (Tahun) | C (konsentrasi risk agent mg/L) | R (laju asupan L/hari) | Fe (Frekuensi Pajanan hari/tahun) | Durasi Pajanan lifetime (tahun) | Dt (Durasi Pajanan Realtime tahun) | Wb (Berat badan Kg) | tagv (periode waktu rata-rata) | I (asupan intake lifetime mg/kg/hari) | I (asupan intake realtime mg/kg/hari) |
|-------------------------------------|-----------|--------------|---------------------------------|------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | Dewasa 7 | 60 | 0,00039 | 2 | 365 | 70 | 17 | 70 | 25550 | 0,000011 | 0,000003 |



Lampiran 9 Data ARKL (Intake Dermal)

| Kode Sumur dan Senyawa Organoklorin | Responden | Umur (Tahun) | C (konsentrasi risk agent mg/L) | Vol mandi (L/kali) | CF | PC | SA | EV (kali/hari) | Fe (Frekuensi Paparan hari/tahun) | Durasi Paparan lifetime (tahun) | Dt (Durasi Paparan Realtime tahun) | Wb (Berat badan Kg) | tagv (periode waktu rata-rata) | I (asupan intake lifetime mg/kg/hari) | I (asupan intake realtime mg/kg/hari) |
|-------------------------------------|-------------|--------------|---------------------------------|--------------------|-------|------|------|----------------|-----------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| SB1 (Endrin Aldehyde) | Dewasa 1 | 51 | 0,00003 | 40 | 0,001 | 0,11 | 5700 | 0,01 | 365 | 30 | 6 | 72 | 10950 | 1,E-07 | 2,E-08 |
| | Dewasa 2 | 46 | 0,00003 | 40 | 0,001 | 0,11 | 5700 | 0,01 | 365 | 30 | 6 | 73 | 10950 | 1,E-07 | 2,E-08 |
| | Dewasa 3 | 20 | 0,00003 | 40 | 0,001 | 0,11 | 5700 | 0,01 | 365 | 30 | 6 | 50 | 10950 | 2,E-07 | 3,E-08 |
| | Dewasa 4 | 17 | 0,00003 | 40 | 0,001 | 0,11 | 5700 | 0,01 | 365 | 30 | 6 | 72 | 10950 | 1,E-07 | 2,E-08 |
| SB2 (Endrin Aldehyde) | Dewasa 1 | 43 | 0,00011 | 40 | 0,001 | 0,11 | 5700 | 0,01 | 365 | 30 | 6 | 68 | 10950 | 4,E-07 | 8,E-08 |
| | Dewasa 2 | 43 | 0,00011 | 40 | 0,001 | 0,11 | 5700 | 0,01 | 365 | 30 | 6 | 49 | 10950 | 6,E-07 | 1,E-07 |
| | Dewasa 3 | 20 | 0,00011 | 40 | 0,001 | 0,11 | 5700 | 0,01 | 365 | 30 | 6 | 50 | 10950 | 6,E-07 | 1,E-07 |
| | Dewasa 4 | 16 | 0,00011 | 40 | 0,001 | 0,11 | 5700 | 0,01 | 365 | 30 | 6 | 58 | 10950 | 5,E-07 | 1,E-07 |
| SB3 (Heptachlor Epoxide) | Dewasa 1 | 39 | 0,00089 | 40 | 0,001 | 0,11 | 5700 | 0,01 | 365 | 70 | 1 | 73 | 25550 | 3,E-06 | 4,E-08 |
| SB3 (Endrin Aldehyde) | Dewasa 1 | 39 | 0,00052 | 40 | 0,001 | 0,11 | 5700 | 0,01 | 365 | 30 | 1 | 73 | 10950 | 2,E-06 | 6,E-08 |
| SB5 (Endrin Aldehyde) | Dewasa 1 | 48 | 0,00058 | 40 | 0,001 | 0,11 | 5700 | 0,01 | 365 | 30 | 7 | 95 | 10950 | 2,E-06 | 4,E-07 |
| | Dewasa 2 | 40 | 0,00058 | 40 | 0,001 | 0,11 | 5700 | 0,01 | 365 | 30 | 7 | 65 | 10950 | 2,E-06 | 5,E-07 |
| | Dewasa 3 | 21 | 0,00058 | 40 | 0,001 | 0,11 | 5700 | 0,01 | 365 | 30 | 7 | 60 | 10950 | 2,E-06 | 6,E-07 |
| | Dewasa 4 | 12 | 0,00058 | 40 | 0,001 | 0,11 | 5700 | 0,01 | 365 | 30 | 7 | 60 | 10950 | 2,E-06 | 6,E-07 |
| SG1 (Heptachlor Epoxide) | Dewasa 1 | 55 | 0,00060 | 40 | 0,001 | 0,11 | 5700 | 0,01 | 365 | 70 | 17 | 70 | 25550 | 2,E-06 | 5,E-07 |
| | Dewasa 2 | 22 | 0,00060 | 40 | 0,001 | 0,11 | 5700 | 0,01 | 365 | 70 | 17 | 59 | 25550 | 3,E-06 | 6,E-07 |
| | Dewasa 3 | 21 | 0,00060 | 40 | 0,001 | 0,11 | 5700 | 0,01 | 365 | 70 | 17 | 48 | 25550 | 3,E-06 | 8,E-07 |
| SG2 (Endrin Aldehyde) | Dewasa 1 | 41 | 0,00070 | 40 | 0,001 | 0,11 | 5700 | 0,01 | 365 | 30 | 5 | 80 | 10950 | 2,E-06 | 4,E-07 |
| | Dewasa 2 | 29 | 0,00070 | 40 | 0,001 | 0,11 | 5700 | 0,01 | 365 | 30 | 5 | 51,4 | 10950 | 3,E-06 | 6,E-07 |
| | Anak-anak 1 | 5 | 0,00070 | 40 | 0,001 | 0,11 | 2800 | 0,01 | 365 | 30 | 5 | 18 | 10950 | 5,E-06 | 8,E-07 |
| | Anak-anak 2 | 2 | 0,00070 | 40 | 0,001 | 0,11 | 2800 | 0,01 | 365 | 30 | 5 | 9 | 10950 | 1,E-05 | 2,E-06 |
| SG4 (Heptachlor Epoxide) | Dewasa 1 | 66 | 0,00031 | 40 | 0,001 | 0,11 | 5700 | 0,01 | 365 | 70 | 23 | 63 | 25550 | 1,E-06 | 4,E-07 |
| | Dewasa 2 | 61 | 0,00031 | 40 | 0,001 | 0,11 | 5700 | 0,01 | 365 | 70 | 23 | 64 | 25550 | 1,E-06 | 4,E-07 |
| | Dewasa 3 | 27 | 0,00031 | 40 | 0,001 | 0,11 | 5700 | 0,01 | 365 | 70 | 23 | 64 | 25550 | 1,E-06 | 4,E-07 |
| SG5 (Heptachlor epoxide) | Dewasa 1 | 70 | 0,00039 | 40 | 0,001 | 0,11 | 5700 | 0,01 | 365 | 70 | 17 | 60 | 25550 | 2,E-06 | 4,E-07 |
| | Dewasa 2 | 50 | 0,00039 | 40 | 0,001 | 0,11 | 5700 | 0,01 | 365 | 70 | 17 | 45 | 25550 | 2,E-06 | 5,E-07 |
| | Dewasa 3 | 19 | 0,00039 | 40 | 0,001 | 0,11 | 5700 | 0,01 | 365 | 70 | 17 | 70 | 25550 | 1,E-06 | 3,E-07 |
| | Dewasa 4 | 12 | 0,00039 | 40 | 0,001 | 0,11 | 5700 | 0,01 | 365 | 70 | 17 | 40 | 25550 | 2,E-06 | 6,E-07 |
| | Dewasa 5 | 75 | 0,00039 | 40 | 0,001 | 0,11 | 5700 | 0,01 | 365 | 70 | 17 | 60 | 25550 | 2,E-06 | 4,E-07 |
| | Dewasa 6 | 75 | 0,00039 | 40 | 0,001 | 0,11 | 5700 | 0,01 | 365 | 70 | 17 | 70 | 25550 | 1,E-06 | 3,E-07 |
| | Dewasa 7 | 60 | 0,00039 | 40 | 0,001 | 0,11 | 5700 | 0,01 | 365 | 70 | 17 | 70 | 25550 | 1,E-06 | 3,E-07 |

Lampiran 10 Proses Kerja Solid Phase Extraction Sampel Air Tanah



RIWAYAT HIDUP

Dhyajeng Idha Kusuma Sari, biasanya dipanggil Dhyajeng atau Ajeng, Lahir di Bandar Lampung, 17 Maret 2000. Penulis adalah anak pertama dari Bapak Ir. Kusmargono Agus Santoso dan Ibu Nela Sari. Penulis melaksanakan pendidikan sebelum jenjang kuliah di SD Hasbunallah Tabalong Kalimantan Selatan, MTS al-Mujahidin Samarinda Kalimantan Timur, SMA Muhammadiyah 2 Yogyakarta dan melanjutkan pendidikan kuliah di Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.

